

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Gambaran Jaringan Drainase

2.1.1 Pengertian Drainase

Drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu.

Drainase perkotaan adalah ilmu yang diterapkan mengkhususkan pengkajian pada kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan sosial yang ada di kawasan kota.

Drainase perkotaan / terapan merupakan sistem pengirangan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi: Pemukiman, Kawasan Industri, Kampus dan Sekolah, Rumah Sakit & Fasilitas Umum, Lapangan Olahraga, Lapangan Parkir, Pelabuhan Udara dan lain-lain.

Kriteria desain drainase perkotaan memiliki kekhususan, sebab untuk perkotaan ada tambahan variable desain seperti:

1. Keterkaitan dengan tata guna lahan
2. Keterkaitan dengan masterplan drainasi kota
3. Keterkaitan dengan masalah sosial budaya

(Hasmar: 2012)

2.1.2 Tujuan Drainase

- a) Untuk meningkatkan kesehatan lingkungan permukiman.
- b) Pengendalian kelebihan air permukaan dapat dilakukan secara aman, lancar dan efisien serta sejauh mungkin dapat mendukung kelestarian lingkungan.
- c) Dapat mengurangi/menghilangkan genangan-genangan air yang menyebabkan bersarangnya nyamuk malaria dan penyakit-penyakit lain, seperti: demam berdarah, disentri serta penyakit lain yang disebabkan kurang sehatnya lingkungan permukiman.
- d) Untuk memperpanjang umur ekonomis sarana-sarana fisik antara lain: jalan, kawasan permukiman, kawasan perdagangan dari kerusakan serta gangguan kegiatan akibat tidak berfungsinya sarana drainase.

2.1.3 Fungsi Drainase

- a) Mengeringkan bagian wilayah kota yang permukaannya rendah dari genangan sehingga tidak menimbulkan dampak negatif berupa kerusakan infrastruktur kota dan harta benda milik masyarakat.
- b) Mengalirkan kelebihan air permukaan ke badan air terdekat secepatnya agar tidak membanjiri/menggenangi kota yang dapat merusak selain harta benda masyarakat juga infrastruktur perkotaan.
- c) Mengendalikan sebagian air permukaan akibat hujan yang dapat dimanfaatkan untuk persediaan air dan kehidupan akuatik.
- d) Meresapkan air permukaan untuk menjaga kelestarian air tanah.

(H.A. Halim Hasmar 2012: 1)

2.1.4 Jenis - Jenis dan Pola – Pola Drainase

2.1.4.1 Jenis – Jenis Drainase

A. Menurut Cara Terbentuknya

1. Drainase Alamiah (*Natural Drainage*)

Terbentuk secara alami, tidak ada unsur campur tangan manusia serta tidak terdapat bangunan-bangunan pelimpah, pasangan batu/beton, gorong-gorong dan lain-lain.

2. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

Dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainasi, untuk menentukan debit akibat hujan, kecepatan resapan air dalam tanah dan dimensi saluran serta memerlukan bangunan-bangunan khusus seperti selokan pasangan batu/beton, gorong-gorong, pipa-pipa dan sebagainya.

B. Menurut Letak Saluran

1. Drainase Muka Tanah (*Surface Drainage*)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan.

2. Drainase Bawah Tanah (*Sub Surface Drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan itu antara lain : tuntutan artistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak

mbolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepakbola, lapangan terbang, taman dan lain-lain.

C. Menurut Fungsi

1. *Single Purpose*

Saluran berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan saja, misalnya air hujan atau jenis air buangan lain seperti air limbah domestik, air limbah industry dan lain-lain.

2. *Multy Purpose*

Saluran berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian.

D. Menurut Konstruksi

1. Saluran Terbuka

Saluran untuk air hujan yang terletak di area yang cukup luas. Juga untuk saluran air non hujan yang tidak mengganggu kesehatan lingkungan.

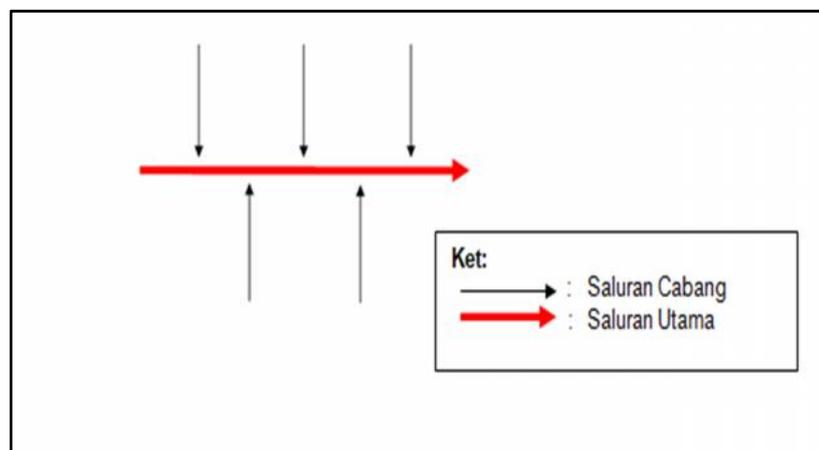
2. Saluran Tertutup

Saluran air untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Juga untuk saluran dalam kota.

2.1.4.2 Pola-Pola Drainase

1. Siku

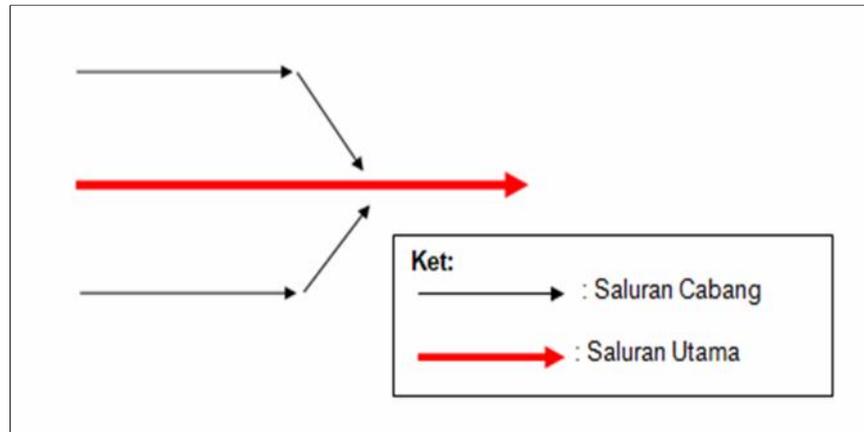
Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai saluran pembuang akhir berada di tengah kota.



Gambar 2.1 Jaringan Drainase Siku

2. Paralel

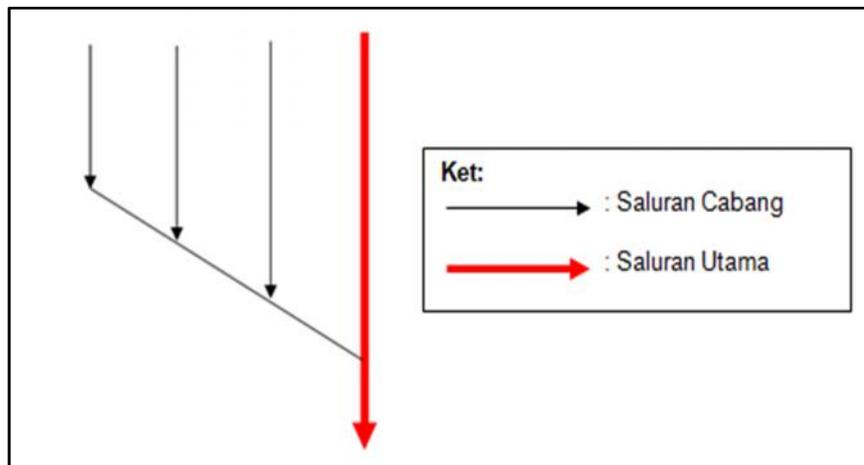
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri.



Gambar 2.2 Jaringan Drainase Paralel

3. Grid Iron

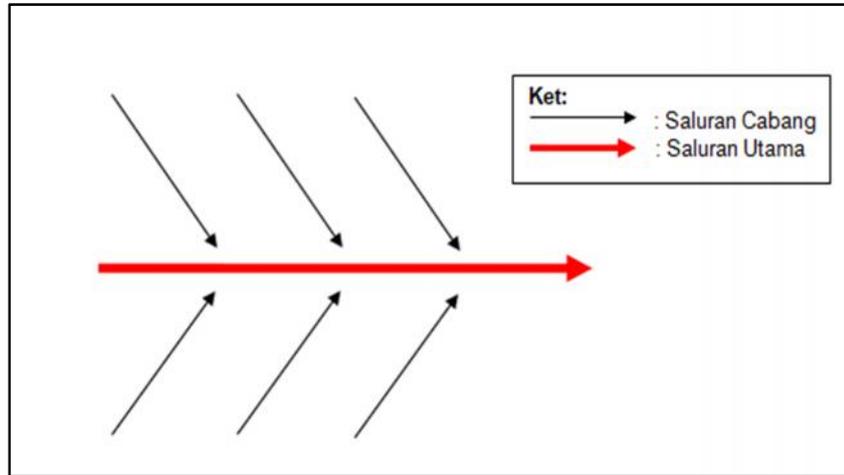
Untuk daerah dimana sungainya terleteak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2.3 Jaringan Drainase Grid Iron

4. Alamiah

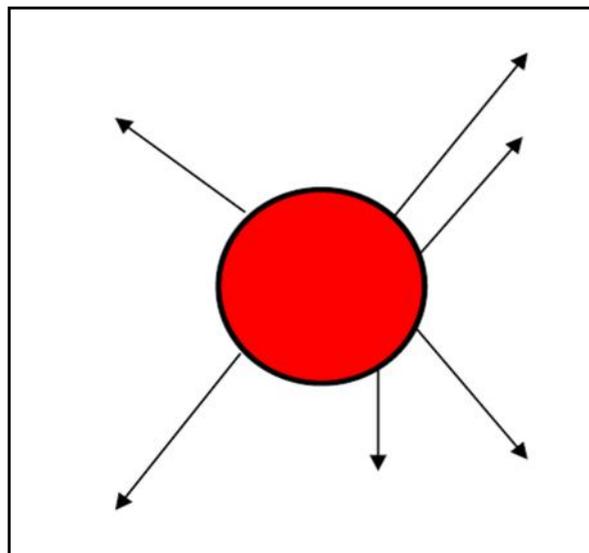
Sama seperti pola siku, hanya sungai pada pola alamiah lebih besar.



Gambar 2.4 Jaringan Drainase Alamiah

5. *Radial*

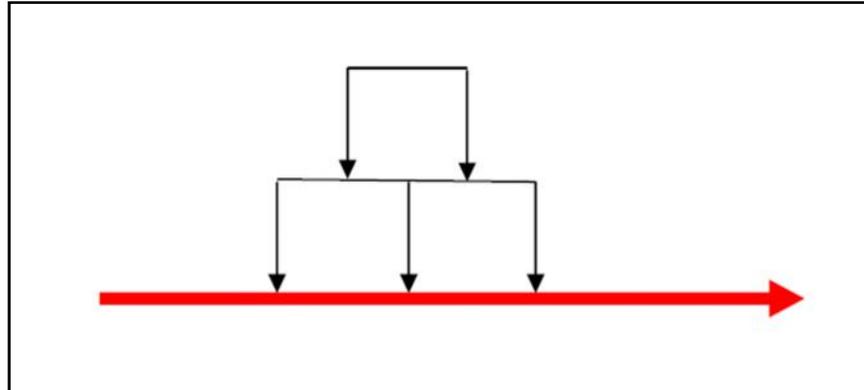
Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.



Gambar 2.5 Jaringan Drainase Radial

6. Jaring-Jaring

Mempunyai saluran-saluran pembuang yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.



Gambar 2.6 Jaringan Drainase Jaring-Jaring

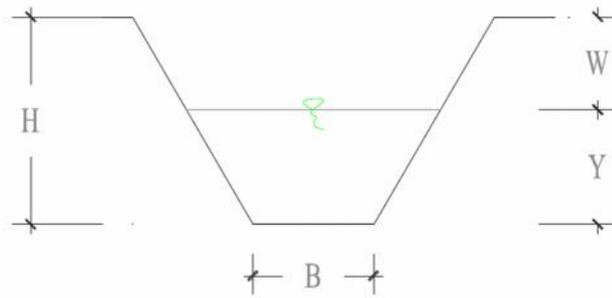
- a) Saluran Cabang adalah saluran yang berfungsi sebagai pengumpul debit yang diperoleh dari saluran drainase yang lebih kecil dan akhirnya dibuang ke saluran utama.
- b) Saluran Utama adalah saluran yang berfungsi sebagai pembawa air buangan dari suatu daerah ke lokasi pembuangan tanpa harus membahayakan daerah yang dilaluinya.

2.1.5 Bentuk Penampang Saluran

Bentuk-bentuk saluran untuk drainase tidak jauh berbeda dengan saluran irigasi pada umumnya. Dalam perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis, sebaliknya dimensi yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai. Adapun bentuk-bentuk saluran antara lain:

A. Trapesium

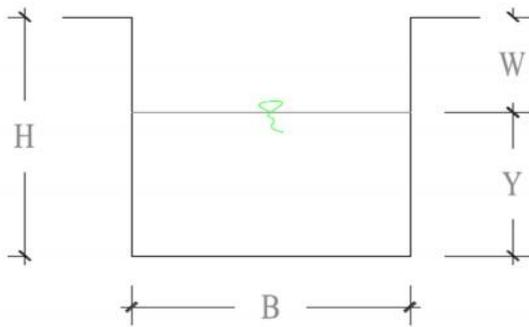
Pada umumnya saluran ini terbuat dari tanah akan tetapi tidak menutup kemungkinan dibuat dari pasangan batu dan beton. Saluran ini memerlukan cukup ruang. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar.



Gambar 2.7 Penampang Trapesium

B. Persegi

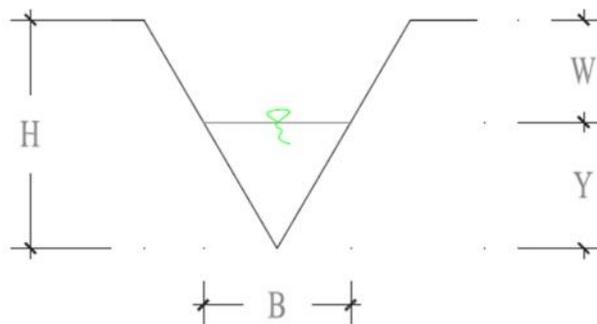
Saluran ini terbuat dari pasangan batu dan beton. Bentuk saluran ini tidak memerlukan banyak ruang dan areal. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar.



Gambar 2.8 Penampang Persegi

C. Segitiga

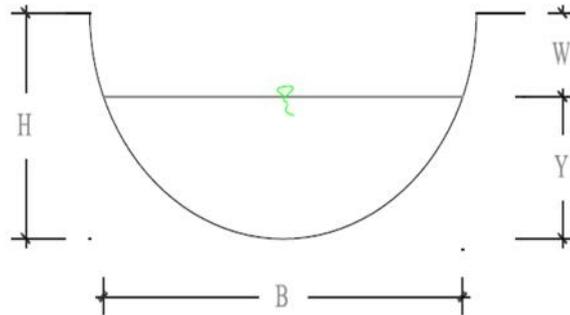
Saluran ini sangat jarang digunakan tetap mungkin digunakan dalam kondisi tertentu.



Gambar 2.9 Penampang Segitiga

D. Setengah Lingkaran

Saluran ini terbuat dari pasangan batu atau dari beton dengan cetakan yang telah tersedia. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar.



Gambar 2.10 Penampang Setengah Lingkaran

2.1.6 Sistem Jaringan Drainase

a) Sistem Drainase Mayor

Sistem drainase mayor yaitu sistem saluran yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Pada umumnya sistem drainase mayor ini disebut juga sebagai sistem saluran pembuangan utama (*major system*) atau drainase primer. Sistem jaringan ini menampung aliran yang berskala besar dan luas seperti saluran drainase primer, kanal-kanal dan sungai-sungai. Perencanaan drainase mayor ini umumnya dipakai dengan periode ulang antara 5-10 tahun dan pengukuran topografi yang detail diperlukan dalam perencanaan sistem drainase ini.

b) Sistem Drainase Mikro

Sistem drainase mikro yaitu sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Secara keseluruhan yang termasuk dalam sistem drainase mikro adalah saluran di sepanjang sisi jalan, saluran atau selokan air hujan di sekitar bangunan, gorong-gorong, saluran drainase kota dan lain sebagainya dimana debit yang dapat ditampungnya tidak terlalu besar. (Allafa: 2008)

2.2 Perhitungan Pertumbuhan Penduduk

Pertambahan penduduk adalah perubahan populasi sewaktu-waktu, dan dapat dihitung sebagai perubahan dalam jumlah individu dalam sebuah populasi menggunakan "per waktu unit" untuk pengukuran. Sebutan pertambahan penduduk merujuk pada semua spesies, tetapi selalu mengarah pada manusia, dan sering digunakan secara informal untuk sebutan demografi nilai pertambahan penduduk, dan digunakan untuk merujuk pada pertumbuhan penduduk dunia.

Rumus-rumus perhitungan proyeksi jumlah penduduk:

a. Metoda Arithmatik

$$P_n P_0 + K_a (T_n - T_0) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$K_a = \frac{P_a P_1}{T_2 - T_1} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana:

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n;
- P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar;
- T_n = tahun ke n;
- T_0 = tahun dasar;
- K_a = konstanta arithmatik;
- P_1 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke I;
- P_2 = jumlah penduduk pada tahun terakhir;
- T_1 = tahun ke I yang diketahui;
- T_2 = tahun ke II yang diketahui.

b. Metode Geometrik

$$P_n = P(1 + r)^n \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n;
- P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar;
- r = laju pertumbuhan penduduk;
- n = jumlah interval

c. Metode Least Square

$$Y' = a + bX \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

- Y' = nilai variabel berdasarkan garis regresi;
- X = variabel independen;
- a = konstanta;
- b = koefisien arah regresi linear

Adapun persamaan a dan b adalah sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Bila koefisien **b** telah dihitung terlebih dahulu, maka konstanta **a** dapat ditentukan dengan persamaan lain, yaitu

$$a = Y' - bX \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana Y' dan X' masing-masing adalah rata-rata untuk variabel Y dan X

d. Metode Trend Logistic:

$$K_a = \frac{k}{1 - e^{-a+bX}} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

- Y = Jumlah penduduk pada tahun ke-X;
- X = Jumlah interval tahun;
- k, a, dan b = Konstanta

e. Untuk menentukan pilihan rumus proyeksi jumlah penduduk yang akan digunakan dengan hasil perhitungan yang paling mendekati kebenaran harus dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi atau koefisien korelasi;

f. Rumus standar deviasi dan koefisien korelasi adalah sebagai berikut:

1) Standar Deviasi:

$$S = \frac{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2}}{n-1} \quad n > 2 \dots \dots \dots (2.9)$$

$$S = \frac{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2}}{n} \quad n = 2 \dots \dots \dots (2.10)$$

2) Koefisien Korelasi

Metode perhitungan proyeksi jumlah penduduk yang menghasilkan koefisien paling mendekati 1 adalah metoda yang terpilih.

2.3 Debit Hujan Rancangan

2.3.1 Pemilihan Data Hujan

Hujan (*Presipitasi*) adalah faktor utama yang mengendalikan berlangsungnya daur hidrologi dalam suatu wilayah DAS. Terjadinya hujan karena adanya perpindahan massa uap air ke tempat yang lebih tinggi sebagai respon adanya beda tekanan udara antara dua tempat yang berbeda ketinggiannya. Di tempat tersebut, karena akumulasi uap air pada suhu yang rendah maka terjadilah proses kondensasi, dan pada gilirannya massa uap air tersebut jatuh sebagai air hujan. Namun demikian, mekanisme berlangsungnya hujan melibatkan tiga faktor utama. Dengan kata lain, akan terjadi hujan apabila berlangsung tiga kejadian (Asdak, 1995) sebagai berikut:

- 1) Kenaikan massa uap air ke tempat yang lebih tinggi sampai saatnya atmosfer menjadi jenuh.
- 2) Terjadi kondensasi atas partikel-partikel uap air di atmosfer.
- 3) Partikel-partikel uap air tersebut bertambah besar sejalan dengan waktu untuk kemudian jatuh ke bumi dan permukaan laut (sebagai hujan) karena grafitasi.

Hujan sangat dipengaruhi oleh iklim dan keadaan topografi daerah, sehingga keadaanya sangat berbeda untuk masing-masing daerah.

Menurut Sri Harto (1993), Linsley, dkk (1986), tipe hujan sering dibedakan menurut faktor penyebab terangkatnya udara yang mengakibatkan hujan adalah sebagai berikut:

- 1) Hujan Konvektif (*convective*), bila terjadi ketidak seimbangan udara karena panas setempat, dan udara bergerak keatas dan berlaku proses adiabatik. Biasanya merupakan hujan dengan intensitas tinggi, dan terjadi dalam waktu yang relatif singkat, didaerah yang relatif sempit.
- 2) Hujan Siklon (*cyclonic*), bila gerakan udara ke atas terjadi akibat adanya udara panas yang bergerak diatas lapisan udara yang lebih padat dan lebih dingin. Hujan jenis ini biasanya terjadi dengan intensitas sedang, mencakup daerah yang luas dan berlangsung lama.
- 3) Hujan Orografik (*orographic rainfall*), terjadi karena udara bergerak ke atas akibat adanya pegunungan. Akibatnya, terjadi dua daerah yang disebut daerah hujan dan daerah bayangan hujan. Sifat hujan ini dipengaruhi oleh sifat dan ukuran pegunungan.

Data hujan yang diperlukan dalam analisa hidrologi ada 5 unsur yang harus ditinjau, yaitu:

- 1) Intensitas I , adalah laju hujan = tinggi hujan persatuan waktu, misalnya: mm/menit, mm/jam, mm/hari.
- 2) Lama waktu (*duration*) t , adalah lamanya curah hujan (durasi) dalam menit atau jam.
- 3) Tinggi hujan d , adalah jumlah atau banyaknya hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm.
- 4) Frekwensi, adalah frekwensi kejadian, dinyatakan dengan waktu ulang (*return period*) T , misalnya sekali dalam T tahun.
- 5) Luas, adalah luas geografis curah hujan.

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses hidrologi, karena jumlah kedalaman hujan (*rainfall depth*) akan dialihragamkan menjadi aliran di sungai, baik melalui limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow, sub surface flow*) maupun sebagai aliran air tanah (*groundwater*).

Instrumen pengukur hujan (*raingauge*) menurut Sri Harto (1993) ada dua jenis yaitu penakar hujan biasa (*manual raingauge*), dan penakar hujan otomatis

(*automatic raingauge*). Alat-alat tersebut harus dipasang sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh WMO (*World Meteorological Organization*) atau aturan yang disepakati secara nasional di suatu Negara.

Data Hujan merupakan masukan utama dari sistem sungai dan aliran sungai. Oleh karena itu untuk mengetahui semua karakteristik aliran, harus diketahui informasi mengenai besaran curah hujan yang terjadi di lokasi yang sama atau disekitarnya. Hampir semua kegiatan pengembangan sumber daya air memerlukan informasi hidrologi untuk dasar perencanaan dan perancangan, salah satu informasi hidrologi yang penting adalah data hujan. Data hujan ini dapat terdiri dari data hujan harian, bulanan dan tahunan. Pengumpulan dan pengolahan data hujan ini diharapkan dapat menyajikan data hujan yang akurat, menerus dan berkelanjutan sesuai dengan kondisi lapangan, tersusun dalam sistem database, data menyediakan data/informasi hidrologi yang tepat sesuai dengan kebutuhan.

Dengan berkembangnya kondisi Satuan Wilayah Sungai (SWS), maka kebutuhan akan air semakin meningkat yang kadang-kadang terjadi konflik antar kepentingan. Kecermatan dalam analisis ketersediaan air dapat dicapai bilamana tersedia data hujan yang akurat. Data hujan ini juga digunakan untuk input evaluasi unjuk kerja desain capacity atau pedoman operasi bangunan air.

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas, satu penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam/atau disekitar kawasan tersebut.

Curah hujan setiap hari yang direkam dari stasiun curah hujan digunakan sebagai masukan untuk pemodelan konsep periode pertumbuhan yang dihitung berdasarkan curah hujan dengan metode interpolasi spasial.

Interpolasi adalah suatu metode atau fungsi matematika yang menduga nilai pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia. Interpolasi spasial mengasumsikan bahwa atribut data bersifat kontinu di dalam ruang (*space*) dan atribut ini saling berhubungan (*dependence*) secara spasial.

Kedua asumsi tersebut mengindikasikan bahwa pendugaan atribut data dapat dilakukan berdasarkan lokasi-lokasi di sekitarnya dan nilai pada titik-titik

yang berdekatan akan lebih mirip daripada nilai pada titik-titik yang terpisah lebih jauh.

Ada beberapa metode interpolasi spasial yang digunakan untuk analisis sebaran data yaitu salah satunya menggunakan metode *invers distance*. Metode interpolasi *invers distance* merupakan suatu fungsi jarak antara titik sasaran (H_0 , V_0) dan titik contoh (H_i , V_i) untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Metode *invers distance* ini cukup baik dalam menduga nilai contoh pada suatu lokasi.

Data curah hujan yang tercatat diproses berdasarkan areal yang mendapatkan hujan sehingga didapat tinggi curah hujan rata-rata dan kemudian meramalkan besarnya curah hujan pada periode tertentu. Dalam menentukan Curah Hujan Areal yang berasal dari pencatatan penakar curah hujan. Dari pencatatan curah hujan, kita hanya mendapatkan data curah hujan di suatu titik tertentu (*point rainfall*). Jika dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai curah hujan areal.

Data hujan yang dibutuhkan dalam perhitungan curah hujan maksimum yakni data hujan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir dari data hujan yang tersedia.

2.3.2 Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah (*Area Rainfall*)

Besarnya curah hujan disuatu tempat sangat dipengaruhi oleh lokasi geografis dan kondisi alam sekitarnya. Lautan adalah sumber dari curah hujan tersebut. Penguapan terjadi darilautan yang menguap akibat panas matahari dan uap air terserap dalam arus udara yang bergerak melewati permukaan laut. Udara yang mengandung uap air tersebut naik ke atmosfer lalu mendingin sampai di bawah suhu titik embun pada waktu uap air itu tercurah sebagai hujan.

Curah hujan yang diperlukan dalam merencanakan pemanfaatan air dan merancang pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan hanya curah hujan pada suatu titik tertentu. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun penakar hujan yang ditempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat di masing-masing stasiun dapat tidak sama. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah dan dinyatakan dalam kedalaman air (mm).

Dalam analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut, yang dapat dilakukan dengan tiga metode berikut yaitu metode rerata aritmatik (aljabar), metode poligon Thiessen, dan metode Isohyet.

Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini adalah yang paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah. Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam hitungan biasanya adalah yang berada di dalam DAS; tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan.

Metode rerata aljabar ini memberikan hasil yang baik apabila:

- a) Stasiun hujan tersebar secara merata di DAS,
- b) Distribusi hujan relatif merata pada seluruh DAS.

Nilai curah hujan daerah / wilayah ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\bar{X} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

- \bar{X} = besar curah hujan rerata daerah (mm)
- R_1, \dots, R_n = besar hujan di setiap titik pengamatan (mm)
- n = jumlah titik pengamatan (stasiun hujan)

2.3.3 Perhitungan Curah Hujan Rancangan

2.3.3.1 Perhitungan Dispersi

Pada kenyataannya tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat dari sebaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara menghitung besarnya dispersi disebut perhitungan dispersi.

2.3.3.1.1 Dispersi Parameter Statistik

- 1. Deviasi standar (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

- S = standar deviasi
- X_i = nilai hujan DAS ke i
- \bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS
- n = jumlah data

2. Koefisien *skewness* (Cs)

Koefesien *Skewness* (Cs), yaitu suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana;

- Cs = koefisien *skewness*
- X_i = nilai hujan DAS ke i
- \bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS
- n = jumlah data

Untuk kurva distribusi yang bentuknya simetris, maka Cs = 0,00; kurva distribusi yang bentuknya menceng ke kanan maka Cs lebih besar nol, sedangkan yang bentuknya menceng ke kiri maka Cs kurang dari nol.

3. Pengukuran Kurtosis (Ck)

Pengukuran *Kurtosis*, yaitu untuk mengukur keruncingan yang munculdari bentuk kurva distribusi.

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana;

- Ck = Pengukuran *Kurtosis*
- S = standar deviasi
- X_i = nilai hujan DAS ke i
- \bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS
- n = jumlah data

4. Koefisien Variasi

Koefisien *Variasi* (CV), yaitu nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana;

C_v = Koefisien *Variasi*

S = standar deviasi

\bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

2.3.3.1.2 Dispersi Parameter Logaritma

1. Deviasi standar (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_i (X_i - \bar{X})^2)}{n-1}} \dots \dots \dots (2.16)$$

dimana;

S = standar deviasi

X_i = nilai hujan DAS ke i

\bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS

n = jumlah data

2. Koefisien *skewness* (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (f_i (X_i - \bar{X})^3)}{(n-1)(n-2)S^3} \dots \dots \dots (2.17)$$

dimana;

C_s = koefisien *skewness*

X_i = nilai hujan DAS ke i

\bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS

n = jumlah data

3. Pengukuran Kurtosis (C_k)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (f_i (X_i - \bar{X})^4)}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots \dots \dots (2.18)$$

dimana;

C_k = Pengukuran *Kurtosis*

S = standar deviasi

X_i = nilai hujan DAS ke i

\bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS

n = jumlah data

4. Koefisien Variasi

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots \dots \dots (2.19)$$

dimana;

Cv = Koefisien *Variasi*

S = standar deviasi

\bar{X} = nilai rata-rata hujan DAS

2.3.3.2 Pemilihan Distribusi Hujan Rancangan

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah Binomial dan Poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Gama, Beta, Pearson dan Gumbel. Untuk memilih jenis sebaran, ada beberapa macam distribusi yang sering dipakai yaitu Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log Pearson III. Dalam tahap perhitungan pada perencanaan ini, berdasarkan soal yang telah diberikan maka digunakan Jenis sebaran Distribusi Ej Gumbel dan Log Normal.

2.3.3.2.1 Metode Ej Gumbel

Distribusi Gumbel umumnya digunakan untuk analisis data ekstrem, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Ej Gumbel digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut,

Rumus:

$$X_t = \bar{X} + \left(\frac{Y - Y_n}{S_n} \right) \times S \dots \dots \dots (2.20)$$

dimana;

X_t : curah hujan rencana

\bar{X} : curah hujan rata-rata

S : standar deviasi

S_n : standar deviasi ke n (Tabel 2.1)

Yn : koefisien untuk distribusi Gumbel ke n (Tabel 2.2)

Y : koefisien untuk distribusi Gumbel, nilai reduce variate (Tabel 2.3)

Tabel 2.1 Hubungan antara Deviasi Standar (S_n) dengan Jumlah Data (n)

n	S_n	n	S_n	n	S_n	n	S_n
10	0,9496	33	1,1226	56	1,1696	79	1,1930
11	0,9676	34	1,1255	57	1,1708	80	1,1938
12	0,9833	35	1,1285	58	1,1721	81	1,1945
13	0,9971	36	1,1313	59	1,1734	82	1,1953
14	1,0095	37	1,1339	60	1,1747	83	1,1959
15	1,0206	38	1,1363	61	1,1759	84	1,1967
16	1,0316	39	1,1388	62	1,1770	85	1,1973
17	1,0411	40	1,1413	63	1,1782	86	1,1980
18	1,0493	41	1,1436	64	1,1793	87	1,1987
19	1,0565	42	1,1458	65	1,1803	88	1,1994
20	1,0628	43	1,1480	66	1,1814	89	1,2001
21	1,0696	44	1,1499	67	1,1824	90	1,2007
22	1,0754	45	1,1519	68	1,1834	91	1,2013
23	1,0811	46	1,1538	69	1,1844	92	1,2020
24	1,0864	47	1,1557	70	1,1854	93	1,2026
25	1,0915	48	1,1574	71	1,1863	94	1,2032
26	1,0961	49	1,1590	72	1,1873	95	1,2038
27	1,1004	50	1,1607	73	1,1881	96	1,2044
28	1,1047	51	1,1623	74	1,1890	97	1,2049
29	1,1086	52	1,1638	75	1,1898	98	1,2055
30	1,1124	53	1,1658	76	1,1906	99	1,2060
31	1,1159	54	1,1667	77	1,1915	100	1,2065
32	1,1193	55	1,1681	78	1,1923	-	-

Sumber: Soewarno 1995, Hidrologi

Tabel 2.2. Hubungan Reduksi Variat Rata-Rata dengan Jumlah Data

n	Yn	n	Yn	n	Yn	n	Yn
10	0,4952	33	0,5388	56	0,5508	79	0,5567
11	0,4996	34	0,5396	57	0,5511	80	0,5569
12	0,5035	35	0,5402	58	0,5515	81	0,5570
13	0,5070	36	0,5410	59	0,5518	82	0,5572
14	0,5100	37	0,5418	60	0,5521	83	0,5574
15	0,5128	38	0,5424	61	0,5524	84	0,5576
16	0,5157	39	0,5430	62	0,5527	85	0,5578
17	0,5181	40	0,5439	63	0,5530	86	0,5580
18	0,5202	41	0,5442	64	0,5533	87	0,5581
19	0,5220	42	0,5448	65	0,5535	88	0,5583
20	0,5236	43	0,5453	66	0,5538	89	0,5585
21	0,5252	44	0,5458	67	0,5540	90	0,5586
22	0,5268	45	0,5463	68	0,5543	91	0,5587
23	0,5283	46	0,5468	69	0,5545	92	0,5589
24	0,5296	47	0,5473	70	0,5548	93	0,5591
25	0,5309	48	0,5477	71	0,5550	94	0,5592
26	0,5320	49	0,5481	72	0,5552	95	0,5593
27	0,5332	50	0,5485	73	0,5555	96	0,5595
28	0,5343	51	0,5489	74	0,5557	97	0,5596
29	0,5353	52	0,5493	75	0,5559	98	0,5598
30	0,5362	53	0,5497	76	0,5561	99	0,5599
31	0,5371	54	0,5501	77	0,5563	100	0,5600
32	0,5380	55	0,5504	78	0,5565	-	-

Sumber: Soewarno 1995, Hidrologi

Tabel 2.3 Tabel Nilai Reduce Variate

Periode Ulang T (tahun)	Y_t
2	0,3065
5	1,4999
10	2,2504
20	2,9702
25	3,1255
50	3,9019
100	4,6001
200	5,296
1000	6,919

Sumber: Soemarto (1987)

2.3.3.2 Metode Log Pearson Type III

Metode ini didasarkan pada perubahan data yang ada dalam bentuk logaritma. Sesuai dengan anjuran dari “*The Hydrology Community of Water Resources Council*”, maka untuk pemakaian praktis dari data yang ada, pertama data tersebut diubah kedalam logaritmanya kemudian baru dihitung parameter statistiknya.

Rumus:

$$\log X_t = \text{Log} \bar{X}_r + k \times S \dots\dots\dots (2.21)$$

$$X_t = 10^{k \times S} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

X_t = curah hujan rencana

\bar{X} = curah hujan rata-rata

k = variable standar, koefisien kemencengan untuk distribusi Log Pearson Type III (Cs atau G) pada Tabel 2.4

S = Standar Deviasi Logaritmas

Tabel 2.4 Variable Standar, Koefisien Kemencengan Untuk Distribusi Log Pearson Type III (Cs atau G)

Koefisien Cs (U)	Periode Ulang (Tahun)					
	2	5	20	25	50	100
	Probabilitas Kemungkinan Terjadi					
	50	20	10	4	2	1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051
2.9	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013
2.8	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973
2.7	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932
2.6	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.047	3.845
2.4	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800
2.3	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705
2.1	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605
1.9	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.861	3.553

1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499
1.7	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388
1.5	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271
1.3	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.067	2.626	3.149
1.1	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.013	2.542	3.022
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	3.957
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.399	2.755
0.5	-0.063	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,860	1,945	2,178
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955
-0,6	0,084	0,857	1,637	1,746	2,051	2,330

Sumber: Soemarto (1987)

Untuk menentukan distribusi yang tepat dalam menghitung curah hujan rencana dengan periode ulang t tahun, maka perlu diperhatikan syarat-syarat dalam tabel 2.4.

Tabel 2.5 Kriteria Pemilihan Distribusi

No.	Jenis Distribusi	Syarat
1.	Distribusi Gumbel	$C_s < 1,1396$ $C_k < 5,4002$
2.	Distribusi Log Pearson Type III	$C_s = 0 < C_s < 9$

Sumber: Bonnier, 1980; dalam Soewarno, 1995

2.4 Koefisien Pengaliran

Besarnya koefisien pengaliran a dipengaruhi antara lain oleh :

- a) Bentuk dan luas daerah pematusan
- b) Miring daerah pematusan dan miring palung sungai
- c) Keadaan daerah pematusan yang terpenting ialah besarnya kemampuan mengisap/menyerap dan daya menahan air
- d) Keadaan flora daerah pematusan
- e) Daya tampung penampang sungai
- f) Tinggi suhu, besarnya angin disertai tingkat penguapannya
- g) Jatuhnya hujan yang mendahului hujan maksimum dalam persoalan

Mengingat sukarnya unsur-unsur yang mempengaruhi ini dirumuskan dengan terperinci, maka besarnya koefisien aliran diasumsikan 0,50.

Koefisien air larian (C) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya air larian terhadap besarnya curah hujan. Koefisien aliran yang diasumsikan adalah 0,50 hal ini berarti 50% dari total curah hujan akan menjadi air larian. Angka C ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS telah mengalami gangguan fisik. Nilai C yang besar berarti sebagian besar air hujan menjadi air larian, maka ancaman erosi dan banjir akan besar.

Besaran nilai C akan berbeda-beda tergantung dari topografi dan penggunaan lahan. Semakin curam kelerengan lahan semakin besar nilai C lahan tersebut. Nilai C berbagai topografi dan penggunaan lahan bisa dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2.6 Nilai C pada berbagai kondisi permukaan tanah

No.	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1.	Jalan beton dan jalan aspal	0.70-0.95
2.	Jalan kerikil dan Jalan tanah	0.40-0.70
3.	Bahu jalan	
	- Tanah berbutir halus	0.40-0.65
	- Tanah berbutir kasar	0.10-0.20
	- Batuan masif keras	0.70-0.85
	- Batuan masif lunak	0.60-0.75
4.	Daerah perkotaan	0.70-0.95
5.	Daerah pinggir kota	0.60-0.70
6.	Daerah industri	0.60-0.90

7.	Pemukiman padat	0.70-0.90
8.	Pemukiman tidak padat	0.40-0.60
9.	Taman dan kebun	0.20-0.40
10.	Persawahan	0.45-0.60
11.	Perbukitan	0.70-0.80
12.	Pegunungan	0.75-0.90

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990.

2.5 Debit Banjir Rancangan

2.5.1 Penentuan Batas DAS

Daerah Aliran Sungai adalah semua bagian aliran air di sekitar sungai yang mengalir menuju alur sungai, aliran air tersebut tidak hanya berupa air permukaan yang mengalir di dalam alur sungai, tetapi termasuk juga aliran air dipunggung bukit yang mengalir menuju alur sungai sehingga daerah tersebut dinamakan daerah aliran sungai.

Pengembangan Wilayah Sungai dalam rangka peningkatan kemampuan penyediaan air sungai untuk berbagai kebutuhan hidup masyarakat, sehingga meliputi beberapa ketentuan antara lain:

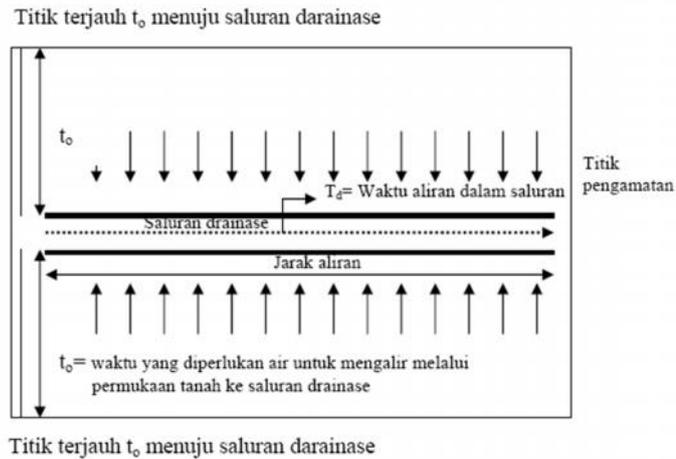
- 1) Luas DAS mengikuti pola bentuk aliran sungai dengan mempertimbangkan aspek geografis di sekitar Daerah Aliran Sungai yang mencakup daerah tangkapan (*cathment area*) untuk perencanaan tersebut.
- 2) Luas DAS dapat diketahui dari gambaran (deskripsi) yang diantaranya meliputi petapeta atau foto udara, dan pembedaan skala serta standar pemetaan sehingga dapat menghasilkan nilai-nilai yang sebenarnya.

2.5.2 Waktu Konsentrasi

Menurut Wesli (2008) pengertian waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir suatu saluran. Pada prinsipnya waktu konsentrasi dapat dibagi menjadi:

1. *Inlet time* (t_0), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase

2. *Conduit time* (t_d), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir.



Gambar 2.11 Lintasan aliran waktu inlet time dan conduit time
Sumber: Soemarto, 1987

Waktu konsentrasi besarnya sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini:

1. Luas daerah pengaliran
2. Panjang saluran drainase
3. Kemiringan dasar saluran
4. Debit dan kecepatan aliran
- 5.

Harga T_c ditentukan dengan menggunakan rumus seperti berikut ini:

$$T_c = t_0 + t_d \dots\dots\dots (2.29)$$

$$t_0 = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right]^{0,1} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$t_d = \frac{L_s}{6 V} \dots\dots\dots (2.31)$$

di mana:

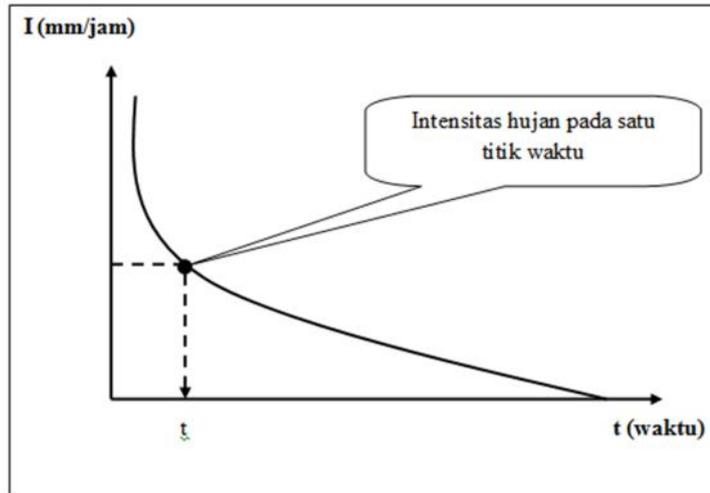
- T_c = Waktu Konsentrasi (jam)
- t_0 = Inlet time ke saluran terdekat (menit)
- t_d = Conduit time sampai ke tempat pengukuran (menit)
- n = angka kekasaran manning
- S = kemiringan lahan (m)
- L = panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)

- Ls = panjang lintasan aliran di dalam saluran (m)
 V = kecepatan aliran di dalam saluran (m/dtk)

2.5.3 Intensitas Hujan

Data Hujan rencana yang diperlukan dalam perhitungan debit rencana dapat berupa;

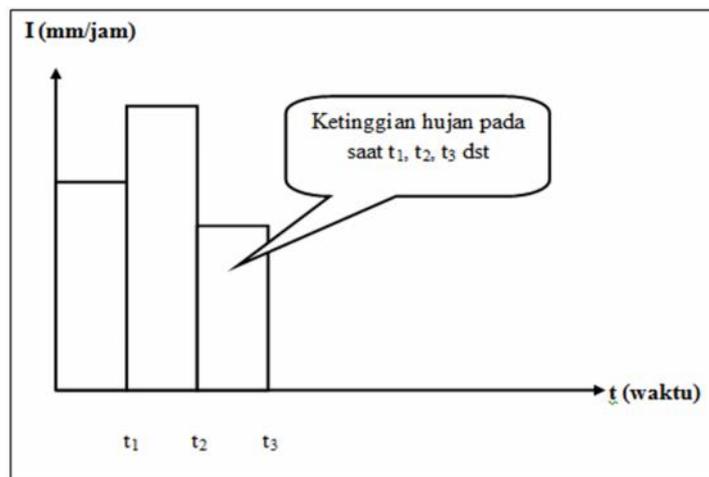
- a) Intesitas hujan rencana di satu titik waktu.



Gambar 2.12 Kedalaman hujan rencana di satu titik waktu

Sumber: Kamiana, 2012

- b) Ketinggian hujan rencana yang terdistribusi dalam hujan jam-jaman (hidrograf hujan rencana)



Gambar 2.13 Hidrograf hujan rencana

Sumber: Kamiana, 2012

Kurve yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3 sering disebut Curve IDF (*Intensity-Duration-Frequency Curve*). Kurva ini menggambarkan hubungan antara intensitas hujan, durasi atau lama hujan, dan frekuensi hujan atau periode ulang.

Nilai intensitas hujan rencana yang diperoleh dari Curve IDF diperlukan dalam metode perhitungan debit rencana non hidrogaf, contohnya Metode Rasional.

Intensitas hujan atau intensitas hujan rencana dapat dikatakan sebagai ketinggian atau kederasan hujan per satuan waktu, biasanya dalam satuan (mm/jam) atau (cm/jam).

Jika volume hujan adalah tetap, maka intensitas hujan akan makin tinggi seiring dengan durasi hujan yang makin singkat, sebaliknya intensitas hujan makin rendah seiring dengan durasi hujan yang makin lama.

Disamping itu, berkaitan dengan intensitas hujan rencana, tinggi intensitas hujan rencana akan semakin besar seiring dengan periode ulang yang semakin besar.

Data yang diperlukan untuk menurunkan Curve IDF terukur adalah data hujan jangka pendek, seperti hujan 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit, dan data hujan jam-jaman. Kemudian persamaan regresinya dapat didekati dengan beberapa rumus Talbot, Ishiguro, dan Sherman.

Jika data hujan jangka pendek tidak tersedia, dan yang tersedia adalah jangka hujan harian maka persamaan regresi Curve IDF dapat diturunkan dengan metode Monobe.

Selain itu, metode Van Breen juga dapat digunakan untuk menurunkan Curve IDF yang didasarkan pada hujan harian. Namun dalam penentuan persamaan regresinya, metode Van Breen memerlukan Curve IDF terukur, disarikan dari daerah pengaliran terdekat, sebagai perbandingan bentuk curve.

Grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4 adalah ketinggian hujan yang terdistribusi sebagai fungsi waktu, misalnya dalam bentuk hujan jam-jaman atau disebut dengan hidrograf hujan.

Data hidrograf hujan rencana diperlukan bila debit rencana dihitung dengan Metode Hidograf.

Jika yang tersedia adalah data hujan harian atau hujan rencana maka hidrograf hujan dapat disusun dengan Model Seragam dan Model Segitiga.

Sedangkan yang tersedia adalah data intensitas hujan maka hidrograf hujan dapat disusun dengan Model Alternating Block Method (ABM).

1) Curve IDF Terukur

Penurunan Curve IDF terukur, seperti telah diuraikan sebelumnya, memerlukan data hujan jangka pendek. Jika data hujan tersebut sudah tersedia maka perhitungan Curve IDF dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Ubah data hujan dengan durasi menitan atau jaman menjadi data intensitas hujan menitan atau jaman.
- 2) Hitung nilai rata-rata data intensitas hujan pada setiap durasi
- 3) Hitung standar deviasi data intensitas hujan pada setiap durasi.
- 4) Hitung dan rekap nilai intensitas hujan rencana pada setiap durasi dengan berbagai periode ulang berdasarkan distribusi probabilitas seperti;
 - a. Gumbel
 - b. Normal
 - c. Log Pearosn Type III dan yang lainnya.
- 5) Plot nilai intensitas hujan rencana sebagai ordinat dan durasi sebagai absis, sehinga diperoleh sebaran data koordinat.
- 6) Berdasarkan sebaran data koordinat tersebut kemudian dihitung persamaan garis regresi Curve IDF dengan rumus;

a. **Tablot**

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots (2.32)$$

Keterangan rumus:

- I* = intensitas hujan (mm/jam)
- t* = durasi hujan (menit atau jam)
- a* dan *b* = tetapan
- N* = jumlah data

$$a = \frac{(t \times I) \times (I^2) - (I^2 \times t) \times (I)}{N \times (I^2) (I) \times (I)} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$b = \frac{(I) \times (t \times I) - N \times (I^2 \times t)}{N \times (I^2) (I) \times (I)} \dots\dots\dots (2.34)$$

b. Ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \dots\dots\dots (2.35)$$

Keterangan rumus:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- t = durasi hujan (menit atau jam)
- a dan b = tetapan
- N = jumlah data

$$a = \frac{(\sqrt{t} \times I) \times (I^2) - (I^2 \times \sqrt{t}) \times (I)}{N \times (I^2) (I) \times (I)} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$b = \frac{(I) \times (\sqrt{t} \times I) - N \times (I^2 \times \sqrt{t})}{N \times (I^2) (I) \times (I)} \dots\dots\dots (2.37)$$

c. Sherman

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan rumus:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- t = durasi hujan (menit atau jam)
- a dan b = tetapan
- N = jumlah data

$$\text{Log } a = \frac{(L \ I) \times (L \ t)^2 - (L \ t \times L \ I) \times (L \ t)}{N \times (L \ t)^2 - (L \ t) \times (L \ t)} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$n = \frac{(L \ I) \times (L \ t) - N \times (L \ t \times L \ I)}{N \times (L \ t)^2 - (L \ t) \times (L \ t)} \dots\dots\dots (2.40)$$

- 7) Pilih salah satu diantara tiga rumus pada butir (6) sebagai rumus regresi paling sesuai berdasarkan nilai srtandar deviasi kecil.

2) Rumus Van Breen

Dalam rumus Van Breen, durasi hujan harian diasumsikan 4 jam khususnya di pulau Jawa, dan besarnya hujan harian efektif adalah 90 % dari hujan harian maksimum.

Berdasarkan pengertian diatas, maka rumus intensitas hujan menurut Van Breen adalah:

$$I = \frac{9\% \times X_2}{4} \dots\dots\dots (2.41)$$

Keterangan rumus:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- X₂ = hujan harian maksimum (mm)

Setelah diketahui besarnya intensitas hujan pada saat 4 jam, kemudian ditentukan persamaan regresi kurve intensitas. Penentuan persamaan regresi tersebut dilakukan dengan mengacu pada kurve intensitas terukur.

3) Rumus Monobe

Kurve intensitas hujan rencana, jika yang tersedia adalah hujan harian, dapat ditentukan dengan Rumus Monobe. Bentuk umum dari Rumus Monobe adalah:

$$I = \frac{X_2}{4} \times \frac{2}{t} \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan rumus:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- X₂ = hujan harian maksimum (mm)
- t = durasi hujan atau waktu konsentrasi (jam)

4) Model Hidrograf Hujan Rencana Seragam

Model hujan jam-jaman seperti ini adalah model hujan rencana yang paling sederhana. Dalam model ini, tinggi hujan rencana dianggap lama selama durasi hujan. Oleh karena itu, intensitas hujan rencana tiap jam dirumuskan sebagai berikut:

$$I = \frac{X}{t} \dots\dots\dots (2.43)$$

Keterangan rumus:

- I = intensitas hujan rencana (mm/jam)
- X = tinggi hujan rencana (mm)
- t = durasi hujan rencana (jam)



Gambar 2.14 Hidrograf seragam

Sumber: Kamiana, 2012

5) Model Hidrograf Hujan Rencana Segitiga

Dalam model seperti ini, distribusi tinggi hujan rencana jam-jaman dianggap berbentuk segitiga, yakni diawali dan diakhiri dengan tinggi hujan sama dengan nol, dan diantaranya adalah terdapat tinggi puncak hujan rencana.

Tinggi puncak hujan rencana dihitung dengan rumus:

$$I_p = \frac{2}{t} \dots\dots\dots (2.44)$$

Keterangan rumus:

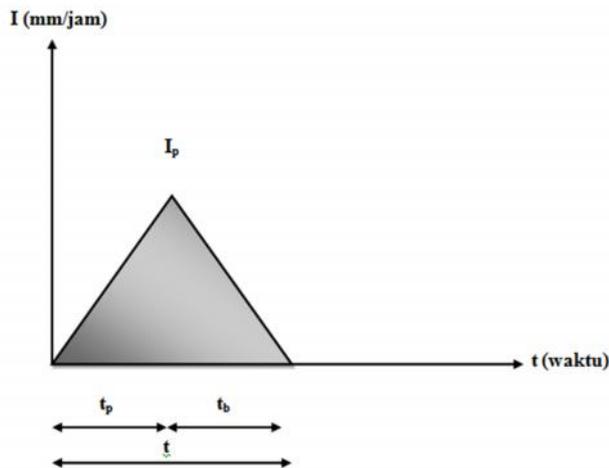
- I_p = puncak intensitas hujan rencana (mm/jam)
- X = tinggi hujan rencana (mm)
- t = durasi hujan rencana (jam)

Waktu puncak intensitas hujan rencana dihitung dengan rumus berikut;

$$t_p = r \times t \dots\dots\dots (2.45)$$

Keterangan rumus:

- t_p = puncak intensitas hujan rencana (mm/jam)
- t = durasi hujan rencana (jam)
- r = rasio antara waktu puncak durasi hujan rencana
- t_b = waktu turun (jam)



Gambar 2.15 Hidrograf Segitiga

Sumber: Kamiana, 2012

6) Alternating Block Method

Hidrograf hujan rencana yang dihasilkan oleh model ini adalah berupa distribusi tingi hujan rencana dalam n rangkaian interval waktu dengan durasi Δt selama waktu t (jadi $t = n \times \Delta t$).

2.3.3.3 Uji Pemilihan Distribusi Hujan Rancangan

Uji kecocokan distribusi dilakukan untuk mengetahui jenis metode yang paling sesuai dengan data debit atau hujan. Uji metode dilakukan dengan uji keselarasan distribusi yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih, dapat mewakilidari distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Soewarno, 1995).

Ada dua jenis uji keselarasan yaitu uji Chi-Kuadrat (*Chi-Square*) dan Smirnov Kolmogorof. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah hasil perhitungan yang diharapkan.

2.3.3.3.1 Uji Chi-Kuadrat

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap

jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai *chi square* (X_h^2) dengan nilai chi square kritis (X_c^2). Uji keselarasan chi kuadrat menggunakan rumus (Soewarno, 1995):

$$X_h^2 = \sum_{t=1}^N \frac{(Of-Ef)^2}{Ef} \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

- X_h^2 = nilai Chi-Square terhitung
- Ef = frekuensi (banyak pengamatan)
- Of = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama
- N = jumlah sub-kelompok dalam satu grup

Suatu distribusi dikatakan selaras jika nilai X_h^2 hitung diperoleh lebih kecil dari nilai X_c^2 (Chi-Kuadrat kritik), untuk suatu derajat nyata tertentu, yang sering diambil 5%. Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan berikut :

$$DK = K - (+1) \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan:

- DK = derajat kebebasan
- K = banyaknya kelas
= banyaknya keterikatan (parameter), untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

Nilai X_c^2 , diperoleh dari Tabel 2.5 dibawah ini. Disarankan agar banyaknya kelas tidak kurang dari 5 dan frekuensi absolut tiap kelas tidak kurang dari 5 pula.

Tabel 2.7 Nilai Chi Kuadrat Kritik

DK	Distribusi X_c^2					
	0.995	0.9	0.5	0.1	0.05	0.01
1	0	0.016	0.455	2.706	3.841	6.635
2	0.01	0.211	1.386	4.605	5.991	9.21
3	0.072	0.584	2.366	6.251	7.815	11.345
4	0.207	1.064	3.357	7.779	9.488	13.277
5	0.412	1.61	4.351	0.236	11.07	15.086
6	0.676	2.402	5.348	10.645	12.592	16.812
7	0.989	2.833	6.346	12.017	14.067	18.475

8	1.344	3.49	7.344	13.362	15.507	20.09
9	1.735	4.168	8.343	14.684	16.919	21.666
10	2.156	4.865	9.342	15.987	18.307	23.209

Sumber: Soemarto, 1987

2.3.3.3.2 Smirnov-Kolmogorof

Uji Smirnov Kolmogorof digunakan untuk menguji kesesuaian dari distribusi secara horizontal dari data. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan probabilitas tiap data antara sebaran empiris dan sebaran teoritis. Sebagai alternatif untuk menguji kesesuaian distribusi (*goodness of fit*), dapat digunakan Uji Smirnov-Kolmogorov. Caranya dengan mengurutkan data X dari kecil ke besar. Kemudian menghitung simpangan maksimum D dengan rumus:

$$D = \text{Max} | P_t(x) - P_e(x) | \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan:

$P_t(x)$ = posisi data X menurut garis sebaran teoritis.

$P_e(x)$ = posisi data X menurut pengamatan.

Untuk mendapatkan $S_n(x)$ memakai posisi plotting dari *Weibull*, digunakan rumus berikut;

$$P_e(x) = \frac{m}{1+n} (0.1) \dots\dots\dots (2.26)$$

Sedangkan $P_t(x)$ adalah besarnya probabilitas dari sebaran yang diuji untuk data X. Apabila diketahui besarnya Pr (probabilitas terjadi), maka:

$$P_t = 1/Tr \dots\dots\dots (2.27)$$

$$Y_t = -\ln \left[-\ln \frac{Tr(Q)-1}{Tr(Q)} \right] \dots\dots\dots (2.28)$$

dengan:

Pr = Probabilitas data X untuk disamai atau dilampaui

Simpangan maksimum D dari hasil perhitungan lalu dibandingkan dengan nilai D kritis (D_{cr}) dari Tabel 2.6 berikut

Tabel 2.8 Nilai D kritis (D_{cr}) Smirnov Kolmogorof

N	Level of Significance (α)				
	20	15	10	5	1
1	0.9	0.925	0.95	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.829
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.734
5	0.446	0.474	0.51	0.563	0.669
6	0.41	0.436	0.47	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.4457	0.543
9	0.339	0.36	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.409	0.486
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.45
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.391
17	0.25	0.266	0.286	0.318	0.38
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.37
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.361
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.352
N > 50	$\frac{1.07}{N^{0.5}}$	$\frac{1.14}{N^{0.5}}$	$\frac{1.22}{N^{0.5}}$	$\frac{1.36}{N^{0.5}}$	$\frac{1.63}{N^{0.5}}$

Sumber: Soemarto, 1987

2.5.4 Debit Banjir Rancangan

Banjir rancangan adalah besarnya debit banjir yang ditetapkan sebagai dasar penentuan kapasitas dan mendimensi bangunan-bangunan hidraulik (termasuk bangunan di sungai), sedemikian hingga kerusakan yang dapat ditimbulkan baik langsung maupun tidak langsung oleh banjir tidak boleh terjadi selama besaran banjir tidak terlampaui.

Tabel 2.9 Tahapan Analisis Hidrologi Untuk Banjir Rancangan

Kelas	Output	Data Tersedia	Tahapan Analisis
1	Debit puncak	Debit banjir maks. tahunan	Analisis frekuensi data debit
2	Debit puncak	Hujan harian dan karakteristik daerah tangkapan hujan	Analisis frekuensi data hujan dan pengalihragaman hujan-aliran (Rational method)
3	Debit puncak	Hujan jam-jaman, hidrograf banjir dan karakteristik DAS	Analisis frekuensi data hujan dan pengalihragaman hujan-aliran (Unit hydrograph atau Rainfall-runoff model)
4	Hidrograf banjir	Hujan jam-jaman, karakteristik DAS, tidak ada data hidrograf banjir	Analisis frekuensi data hujan dan pengalihragaman hujan-aliran (Synthetic unit hydrograph)

5	Hidrograf banjir	Hujan jam-jaman dan hidrograf banjir.	Analisis frekuensi data hujan dan pengalihragaman hujan-aliran (Unit hydrograph)
6	Hidrograf banjir	Hujan jam-jaman, hidrograf banjir dan karakteristik DAS	Analisis frekuensi data hujan dan pengalihragaman hujan-aliran (Unit hydrograph atau Rainfall-runoff model)

Sumber: Kamiana, 2012

Dalam praktek analisis hidrologi terdapat beberapa cara yang dapat ditempuh untuk menetapkan debit banjir rancangan. Masing-masing cara akan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

- a) ketersediaan data,
- b) tingkat kesulitan yang dikehendaki,
- c) kesesuaian cara dengan DAS yang ditinjau.

Cara analisis dapat dikelompokkan menjadi tiga metode, yaitu:

- a) cara empirik,
- b) cara statistik,
- c) analisis dengan model hidrologi.

Cara empirik adalah metode pendekatan dengan rumus rasional. Cara ini diterapkan apabila tidak tersedia data debit yang cukup panjang tetapi tersedia data hujan harian yang panjang. Terdapat empat metode perhitungan banjir rancangan yang dikembangkan berdasarkan prinsip pendekatan rasional, yaitu: metode rasional, metode Der Weduwen, metode Meichior dan metode Haspers.

Penulis menunjuk tiga macam cara yang akan diuraikan pada tulisan ini, yaitu metode Rasional dan Metode Weduwen untuk non-hidrograf banjir rancangan sedangkan untuk hidrograf banjir rancangan menggunakan Metode Snyder seperti yang dipergunakan dalam Standar Perencanaan Irigasi KP-O1 ,

yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Pengairan Departemen Pekerjaan Umum tahun 1986.

2.5.4.1 Debit Banjir Rancangan Non-Hidrograf

1) Metode Rasional

Perhitungan Metode rasional menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \text{ m}^3/\text{det} \dots\dots\dots (2.46)$$

dimana:

- Q = debit banjir rencana (m^3/det)
- C = koefisien run off (koefisien limpasan)
- I = intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

$$I = \frac{X_2}{4} \times \frac{2}{t} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$T = \frac{1}{w} \dots\dots\dots (2.48)$$

T = waktu konsentrasi (jam)

$$w = \frac{2 H^{0,6}}{I \left(\frac{m/d}{=7} \frac{H^{0,6}}{\left(\frac{k}{ja} \right)} \right)} \dots\dots\dots (2.49)$$

dimana:

- w = waktu kecepatan perlambatan (m/det atau km/jam)
- I = jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang ditinjau (km)
- A = luas DAS (km^2)
- H = beda tinggi ujung hulu dengan titik tinggi yang ditinjau (m)

Koefisien limpasan (C), dapat diperkirakan dengan meninjau tata guna lahan. Harga koefisien limpasan disajikan dalam Tabel 2.9, Tabel 2.10, dan tabel 2.11.

Tabel 2.10 Koefisien Limpasan

No.	Kondisi Tanah Permukaan	Harga C
1.	Jalan Beton dan jalan aspal	0.70 - 0.95
2.	Jalan kerikil dan jalan tanah	0.40 – 0.70
3.	Bahu jalan Tanah berbutir halus	0.40 – 0.65

	Tanah berbutir kasar	0.10 – 0.20
	Batuan masif kasar	0.70 – 0.85
	Batuan masif lunak	0.70 – 0.95
4.	Daerah perkotaan	0.70 – 0.95
5.	Daerah pinggiran kota	0.60 – 0.70
6.	Daerah industri	0.60 – 0.90
7.	Pemukiman padat	0.40 – 0.60
8.	Pemukiman tidak padat	0.40 – 0.60
9.	Taman dan kebun	0.20 – 0.40
10.	Persawahan	0.45 – 0.60
11.	Perbukitan	0.70 – 0.80
12.	Pegunungan	0.75 – 0.90

Sumber: Subarkah, 1980

Tabel 2.11 Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah	Tata guna lahan	Koeff. limpasan
Campuran pasir dan atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,4
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,3
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Sumber: Subarkah, 1980

Koefisien pengaliran () tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.12 Koefisien Pengaliran

Kondisi Daerah Pengaliran	Koefisien Pengaliran
---------------------------	----------------------

	()
Daerah pegunungan berlereng terjal	0,75 – 0,90
Daerah perbukitan	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan bersemak-semak	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang digarap	0,45 – 0,65
Persawahan irigasi	0,70 – 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil di dataran	0,45 – 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

Sumber: *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir.Joesron Loebis, M.Eng.*

2) Metode Weduwen

Rumus dari Metode *Weduwen* adalah sebagai berikut:

$$Q_t = \alpha \times \beta \times q_n \times A \dots\dots\dots (2.50)$$

$$t = 0,25 LQ^{-0,1} I^{-0,2} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$\beta = \frac{1 + [(t+1)(t+9)]A}{1 + A} \dots\dots\dots (2.52)$$

$$q_n = \frac{R_n \times 6,6}{2 + 1,4} \dots\dots\dots (2.53)$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7} \dots\dots\dots (2.54)$$

dimana:

- Q_t = debit banjir rencana (m^3/det)
- R_n = curah hujan maksimum (mm/hari)
- q_n = debit persatuan luas ($m^3/det.km^2$)
- α = koefisien pengaliran
- B = koefisien pengurangan daerah
- t = waktu konsentrasi (jam)
- A = luas daerah pengaliran (km^2)

2.5.4.2 Debit Banjir Rancangan Hidrograf

1) Metode Snyder

Metode Snyder pada dasarnya menentukan hidrograf satuan sintetis yang dihitung berdasarkan rumus empiris dan koefisien empiris yang menghubungkan komponen hidrograf satuan dengan karakteristik DAS. Parameter yang menentukan hidrograf satuan adalah luas DAS, panjang sungai utama, dan panjang sungai utama yang diukur dari tempat pengamatan sampai dengan titik pada sungai utama yang berjarak paling dekat dengan titik berat DAS. Hidrograf Satuan Sintetis metode Snyder mempertimbangkan karakteristik DAS yang mempengaruhi bentuk hidrograf satuan, seperti luas dan bentuk DAS, topografi, kemiringan sungai, kerapatan sungai dan simpanan air (Wilson, 1993). Adapun persamaan yang dibuat oleh Snyder adalah sebagai berikut:

$$t_p = C_t (L \times L_c)^{0,3} \dots\dots\dots (2.54)$$

dimana:

- L = Panjang sungai (km).
- L_c = Panjang sungai dari titik berat basin ke *outlet* (km).
- t_p = Waktu dari titik berat *excess rainfall* ke *peak flow*
- C_t = Koefisien yang tergantung dari slope basinnya

$$Q_p = 0,278 \frac{C_p}{t} \dots\dots\dots (2.56)$$

dimana:

- q_p = Debit maksimum unit hidrograf (1 m³/dt/km²).
- C_p = Koefisien yang tergantung dari karakteristik DAS

$$t_e = \frac{t_i}{5,5} \dots\dots\dots (2.57)$$

dimana:

- t = Lamanya curah hujan efektif

$$\text{Jika } t > t_r \quad t'_p = t_p + 0,25 (t_R - t) \dots\dots\dots (2.58)$$

Sehingga didapat waktu untuk mencapai debit maksimum

$$T_p = t'_p + 0,50 t_R \dots\dots\dots (2.59)$$

Jika $t < t_R$

$$T_p = t_p + 0,50 t_R \dots\dots\dots (2.60)$$

T_p = *time rise to peak*

t_R = lamanya hujan efektif 1 jam

$$Q_p = q_p \times A \dots\dots\dots (2.61)$$

dimana:

Q_p = Debit maksimum total (m³/dt).

q_p = Debit maksimum unit hidrograf (1m³/dt/km²).

A = luas daerah aliran (km²).

Bentuk dari unit hidrograf ditentukan oleh persamaan Alexseyev

$$Q = f(t) \dots\dots\dots (2.62)$$

$$Y = \frac{Q}{q} X = \frac{t}{t} \dots\dots\dots (2.63)$$

$$Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \dots\dots\dots (2.64)$$

$$\lambda = \frac{Q}{W} \rightarrow W = 1000 h \times A \dots\dots\dots (2.65)$$

h = *excess rainfall* dalam mm

$$a = 1,32 \lambda^2 + 0,15 \lambda + 0,045 \dots\dots\dots (2.66)$$

Rumus Snyder sudah banyak digunakan di Indonesia dengan merubah koefisienkoefisiennya, karena dalam pengujiannya untuk beberapa sungai di Pulau Jawa ternyata menunjukkan penyimpangan yang besar, baik dalam besaran waktu puncak (*time to peak*) maupun debit puncak (Harto, 1993). Hal ini dapat dipahami karena memang cara ini mengandung beberapa koefisien empirik yang dikembangkan di daerah Appalachian di Amerika yang kurang sesuai dengan keadaan di Indonesia.

2.6 Limbah Pemukiman

Debit Air Limbah Buangan adalah semua cairan yang dibuang, baik yang mengandung kotoran manusia maupun yang mengandung sisa-sisa proses industri.

Air Buangan dapat dibagi menjadi 4 golongan, yaitu:

1. Air Kotor : Air buangan yang berasal dari kloset, peturasan, bidet dan air buangan yang mengandung kotoran manusia yang berasal dari alat-alat plambing.
2. Air Bekas: Air buangan yang berasal dari alat-alat plambing lainnya seperti bak mandi, baik cuci tangan, bak dapur dan lain-lain.
3. Air Hujan: Air buangan yang berasal dari atap bangunan, halaman dan sebagainya.
4. Air Buangan Khusus: Air buangan yang mengandung gas, racun atau bahan-bahan berbahaya seperti berasal dari pabrik, air buangan laboratorium, tempat pengobatan, tempat pemeriksaan di rumah sakit, rumah pemotongan hewan, air buangan yang bersifat radioaktif yang dibuang dari pusat Listrik Tenaga Nuklir.

Debit air limbah rumah tangga didapat dari 60% - 70% suplai air bersih setiap orang, diambil debit limbah rumah tangga 70% dan sisanya dipakai pada proses industri, penyiraman kebun-kebun dal lain-lain

Besarnya air limbah buangan dipengaruhi oleh:

1. Asumsi jumlah orang setiap rumah 6 orang
2. Asumsi kebutuhan air bersih rata-rata tiap orang untuk perumahan 100 – 200 l/orang/hari = 150 l/org/hari
3. Asumsi kebutuhan air bersih rata-rata tiap orang untuk sarana ibadah (masjid) = 20 l/orang/hari
4. Faktor puncak (Fp) diperoleh berdasarkan jumlah penduduk.

Air limbah rumah tangga didapat berdasarkan kebutuhan air bersih dan diambil 70%, sisanya dipakai pada proses industri, penyiraman kebun, dan lain-lain.

Q rata-rata = (70% x Konsumsi Air Bersih/orang x Jumlah Penduduk x Fp) liter/hari

$$Q_{a\ k} = \frac{Q\ k\ L\ /d}{1\ \frac{m^3}{l}\times(2\ j\ a\ \times 6\ m\ \times 6\ d\)\frac{d}{h}} \quad (m^3/detik) \dots\dots\dots (2.68)$$

2.7 Kapasitas Saluran

Pada tahap awal analisa diasumsikan bahwa yang terjadi adalah aliran seragam. Analisa untuk menghitung kapasitas saluran, dipergunakan persamaan kontinuitas dan rumus Manning, yaitu:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (2.69)$$

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.70)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.71)$$

dimana:

Q = debit / debit saluran (m³/det)

A = luas penampang basah saluran (m²)

V = kecepatan rata-rata (m/det)

n = koefisien kekasaran saluran

R = jari-jari hidrolis (m)

S = kemiringan memanjang saluran

P = keliling basah saluran (m)

Kecepatan Pengaliran

Penentuan kecepatan aliran air didalam saluran yang direncanakan didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar kontruksi saluran tetap aman.

Persamaan Manning :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots (2.72)$$

dimana:

V = kecepatan aliran

n = koefisien kekasaran Manning

R = jari-jari hidrolis

S = kemiringan memanjang saluran

Untuk desain dimensi saluran tanpa perkerasan, dipakai harga n Manning normal atau maksimum, sedangkan harga n Manning minimum hanya dipakai untuk pengecekan bagian saluran yang mudah terkena gerusan. Harga n Manning tergantung hanya pada kekasaran sisi dan dasar saluran.

Kemiringan Talud

Kecepatan maksimum ditentukan oleh kakasaran dinding dan dasar saluran. Untuk saluran tanah V = 0,7 m/det, pasangan batu kali V = 2 m/det dan pasangan beton V = 3 m/det. Kecepatan minimum yang diizinkan adalah kecepatan paling rendah yang akan mencegah pengendapan dan tidak

menyebabkan berkembangnya tanaman-tanaman air. Kecepatan maksimum dan minimum saluran juga ditentukan oleh kemiringan talud saluran (*Permen PU No. 12/PRT/M/2014*)

Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah ketinggian yang diukur dari permukaan air maksimum sampai permukaan tanggul saluran atau muka tanah. Tinggi jagaan harus diperhitungkan untuk mencegah meluapnya air ke tepi saluran.

Tabel 2.13 Tinggi Jagaan untuk Saluran Pasangan

Debit (m ³ /det)	F (m)
< 0,5	0,20
0,5 – 1,5	0,20
1.5 – 5.0	0,25
5,0 – 10,0	0,30
10,0 – 15,0	0,40
> 15,0	0,50

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi

2.8 Hidrolika

Zat cair dapat diangkut dari suatu tempat lain melalui bangunan pembawa alamiah maupun buatan manusia. Bangunan pembawa ini dapat terbuka maupun tertutup bagian atasnya. Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka bagian atasnya disebut saluran terbuka (*open channels*).

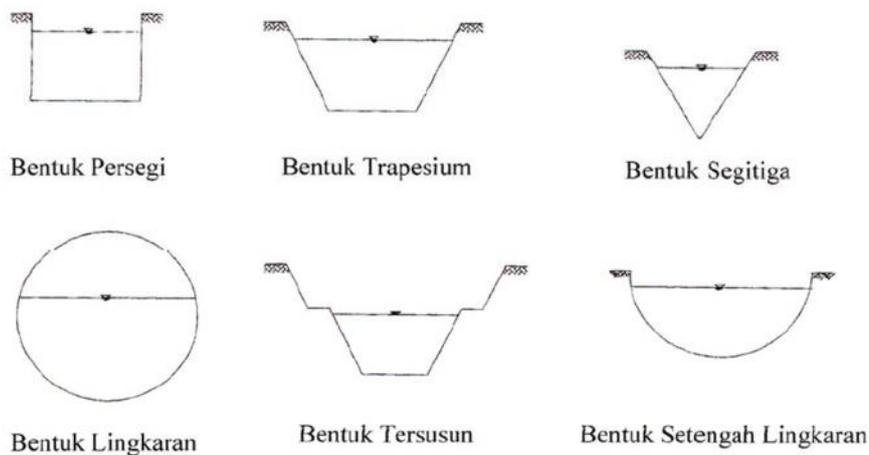
Pada sistem pengaliran melalui saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (*free surface*) di mana permukaan bebas ini dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung, saluran terbuka umumnya digunakan pada lahan yang masih memungkinkan (luas), lalu lintas pejalan kakinya relatif jarang, beban kiri dan kanan saluran relatif ringan. Pada sistem pengaliran melalui saluran tertutup (pipa flow) seluruh pipa diisi dengan air sehingga tidak terdapat permukaan yang bebas, oleh karena itu permukaan tidak secara langsung dipengaruhi oleh tekanan udara luar, saluran tertutup umumnya digunakan pada daerah yang lahannya terbatas (pasar, pertokoan), daerah yang lalu lintas pejalan kakinya relatif padat, lahan yang dipakai untuk lapangan parkir.

Berdasarkan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasarnya saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Saluran prismatic (*prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya tetap.
Contoh : saluran drainase, saluran irigasi.
2. Saluran non prismatic (*non prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya berubah-ubah.
Contoh : sungai.

Aliran pada saluran terbuka terdiri dari saluran alam (*natural channel*), seperti sungai-sungai kecil di daerah hulu (pegunungan) hingga sungai besar di muara, dan saluran buatan (*artificial channel*), seperti saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk supply air minum, dan saluran banjir.

Saluran buatan dapat berbentuk segitiga, trapesium, segi empat, bulat, setengah lingkaran, dan bentuk tersusun (Gambar 2.18).



Gambar 2.16 Bentuk-bentuk Profil Saluran

Sumber: Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan

2.9.1 Dimensi Saluran

1. Bentuk Saluran yang Paling Ekonomis

a) Penampang Berbentuk Persegi yang Paling Ekonomis

Jika B adalah lebar dasar saluran dan h adalah kedalaman air (Gambar 2.5), luas penampang basah, A, dan keliling basah, P, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A = B \times h \dots\dots\dots (2.73)$$

$$P = B + 2h \dots\dots\dots (2.74)$$

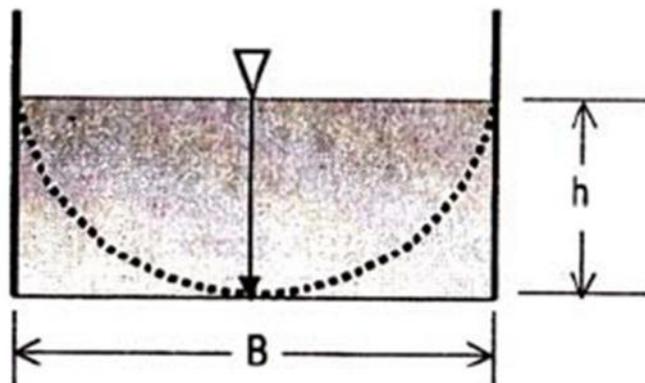
$$B = 2h \text{ atau } h = \frac{B}{2} \dots\dots\dots (2.75)$$

Jari-jari hidraulik R:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{B \times h}{B + 2} \dots\dots\dots (2.76)$$

Bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika:

$$h = \frac{B}{2} \text{ atau } R = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (2.77)$$



Gambar 2.17 Penampang Persegi Panjang

Sumber: Soemarto, 1987

b) Penampang Berbentuk Trapesium yang Paling Ekonomis

Saluran dengan penampang melintang bentuk trapesium dengan lebar dasar B, kedalaman aliran h, dan kemiringan dinding 1: m (Gambar 2.6), luas penampang melintang A dan keliling basah P, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = (B + mh)h \dots\dots\dots (2.78)$$

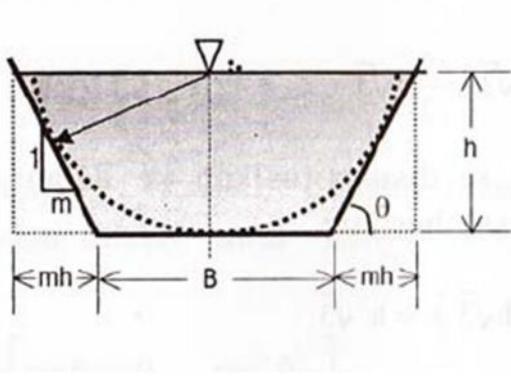
$$P = B + 2h\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots (2.79)$$

$$P = B - 2h\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots (2.80)$$

atau

$$B = \frac{2}{3}h\sqrt{3} \dots\dots\dots (2.81)$$

$$A = h^2\sqrt{3} \dots\dots\dots (2.81)$$



Gambar 2.18 Penampang trapezium

Sumber: Soemarto, 1987

Penampang trapesium yang paling efisien adalah jika:

$$m = (1/\sqrt{3}), \text{ atau } = 60^\circ \dots\dots\dots (2.82)$$

Tabel 2.14 Unsur-Unsur Geometris Penampang Saluran

Penampang	Luas (A)	Keliling Basah (K)	Jari-jari Hidrolis (R)	Lebar Puncak (T)	Kedalaman Hidrolis (D)	Faktor Penampang (Z)
 Persegi	$B \times h$	$B + 2h$	$\frac{B \times h}{B + 2h}$	B	h	$Bh^{1.5}$
 Trapesium	$(B \times zh)h$	$B + 2h\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(B \times zh)h}{B + 2h\sqrt{1 + z^2}}$	$B \times 2zh$	$\frac{(B \times zh)h}{B \times 2zh}$	$\frac{[(B \times zh)h]^{1.5}}{\sqrt{B \times 2zh}}$

Sumber: Soemarto, 1987

2. Dimensi Saluran

Perhitungan dimensi saluran didasarkan pada debit harus ditampung oleh saluran (Q_s dalam m^3/det) lebih besar atau sama dengan debit rencana yang diakibatkan oleh hujan rencana (Q_T dalam m^3/det). Kondisi demikian dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Q_s \geq Q_T \dots\dots\dots (2.83)$$

Debit yang mampu ditampung oleh saluran (Q_s) dapat diperoleh dengan rumus seperti di bawah ini:

$$Q_s = A \times V \dots\dots\dots (2.84)$$

dimana:

A_s = luas penampang saluran (m^2)

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

Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran dapat dihitung dengan menggunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.85)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.86)$$

dimana:

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

n = Koefisien kekasaran Manning (Tabel 2.9)

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

A_s = luas penampang saluran (m^2)

P = Keliling basah saluran (m)

Nilai koefisien kekasaran Manning n , untuk gorong-gorong dan saluran pasangan dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.15 Koefisien Kekasaran *Manning*

Tipe Saluran	Koefisien Manning (n)
a. Baja	0,011 – 0,014
b. Baja permukaan Gelombang	0,021 – 0,030
c. Semen	0,010 – 0,013

d. Beton	0,011 – 0,015
e. Pasangan batu	0,017 – 0,030
f. Kayu	0,010 – 0,014
g. Bata	0,011 – 0,015
h. aspal	0,013

Sumber: Wesli, 2008, Drainase Perkotaan: 97

Nilai kemiringan dinding saluran diperoleh berdasarkan bahan saluran yang digunakan. Nilai kemiringan dinding saluran dapat dilihat pada Tabel 2.15

Tabel 2.16 Nilai Kemiringan Dinding Saluran Sesuai Bahan

Bahan Saluran	Kemiringan dinding (m)
Batuan/ cadas	0
Tanah lumpur	0,25
Lempung keras/ tanah	0,5 – 1
Tanah dengan pasangan batuan	1
Lempung	1,5
Tanah berpasir lepas	2
Lumpur berpasir	3

Sumber: ISBN: 979 – 8382 – 49 – 8

2.9.2 Bangunan Pelengkap (Gorong-gorong)

Gorong-gorong adalah saluran tertutup yang digunakan untuk mengalirkan air melewati jalan raya, rel kereta api, atau timbunan lainnya. Gorong-gorong biasanya dibuat dari beton, alumunium gelombang, baja gelombang dan lainnya. Penampang gorong-gorong berbentuk bulat, persegi, oval, tapal kuda, dan segitiga. Untuk menghitung sebuah gorong-gorong biasa menggunakan rumus sebagai berikut :

$$d = 0,81D \dots\dots\dots(2.87)$$

Keterangan:

A = Luas penampang gorong-gorong (m²)

D = Diameter gorong-gorong (m)

2.9 Indeks Kinerja

2.9.1 Umum

Kinerja sistem jaringan drainase adalah bagaimana hasil sistem drainase yang sudah dibangun dapat mengatasi permasalahan genangan. Berdasarkan rencana induk penyusunan sistem jaringan drainase perkotaan yang harus diperhatikan dalam perencanaan sistem jaringan drainase adalah aspek teknis, aspek operasi pemeliharaan, dan aspek pengelolaan (Ditjen Tata Perkotaandan Tata Perdesaan, 2003).

Penilaian kinerja sistem drainase dilakukan dengan memberi bobot dan penilaian terhadap masing-masing indikator atau sub indikator. Bobot diperoleh dari hasil modifikasi. Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum, penilaian terhadap kinerja sistem drainase ditinjau dari dua aspek yaitu aspek non fisik dengan bobot 40 dan fisik dengan bobot 60.

Pada penelitian ini penilaian indikator fisik dinilai dengan menggunakan metode pembobotan yang sama pada penelitian Diah Pitaloka (2013) dan Vadlon (2011) dan aspek yang dikaji untuk penilaian sistem drainase adalah aspek fisik, sehingga total bobot awal sebesar 60 dimodifikasi menjadi 100. Data fisik prasarana yang awalnya mempunyai bobot sebesar 24 dimodifikasi menjadi 40 dengan cara membagikan bobot awal sebesar 24 dengan total bobot awal sebesar 60 kemudian mengalikan hasil tersebut dengan 100. Hal yang sama juga dilakukan untuk setiap indikator.

Berikut adalah salah satu contoh perhitungan bobot sub indikator sistem drainase. Bobot awal untuk sub indikator sistem drainase pada peraturan dari Kementerian Pekerjaan Umum sebesar 6 kemudian dimodifikasi dengan cara membagikan bobot awal sebesar 6 dengan total bobot awal data fisik prasarana sebesar 24 kemudian mengalikannya dengan total bobot data fisik prasarana yang telah dihitung sebesar 40 sehingga dihasilkan bobot modifikasi sub indikator sistem drainase sebesar 10. Hal yang sama juga dilakukan untuk mendapatkan bobot modifikasi pada sub indikator lainnya. Untuk mengetahui kinerja sistem drainase adalah dengan cara menghitung total pengalian bobot dengan nilai. Nilai akhir (bobot x nilai) keseluruhan akan mempunyai besaran 0 - 10000 per segmen. Agar diperoleh nilai yang lebih optimal penilaian kinerja sistem drainase dibagi per segmen yaitu per 100 m dari 1,5 km saluran primer. Adapun keterangan untuk nilai adalah sebagai berikut.

- a. kurang apabila nilai 60.

- b. cukup apabila nilai berkisar antara 61 – 80.
- c. baik apabila nilai berkisar antara 81 – 90.
- d. sangat baik apabila diperoleh nilai > 90.

Untuk kriteria penilaian yakni nilai maksimal bobot x nilai = 10000

- a. Sangat baik apabila > 9100
- b. Baik apabila 8100-9000
- c. Cukup apabila 6100-8000
- d. Kurang apabila 6100

2.9.2 Komponen Penilaian Jaringan Drainase dan Pembobotan

Bobot setiap komponen jaringan drainase disusun dengan menggunakan cara yang sama sebagaimana penyusunan bobot komponen irigasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.16

Rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai akhir, yakni:

$$\text{Indek Kinerja Fisik} = \text{Bobot} \times \text{Nilai} \dots\dots\dots 2.88$$

Tabel 2.17 Bobot Komponen Drainase

No.	Indikator atau Sub Indikator	Bobot
A.	Data Fisik Prasarana	40
	1. Sistem Drainase	11.75
	2. Bangunan Penunjang	9.75
	3. Waduk atau Kolam Retensi atau Tandon	9.75
	4. Rumah Pompa dan Kelengkapannya	0
	5. Resapan (sumur, saluran, bidang)	8.75
B.	Fungsi Prasarana Sistem Drainase	40
	6. Berfungsinya Saluran	11.4
	7. Berfungsinya Bangunan Penunjang	8.4
	8. Berfungsinya Waduk atau Kolam Retensi atau Tandon	9.4
	9. Berfungsinya Rumah Pompa dan Kelengkapannya	0
	10. Saluran Drainase tidak menjadi tempat pembuangan sampah	6.4
11. Saluran Drainase tidak menjadi tempat penyaluran air limbah yang tidak terolah	4.4	
C.	Kondisi Operasi dan Pemeliharaan Prasarana	20

	12. Dilaksanakan Operasi dan Pemeliharaan Sistem Saluran	10
	13. Dilaksanakan Operasi dan Pemeliharaan Bangunan Penunjang	5
	14. Dilaksanakan Operasi dan Pemeliharaan Waduk atau Kolam Retensi atau Tandon, Rumah Pompa dan kelengkapannya serta fasilitas resapan air (skala besar)	5

Sumber: Desain Kriteria Penilaian Jaringan Drainase (Vadlon, 2011)

Kondisi Fisik Prasarana dihitung dengan (Vadlon, 2011):

$$KFP = Ksd + Kbp + Kwrt + Kp + Kr \dots \dots \dots (2.88)$$

dengan:

- KFP = Kondisi Fisik Prasarana (40),
- Ksd = Kondisi sistem drainase (11,75),
- Kbp = Kondisi Bangunan Penunjang (9,75)
- Kwrt = Kondisi waduk, atau kolam retensi atau tandon (9,75),
- Kp = Kondisi rumah pompa dan kelengkapannya (0),
- Kr = Kondisi resapan (8,75),

Kondisi Fungsi Prasarana Sistem Drainase dihitung dengan:

$$KFPSD = Kbs + Kbbp + Kbwrt + Kbp + Ks + Kl \dots \dots \dots (2.89)$$

dengan:

- KFPSD = Kondisi Fungsi Prasarana Sistem Drainase (40),
- Kbs = Berfungsinya Saluran (11,4),
- Kbbp = Berfungsinya Bangunan Penunjang 1 (8,4),
- Kbwrt = Berfungsinya Waduk atau Kolam Retensi atau Tandon (9,4),
- Kbp = Berfungsinya Rumah Pompa dan Kelengkapannya (0).
- Ks = Saluran tidak menjadi tempat pembuangan sampah (6,4),
- Kl = Saluran tidak menjadi tempat penyaluran air limbah yang tidak terolah (4,4),

Kondisi Operasi dan Pemeliharaan Prasarana dihitung dengan:

$$KOPP = Kdops + Kdopb + Kdopwrt \dots \dots \dots (2.90)$$

dengan:

KOPP	= Kondisi Operasi dan Pemeliharaan Prasarana (20),
Kdops	= Dilaksanakan Operasi dan Pemeliharaan Sistem Saluran (10),
Kdopb	= Dilaksanakan Operasi dan Pemeliharaan Bangunan (5),
Kdopwrt	= Dilaksanakan Operasi dan Pemeliharaan Waduk atau Kolam Retensi atau Tandon, Rumah Pompa dan kelengkapannya serta fasilitas resapan air (skala besar) (5),

2.9.3 Identifikasi dan Analisis Tingkat Kerusakan

Rekomendasi didasarkan pada identifikasi dan analisis tingkat kerusakan jaringan drainase dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12 /PRT/M/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12 /PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan Pasal 22. Berdasarkan hasil inventarisasi dilakukan survey identifikasi permasalahan dan kebutuhan pemeliharaan secara partisipatif, dan dibuat suatu rangkaian rencana aksi yang tersusun dengan skala prioritas serta uraian pekerjaan pemeliharaan. Dalam menentukan kriteria pemeliharaan dilihat dari kondisi kerusakan fisik jaringan drainase. Pada hakekatnya pemeliharaan jaringan drainase yang tertunda akan mengakibatkan kerusakan yang lebih parah dan memerlukan rehabilitasi lebih dini. Klasifikasi kondisi fisik jaringan drainase sebagai berikut:

1. Kondisi baik jika tingkat kerusakan < 10 % dari kondisi awal bangunan/saluran dan diperlukan pemeliharaan rutin.
2. Kondisi rusak ringan jika tingkat kerusakan 10 – 20 % dari kondisi awal bangunan/saluran dan diperlukan pemeliharaan berkala yang bersifat perawatan.
3. Kondisi rusak sedang jika tingkat kerusakan 21 – 40 % dari kondisi awal bangunan/saluran dan diperlukan pemeliharaan yang bersifat perbaikan.
4. Kondisi rusak berat jika tingkat kerusakan > 40 % dari kondisi awal bangunan/saluran dan diperlukan perbaikan berat atau penggantian.

Hasil identifikasi dan analisa kerusakan merupakan bahan dalam penyusunan detail desain pemelihara