

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Teori-teori yang mendukung dasar pemahaman dalam penetapan sistem drainase diperlukan untuk mengevaluasi sistem drainase di suatu wilayah. Pada bab tinjauan pustaka ini akan terdapat tinjauan pustaka mengenai ketentuan umum dan rumus dasar yang dipakai untuk mengevaluasi suatu sistem drainase. Penerapan teori pada bab tinjauan pustaka ini berdasarkan teori yang disesuaikan dengan kondisi eksisting wilayah yang akan dievaluasi, seperti kondisi topografi, klimatologi, geologi, tata guna lahan, curah hujan, hidrogeologi, dan sebagainya. Selain itu, pada bab tinjauan pustaka ini juga akan memuat teori yang dibutuhkan dalam perencanaan sistem drainase dan kebutuhan rekomendasi yang dapat diterapkan seperti sumur resapan dan kolam retensi.

2.2. Drainase

2.2.1 Pengertian Drainase

Kata drainase berasal dari bahasa Inggris *drainage* yang berarti menguras, membuang, mengalirkan atau mengalirkan air. Sedangkan drainase secara umum diartikan sebagai suatu tindakan teknis untuk meminimalisir kelebihan air, baik yang berasal dari rembersan, air hujan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu daerah dan atau lahan sehingga fungsi kawasan tersebut tidak terganggu. Drainase dapat juga didefinisikan sebagai usaha untuk mengatur kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Oleh karena itu, drainase tidak hanya terkait air permukaan tetapi juga air tanah (Suripin, 2004).

2.2.2 Fungsi Drainase

Fungsi drainase adalah sebagai berikut (Hardjosuprasto, 1998) :

1. Mengendalikan akumulasi limpasan air hujan yang berlebihan dan manfaatkan sebesar-besarnya untuk imbuhan air tanah.
2. Mengelola kualitas air.

3. Mengeringkan daerah becek dan genangan air.
4. Mengendalikan erosi, kerusakan jalan, dan kerusakan infrastruktur.

Kiat drainase dulu adalah untuk membuang limpasan air hujan secepat mungkin dengan jalur sependek mungkin. Pada saat ini kiat drainase digolongkan menjadi 2 golongan, yaitu (Hardjosuprapto, 1998):

1. Tindakan yang sifatnya teknologis-higienis, yaitu dengan prinsip “Semua arus limpasan air hujan pada daerah awal aliran atau hulu yang belum mengganggu atau membahayakan dan belum mengganggu lingkungan se bisa mungkin diresapkan, dihambat, atau ditampung dalam kolam retensi sebagai sumber daya air permukaan dan imbuhan air tanah”. Dengan begitu dapat mengurangi erosi, arus limpasan ke daerah hilir dan mengurangi banjir.
2. Tindakan yang sifatnya biologis-ekologis, yaitu dengan menyediakan atau melestarikan daerah hijau sebagai daerah retensi dan peresapan air yang optimal.

2.2.3 Drainase Perkotaan

Sistem drainase perkotaan adalah sebagai salah satu sistem dalam perencanaan perkotaan salah satu sistem perencanaan perkotaan. Berikut beberapa arti dari drainase perkotaan (Hasmar, 2002):

1. Drainase perkotaan adalah sistem pengaliran air dan pengeringan dari daerah perkotaan yang meliputi pelabuhan udara, telekomunikasi, listrik, instalasi militer, lapangan parkir, lapangan olahraga, rumah sakit dan fasilitas umum, kampus dan sekolah, kawasan industri dan perdagangan dan permukiman.
2. Drainase perkotaan adalah ilmu drainase yang khusus mengkaji pada daerah perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan sosial-budaya yang ada di daerah kota.

Bangunan sistem drainase terdiri dari badan air penerima (*receiving water*), saluran induk (*main drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*) dan saluran penerima (*interceptor drain*). Selain itu di sepanjang sistem drainase sering dijumpai bangunan lainnya, seperti stasiun pompa, bangunan terjun, pelimpah, siphon, gorong-gorong (Suripin, 2004).

Beberapa syarat dalam perencanaan drainase dapat dilihat sebagai berikut :

1. Faktor ekonomi dan faktor keamanan harus dipertimbangkan dalam pemilihan dimensi dari fasilitas drainase
2. Agar fungsi fasilitas drainase sebagai penampung, pembagi dan pembuang air sepenuhnya berdaya guna dan hasil guna maka perencanaan drainase harus sedemikian rupa.
3. Segi kemudahan dan nilai ekonomis terhadap pemeliharaan sistem drainase harus diperhatikan dalam perencanaan sistem drainase. Dilakukan perhitungan debit aliran (Q) perhitungan dimensi serta kemiringan selokan dan gorong-gorong, rumus-rumus, tabel, grafik serta contoh perhitungan dalam merencanakan drainase permukaan jalan (SNI 03-3424 : Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, 1994).

2.2.4 Sistem Drainase Perkotaan

Standar dan sistem penyediaan drainase kota sistem penyediaan jaringan drainase terdiri dari empat macam, yaitu (Hasmar, 2002):

1. Sistem gabungan adalah sistem drainase dengan jaringan saluran pembuangan yang sama, baik untuk air limpasan atau air genangan yang telah diolah.
2. Sistem drainase utama adalah sistem drainase perkotaan yang sebagian besar melayani kepentingan warga masyarakat kota.
3. Sistem drainase lokal adalah sistem drainase perkotaan yang sebagian kecil melayani kepentingan warga masyarakat kota.

4. Sistem drainase terpisah adalah sistem drainase yang memiliki jaringan saluran pembuangan terpisah untuk air limpasan atau air permukaan.

2.2.5 Jaringan Drainase

Drainase mempunyai banyak jenis dan dapat dilihat dari berbagai aspek. Jenis-jenis saluran drainase dapat dibedakan sebagai berikut (Hasmar, 2002):

1. Menurut letak saluran drainase

Menurut letak saluran drainase, saluran drainase dibagi dalam beberapa bentuk, berikut ini bentuk saluran drainase menurut letak bangunannya :

- a. Drainase bawah permukaan tanah (*sub surface drainage*)

Drainase bawah permukaan tanah bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media dibawah permukaan tanah (pipa-pipa) karena alasan-alasan tertentu antara lain tuntutan artistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman dan lain-lain.

- b. Drainase permukaan tanah (*surface drainage*)

Drainase permukaan tanah adalah saluran yang berada diatas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan.

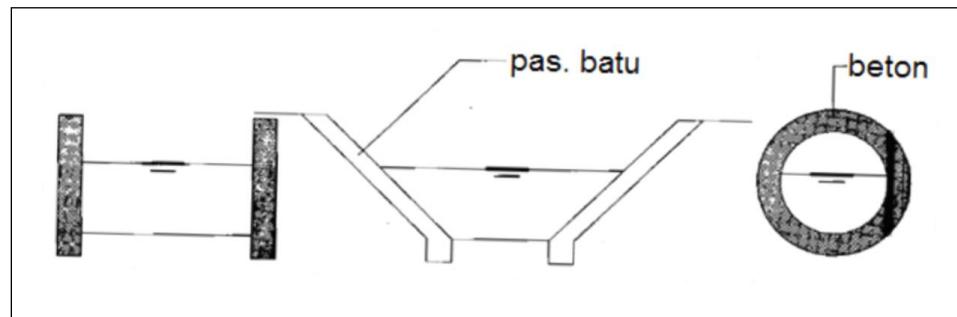
Analisis alirannya merupakan analisis *open channel flow*.

2. Menurut sejarah terbentuknya

Berikut ini adalah beberapa cara terbentuknya drainase menurut sejarah :

- a. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

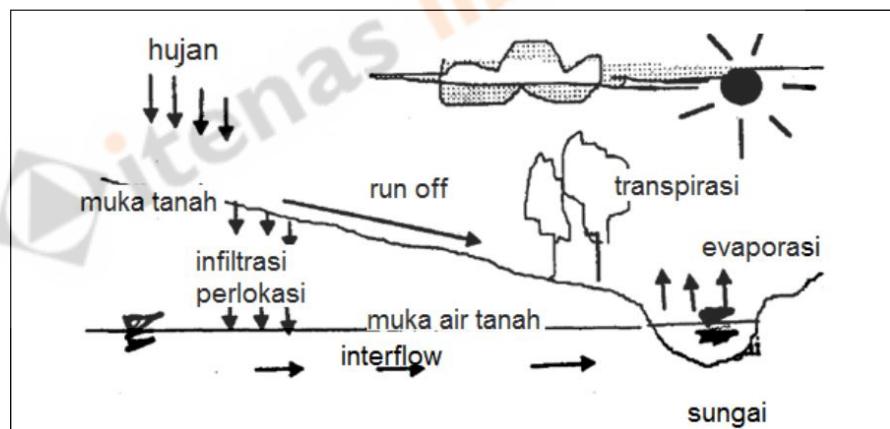
Drainase buatan dibuat dengan tujuan tertentu sehingga memerlukan bangunan-bangunan khusus seperti selokan pasangan batu / beton, gorong-gorong, pipa-pipa dan sebagainya. Gambar drainase buatan dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Drainase Buatan
(Sumber : Hasmar, 2012)

b. Drainase Alamiah (*Natural Drainage*)

Drainase alamiah adalah drainase yang terbentuk secara alami dan tidak terdapat bangunan-bangunan penunjang seperti gorong-gorong, pasangan batu/beton dan bangunan pelimpah dan lain-lain. Drainase alamiah ini terbentuk oleh gerusan air yang bergerak karena gravitasi yang lambat laun membentuk jalan air yang permanen seperti sungai.



Gambar 2.2. Drainase Alamiah Pada Saluran Air
(Sumber: Hasmar, 2012)

3. Menurut konstruksi

Jenis kontruksi drainase yang dibuat perlu diketahui terlebih dahulu dalam merancang sebuah drainase, berikut ini adalah jenis drainase menurut konstruksinya:

- a. Saluran tertutup, yakni saluran yang konstruksi bagian atasnya tertutup dan saluran ini tidak berhubungan dengan udara luar. Saluran ini sering

digunakan untuk aliran air kotor atau untuk saluran yang terletak di tengah kota.

- b. Saluran terbuka, yakni saluran yang konstruksi bagian atasnya terbuka dan berhubungan dengan udara luar. Saluran ini lebih sesuai untuk drainase hujan yang terletak di daerah yang mempunyai luasan yang cukup, ataupun drainase non-hujan yang tidak membahayakan kesehatan/ mengganggu lingkungan.
4. Menurut fungsi drainase

Drainase berfungsi mengalirkan air dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah, berikut ini jenis drainase menurut fungsinya :

a. *Multi Purpose*

Multi Purpose yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis air buangan baik secara bercampur maupun bergantian, misalnya mengalirkan air buangan rumah tangga dan air hujan secara bersamaan.

b. *Single Purpose*

Single Purpose yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan, misalnya air hujan saja atau jenis air buangan yang lain.

2.2.6 Sistem Jaringan Drainase Perkotaan

Sistem jaringan drainase perkotaan pada umumnya terdiri dari 2 bagian, yaitu sebagai berikut (Hasmar, 2002):

1. Sistem Drainase Mikro

Sistem drainase mikro adalah sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan hujan. Secara keseluruhan yang termasuk dalam sistem drainase mikro adalah saluran di sepanjang sisi jalan, saluran/selokan air hujan di sekitar bangunan, gorong-gorong, saluran drainase kota dan lain sebagainya dimana debit air yang dapat ditampungnya tidak terlalu besar. Sistem drainase untuk lingkungan permukiman lebih cenderung sebagai sistem drainase mikro.

Drainase mikro ini direncanakan untuk hujan dengan masa ulang 2, 5 atau 10 tahun tergantung pada tata guna lahan yang ada.

2. Sistem Drainase Mayor

Sistem drainase mayor yaitu sistem saluran atau badan air yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Sistem drainase mayor ini umumnya 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 atau sungai-sungai. Perencanaan drainase makro ini umumnya dipakai dengan periode ulang antara 5 sampai 10 tahun dan pengukuran topografi yang detail mutlak diperlukan dalam perencanaan sistem drainase ini.

2.2.7 Sarana Drainase Perkotaan

Sarana penyediaan sistem drainase perkotaan dan pengendalian banjir adalah diperlukan karena beberapa alasan sebagai berikut (Hasmar, 2002):

1. Memenuhi kebutuhan dasar (*basic need*) drainase bagi kawasan hunian dan kota.
2. Menunjang kebutuhan pembangunan (*development need*) dalam menunjang terciptanya skenario pengembangan kota untuk kawasan andalan dan menunjang sektor unggulan yang berpedoman pada Rencana Umum Tata Ruang Kota. Sedangkan arahan dalam pelaksanaannya adalah :
 - a. Mengalirkan air hujan ke badan sungai yang terdekat.
 - b. Memanfaatkan semaksimal mungkin saluran yang ada.
 - c. Pelaksanaannya tidak menimbulkan dampak sosial yang berat.
 - d. Jaringan drainase harus mudah pengoperasian dan pemeliharaannya.
 - e. Harus dapat diatasi dengan biaya ekonomis.
 - f. Dapat dilaksanakan dengan teknologi sederhana.
3. Penataan sistem jaringan drainase primer, sekunder dan tersier melalui normalisasi maupun rehabilitasi saluran guna menciptakan lingkungan yang

aman dan baik terhadap genangan, luapan sungai, banjir kiriman, maupun hujan lokal. Berdasarkan masing-masing jaringan dapat didefinisikan sebagai berikut :

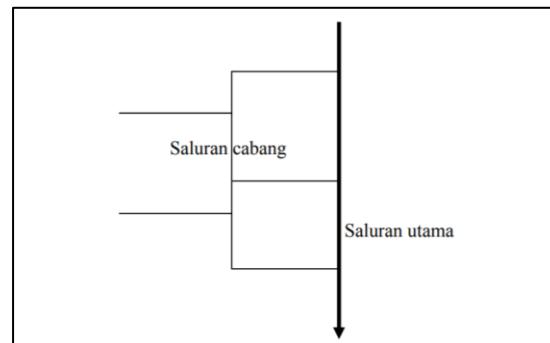
- a. Jaringan primer merupakan saluran yang memanfaatkan sungai dan anak sungai.
- b. Jaringan sekunder merupakan saluran yang menghubungkan saluran tersier dengan saluran primer (dibangun dengan beton/plesteran semen).
- c. Jaringan tersier merupakan saluran untuk mengalirkan ke saluran sekunder, berupa plesteran, pipa dan tanah.

2.2.8 Pola Jaringan Drainase

Pola jaringan drainase pada suatu kawasan atau wilayah tergantung dari topografi daerah dan tata guna lahan kawasan tersebut. Perencanaan sistem drainase suatu kawasan harus memperhatikan pola jaringan drainasenya. Adapun tipe atau jenis pola jaringan drainase sebagai berikut (Hasmar, 2002):

1. Jaring-jaring

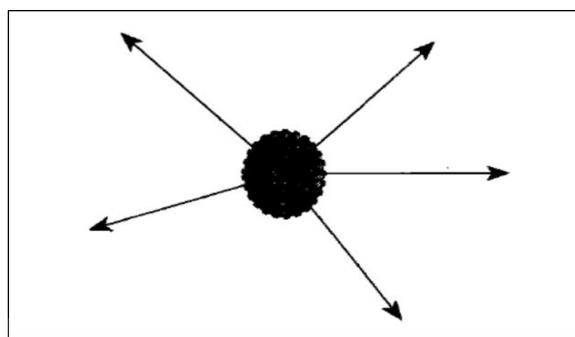
Pola jaringan drainase jaring-jaring memiliki saluran-saluran pembuangan yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar. Pola jaringan drainase jaring-jaring dapat dilihat pada **Gambar 2.3** sebagai berikut.



Gambar 2.3. Pola Jaringan-Jaring-Jaring
Sumber : Hasmar, 2012

2. Radial

Pola jaringan drainase radial ada pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah dan dapat dilihat pada **Gambar 2.4** sebagai berikut.

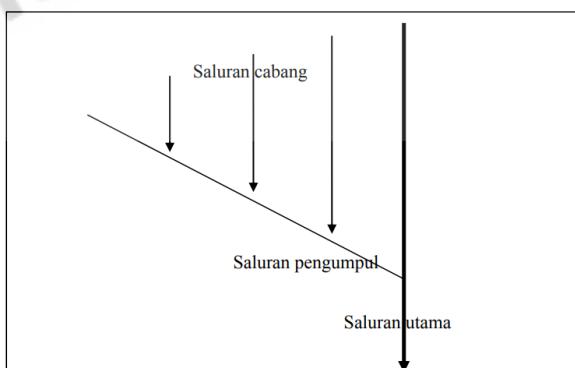


Gambar 2.4. Pola Jaringan Drainase Radial

Sumber : Hasmar, 2012

3. Grid Iron

Pola jaringan drainase *grid iron* diperuntukkan untuk daerah yang dimana sungainya terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dahulu pada saluran pengumpulan. Pola jaringan drainase *grid iron* dapat dilihat pada **Gambar 2.5** sebagai berikut.



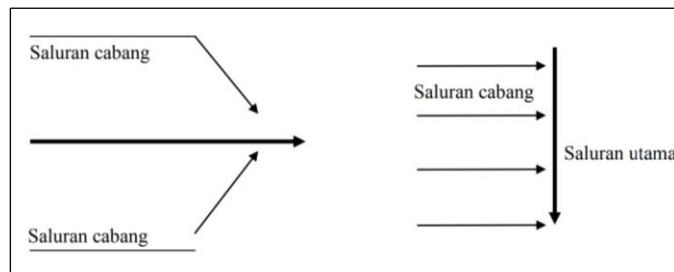
Gambar 2.5. Pola Jaringan Drainase *Grid Iron*

Sumber : Hasmar, 2012

4. Pararel

Pola jaringan drainase paralel saluran utamanya 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. Pola jaringan drainase pararel dapat dilihat pada **Gambar 2.6.** sebagai berikut.



Gambar 2.6. Pola Jaringan Drainase Pararel
Sumber : Hasmar, 2012

5. Siku

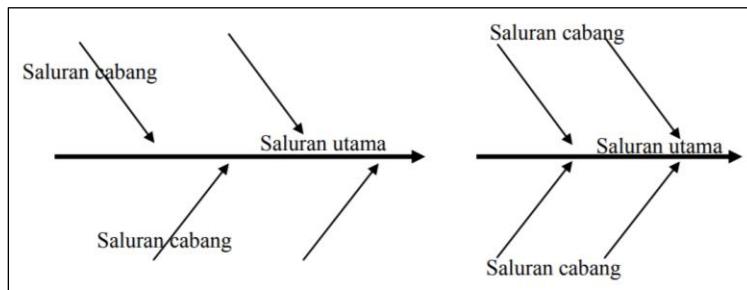
Pola jaringan drainase siku dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai saluran pembuang akhir berada akhir berada di tengah kota. Pola jaringan drainase siku dapat dilihat pada **Gambar 2.7.** sebagai berikut.



Gambar 2.7. Pola Jaringan Drainase Siku
Sumber : Hasmar, 2012

6. Alamiah

Pola jaringan drainase alamiah sama seperti pola jaringan drainase siku. Perbedaannya hanya pada beban sungai pada pola alamiah lebih besar yang lebih besar daripada pola siku. Pola jaringan drainase alamiah dapat dilihat pada **Gambar 2.8**



Gambar 2.8. Pola Jaringan Drainase Alamiah

Sumber : Hasmar, 2012

2.2.9 Faktor-Faktor Perencanaan Drainase

Dalam perencanaan sistem drainase terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhinya, seperti yang terlihat sebagai berikut (Hasmar, 2002):

1. Prinsip Pengaliran

Sistem drainase yang direncanakan dapat memberikan suatu hasil yang memuaskan atau sesuai dengan yang diharapkan dengan mempertimbangkan dan memperhatikan beberapa faktor sebagai berikut :

- Pada daerah tertentu dilengkapi oleh perlengkapan drainase. Untuk jenis perlengkapan drainase disesuaikan dengan kebutuhan yang meliputi *street inlet*, gorong-gorong, transition, terjunan, dll.
- Langkah untuk menghindari terjadinya penggerusan pada konstruksi saluran air hujan maka kecepatan aliran di saluran tidak boleh terlalu tinggi, serta tidak boleh terlalu rendah agar tidak terjadi pengendapan. Kemiringan saluran pada daerah yang kondisi permukaan tanahnya terjal maka dasar saluran drainase didasarkan atas kecepatan maksimum yang diijinkan, sedangkan untuk yang kemiringannya kecil diusahakan untuk mengikuti permukaan tanah. Daerah yang tanahnya relatif datar didasarkan atas kecepatan minimum yang diijinkan untuk terjadinya swa-bersih (*self cleansing*).
- Limpasan air hujan pada awal saluran hendaknya ditahan/disumbat agar kesempatan untuk terjadinya infiltrasi supaya maksimal, sehingga debit

limpasan ke hilir saluran dan dimensi saluran berkurang. Selain itu juga berfungsi untuk konservasi air tanah.

- d. Untuk menghindari terjadinya luapan (*over load*) pada saluran, air yang masuk ke saluran air hujan harus secepatnya mencapai badan air penerima.
- e. Membagi saluran menjadi beberapa kelas seperti :
 - Saluran Tersier ADAS ≤ 5 Ha, termasuk saluran tepi jalan.
 - Saluran Sekunder 5-100 Ha, termasuk saluran irigasi dan sungai kecil.
 - Saluran Primer > 100 Ha, untuk sungai yang besar dan merupakan badan air penerima.

2. Daerah Perencanaan

Daerah perencanaan merupakan luas wilayah yang direncanakan dan diperhitungkan untuk perancangan sistem drainase baik secara mikro maupun makro. Penentuan debit pengaliran pada daerah perencanaan dipermudah dengan membuat blok-blok daerah pelayanan sehingga penentuan dimensi seluruhnya dapat diketahui perhitungannya. Dalam penentuan blok pelayanan ini harus memperhatikan keadaan tinggi tanah, jalan-jalan yang ada, ruang yang tersedia, besarnya aliran alaminya, besar kontribusi daerah serta keseragaman dimensi saluran.

3. Parameter Dasar Sistem Perencanaan

Dalam menentukan arah jalur air hujan yang direncanakan terdapat batasan-batasan yang harus diperhatikan diantaranya sebagai berikut:

- a. Menghindari banyaknya perlintasan saluran pada jalan, sehingga menghindari penggunaan gorong-gorong.
- b. Pemanfaatan sungai atau anak sungai sebagai badan air penerima dari *outfall* yang direncanakan.
- c. Arah pengaliran dalam saluran sebaiknya mengikuti garis ketinggian, sehingga air yang dapat mengalir secara gravitasi, dengan demikin dapat menghindari pemompaan.

Dalam parameter tersebut diatas, terlihat bahwa faktor pembatas yang mempengaruhi adalah kondisi topografi setempat. Dari kondisi di atas, dikembangkan sistem dalam berbagai bentuk alternatif, dengan tidak melupakan segi teknis dan ekonomisnya.

4. Konservasi Air

Limpasan air hujan sebesar mungkin dihambat dan diresapkan sebagai sumber daya air tanah untuk mengurangi besarnya limpasan dan aliran permukaan yang dapat menyebabkan erosi maupun banjir di bagian hilir. Dengan kata lain air hujan yang jatuh diberikan waktu yang cukup untuk meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan air tanah. Hal tersebut dapat mengurangi akumulasi air hujan di daerah hilir saluran drainase. Beberapa usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi limpasan air hujan adalah sebagai berikut:

- a. Pada kemiringan lahan yang $< 2\%$ sebaiknya semua air hujan dalam setiap alur-alur saluran adalah merupakan limpahan-limpahan air dipermukaan air tanah. Jika air limpahan atap dikumpulkan dalam talang sebaiknya outletnya jangan disatukan. Dalam upaya memperbesar infiltrasi dan perkolasai, pada lahan yang kemiringannya sedang (2-7%) penggunaan lahan terbangun antara 40-50% dari total luas lahan, sehingga paling sedikit setengah lahan masih berupa ruang terbuka. Untuk lahan yang kemiringannya $< 2\%$ penggunaan lahan terbangun dapat diperbesar presentasinya.
- b. Pada lahan yang kemiringannya curam dan sedang, arah kemiringan bangunan/rumah dalam lahan dibuat berlawanan dengan arah kemiringan aslinya. Baik saluran koreksi persil maupun saluran *service* sedapat mungkin bagian dasarnya tidak diperkeras agar masih ada kemungkinan meresapnya air ke dalam tanah. Untuk mencegah terjadinya erosi sebaiknya dibuat saluran bertangga (*carsade*). Bangunan yang biasanya menampung air limpasan atap tidak usah dibuat kedap air. Dalam upaya memperbesar infiltrasi dan perkolasai,

pada lahan yang kemiringannya $> 7\%$ penggunaan lahan terbangun diperkecil konsentrasinya terhadap luas tanah total. Tanah kosong ini akan memberikan kesempatan air hujan untuk meresap.

Sistem peresapan buatan seperti sumur, bidang dan parit rembesan adalah salah satu alternatif yang dapat diusulkan untuk menangani masalah seperti bencana banjir yang banyak melanda daerah perkotaan serta masalah krisis air tanah yang terjadi pada waktu musim kemarau. Pembuatan sistem rembesan buatan dapat dipengaruhi beberapa hal, diantaranya :

- Kemiringan tanah
- Higrologi
- Hidrogeologi
- Luas bidang tanah
- Koefisien infiltrasi
- Jenis tanah,dll

2.2.10 Standar Perencanaan

Menurut Hasmar (2002), Standar dan sistem penyediaan drainase kota sistem penyediaan jaringan drainase terdiri dari empat macam, diantaranya :

1. Sistem gabungan merupakan sistem drainase yang mempunyai jaringan saluran pembuangan yang sama, baik untuk air genangan atau air limpasan yang telah diolah.
2. Sistem drainase lokal merupakan sistem drainase perkotaan yang melayani kepentingan sebagian kecil warga masyarakat kota.
3. Sistem drainase terpisah merupakan sistem drainase yang mempunyai jaringan saluran pembuangan terpisah untuk air permukaan atau air limpasan.
4. Sistem drainase utama merupakan sistem drainase perkotaan yang melayani kepentingan sebagian besar warga masyarakat kota.

Berdasarkan Permen PU RI Nomor 12 PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan pada Lampiran I, ketentuan-ketentuan

Institut Teknologi Nasional

umum yang harus dipenuhi dalam tata cara perencanaan sistem drainase adalah sebagai berikut:

1. Pembangunan sistem drainase harus berwawasan lingkungan;
2. Rencana induk sistem drainase perkotaan yang berwawasan lingkungan disahkan oleh instansi atau lembaga yang berwenang.
3. Pemerintah Daerah menyediakan alokasi ruang (*space*) untuk penempatan saluran drainase dan sarana drainase serta bangunan pelengkapnya;
4. Bangunan pelengkap yang dibangun pada saluran dan sarana drainase kapasitasnya minimal 10% lebih tinggi dari kapasitas rencana saluran dan sarana drainase;
5. Daerah perkotaan/permukiman yang elevasi muka tanahnya selalu lebih rendah daripada elevasi muka air sungai atau laut dapat dibangun sistem polder;
6. Rencana induk sistem drainase disusun dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:
 - a. Rencana pengelolaan sumber daya air

Rencana induk sistem drainase merupakan bagian dari rencana pengelolaan sumber daya air. Perencanaan sistem drainase harus dilaksanakan secara terintegrasi dengan pengelolaan sumber daya air agar dalam memberikan pelayanan dapat memberikan daya guna yang optimal.

b. Rencana umum tata ruang kota (RUTRK)

Untuk arahan perencanaan induk sistem drainase di daerah perkotaan yang mencakup perencanaan jangka panjang, jangka menengah dan angka pendek perlu memperhatikan Rencana Umum Tata Ruang Kota (RUTRK), dan dapat dilakukan peninjauan kembali Rencana Umum Tata Ruang Kota (RUTRK) untuk disesuaikan dengan keperluan dilapangan.

c. Tipologi kota/wilayah

Tipologi kota mempengaruhi beberapa aspek dalam sistem drainase perkotaan diantaranya yaitu luasan daerah tangkapan air dan besaran limpasan air yang terjadi. Kota metropolitan dan kota besar penduduknya padat dan daerah huniannya tidak mempunyai daerah resapan air, akibatnya limpasan hujan (*run off*) akan menjadi lebih besar. Besarnya kota maka akan semakin besar pula aktifitas perekonomiannya, apabila daerah itu aktifitasnya terhambat oleh adanya banjir/genangan, maka semakin besar pula kerugian ekonominya, oleh sebab itu kota metropolitan dan kota besar sebaiknya direncanakan mempunyai kejadian banjir/genangan dengan waktu kala ulang yang panjang.

d. Kondisi lingkungan, sosial, ekonomi, dan kearifan lokal

Partisipasi masyarakat yang berbasis pada kearifan lokal.

e. Konservasi air

Perencanaan sistem drainase harus memperhatikan kelestarian lingkungan hidup perkotaan terkait dengan ketersediaan air tanah maupun air permukaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya konservasi air agar ketersediaan air tanah dan air permukaan tetap terjaga.

2.3. Kriteria Hidrologis

Hidrologi adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang kehadiran gerakan air di alam yang meliputi berbagai bentuk air yang menyangkut perubahan antara lain adalah keadaan zat cair, padat dan gas dalam atmosfer di atas dan di bawah permukaan tanah, di dalamnya juga mencakup air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan kehidupan di bumi. Analisis hidrologi tidak hanya diperlukan dalam perencanaan berbagai bangunan air seperti, bendungan, bangunan pengendali banjir, dan bangunan irigasi, tetapi juga diperlukan untuk bangunan jalan raya, lapangan terbang, dan bangunan lainnya (Soemarto, 1995)

Dalam menyelesaikan persoalan drainase sangat berhubungan dengan aspek hidrologi khususnya masalah hujan sebagai sumber air yang akan di alirkan pada sistem drainase dan limpasan sebagai akibat tidak mampunya sistem drainase mengalirkan ke tempat pembuangan akhir. Desain hidrologi diperlukan untuk mengetahui debit pengaliran. Salah satu bentuk presipitasi yang terpenting di Indonesia adalah hujan (*rainfall*). Air laut yang menguap karena adanya radiasi matahari, dan awan yang terjadi oleh uap air, bergerak di atas daratan akibat adanya gerakan angin. Presipitasi yang terjadi karena adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, dapat berbentuk hujan atau salju yang jatuh ke tanah yang berbentuk limpasan (*runoff*) yang mengalir kembali ke laut. Curah hujan yang jatuh di atas permukaan daerah aliran sungai, selalu mengikuti proses yang disebut dengan “siklus hidrologi” (Soemarto, 1995).

Untuk mengevaluasi suatu sistem perencanaan drainase diperlukan perhatian pada kondisi hidrologi wilayah rencana. Kondisi hidrologi wilayah rencana memiliki pengaruh terhadap dimensi drainase rencana hingga sistem penyalurannya (Soemarto, 1995).

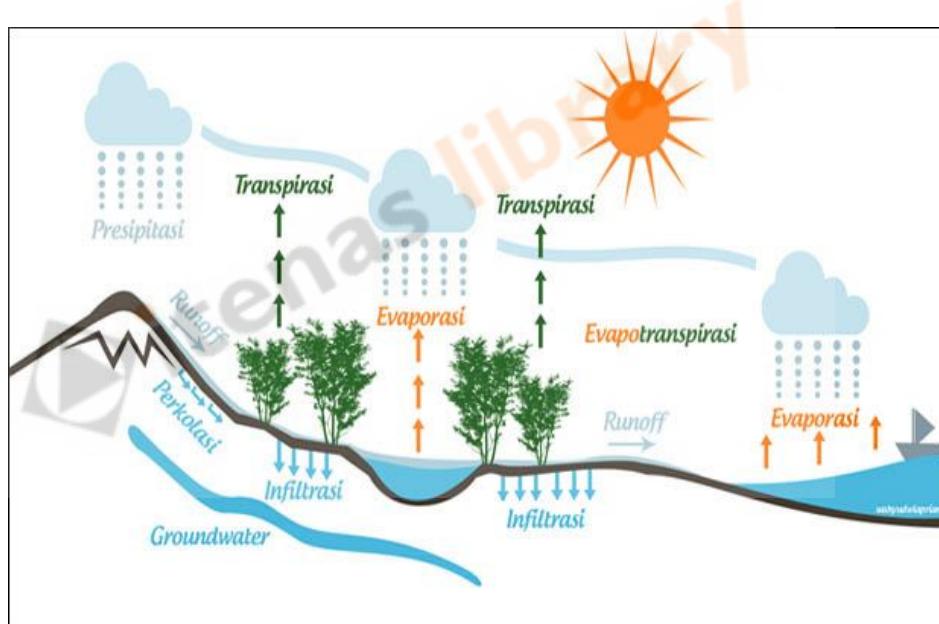
2.3.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan rangkaian proses yang terjadi dengan air yang terdiri dari penguapan, presipitasi, infiltrasi dan pengaliran keluar (*out flow*). Penguapan terdiri dari evaporasi dan transpirasi. Uap yang dihasilkan mengalami kondensasi dan dipadatkan membentuk awan yang nantinya kembali menjadi air dan turun sebagai presipitasi. Presipitasi tersebut sebagian langsung menguap ke udara, sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan sebagian mencapai permukaan tanah (Soemarto, 1995).

Air yang sampai ke permukaan tanah sebagian akan berinfiltasi dan sebagian lagi mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah kemudian mengalir ke tempat yang lebih rendah (*runoff*), masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Perjalannya sebagian akan mengalami penguapan. Air yang masuk ke dalam tanah sebagian akan keluar lagi menuju sungai yang disebut dengan aliran intra

(*interflow*). Sebagian akan turun dan masuk ke dalam air tanah yang sedikit demi sedikit dan masuk ke dalam sungai sebagai aliran bawah tanah (*groundwater flow*) (Soemarto, 1995).

Kaitannya dengan siklus hidrologi, dalam tingkat DAS parameter-parameter seperti evapotranspirasi, limpasan permukaan (*surface runoff*), infiltrasi, perkolasai, dan aliran air tanah akhirnya menjadi aliran sungai. Perencanaan suatu bangunan air yang berfungsi untuk pengendalian penggunaan air antara lain yang mengatur aliran sungai, pembuatan waduk-waduk dan saluran-saluran yang sangat diperlukan untuk mengetahui perilaku siklus yang saluran utama disebut dengan siklus hidrologi (Soemarto, 1995). Gambaran siklus hidrologi dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9. Siklus Hidrologi
Sumber: Hasmar, 2012

2.3.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah satu bagian permulaan analisis dalam perancangan bangunan-bangunan hidraulik. Informasi dan besaran-besaran yang diperoleh dalam analisis hidrologi merupakan masukan penting dalam analisis selanjutnya. Bangunan hidraulik dalam bidang teknik sipil dapat berupa gorong-gorong,

bendung, bangunan pelimpah, tanggul penahan banjir, dan sebagainya. Ukuran dan karakter bangunan-bangunan tersebut sangat tergantung dari tujuan pembangunan dan informasi yang diperoleh dari analisis hidrologi. Sebelum informasi yang jelas tentang sifat-sifat dan besaran hidrologi diketahui, hampir tidak mungkin dilakukan analisis untuk menetapkan berbagai sifat dan besaran hidrauliknya. Demikian juga pada dasarnya bangunan- bangunan tersebut harus dirancang berdasarkan suatu standar perancangan yang benar sehingga diharapkan akan dapat menghasilkan rancangan yang memuaskan (Soemarto, 1995).

Tujuan analisis data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadianya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik (Suripin, 2004).

Hujan merupakan komponen yang sangat penting dalam analisis hidrologi. Pengukuran hujan dilakukan selama 24 jam baik secara manual maupun otomatis, dengan cara ini berarti hujan yang diketahui adalah hujan total yang terjadi selama satu hari. Analisis digunakan curah hujan rencana, hujan rencana yang dimaksud adalah hujan harian maksimum yang akan digunakan untuk menghitung intensitas hujan, kemudian intensitas ini digunakan untuk mengestimasi debit rencana. Berbagai kepentingan perancangan drainase tertentu data hujan yang diperlukan tidak hanya data hujan harian, tetapi juga distribusi jam jaman atau menitan. Hal ini akan membawa konsekuensi dalam pemilihan data, dan dianjurkan untuk menggunakan data hujan hasil pengukuran dengan alat ukur otomatis. Perencanaan saluran drainase periode ulang (*return period*) yang dipergunakan tergantung dari fungsi saluran serta daerah tangkapan hujan yang akan dikeringkan.

Dalam kaitannya dengan analisis hujan, maka ada 5 besaran pokok yang perlu dikaji dan dipelajari, yaitu (Soemarto, 1995):

- a. Frekuensi, adalah frekuensi kejadian terjadinya hujan, biasanya dinyatakan dengan waktu ulang (T), misalnya sekali dalam T tahun.

- b. Lama waktu atau durasi (t), adalah lamanya curah hujan terjadi dalam menit atau jam.
- c. Luas, adalah daerah tangkapan curah hujan (A), dalam km^2
- d. Intensitas (i), adalah laju curah hujan yaitu tinggi air persatuan waktu, misalnya mm/menit , mm/jam , mm/hari .
- e. Tinggi hujan (d), adalah banyaknya atau jumlah hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm .

2.3.3 Analisis Data Curah Hujan

Dalam melakukan analisis data curah hujan terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan diantaranya :

2.3.3.1 Melengkapi Data Curah Hujan

Keadaan data curah hujan yang hilang dapat mengganggu kepentingan tertentu, misalnya pada saat terjadi banjir. Begitu pula data curah hujan pada satu atau beberapa stasiun pada saat yang bersamaan tidak tersedia karena berbagai penyebab. Keadaan seperti ini dapat merugikan bila data tersebut tidak tercatat pada saat keadaan yang dirasa tidak penting (Soewarno, 1995).

Analisis hidrologi memang tidak selalu diperlukan dalam pengisian data yang kosong atau hilang. Misalkan terdapat data kosong pada musim kemarau, sedangkan analisis data hidrologi tersebut menghitung debit banjir musim penghujan makan dirasa tidak perlu untuk melengkapi data pada periode kosong musim kemarau tersebut, tetapi untuk analisis kekeringan maka data kosong pada musim kemarau tersebut diusahakan untuk dilengkapi (Soewarno, 1995).

Data curah hujan yang hilang dapat diestimasi apabila disekitaranya terdapat stasiun penakar hujan (minimal 2 stasiun) yang lengkap datanya atau stasiun penakar yang datanya hilang diketahui hujan rata-rata tahunnya (Soewarno, 1995)..

Menghadapi keadaan ini, terdapat dua langkah yang dapat dilakukan yaitu:

1. Membiarakan saja data yang hilang tersebut, karena dengan cara apapun data tersebut tidak akan diketahui dengan tepat.

2. Bila dipertimbangkan bahwa data tersebut mutlak diperlukan maka perkiraan data tersebut dapat dilakukan dengan cara-cara yang dikenal.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung data curah hujan yang hilang yaitu metode rata-rata aljabar. Metode rata-rata aljabar adalah metode yang paling praktis digunakan untuk mencari data curah hujan yang hilang. Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun, stasiun yang digunakan dalam hitungan biasanya masih saling berdekatan (Soewarno, 1995).

$$p = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n}{n} \quad (\text{Persamaan 2. 1})$$

Keterangan:

p	= Curah hujan yang hilang
$p_1, p_2, p_3 \dots p_n$	= Hujan di stasiun 1,2,3,...,n
n	= Jumlah stasiun hujan

2.3.3.2 Curah Hujan Wilayah

Di suatu daerah terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai curah hujan areal. Cara dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada daerah tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat yaitu metode poligon thiessen (Soemarto, 1995).

Metode ini memberikan nilai bobot pada tiap stasiun dengan memberi batasan berupa poligon. Poligon pembatas ini dibuat dengan menarik garis berat atas garis yang menghubungkan setiap stasiun digunakan jika titik-titik pengamatan di dalam daerah kajian tidak tersebar merata. Metode ini mengabaikan efek topografi dan satu poligon mewakili oleh satu stasiun penakar hujan (Soemarto, 1995).

Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Walaupun belum dapat memberikan bobot yang tepat sebagai sumbangan satu stasiun hujan untuk hujan

daerah, metode ini telah memberikan bobot tertentu kepada masing-masing stasiun sebagai fungsi jarak stasiun hujan. Curah hujan rata-rata dihitung dengan mempertimbangkan pengaruh tiap-tiap stasiun pengamatan, yaitu dengan cara menggambar garis tegak lurus dan membagi dua sama panjang garis penghubung dari dua stasiun pengamatan curah hujan di dalam dan sekitar wilayah yang bersangkutan (Soemarto, 1995)..

Metode poligon thiessen ini akan memberikan hasil yang lebih teliti daripada cara aritmatik, akan tetapi penentuan stasiun pengamatan dan pemilihan ketinggian akan mempengaruhi ketelitian hasil. Metode ini termasuk memadai untuk menentukan curah hujan suatu wilayah, tetapi hasil yang baik akan ditentukan oleh sejauh mana penempatan stasiun pengamatan hujan mampu mewakili daerah pengamatan. Metode ini cocok untuk daerah dataran dengan luas DAS 500-5.000 km² (Soemarto, 1995).

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata, pada metode ini stasiun hujan minimal yang digunakan untuk perhitungan adalah 3 stasiun hujan. Hitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun. Metode poligon thiessen banyak digunakan untuk menghitung hujan rata-rata kawasan. Metode Poligon Thiessen adalah tetap untuk suatu jaringan stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan pemindahan atau penambahan stasiun, maka harus dibuat lagi poligon yang baru (Triatmodjo, 2008).

Pembentukan Poligon Thiessen adalah sebagai berikut ini (Hardjosuprapto, 1998):

- Stasiun-stasiun hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang berdekatan;
- Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus (garis terputus) sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang kira-kira sama;
- Dibuat garis berat pada sisi-sisi segitiga seperti ditunjukkan dengan garis penuh;

- Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon;
- Luas tiap poligon diukur dan kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berada di dalam poligon. Jumlah dari hitungan pada butir e untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut.

Cara ini selain memperhatikan tebal hujan dan jumlah stasiun, juga memperkirakan luas wilayah yang diwakili oleh masing-masing stasiun untuk digunakan sebagai salah satu faktor dalam menghitung hujan rata-rata daerah yang bersangkutan. Poligon dibuat dengan cara menghubungkan garis-garis berat diagonal terpendek dari para stasiun hujan yang ada. Cara ini bardasar rata-rata timbang (*weighted average*). Metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena lebih teliti dan obyektif dibanding metode lainnya, dan dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatan yang tidak merata. Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobotan atau Koefisien Thiessen. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya Koefisien Thiessen tergantung dari luas daerah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh poligon-poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung stasiun. Setelah luas pengaruh tiap-tiap stasiun didapat, maka Koefisien Thiessen dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini, rumus yang digunakan (Hardjosupranto, 1998):

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + A_3R_3 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (\text{Persamaan 2. 2})$$

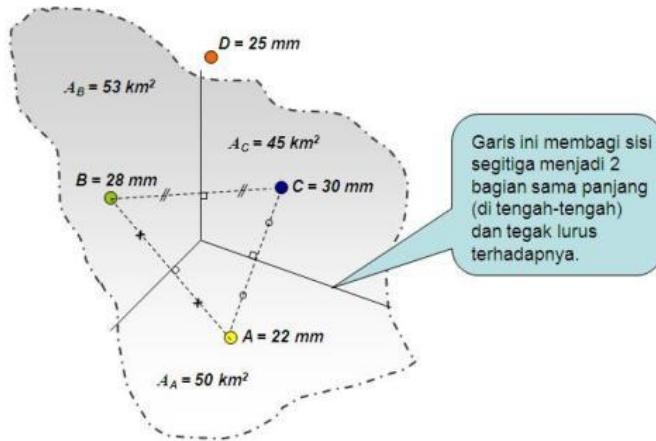
Keterangan :

A = luas areal

R = tinggi curah hujan di pos 1,2,3, ...n

R_1, R_2, \dots, R_n = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,3,...n

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah di areal 1,2,3,...n



Gambar 2.10. Penentuan dengan Metode Polygon Thiessen

Sumber: Hardjosuprapto, 1998

2.3.3.3 Uji Konsistensi

Menurut Soewarno (1995), data curah hujan yang diperlukan untuk analisis disarankan minimal 25 tahun dengan waktu yang beruntutan. Data itu harus tidak mengandung kesalahan dan harus dicek sebelum digunakan untuk analisis hidrologi lebih lanjut. agar tidak mengandung kesalahan (*error*) dan tidak mengandung data kosong (*missing record*). Oleh karena itu harus dilakukan pengecekan kualitas data (*data quality control*). Beberapa kesalahan yang mungkin terjadi dapat disebabkan oleh faktor manusia, alat dan lokasi, seperti perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrologis, pemindahan tempat stasiun pengukur hujan atau pemindahan alat pengukur, dan perubahan cara pengukur. Bila terjadi kesalahan maka data itu dapat disebut tidak konsisten (*inconsistency*). Uji konsisten berarti menguji kebenaran data. Data hujan disebut konsisten berarti data yang terukur dan dihitung adalah teliti dan benar serupa sesuai dengan fenomena saat hujan itu terjadi.

Satu seri data hujan untuk satu stasiun tertentu memungkinkan memiliki sifat yang tidak konsisten (*Inconsistency*). Data semacam ini tidak dapat langsung dianalisis, karena sebenarnya data didalamnya berasal dari populasi data yang berbeda. Tidak konsistensinya data kumulatif rata-rata curah hujan pada stasiun-stasiun pembanding dapat terjadi yang disebabkan oleh:

- Perubahan ekosistem terhadap iklim secara drastis misalnya akibat kebakaran ataupun pembakaran liar, dan;
- Situasi lokasi penempatan alat ukur mengalami perubahan;
- Alat ukur yang diganti atau dipindahkan dari tempatnya;
- Kesalahan ekosistem observasi pada sekumpulan data akibat posisi atau cara pemasangan alat ukur yang tidak baik (Soewarno, 1995).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli, data curah hujan akan memiliki kecenderungan untuk menuju suatu gambaran tertentu yang biasa disebut dengan pola/trend. Data yang menunjukkan perbedaan dari pola atau trend yang ada disarankan untuk tidak digunakan. Analisis hidrologi harus mengikuti trend, dan jika terdapat perubahan harus dilakukan koreksi. Untuk melakukan pengecekan pola atau trend tersebut dilakukan dengan menggunakan teknik kurva massa ganda, yang menggunakan prinsip bahwa setiap pencatatan data yang berasal dari populasi yang sekandung akan memberikan pola yang konsisten sedangkan yang tidak sekandung akan tidak konsisten, dan akan menimbulkan penyimpangan pola/trend (Soewarno, 1995).

Prinsip dasar metode kurva massa ganda adalah sebagai berikut:

1. Sejumlah stasiun tertentu dalam wilayah iklim yang sama diseleksi sebagai stasiun dasar (pembanding). Rata-rata aritmetik dari semua stasiun dasar dihitung untuk setiap metode yang sama. Rata-rata hujan tersebut diakumulasikan mulai dari periode awal pengamatan
2. Kemudian diplotkan titik-titik akumulasi rata-rata stasiun utama dan stasiun dasar sebagai kurva massa ganda. Pada kurva massa ganda, titik-titik yang tergambar selalu berdeviasi sekitar garis rata-rata, dan hampir merupakan garis lurus. Bila ada penyimpangan yang terlalu jauh dari garis lurus tersebut maka mulai dari titik ini selanjutnya pengamatan dari stasiun yang ditinjau akan tidak akurat dengan kata lain data hujan curah hujan telah mengalami perubahan trend (Soewarno, 1995).

3. Koreksi yang digunakan untuk data yang mengalami perubahan trend tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_z = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

$$F_k = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} = \text{faktor koreksi}$$

Keterangan :

H_z = Curah hujan yang diperkirakan

$\tan \alpha$ = Slope sebelum perubahan

$\tan \alpha_0$ = Slope setelah perubahan

H_0 = Curah hujan hasil pengamatan

Dari pengujian kurva masa ganda (*double mass curve analysis*) tersebut dapat diketahui apakah terjadi perubahan lingkungan atau perubahan cara menakar. Jika hasil uji menyatakan data hujan disuatu stasiun konsisten berarti pada daerah pengaruh sistem tersebut tidak terjadi perubahan lingkungan dan tidak terjadi perubahan cara menakar selama pencatatan data tersebut dan sebaliknya (Soemarto, 1995).

Data hujan yang tidak konsisten dikarenakan adanya perubahan atau gangguan lingkungan di sekitar tempat penakar hujan dipasang, misalnya penakar hujan terlindung oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung tinggi, perubahan penakaran dan pencatatan, pemindahan letak penakar dan sebagainya, hal ini memungkinkan terjadinya penyimpangan terhadap *trend* semula. Hal ini dapat diselidiki dengan menggunakan lengkung massa ganda (Soemarto, 1995).

2.3.3.4 Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk melihat persebaran data yang paling tepat dari data-data curah hujan yang tersedia. Uji homogenitas dilakukan agar data-data curah hujan yang disebabkan oleh hujan buatan tidak diikutsertakan dalam perhitungan analisis frekuensi, karena akan menimbulkan ketidakhomogenan data curah hujan (Soemarto, 1995).

Berdasarkan analisis regional, data hujan dari beberapa stasiun yang diambil perlu dilakukan uji homogenitas. Uji homogenitas dilakukan dengan menerapkan metoda untuk menganalisis banjir atau hujan regional, yang juga digunakan (Soemarto, 1995).

Prinsip perhitungan ini adalah perhitungan secara statistik terhadap data dari beberapa stasiun hujan, dengan lama pengamatan tidak harus sama, yang dilakukan berdasarkan distribusi ekstrim. Range variasi pada standar deviasi dari *reduced variate* untuk perioda ulang 10 tahun adalah 95 %. Alasan dipilihnya perioda ulang 10 tahun dalam tes ini karena hal ini memiliki interval kejadian terpanjang yang dapat diandalkan (Soemarto, 1995).

Jika seluruh stasiun hujan setelah diplotkan dalam kurva tersebut, jika terletak di dalam lengkung pengontrol berarti seluruh stasiun tersebut dikatakan homogen, artinya untuk seluruh regional tersebut dapat diwakili dengan harga rata-rata dari seluruh stasiun tersebut. Sebaliknya jika ada stasiun yang berada di luar lengkung pengontrol, maka stasiun tersebut tidak homogen dengan stasiun lainnya, untuk keperluan analisis regional stasiun tersebut boleh diabaikan. Jika terjadi hal seperti itu disebabkan karena adanya perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrologis, pemindahan tempat stasiun pengukur hujan atau pemindahan alat pengukur, dan perubahan cara pengukuran (Soemarto, 1995).

Tabel 2. 1 Tabel *Reduced Mean (Yn)* dan *Produced Standard Deviation τR*

N	Yn	τR
10	0,4952	0,9450
20	0,5236	1,0628
30	0,5362	1,1124
40	0,5436	1,1413
50	0,5436	1,1607

Sumber: Suripin, 2003

Uji homogenitas dilakukan dengan memplot harga (N, Tx) pada Grafik Tes Homogenitas pada **Gambar 2.11**.

$$Tx = \left(\frac{X_{10}}{X_r} \right) \cdot T_{xr} \quad (\textbf{Persamaan 2. 4})$$

Keterangan:

X_{10} = Curah hujan tahunan dengan PUH 10 tahun

X_r = Curah hujan tahunan rata-rata dalam suatu array data

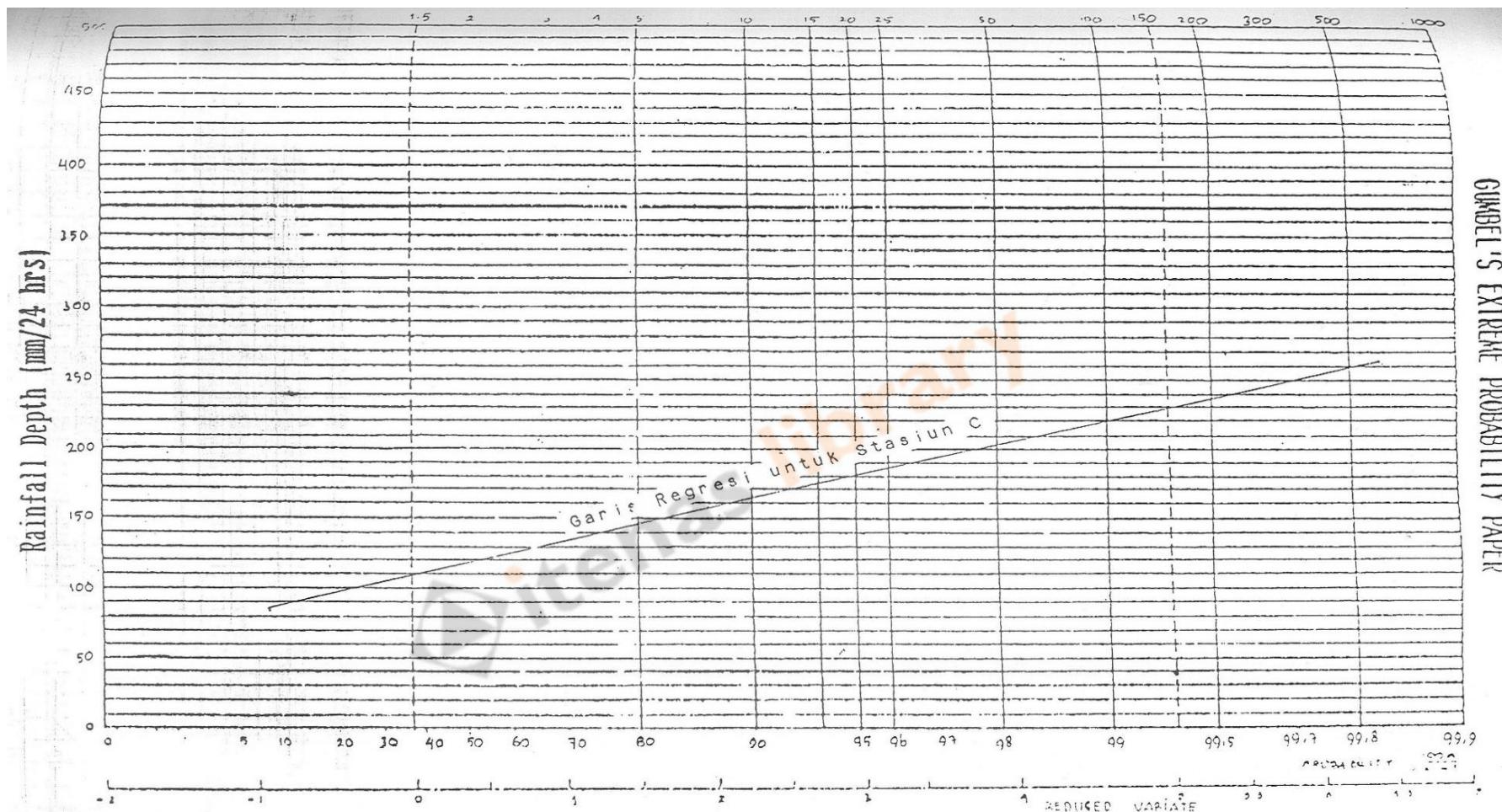
Tx = PUH untuk curah hujan tahunan rata-rata

Dapat menggunakan persamaan Gumbel Modifikasi dengan rumus sebagai berikut:

$$X = X_r - \left(0.78 \ln \frac{Tr}{T_{r-1}} + 0.45 \right) \cdot Sx \quad (\textbf{Persamaan 2. 5})$$

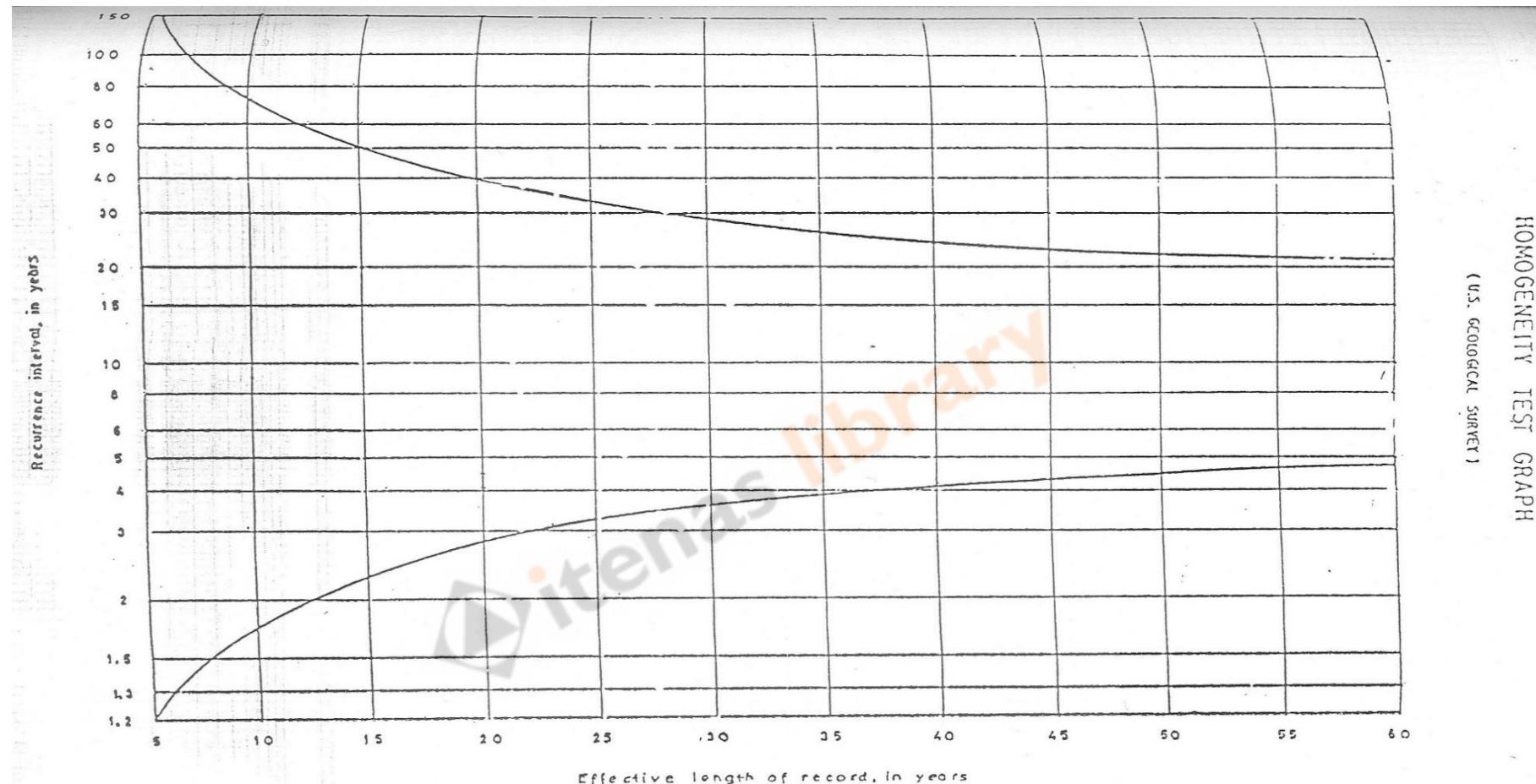
$$Sx = \left(\frac{\sum (Xi - Xr)^2}{n - 1} \right)^{0,5} \quad (\textbf{Persamaan 2. 6})$$

Stasiun curah hujan yang terletak di dalam lengkung pengontrol yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12**, maka stasiun tersebut dapat dipakai mewakili data hujan di daerah studi (Soemarto, 1995).



Gambar 2.11. Grafik Gumbel's Extreme Probability

Sumber : Hardjosuprapto, 1998



Gambar 2.12. Grafik Tes Homogenitas

Sumber : Hardjosuprapto, 1998

2.3.4 Analisis Frekuensi Curah Hujan Harian Maksimum

Analisis frekuensi adalah suatu analisis data hidrologi dengan menggunakan statistika yang bertujuan untuk memprediksi suatu besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi yang kejadianya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusikan secara acak dan bersifat statistik (Harto, 1993).

Dasar perhitungan distribusi frekuensi adalah parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi ratarata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien skewness (kecondongan atau kemiringan).

Tabel 2.2. Parameter Statistik

Parameter	Sampel	Populasi
Rata-rata	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$	$\mu = E(X)$ $= \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$
Simpangan baku (standar deviasi)	$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	$\sigma = \{E[(x - \mu)^2]\}^{\frac{1}{2}}$
Koefisien variasi	$CV = \frac{s}{\bar{x}}$	$CV = \frac{\sigma}{\mu}$
Koefisien skewness	$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$	$\gamma = \frac{E[(x - \mu)^3]}{\sigma^3}$

Sumber : Suripin, 2003

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Misalnya, hujan dengan kata-ulang 10 tahunan, bukan berarti akan terjadi sekali setiap 10 tahun akan tetapi ada, kemungkinan dalam jangka 1.000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan lebih dari satu kali, atau sebaliknya tidak terjadi sama sekali (Suripin, 2004).

Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi di dasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang, dengan asumsi bahwa sifat

statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu (Suripin, 2004).

Menurut Suripin (2004) hujan merupakan komponen yang sangat penting dalam analisis hidrologi. Pengukuran hujan dilakukan selama 24 jam baik secara manual maupun otomatis, dengan cara ini berarti hujan yang diketahui adalah hujan total yang terjadi selama satu hari. Berdasarkan ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi. Berikut ini tiga jenis distribusi frekuensi yang paling banyak digunakan dalam bidang hidrologi:

- Metoda Iwai Kedoya
- Metoda Log Person III
- Metoda Gumbel

2.3.4.1 Metoda Iwai Kedoya

Metoda iwai kedoya ini disebut pula cara distribusi terbatas sepihak (*one sided finite distribution*). Prinsipnya berdasarkan pada metoda log normal yaitu merubah variabel (x) dari kurva kemungkinan kerapatan dari curah hujan harian maksimum ke log x atau merubah kurva distribusi yang asimetris menjadi kurva distribusi normal. Kemungkinan terlampaui W (x) dengan asumsi data hidrologi mempunyai distribusi log normal. Harga b (konstan) > 0, sebagai harga minimum variable kemungkinan (x). Oleh karena itu, agar harga kurva kerapatan tidak lebih kecil dari harga minimum (-b) maka setiap sukunya diambil x + b, dimana harga log (x + b) diperkirakan mempunyai distribusi normal. Dengan persamaan sebagai berikut

$$\zeta = c \log \frac{x + b}{x_0 + b} \quad (\text{Persamaan 2. 7})$$

Keterangan :

$\log(x + b) = X_{or}$ adalah harga rata-rata dari $\log(X_i + b)$

ζ = Harga Kemungkinan (Pada **Tabel 2.3**)

x = Data curuh hujan (mm)

b = Koefisien distribusi log normal (Suryono, 2003).

Tabel 2.3. Variabel ζ (kemungkinan terlampaui) yang sesuai pada $W(x)$ Utama

T	$W(x) = 1/T$	ζ	T	$W(x) = 1/T$	ζ
500	0,00200	2,0352	30	0,03333	1,2297
400	0,00250	1,9840	25	0,04000	1,2379
300	0,00333	1,9227	20	0,05000	1,1631
250	0,00400	1,8753	15	0,0667	1,0614
200	0,00500	1,8214	10	0,1000	0,9062
150	0,00667	1,7499	8	0,1250	0,8134
100	0,01000	1,6450	5	0,2000	0,5951
80	0,01250	1,5851	4	0,2500	0,4769
60	0,01667	1,5049	3	0,3333	0,3045
50	0,02000	1,4522	2	0,5000	0,0000
40	0,02500	1,3859			

Sumber: Suryono, 2003

Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungan dengan menggunakan metode iwai kedoya

1. Memperkirakan harga $\log X_o$

$$\log X_o = 1/n \cdot \sum \log X_i \quad (\text{Persamaan 2. 8})$$

2. Memperkirakan harga b

$$b = 1/m ; bi = \frac{(xs \cdot xt) + X_o^2}{2x_0 - (xs + xt)} \quad (\text{Persamaan 2. 9})$$

3. Memperkirakan harga X_o

$$X_o = 1/n \cdot \sum \log (X_i + b) \quad (\text{Persamaan 2. 10})$$

4. Memperkirakan harga c

$$1/c = \left(\frac{2 \cdot n}{n-1} (X^2 - X_o^2) \right)^{0,5} \quad (\text{Persamaan 2. 11})$$

Keterangan :

X_i = Harga pengamatan nomor urutan (m) dari yang terbesar

X_t = Harga pengamatan nomor urutan (m) dari yang terkecil

n = Banyaknya data

m = n/10

T = Periode Ulang

2.3.4.2 Metoda Log Person III

Pada situasi tertentu, walaupun data yang diperkirakan mengikuti distribusi sudah dikonversi ke dalam bentuk logaritmik, terdapat kemungkinan adanya kedekatan antara data dan teori yang tidak cukup kuat. *Pearson* mengembangkan serangkaian fungsi probabilitas empiris dengan tetap memakai fleksibilitas. Metoda ini didasarkan pada perubahan data yang ada kedalam bentuk logaritma. Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut (Soemarto, 1995):

- 1) Menyusun data hujan mulai dari harga yang terbesar sampai yang terkecil.
- 2) Merubah jumlah n data hujan kedalam besaran logaritma, sehingga menjadi $\log R_1, \log R_2 \dots \log R_n$. Lalu dinyatakan $R_i = \log R$
- 3) Menghitung besarnya harga rata-rata besaran logaritma, pada persamaan sebagai berikut:

$$R_r = \frac{\sum R_i}{n} \quad (\text{Persamaan 2. 12})$$

Keterangan :

R_r = Rata-rata besaran logaritma

R = Rata-rata data curah hujan (mm)

$R_i = \log (R)$

n = Jumlah data

- 4) Menghitung besarnya harga deviasi rata-rata dari besaran logaritma tersebut, pada persamaan sebagai berikut

$$\sigma_R = R_i - R_r \sqrt{n-1} \quad \sigma_R = \left[\frac{\sum (R_i - R_r)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (\text{Persamaan 2. 13})$$

- 5) Menghitung *Skew Coefficient* (koefisien asimetri) dari besaran logaritma tersebut, pada persamaan sebagai berikut

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (R_i - R_r)^3}{(n-1)(n-2)(\sigma_R)^3} \quad (\text{Persamaan 2. 14})$$

Keterangan :

σ_R = Standar deviasi

R_r = Data curah hujan (mm)

R_i = Rata-rata data curah hujan (mm)

n = Jumlah data

Berdasarkan harga Cs (skew koefisien) yang diperoleh dan harga periode ulang (T) yang ditentukan, hitung nilai Kx (variabel standar x) dengan menggunakan tabel karakteristik nilai Kx distribusi *Log Pearson Type III* pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4. Nilai K untuk Distribusi *Log Pearson Type III*

Koefisien Skew (Cs)	Periode Ulang Hujan (Tahun)					
	2	5	10	25	50	100
	Probabilitas					
	0,5	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01
2,0	-0,307	0,069	1,302	2,219	2,912	3,605
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,700	3,271
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	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	2,359	2,755
0,5	-0,083	0,806	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
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,1	0,017	0,846	1,270	1,716	2,000	2,252
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	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	1,843	2,029
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-0,9	0,143	0,854	1,147	1,407	1,594	1,660
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,116	1,197
-1,8	0,232	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990

Sumber: Soemarto, 1995

- 6) Menghitung besarnya harga logaritma masing-masing data curah hujan untuk suatu Periode Ulang Hujan (PUH) tertentu, pada persamaan sebagai berikut

$$X_t = X_r + K_x \cdot \sigma_R \quad (\text{Persamaan 2. 15})$$

7) Jadi perkiraan harga HHM untuk periode ulang T (tahun) adalah :

$$R_t = \text{antilog } X \quad \text{atau} \quad R_t = 10^{X_t} (\text{mm}/24 \text{ jam})$$

Nilai X_t yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung curah hujan harian maksimum rencana metoda *Log Pearson Type III*.

2.3.4.3 Metoda Gumbel

Metoda gumbel yaitu metoda yang didasarkan pada distribusi harga ekstrim atau distribusi normal yang banyak digunakan di Indonesia. Dengan garis energi secara grafis, maka hujan maksimum rencana dapat diperoleh. Tetapi, dengan cara tersebut memungkinkan adanya kesalahan yang besar, maka diperlukan secara matematis dengan menggunakan persamaan gumbel pada persamaan sebagai berikut (Hardjosuprapto, 1998).

$$R_t = R_k + \left(\frac{\sigma_R}{S_n} \right) x (Y_t - Y_n) \quad (\text{Persamaan 2. 16})$$

Keterangan :

- R_t = Hujan harian maksimum dengan rencana PUH t tahun
- R_k = Rentang keyakinan (mm/24 jam)
- σ_R = Standar deviasi data curah hujan
- S_n = *Reduced standar deviasi*
- Y_t = *Reduced variated* untuk PUH t tahun
- Y_n = *Reduced mean* (Suripin, 2003).

Sebelum menghitung curah hujan harian maksimum dengan berbagai PUH, perlu dicari rentang keyakinan, bahwa harga-harga perkiraan tersebut memiliki rentang harga pada persamaan sebagai berikut (Hardjosuprapto, 1998).

$$R_k = \pm t(a) . S_e \quad (\text{Persamaan 2. 17})$$

Keterangan :

- R_k = Rentang keyakinan (mm/24 jam)
- a = *Confidence probability*
- S_e = *Probability error* (deviasi)
- $t(a)$ = Fungsi a , Untuk : $a = 90\%$, $t(a) = 1,640$

$$a = 80\%, t(a) = 1,282$$

$$a = 70\%, t(a) = 1,000$$

Sebelum mendapatkan nilai rentang keyakinan, perlu dilakukan perhitungan terhadap harga S_e (*probability error*), yaitu pada persamaan sebagai berikut :

$$\text{Harga } b = \sqrt{1 + 1,3 \times (-K) + 1,1 (-K)^2} \quad (\text{Persamaan 2.18})$$

$$\text{Harga } K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

Keterangan :

σ_R = Standar deviasi

n = Jumlah data

b = Koefisien *probability*

Y_t = *Reduce variated* untuk PUH t tahun (Suripin, 2003)

S_n = *Reduced standard deviation* berdasarkan sampel n (Pada **Tabel 2.5**)

Y_n = *Reduce mean* berdasarkan sampel n (Pada **Tabel 2.6**)

Tabel 2.5. *Reduced standard deviation* berdasarkan sampel n (Kusnaedi)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0093	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0916	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,148	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,177	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,202	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2096	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber : Suripin, 2004

Tabel 2.6. *Reduce mean* berdasarkan sampel n (Y_n)

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

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
30	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
40	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
50	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
60	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
70	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,0558	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
80	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
90	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611
100	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220

Sumber : Suripin, 2004

2.3.5 Analisis Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu. Sifat umum hujan adalah semakin singkat hujan berlangsung maka intensitasnya cenderung makin tinggi dan semakin besar periode ulangnya, semakin tinggi pula intensitasnya. Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisis data hujan baik secara statistik maupun secara empiris. Biasanya intensitas hujan dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek misalnya 5 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman. Data curah hujan jangka pendek ini hanya dapat diperoleh dengan menggunakan alat pencatat hujan otomatis. Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe. Pengacuan intensitas hujan di Indonesia berdasarkan pada pola grafik *Intensity Duration Frequency* (IDF) dari Van Breen yang didekati pada persamaan sebagai berikut (Hardjosuprapto, 1998) :

$$I_T = \frac{54 R_T + 0,007 R_{r^2}}{t_c + 0,3 R_T} \quad (\text{Persamaan 2. 19})$$

Keterangan :

IT = Intensitas hujan PUH T tahun, dengan $t_c > t_e$ (mm/hari)

RT = Tinggi hujan PUH T tahun (mm/jam)

Jika $t_c < t_e$, maka t_c diganti dengan t_e .

2.3.6 Luas Daerah Pengaliran

Luas Daerah Pengaliran Pada suatu daerah dengan tata guna lahan yang berbeda-beda, besarnya koefisien pengaliran ditetapkan dengan mengambil rata-rata berdasarkan bobot luas sebagai berikut:

$$Cr = \frac{\sum Ci \cdot Ai}{Ai} \quad (\text{Persamaan 2. 20})$$

Keterangan:

Cr = Harga rata-rata angka pengaliran

Ci = Koefisien pengaliran pada tiap-tiap daerah

Ai = luas pada masing-masing daerah (Ha)

Harga C berubah untuk setiap perubahan PUH. Perubahannya dapat didekati dengan persamaan:

Untuk daerah normal persamaannya adalah sebagai berikut:

$$C_{T2} = 1 - (1 - C_{T1}) \sqrt{\frac{I_{T1}}{I_{T2}}} \quad (\text{Persamaan 2. 21})$$

Sedangkan untuk daerah pasang surut (becek) persamaannya adalah sebagai berikut:

$$C_{T2} = 1 - (1 - C_{T1}) \left(\frac{I_{T1}}{I_{T2}} \right) \quad (\text{Persamaan 2. 22})$$

Keterangan:

C_{T1}, C_{T2} = Harga C pada PUH T1 dan T2 berturutan

I_{T1}, I_{T2} = Harga 1 pada PUH T1 dan T2 Berturutan

Dalam perencanaan saluaran drainase dapat dipakai standar yang telah ditetapkan, baik debit rencana (periode ulang) dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran, dan lain-lain. Berikut merupakan kala ulang yang dipakai berdasarkan luas daerah pengaliran saluran dan jenis kota yang akan direncanakan sistem drainasenya pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7. Kala Ulang (Tahun) Berdasarkan Tipologi Kota

Tipologi Kota	Daerah Tangkapan Air (ha)			
	< 10	10 - 100	101 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2	2-5	5-10	10-25
Kota Besar	2	2-5	2-5	5-10
Kota Sedang	2	2-5	2-5	5-10
Kota Kecil	2	2	2	2-5

Sumber : Tata Cara Perencanaan Sistem Drainase Perkotaan, Nomor 12/Prt/M/2011

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam suatu daerah pengaliran adalah sebagai berikut (Hardjosuprapto, 1998):

- Tata guna lahan eksisting dan pengembangannya di masa mendatang
- Karakteristik tanah dan bangunan di atasnya
- Kemiringan tanah dan bentuk daerah pengaliran

2.3.7 Daerah Tangkap Hujan (*Catchment Area*)

Catchment area adalah suatu daerah tada hujan dimana air yang mengalir pada permukaannya ditampung oleh saluran yang bersangkutan. Sistem drainase yang baik yaitu apabila ada hujan yang jatuh di suatu daerah harus segera dapat dialirkan, untuk itu dibuat saluran yang menuju saluran utama. Untuk menentukan daerah tangkapan hujan tergantung kepada kondisi lapangan suatu daerah dan situasi topografinya/elevasi permukaan tanah suatu wilayah disekitar saluran yang bersangkutan yang merupakan daerah tangkapan hujan dan mengalirkan air hujan kesaluran drainase. Untuk menentukan daerah tangkapan hujan (*Cathment area*) sekitar drainase dapat diasumsikan dengan membagi luas daerah yang akan ditinjau.

2.3.8 Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan merupakan suatu nilai yang menunjukkan kemampuan air melimpas berdasarkan bahan penutup tanah yang terdapat pada suatu wilayah. Perbedaannya berdasarkan bahan penutup tanah yang terdapat pada suatu wilayah. Penutup tanah yang sulit menyerap air akan menyebakan limpasan yang besar begitu pula sebaliknya. Memperoleh nilai koefisien limpasan yang memiliki notasi C, yaitu dengan cara membandingkan hasil antara jumlah yang jatuh dengan yang

mengalir sebagai limpasan dalam permukaan tanah tertentu. Untuk setiap daerah yang memiliki koefisien yang bermacam-macam maka akan diambil rata-rata dari koefisien dikalikan luas wilayahnya sehingga dalam pemodelan hanya dipakai satu angka yang mewakili. Berikut tabel beberapa nilai-nilai koefisien limpasan dalam **Tabel 2.8** dan **Tabel 2.9**.

Tabel 2.8. Koefisien Limpasan untuk Metoda Rasional

Deskripsi lahan / karakter permukaan	Koefisien limpasan, C	Deskripsi lahan / karakter permukaan	Koefisien limpasan, C
Business		Halaman, tanah berpasir	
Perkotaan	0,70-0,95	Datar 2%	0,05-0,10
Pinggiran	0,50- 0,70	Rata-rata, 2-7%	0,10-0,15
Perumahan		Curam, 7%	0,15-0,20
Rumah tunggal	0,30- 0,50	Halaman, tanah berat	
Multiunit, terpisah	0,40- 0,60	Datar 2%	0,13-0,17
Multiunit, tergabung	0,60-0,75	Rata-rata, 2-7%	0,18-0,22
Perkampungan	0,25-0,40	Curam, 7%	0,25-0,35
Apartemen	0,50-0,70	Halaman Kereta Api	0,10-0,35
Industri		Taman tempat bermain	0,20-0,35
Ringan	0,50-0,80	Taman, perkuburan	0,10-0,25
Berat	0,60-0,90	Hutan	
Perkerasan		Datar, 0-5%	0,10-0,40
Aspal dan beton	0,70-0,65	Bergelombang, 5-10%	0,25-0,50
Batu bata, paving	0,50-0,70	Berbukit, 10-30%	0,30-0,60
Atap	0,75-0,95		

Sumber : Suripin ,2003

Tabel 2.9. Harga Koefisien Pengaliran Untuk Berbagai Penggunaan Tanah

No	Untuk Daerah/Permukaan	C
1	Perdagangan	
	- Pusat kota terbangun penuh pertokoan	0,70 - 0,95
	- Sekeliling pusat kota	0,50 - 0,70
2	Pemukiman	
	- Keluarga tunggal	0,30 - 0,50
	- Keluarga ganda (tidak kopel)/aneka ragam	0,40 - 0,60
	- Keluarga ganda (kopel)/aneka ragam	0,60 - 0,75

No	Untuk Daerah/Permukaan	C
	- Pinggiran kota	0,25 - 0,40
	- Apartemen	0,50 - 0,70
3	Industri	
	- Ringan	0,50 - 0,78
	- Berat	0,60 - 0,90
4	Taman, kuburan, hutan lindung	0,10 - 0,30
5	Lapangan Bermain	0,20 - 0,35
6	Pekarangan rel kereta api	0,20 - 0,40
7	Daerah tak terbangun	0,10 - 0,30
8	Jalan	
	- Aspal	0.70 – 0.95
	- Beton	0.80 – 0.95
	- Bata	0.70 – 0.85
9	Halaman parkir dan pejalan kaki/trotoar	0.75 – 0.85
10	Atap	0.75 – 0.95
11	Pekarangan dengan tanah pasir	
	- Dasar 2%	0.05 – 0.10
	- Reratan (2-7)%	0.10 – 0.15
	- Terjal 7%	0.15 – 0.20
12	Pekarangan dengan tanah keras	
	- Dasar 2%	0.13 – 0.17
	- Reratan (2-7)%	0.18 – 0.22
	- Terjal 7%	0.25 – 0.35
13	Tanah gundul	0.70 – 0.80
14	Lahan galian pasir	0.05 – 0.15

Sumber: Hardjosuprapto, 1998

Menurut Hardjosuprapto (1998), untuk daerah yang memiliki tata guna lahan yang berbeda-beda, besarnya koefisien limpasan ditetapkan dengan mengambil rata-rata dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$C_r = \frac{\sum C_i - A_i}{\sum A_i} \quad (\text{Persamaan 2. 23})$$

Keterangan :

C_r = Harga rata-rata limpasan

C_i = Koefisien limpasan pada tiap-tiap daerah

A_i = Luas pada masing-masing daerah (Ha)

Persamaan pendekatan untuk mencari harga koefisien pengaliran pada daerah perumahan dengan kerapatan bangunan z rumah/ha adalah sebagai berikut:

$$C = (0.3 \text{ sampai } 0.4) + 0.015$$

(Persamaan 2. 24)

Tabel 2.10. Harga Kofisien Pengaliran Untuk Berbagai Penggunaan Tanah

No	Untuk Daerah/Permukaan	C
1	Urban	
	- Pusat perdagangan	0.90 – 0.95
	- Industri	0.80 – 0.90
2	Permukiman	
	- Kepadatan rendah (20 rumah/ha)	0.25 – 0.40
	- Kepadatan menengah (20-60 rumah/ha)	0.40 – 0.70
	- Kepadatan tinggi (60-100 rumah/ha)	0.70 – 0.80
3	Taman dan daerah rekreasi	0.20 – 0.30
4	Rural	
	- Kemiringan curam (>20 %)	0.50 – 0.60
	- Kemiringan gelombang (<20 %)	0.40 – 0.50
	- Kemiringan bertingkat	0.25 – 0.35
	- Pertanian padi	0.45 – 0.55

Sumber : Liewelyn – Davies Kinhill, 1978

2.3.9 Perhitungan Debit Banjir

Memperkirakan debit puncak limpasan menggunakan rumus persamaan modifikasi rasional. Pemilihan ini didasarkan pada kemudahan dan kesederhanaan dalam mencari parameter-parameternya. Persamaan tersebut dapat dilihat padampersamaan sebagai berikut (Hardjosuprapto, 1998):

$$Q = F \cdot C_s \cdot C \cdot A \cdot I = F \cdot C_s \left(\sum C_i \cdot A_i \right) I \quad (\text{Persamaan 2. 25})$$

Keterangan :

- Q = Debit puncak (L/detik atau m³/detik)
- F = Faktor konversi, F = 1/360 (m³/detik)
- C_s = Koefisien storasi
- C = Koefisien limpasan
- A = Luas DPS (Ha)
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- i = setiap tata guna lahan

2.3.10 Pemilihan Rumus Intensitas Hujan

Dalam drainase perkotaan, umumnya persamaan untuk mencari debit pengaliran puncak untuk setiap waktu t menit dan pada setiap periode ulang hujan T tahun dipakai persamaan rasional dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = C \times I \times A \quad (\text{Persamaan 2. 26})$$

Keterangan:

- Q = Debit aliran air limpasan (m^3/detik)
- C = Koefisien run off (berdasarkan standar baku)
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah pengaliran (m^2)

Pada persamaan ini, harga I , besarnya sangat berubah dari setiap perubahan t . Maka dari itu, persamaan I terhadap variabel t diusahakan dengan bentuk persamaan yang sederhana, yang umumnya memakai bentuk persamaan Talbot, Sherman Ishiguro.

Beberapa rumus intensitas curah hujan dihubungkan dengan hal-hal ini, telah disusun sebagai rumus-rumus eksperimental. Untuk hujan-hujan selama 5-240 menit, kebanyakan rumus adalah dari tipe umum yaitu:

$$I = \frac{a'}{t + b} \quad (\text{Persamaan 2. 27})$$

Rumus ini dikemukakan oleh Professor Talbot dalam tahun 1981 dan disebut Jenis Talbot. Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan, dimana tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang diukur.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (\text{Persamaan 2. 28})$$

Rumus diatas dikemukakan oleh professor Sherman dalam tahun 1905 dan disebut jenis Sherman. Sedangkan rumus dibawah ini mungkin sesuai untuk jenis waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (\text{Persamaan 2. 29})$$

Rumus ini dikemukakan oleh Ishiguro dalam tahun 1953.

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = durasi hujan (jam)

a, b, n = konstanta yang tergantung lamanya curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

2.3.11 Kurva IDF (*Intensitas Duration Frequency*)

Intensitas Curah Hujan umumnya dihubungkan dengan kejadian dan lamanya (*duration*) hujan turun, yang disebut *Intensitas Duration Frequency* (IDF). Oleh karena itu diperlukan data curah hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman. Menurut Harto (1993) menyebutkan bahwa analisis kurva IDF memerlukan analisis frekuensi dengan menggunakan seri data yang diperoleh dari rekaman data hujan. Jika tidak tersedia waktu untuk mengamati besarnya intensitas hujan atau disebabkan oleh karena alatnya tidak ada, dapat ditempuh cara-cara empiris dengan mempergunakan rumus-rumus eksperimental seperti rumus Talbot, Sherman dan Ishigura.

Apabila di lapangan terdapat data hujan jam-jaman, maka intensitas curah hujan dihitung menggunakan metode Talbot, sebagai berikut (Loebis, 1992):

$$I = \frac{a}{b + t} \quad (\text{Persamaan 2. 30})$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam);

t = lamanya curah hujan (jam);

a,b = konstanta yang tergantung lamanya curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

Dalam statistik dikenal tiga macam distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam hidrologi, yaitu metode Gumbel, Log Pearson III dan Iwai Kedoya. Masing-masing distribusi mempunyai sifat yang khas, sehingga data curah hujan harus diuji kecocokannya dengan sifat statistik masing-masing distribusi tersebut. Pemilihan jenis distribusi yang tidak benar dapat menimbulkan kesalahan perkiraan yang cukup besar, baik *over estimated* maupun *under estimated* (Harto, 1993).

Kala ulang (*return period*) diartikan sebagai waktu di mana hujan atau debit dengan satuan besaran tertentu rata-rata akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Dalam hal ini tidak berarti bahwa selama jangka waktu ulang itu (misalnya T tahun) hanya sekali kejadian yang menyamai atau melampaui, tetapi merupakan perkiraan bahwa hujan atau debit tersebut akan disamai atau dilampaui K kali dalam jangka panjang L tahun, dimana K/L kira-kira sama dengan 1/T (Harto, 1993).

Untuk mendapatkan kurva IDF langkah-langkah analisis dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan hujan harian maksimum tiap-tiap tahun data
2. Menentukan parameter statistic dari data yang telah diurutkan dari kecil ke besar, yaitu: Mean x , Standart Deviasi (S_d), Koefisien Variasi (C_v), Koefisien Skewness (C_s), Koefisein Kurtosis (C_k)
3. Menetukan jenis distribusi yg sesuai berdasarkan parameter statistik yang ada
4. Digambarkan pada kertas probabilitas dan tarik garis teoritik di atas gambar yang ada
5. Lakukan pengujian dengan Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov untuk mengetahui apakah jenis distribusi yang dipilih tepat
6. Jenis distribusi terpilih dapat dihitung besaran hujan rancangan untuk kala ulang tertentu
7. Menentukan intensitas curah hujan harian dengan metode Mononobe dalam kala ulang tertentu

8. Penggambaran lengkung intensitas curah hujan harian dengan kala ulang tertentu

Kurva IDF aliran biasanya dibuat dengan cara mengukur langsung debit aliran dan tinggi muka air yang terjadi di sungai yang ditinjau. Hal ini dilakukan dalam proses kalibrasi model terhadap kondisi saluran yang sebenarnya. Lengkung aliran digunakan untuk mencari debit aliran maksimum yang dapat ditampung oleh saluran. Kurva lengkung aliran akan dibuat berdasarkan tren yang terjadi untuk debit-debit yang dimasukkan ke dalam model, kemudian dari kurva tersebut ditentukan nilai tinggi alirannya sehingga akan diperoleh debit aliran maksimum yang dapat ditampung pada saluran tersebut.

2.4 Kriteria Hidrolik

Berdasarkan Permen PU RI Nomor 12 PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, kriteria perencanaan hidrolik ditentukan sebagai berikut:

- 1) Bentuk saluran drainase umumnya: trapesium, segi empat, bulat, setengah lingkaran, dan segitiga atau kombinasi dari masing-masing bentuk tersebut.
- 2) Kecepatan saluran rata-rata dihitung dengan rumus Chezy, Manning atau Strickler.
- 3) Apabila di dalam satu penampang saluran existing terdapat nilai kekasaran dinding atau koefisien Manning yang berbeda satu dengan lainnya, maka dicari nilai kekasaran ekuivalen (neq).
- 4) Aliran kritis, sub-kritis dan super-kritis dinyatakan dengan bilangan *Froude*. Aliran kritis apabila *Froude number*, $Fr=1$; aliran sub-kritis apabila *Froude number*, $Fr<1$ dan aliran super kritis apabila *Froude number*, $Fr>1$.
- 5) Saluran drainase yang terpengaruh oleh pengempangan (*back water effect*) dapat diperhitungkan dengan *Standart Step* atau *Direct Step Method*.
- 6) Penampang saluran terbaik atau penampang saluran ekonomis adalah penampang saluran yang mempunyai keliling basah minimum akan memberikan daya tampung maksimum kepada penampang saluran.

- 7) Ruang bebas saluran (*freeboard*) berkisar antara 0,30 sampai dengan 1,20 m tergantung dari dalam dan lebarnya.
- 8) Kecepatan minimum yang diizinkan adalah kecepatan yang paling rendah yang akan mencegah pengendapan dan tidak menyebabkan berkembangnya tanaman-tanaman air. Kecepatan ditentukan oleh kekasaran dinding dan dasar.
- 9) Saluran dengan berbagai lapisan adalah saluran yang dilapis dengan beton, batu kali dan lapisan lainnya, sedangkan dasar saluran dari tanah.

Data hidrolik dan bangunan pelengkap antara lain:

- Data dimensi saluran (panjang, lebar, kedalaman, bahan, tahun dibangun, kemiringan dasar saluran dan kapasitas).
- Data bangunan: pintu air, gorong-gorong, *box culvert*, stasiun pompa (jenis bangunan, letak, tahun dibangun, dimensi, kapasitas, fungsi, saringan sampah). Kondisi badan air penerima (elevasi permukaan air tertinggi, sedimentasi, penyempitan).

2.4.1 Kapasitas Saluran

Dalam perencanaan saluran drainase juga mempertimbangkan kapasitas tampungan limpasan air dalam jumlah tertentu tanpa menimbulkan banjir. Menghitung kapasitas saluran, dipergunakan persamaan kontinuitas. Karena kapasitasnya yang terbatas maka untuk menghitung kapasitas maksimum saluran drainase dapat digunakan pada persamaan sebagai berikut (Chow, 1992):

$$Q = A \cdot V \quad (\text{Persamaan 2. 31})$$

Keterangan :

Q = Debit pengaliran (m^3/detik)

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

A = Luas penampang basah (m^2)

2.4.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi memiliki notasi t_c , dengan satuan menit, merupakan waktu yang diharuskan untuk air hujan dari daerah yang terjauh dalam Daerah

Pengaliran Sungai (DPS) untuk mengalir masuk menuju suatu titik atau profil melintang saluran tertentu yang ditinjau. Jika nilainya lebih kecil dari waktu durasi hujan atau t_e , maka dalam perhitungan intensitas hujannya dianggap sama dengan waktu durasi hujannya, yaitu $t_c = t_e$. Sehingga $I_c = I_e$. Untuk nilai t_e dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut (Hardjosuprapto, 1998):

$$t_e = \frac{R^{1.92}}{1,11 R} \quad (\text{Persamaan 2. 32})$$

Keterangan :

t_e = Waktu durasi hujan (menit)

R = Tinggi hujan harian maksimum (mm/hari)

Menurut Hardjosuprapto (1998), pada drainase perkotaan harga t_c dalam merupakan penjumlahan dari waktu rayapan di permukaan tanah (t_o) dan waktu mengalir di saluran (L_d). Waktu rayapan di permukaan tanah merupakan waktu yang diperlukan untuk titik air terjauh dalam DPS mengalir pada permukaan tanah menuju ke alur saluran awal terdekat. Mencari t_o menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$t_o = \frac{6,33 (n.L_o)^{0,6}}{(C_o.I_e)^{0,4}(S_o)^{0,3}} \quad (\text{Persamaan 2. 33})$$

Keterangan :

t_o = Waktu merayap di permukaan tanah (menit)

n = Koefisien kekasaran manning

L_o = Panjang rayapan (m), syarat : $L < 300$ m

C_o = Koefisien limpasan permukaan tempat air merayap

I_e = Intensitas hujan (mm/jam), dimana : $t_c=t_e$

S_o = Kemiringan rayapan tanah (m/m)

Bila panjang rayapan, $L > 300$ m, maka untuk mencari nilai t_o menggunakan rumus (Hardjosuprapto, 1998):

$$t_o = \frac{108.n.L_o^{1/3}}{S^{1/5}} \quad (\text{Persamaan 2. 34})$$

Keterangan :

t_o = Waktu merayap di permukaan tanah (menit)

n = Koefisien kekasaran manning

L_o = Panjang limpasan (m)

S = Kemiringan medan limpasan (m/m)

t_d atau waktu mengalir di saluran atau yang memiliki satuan menit, ialah waktu yang diperlukan untuk air mengalir dari saluran permulaan menuju ke suatu profil melintang saluran tertentu yang ditinjau. Mencari nilai t_d menggunakan persamaan sebagai berikut (Hardjosuprasto, 1998):

$$t_d = \frac{L_{da}}{60 V_d} \quad (\text{Persamaan 2. 35})$$

Keterangan:

t_d = Waktu mengalir dalam saluran (menit)

L_{da} = Panjang saluran aktual yang ditinjau (m)

V_d = Kecepatan rata-rata dalam saluran (m/detik)

Sehingga untuk perhitungan t_c , dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$t_c = t_o + t_d \quad (\text{Persamaan 2. 36})$$

Besarnya harga kekasaran manning yang digunakan tersaji dalam **Tabel 2.11** dan **Tabel 2.12**.

Tabel 2.11. Harga Kekasaran Manning

Jenis Permukaan	n
Lapisan semen dan aspal beton	0,013
Permukaan licin dan kedap air	0,02
Permukaan licin dan kokoh	0,1
Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,2
Padang rumput dan rerumputan	0,4
Hutan gundul	0,6
Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,8
Lapisan semen dan aspal beton	0,013

Sumber : Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, 2006

Tabel 2.12. Koefisien Manning

Bahan	nd
Besi tulang dilapis	0,014
Kaca	0,010

Bahan	nd
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber : Permen PU RI Nomor 12 PRT/M/2014

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir suatu saluran. Waktu konsentrasi dibagi atas 2 bagian :

- Inlet time* (t_0) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
- Conduit time* (Ltd) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir (Suripin, 2004).

2.4.3 Koefisien Storasi

Storasi saluran ditandai dengan adanya kenaikan kedalaman air dalam saluran. Debit aktual yang akan ditumpahkan di akhir saluran adalah debit total dikurangi dengan massa air yang masih berada didalam saluran.

- Untuk $t_c > t_e$ dipakai persamaan:

$$Cs = \frac{2tc}{2tc + td} \quad (\text{Persamaan 2. 37})$$

- Untuk $t_c < t_e$ dipakai persamaan:

$$Cs = \frac{2te}{2te + d} \quad (\text{Persamaan 2. 38})$$

2.4.4 Kemiringan Saluran

Kemiringan saluran yang dimaksudkan dalam perencanaan ini adalah kemiringan dasar saluran, sedangkan talud saluran adalah kemiringan dinding saluran. Tujuan perencanaannya adalah agar dapat mengalir dengan pengaliran

gravitasi dengan batasan kecepatan maksimum dan minimum sehingga dapat membersihkan endapan sendiri (*Self Cleansing Velocity*).

Kemiringan dasar saluran maksimum yang diizinkan adalah 0,005-0,0075 tergantung pada bahan yang digunakan. Kemiringan dasar minimum yang diperbolehkan adalah 0,001 kemiringan yang lebih curam dari 0,005 untuk tanah padat akan menyebabkan penggerusan (erosi).

Perencanaan kemiringan saluran juga dipakai untuk memperhitungkan waktu konsentrasi. Kemiringan saluran yang panjang dan kemiringannya berbeda-beda, maka didapat kecepatan rata-rata. Dengan kecepatan rata-rata dan panjang kumulatif saluran dapat diketahui waktu pencapaian aliran puncak pada suatu profil saluran tertentu dengan rumus:

$$tc = \frac{Li}{Vr} \quad (\text{Persamaan 2. 39})$$

Perencanaan talud saluran tergantung pada ada atau tidaknya perkerasan pada saluran, yakni:

- Saluran tanpa perkerasan, maka talud saluran adalah 45°
- Saluran dengan perkerasan *space* cukup, maka talud saluran adalah 60°
- Saluran dengan perkerasan *space* terbatas, maka talud saluran adalah 90°

Tabel 2.13. Hubungan Debit Air dengan Kemiringan Saluran

Debit Air (Q) m ³ /detik	Kemiringan Saluran
0,00-0,75	1:1
0,75-15	1:1,5
15-18	1:2

Sumber: SNI 03-3424-1994

Tabel 2.14. Hubungan Kemiringan Saluran dengan Kecepatan Rata-Rata Aliran

Kemiringan Saluran (I) %	Kecepatan Rata-Rata (V) (m/detik)
<1	0,4
1-2	0,6
2-4	0,9
4-6	1,2
6-10	1,5
10-15	2,4

Sumber: Hasmar, 2002

2.4.5 Debit Rencana

Menurut Triatmodjo (2008) beberapa parameter hidrologi yang diperhitungkan adalah intensitas hujan, durasi hujan, frekuensi hujan, luas DAS (*catchment area*), abstraksi (kehilangan air akibat evaporasi, intersepsi, infiltrasi dan tampungan permukaan) dan konsentrasi aliran. Metode aliran didasarkan pada persamaan berikut:

$$Q = 0,002778 \times C \times I \times A \quad (\text{Persamaan 2. 40})$$

Keterangan:

- Q = Debit aliran air limpasan (m^3/detik)
- C = Koefisien *run off* (berdasarkan standar baku)
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah pengaliran (Ha)

2.4.6 Kecepatan Aliran

Penentuan kecepatan aliran air di dalam saluran yang direncanakan didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar tetap *self cleansing* dan kecepatan maksimum yang diperbolehkan agar konstruksi tetap aman dari erosi pada dasar dan dinding saluran.

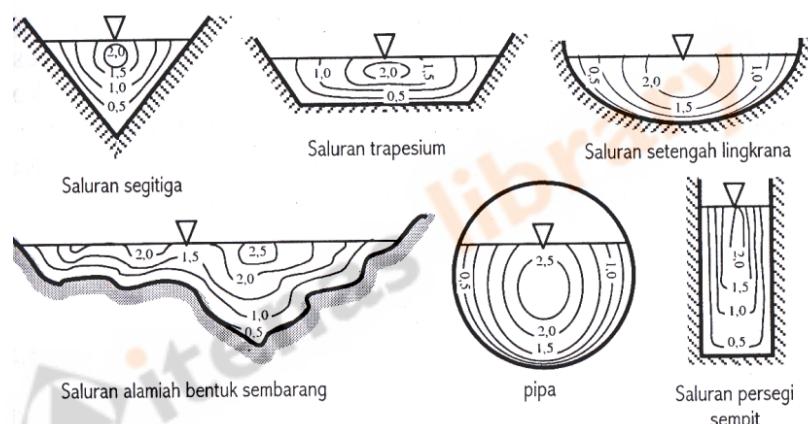
- Kecepatan maksimum yang diperbolehkan adalah $3,0 \text{ m}^3/\text{detik}$ merupakan kecepatan aliran terbesar yang tidak mengakibatkan penggerusan pada lahan saluran.
- Kecepatan minimum yang diperbolehkan $0,6 \text{ m}^3/\text{detik}$, yaitu kecepatan aliran terendah di mana tidak terjadi pengendapan pada saluran (tercapainya *self cleansing*) dan tidak mendorong pertumbuhan tanaman air dan ganggang.

Tabel 2.15. Batasan Aliran di Dalam Saluran

Tipe Saluran	Variasi Kecepatan (m/s)
Bentuk bulat, buis beton	$0,75-3,00$
bentuk persegi, pasangan batu kali	$1,00-3,00$
bentuk trapesium, tanpa pengerasan	$0,60-1,50$

Sumber: SNI 03 - 3424 – 1994

Kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya tegangan geser di dasar dan dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas memperlihatkan distribusi kecepatan pada beberapa tipe potongan saluran. Kecepatan aliran mempunyai tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun, komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga, hanya kecepatan aliran yang searah dengan aliran yang diperhitungkan. Komponen kecepatan ini bervariasi terhadap kedalaman dari permukaan air. Tipikal variasi kecepatan terhadap kedalaman air diperlihatkan dalam gambar sebagai berikut.



Gambar 2.13. Distribusi kecepatan pada berbagai potongan melintang

Sumber : Chow, 1959

1. Persamaan Rumus Chezy

Kecepatan aliran dikenal dengan rumus Chezy yaitu:

$$V = C \sqrt{R \cdot I_f} \quad (\text{Persamaan 2. 41})$$

Keterangan:

V = kecepatan aliran (m/s)

C = koefisien Chezy (m^2/s)

R = jari-jari hidrolis (m);

I_f = Kemiringan garis energi (m/m)

Harga C tergantung pada kekasaran dasar saluran dan kedalaman aliran atau jari-jari hidrolik. Berbagai rumus dikembangkan untuk memperoleh harga C antara lain:

- Gangultef Aut Kulter (1869)

$$C = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{3} + \frac{1.811}{n}}{1 + (41.65 + \frac{0.0281}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (\text{Persamaan 2. 42})$$

Keterangan:

n = koefisien kekasaran dasar dan dinding saluran

R = jari-jari hidrolik

S = kemiringan dasar saluran

- Bazin (1897)

$$C = \frac{87}{1 + gB/\sqrt{R}} \quad (\text{Persamaan 2. 43})$$

Keterangan:

C = koefisien bazin

gB = koefisien yang tergantung pada kekasaran dinding

R = jari-jari hidrolik

Nilai gB untuk beberapa jenis dinding saluran dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut

Tabel 2.16. Koefisien Kekasaran Bazin

Jenis Dinding	gB
Dinding sangat halus (semen)	0.06
Dinding halus (papan, batu, bata)	0.16
Dinding batu pecah	0.46
Dinding tanah sangat teratur	0.85
Saluran tanah dengan kondisi biasa	1.3
Saluran tanah dengan dasar batu pecah dan tebing rumput	1.75

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.12 Tahun 2014

2. Persamaan Rumus Manning (Suripin, 2004):

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S} \text{ atau } V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} \sqrt{I_f} \quad (\text{Persamaan 2. 44})$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran (m/s)

n = angka kekasaran Manning

R = Jari-jari hidrolik (m)

S = Kemiringan memanjang saluran (m/m)

I_f = Kemiringan garis energi (m/m)

Nilai koefisien kekasaran manning (n) pada **Tabel 2.17.** sampai dengan **Tabel 2.18.**

Tabel 2.17. Koefisien Kekasaran Manning, n

Bahan	Koefisien Manning, n	Bahan	Koefisien Manning, n
Besi tuang dilapis	0,014	Saluran tanah bersih	0,022
Kaca	0,010	Saluran tanah	0,030
Saluran beton	0,013	Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Bata dilapis mortar	0,015	Saluran pada galian batu padas	0,040
Pasangan batu disemen	0,025		

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.12 Tahun 2014

Tabel 2.18. Harga n Persamaan Manning

Jenis Saluran	Bagus sekali	Bagus	Cukup	Jelek
A. SALURAN BUATAN				
1. Saluran tanah, lurus teratur	0.017	0.020	0.023	0.025
2. Saluran tanah, digali alat besar	0.023	0.028	0.030	0.040
3. Seperti 1, tetapi dibatuan	0.023	0.030	0.030	0.035
4. Seperti 3, tidak lurus, tak teratur	0.035	0.040	0.045	-
5. Seperti 4, dengan ledakan, sisi vegetasi	0.025	0.030	0.035	0.040
6. Dasar tanah, sisi batu belah	0.028	0.030	0.033	0.035
7. Saluran berbelok-belok, v rendah	0.020	0.025	0.028	0.030
B. SALURAN ALAMI				
1. Bersih, lurus, tanpa onggokan pasir dan tanpa lubang	0.025	0.028	0.030	0.033
2. Seperti 1, sedikit vegetasi dan kerikil	0.030	0.033	0.035	0.040

Jenis Saluran	Bagus sekali	Bagus	Cukup	Jelek
3. Belok-belok, bersih, sedikit onggokan pasir dan lubang	0.033	0.040	0.040	0.045
4. Seperti 3, dangkal, kurang teratur	0.040	0.045	0.040	0.055
5. Seperti 3, sedikit vegetasi dan batu	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Seperti 4, sedikit ada penampang batuan	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Lambat, banyak vegetasi dan lubang dalam	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Banyak vegetasi tinggi dan lebat	0.075	0.100	0.125	0.150
C. SALURAN PASANGAN				
1. Pasangan batu kosong	0.025	0.030	0.033	0.035
2. Seperti 1, dengan adukan	0.017	0.020	0.025	0.030
3. Beton tumbuk	0.014	0.016	0.019	0.021
4. Beton, sangat halus	0.010	0.011	0.012	0.013
5. Beton biasa, cetakan baja	0.013	0.014	0.014	0.015
6. Seperti 5, cetakan kayu	0.015	0.016	0.016	0.018

Sumber: Hardjosuprapto, 1998

Tabel 2.19. Harga n Manning Yang Dianjurkan Dalam Saluran Drainase

No	Jenis saluran dan keterangannya	Min	Normal	Maks
1	Polongan aliran setengah penuh			
	Gorong-gorong beton, lurus, bebas sampah	0.010	0.011	0.013
	Gorong-gorong beton, dengan belokan, ada sampah	0.011	0.013	0.014
2	Saluran berlapisan			
	Bagian dasar pracetak, dinding sisi beton	0.013	0.015	0.017
	Dasar beton, dinding sisi pasangan batu	0.017	0.020	0.024
	Dasar tanah, dinding sisi batu kosong	0.020	0.023	0.026
3	Saluran alami			
	Bersih, lurus, tebing gebalan rumput	0.025	0.030	0.035
	Sedikit rumput liar dan batu	0.030	0.035	0.040
4	Lapisan vegetasi	0.030	0.035	0.050

Sumber: Hardjosuprapto, 1998

Tabel 2.20. Harga n Manning Untuk Saluran Alami atau Sungai

No	Jenis Peruntukan dan Keterangan	Rentang harga n
A	Saluran minor (lebar muka air banjir < 30m)	
1	Cukup teratur	

No	Jenis Peruntukan dan Keterangan	Rentang harga n
	a. Sedikit rumput/liar, sedikit/tanpa semak	0.030- 0.035
	b. Rumput liar lebat, dair < hrumput	0.035- 0.050
2	Tak teratur, berlubang , sedikit meander	0.040- 0.055
	a. Sedikit rumput/liar, sedikit/tanpa semak	0.050- 0.070
	b. Rumput liar lebat, dair < hrumput	0.050- 0.070
3	Saluran bukit, tanpa vegetasi, tebing terjal , pohon dan semak sepanjang tebing tenggelam selama banjir besar	0.040- 0.050
	a. Dasar kerikil, batu dan sedikit batu besar	0.050- 0.070
	b. Dasar batu dengan banyak batu besar	0.040- 0.050
B	Bantaran banjir (dekat saluran alami)	
1	Padang rumput, tanpa semak:	
	a. Rumput pendek	0.030- 0.035
	b. Rumput Tinggi	0.035- 0.050
2	Daerah Bercocok tanam	0.035- 0.045
3	Rumput liar lebat, semak menyebar	0.050- 0.070
4	Semak dan pepohonan kecil	0.060- 0.080
5	Vegetasi medium sampai lebat	0.100- 0.120
6	Lahan bersih dengantunggul pohon (250-625 bt/ha)	
	a. Tanpa anak-anak pohon	0.040- 0.050
	b. Dengan anak pohon lebat	0.060- 0.080
7	Tonggak kayu lebat, sedikit tumbang /tumbuh	0.100- 0.120
C	Saluran mayor (Bair banjir > 30 m), teratur, bersih	0.028- 0.330

Sumber: Hardjosuprapto, 1998

Faktor-faktor yang mempengaruhi harga kekasaran manning, n, adalah:

- Kekasaran permukaan dasar dan dinding saluran
- Tumbuh-tumbuhan

- Ketidakteraturan bentuk penampang
- Alignment dari saluran
- Sedimentasi dan erosi
- Penyempitan (adanya pilar-pilar jembatan)
- Bentuk dan ukuran saluran
- Elevasi permukaan air dan debit aliran

Apabila dihubungkan persamaan rumus Chezy dan persamaan rumus Manning akan diperoleh hubungan antara koefisien Chezy (C) dan koefisien Manning (n) sebagai berikut:

$$C\sqrt{R \cdot I_f} = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{I_f} \quad (\text{Persamaan 2. 45})$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (\text{Persamaan 2. 46})$$

$$V_{\text{Chezy}} = V_{\text{Manning}}$$

Kecepatan aliran air yang diizinkan berdasarkan jenis material pada **Tabel 2.21**.

Tabel 2.21. Kecepatan aliran air yang diizinkan berdasarkan jenis material

Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Air yang diizinkan (m/s)
Pasir Halus	0.45
Lempung Kepasiran	0.5
Lanau Alluvial	0.6
Kerikil Halus	0.75
Lempung Kokoh	0.75
Lempung Padat	1.1
Kerikil Kasar	1.2
Bau-batu Besar	1.5
Pasangan Bat	1.5
Beton	1.5
Beton Bertulang	1.5

Sumber: SNI 03 - 3424 – 1994

2.4.7 Penampang Saluran

Dalam perencanaan dimensi saluran harus di usahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu besar berarti tidak ekonomis, sebaliknya dimensi yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya

tampung yang tidak memadai. Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewatkannya debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan tertentu.

Dari rumus Manning maupun Chezy dapat dilihat bahwa untuk kemiringan dan dasar saluran tetap, kecepatan maksimum dicapai bila jari-jari hidraulik, R , maksimum. Selanjutnya, untuk luas penampang tetap, jari-jari hidraulik maksimum jika keliling basah P minimum. Kondisi diatas memungkinkan untuk menentukan dimensi penampang melintang saluran yang ekonomis untuk berbagai macam bentuk seperti:

1. Penampang Berbentuk Persegi yang Ekonomis

Pada penampang melintang saluran berbentuk persegi dan lebar dasar B dan kedalaman air h , luas penampang basah, A , dan keliling basah, P , dapat dituliskan dengan rumus berikut (Suripin, 2004)

$$\begin{aligned} A &= Bh \\ P &= B + 2h \\ B &= 2H \end{aligned} \tag{Persamaan 2. 47}$$

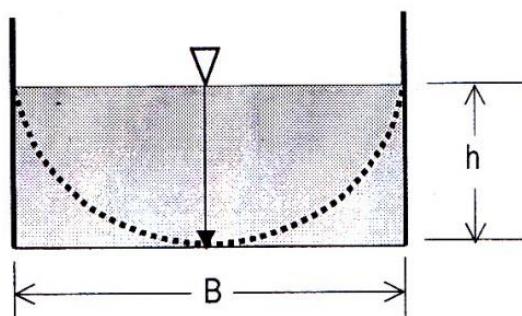
Keterangan:

A = Luas Penampang (m^2)

B = Lebar saluran (m)

h = Tinggi saluran (m)

P = Keliling Basah (m)



Gambar 2.14. Penampang melintang saluran berbentuk persegi

Sumber: Suripin, 2003

2. Penampang Trapesium Ekonomis

Luas penampang melintang, A , dan keliling basah, P , saluran dengan penampang melintang yang berbentuk trapesium dengan lebar dasar B , kedalaman aliran h , dan kemiringan dinding $1:m$, dapat dirumuskan sebagai berikut (Suripin, 2004):

$$\begin{aligned} A &= (B + mh)h \\ P &= B + 2h\sqrt{m^2 + 1} \end{aligned} \quad (\textbf{Persamaan 2. 48})$$

Keterangan:

A = Luas profil basah (m^2).

B = Lebar dasar saluran (m).

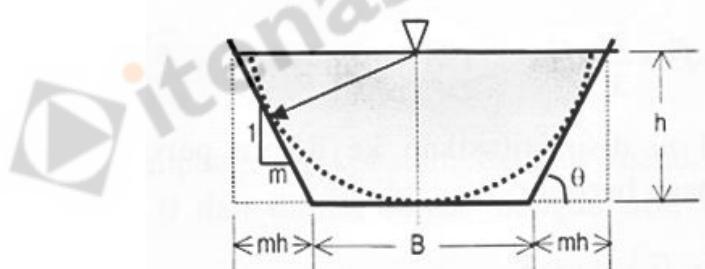
h = Tinggi air di dalam saluran (m).

$T = (B + m h + t h)$ = lebar atas muka air.

m = Kemiringan talud kanan.

t = Kemiringan talud kiri.

P = Keliling Basah (m)



Gambar 2.15. Penampang melintang saluran berbentuk trapesium

Sumber: Suripin, 2003

3. Segitiga

Luas profil basah berbentuk segitiga dapat dinyatakan sebagai berikut:

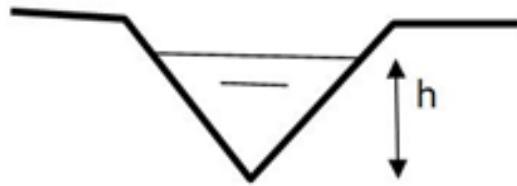
$$A = \frac{1}{2} x T x h \quad (\textbf{Persamaan 2. 49})$$

Keterangan:

A = Luas profil basah (m^2)

h = Tinggi air di dalam saluran (m)

$T = (B + mh + th)$



Gambar 2.16. Penampang melintang saluran berbentuk segitiga
Sumber: Suripin, 2003

4. Lingkaran

Luas profil basah berbentuk lingkaran dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$a = r \cdot \sin\left(\frac{\varphi - 180}{2}\right) \quad (\text{Persamaan 2. 50})$$

Keterangan:

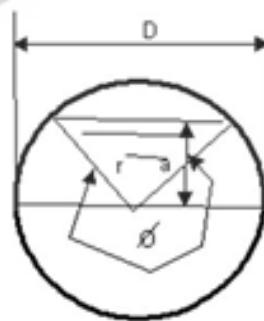
a = tinggi air (dalam m).

φ = sudut ketinggian air (dalam radial)=y

r = jari-jari lingkaran (m).

A = luas profil basah (m²)

P = keliling basah (m)



Gambar 2.17. Penampang melintang saluran berbentuk lingkaran
Sumber: Suripin, 2003

Penampang saluran Lebar Sekali (*Wide Open Channel*) adalah suatu penampang saluran terbuka yang lebar sekali, dimana berlaku pendekatan sebagai saluran terbuka berpenampang persegi empat dengan lebar yang jauh lebih besar daripada kedalaman ($B \gg h$), dan keliling basah P disamakan dengan lebar saluran B. dengan demikian maka luas penampang $A = B \cdot h$ dan $P = B$ sehingga:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{B \cdot h}{B} = h \quad (\text{Persamaan 2. 51})$$

Debit aliran adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang tiap satuan waktu dan simbol/notasi yang digunakan adalah Q.

$$Q = A \cdot V \quad (\text{Persamaan 2. 52})$$

Keterangan:

Q = debit aliran (m^3/s)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan (m/s)

Bila saluran dengan kekasaran n , kemiringan S , dan luas penampang basah tertentu mencapai debit maksimum, maka agar daya angkat aliran maksimal tercapai, penampang basah itu harus memiliki bentuk dengan jari-jari hidrolis maksimum pula. Bentuk penampang yang seperti ini disebut penampang/profil hidrolis umum (PHO). Pada **Tabel 2.22** dapat dilihat jenis-jenis penampang dengan besaran-besaran hidrolis optimumnya.

Tabel 2.22. Besar-besaran Penampang Hidrolis Optimum

No	Penampang	A	P	R	B	D
1	Trapesium setengah heksagon Empat persegi panjang setengah bujur sangkar	$D2\sqrt{3}$	$2d\sqrt{3}$	$(1/2)d$	$(4/3)d\sqrt{3}$	$(3/4)d$
2	Segitiga setengah bujur sangkar	$2d^2$	$4d$	$(1/2)d$	$2d$	d
3	Setengah lingkaran	d^2	$2d\sqrt{3}$	$(1/4)d\sqrt{2}$	$2d$	$(1/2)d$
4		$(1/2)\pi d^2$	Π	$(1/2)d$	$2d$	Π

Sumber: Ven Te Chow, 1970

2.4.8 Ambang Bebas

Jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air pada kondisi rencana disebut dengan ambang bebas. Ambang bebas memiliki fungsi sebagai jagaan untuk menghindari meluapnya air ke tepi saluran. Ketinggian ambang bebas atau memiliki notasi f dapat dicari dengan rumus berikut (Suripin, 2004):

$$f = \sqrt{C_f \cdot y} \quad (\text{Persamaan 2. 53})$$

Keterangan :

Cf = Kefisien ambang bebas (**Tabel 2.23**)

F = Ketinggian muka air (m)

Tabel 2.23. Harga Cf untuk Rentang Debit

Debit (m ³ /detik)	Cf
$Q < 0,6$	0,14
$0,6 < Q < 8$	0,14-0,22
$Q > 8$	0,23-0,25

Sumber: Chow, 1992

2.4.9 Perlengkapan Saluran

Perlengkapan saluran dimaksudkan sebagai sarana pelengkap pada sistem penyaluran air hujan, sehingga fungsi pengaliran dapat terjadi sebagaimana yang direncanakan. Dalam hal ini diuraikan fungsi dan arti pelengkap termasuk di dalamnya pemakaian rumus dan perhitungannya.

1. Street Inlet

Street inlet merupakan lubang/buangan disisi-sisi jalan yang berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan yang berada disepanjang jalan menuju kedalam saluran. Pada jenis penggunaan saluran terbuka tidak diperlukan *street inlet* karena ambang saluran yang ada merupakan bukaan bebas (kecuali untuk jalan dengan trotar jalan terbangun) (Hardjosuprapto, 1998).

Peletakan *street inlet* mempunyai ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- Diletakan pada tempat yang tidak memberikan gangguan terhadap lalulintas jalan maupun pejalan kaki.
- Ditempatkan pada daerah yang rendah dimana limpasan air hujan menuju ke arah tersebut.
- Air yang masuk *street inlet* harus secepatnya menuju ke dalam saluran.
- Jumlah *street inlet* harus cukup untuk menangkap limpasan air hujan pada jalan yang bersangutan, dengan persamaan sebagai berikut (Hardjosuprapto, 1998).

$$D = \frac{280\sqrt{S}}{W} \quad (\textbf{Persamaan 2. 54})$$

Keterangan:

D : Jarak antar *street inlet* (m), $D \leq 50$ m

S : Kemiringan (%)

W : Lebar jalan (m)

- Titik terendah (tipikal)
- Sepanjang jalan (dekat trotoar)
- Jarak antar *street inlet* 50 m (Nasional)
- Luas daerah kedap 200 m^2 (Hardjosuprapto, 1998)

Terdapat 2 (dua) tipe *street inlet* yang dapat digunakan, yaitu:

a. *Gutter Inlet*

Gutter inlet adalah bukaan horizontal dimana air jatuh ke dalamnya. Kapasitas *gutter inlet* dapat dihitung dengan menggunakan modifikasi persamaan Manning untuk aliran dalam saluran yang sangat dangkal, yaitu (Hardjosuprapto, 1998):

$$Q = 0.56 (z/n) S^{0.5} d_c^{8/3} \quad (\textbf{Persamaan 2. 55})$$

Keterangan :

Q = kapasitas *gutter inlet* (m^3/dt)

z = kemiringan potongan melintang jalan (m/m)

n = koefisien kekasaran Manning = 0.016

S = kemiringan longitudinal *Gutter* (m/m)

d_c = kedalam aliran didalam *gutter* (m) = $\frac{1}{4} zw + d$



Gambar 2.18. Gutter Inlet

Sumber: Hasmar, 2012

b. *Curb Inlet*

Curb inlet adalah bukaan vertikal dimana air masuk kedalamnya. Kapasitas dihitung terhadap panjang bukaan missal penambahan legokan (*depression*). Kapasitas *curb inlet* dapat dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut (Hardjosuprarto, 1998):

british unit

$$Q/L = 0.2gd^{3/2} \quad (\text{Persamaan 2. 56})$$

metric unit

$$Q/L = 0.3gd^{3/2} \quad (\text{Persamaan 2. 57})$$

Keterangan:

Q = Kapasitas *curb inlet* (cfs, m^3/dt)

L = Lebar bukaan *curb* (ft, m)

g = Gravitasi (m^3/dt)

d = Kedalama total air dalam *gutter* (ft, m)

Tinggi air pada permukaan jalan dekat *gutter/curb* dapat didekati dengan rumus (Hardjosuprarto, 1998):

$$d = 0.0474 (DI)^{0.5}/S^{0.2} \quad (\text{Persamaan 2. 58})$$

Keterangan:

d = Kedalam air (mm) pada lebar $\frac{1}{4}$ lebar jalan

D = Jarak antara *street inlet*

I = Intensitas hujan (mm/jam)

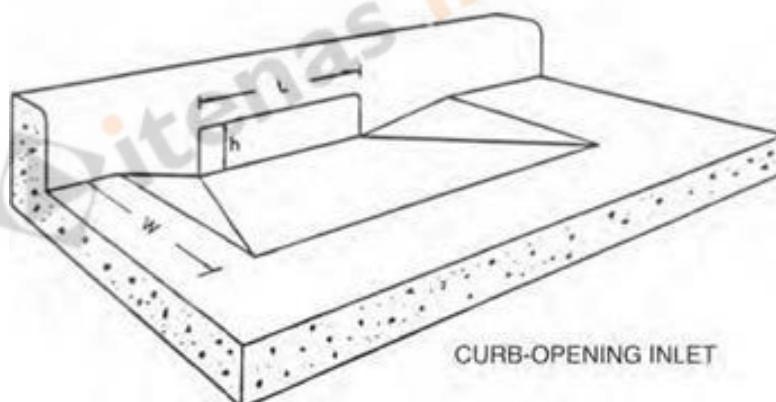
S = Kemiringan jalan

Dalam perencanaan, kapasitas gutter maupun *curb inlet* harus diturunkan (10-30) % untuk memperhitungkan gangguan penyumbatan, dimana penurunan ini tergantung pada kondisi jalan serta tipe inlet seperti pada **Tabel 2.24 :**

Tabel 2.24. Faktor Reduksi Dalam Penentuan Kapasitas Inlet

Kondisi Jalan	Tipe outlet	Persentase dari kapasitas teoritis yang diijinkan
<i>Sump</i>	<i>Curb</i>	80%
<i>Continous grade</i>	<i>Curb</i>	80%
<i>Continous grade</i>	<i>Deflector</i>	75%

Sumber : BUDSP, *Drainage Design for Bandung*, 1970



Gambar 2.19. Curb Inlet

Sumber : Mardiansyah, 2012

2. Gorong-Gorong

Gorong-gorong adalah saluran yang memotong jalan atau media lain. Bentuk gorong-gorong terdiri dari: bentuk lingkaran yang terbuat dari pipa beton dan bentuk segiempat dari beton bertulang (Hasmar, 2002).

Gorong-gorong mempunyai potongan melintang yang lebih kecil dari pada luas basah saluran hulu maupun hilir. Sebagian dari potongan melintang mungkin

berada di atas muka air dalam hal ini gorong-gorong berfungsi sebagai saluran terbuka dengan aliran bebas (Hasmar, 2002).

Pada gorong-gorong aliran bebas, benda-benda yang hanyut dapat lewat dengan mudah, tetapi biaya pembuatannya umumnya lebih mahal dibanding gorong-gorong tenggelam. Untuk maksud pemeliharaan dimana gorong-gorong harus terbebas dari endapan lumpur, dengan batasan kecepatan dalam gorong-gorong harus lebih besar atau sama dengan kecepatan *self cleansing*. Kehilangan tekanan oleh pengaliran di dalam gorong-gorong dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta h = (V^2/2g) (1+a+b (lp/4A)) \quad (3-124) \quad (\text{Persamaan 2. 59})$$

Keterangan:

Δh = Perbedaan tinggi muka air di muka dan di belakang gorong-gorong (m)

V = Kecepatan air dalam gorong-gorong (m/detik)

g = Gaya gravitasi (m/detik²)

l = Panjang gorong-gorong

p = Keliling basah gorong-gorong

A = Luas penampang basah gorong-gorong

a = Koefisien kontraksi pada perlengkapan gorong-gorong.

$$a = (1/\mu) - 1 \quad (\text{Persamaan 2. 60})$$

μ = 0.8 – 0.83

b = Koefisien dinding pada gorong-gorong, untuk gorong-gorong bulat.

Untuk gorong-gorong bulat:

$$b = 1.5 [0.01989 + (0.0005078/d)]$$

Untuk gorong-gorong segi empat:

$$b = 1.5 [0.01989 + (0.0005078/4R)]$$



Gambar 2.20. Bangunan Gorong-gorong
Sumber: Hasmar, 2012

3. Bangunan Terjunan

Bangunan Pelengkap adalah bangunan air yang melengkapi sistem drainase berupa gorong-gorong, bangunan pertemuan, bangunan terjunan, siphon, talang, tali air/*street inlet*, pompa dan pintu air. Bangunan terjunan diperlukan jika kemiringan permukaan tanah lebih curam dari pada kemiringan maksimum saluran yang diizinkan. Selain itu bangunan ini berfungsi untuk mencegah terjadinya penggerusan pada badan saluran akibat kecepatan dalam saluran telah melebihi kecepatan maksimum yang diijinkan (Hasmar, 2002).

Bangunan ini mempunyai empat bagian fungsional yang masing-masing mempunyai sifat perencanaan yang khas. Keempat bagian tersebut adalah:

- Bagian hulu pengontrol, yaitu bagian dimana aliran menjadi superkritis.
- Bagian dimana air dialirkan ke elevasi yang lebih rendah.
- Bagian tepat disebelah hilir potongan U, yaitu tempat energi diredam.
- Bagian peralihan saluran memerlukan lindungan untuk mencegah erosi (Hasmar, 2002).

Bangunan-bangunan pelengkapannya :

a. Bagian pengontrol

Pada bagian pertama dari bangunan ini, aliran di atas ambang dikontrol. Hubungan tinggi energi yang memakai ambang sebagai acuan dengan debit pada pengontrol ini. Kondisi jalan Tipe Inlet Persentase dari kapasitas

teoritis yang diijinkan bergantung pada ketinggian ambang, potongan memanjang mercu bangunan, kedalam bagian pengontrol yang tegak lurus terhadap aliran, dan lebar bagian pengontrol ini. Bangunan-bangunan pengontrol yang mungkin adalah alat ukur ambang lebar atau flum leher panjang (Hasmar, 2002).

b. Terjunan Tegak

Pada terjunan tegak ini air akan mengalami jatuh bebas pada pelimpah terjunan kemudian akan terbentuk suatu loncatan hidrolik pada hilir.

- Untuk $Q < 2.5 \text{ m}^3 / \text{dt}$, tinggi terjun maksimum adalah 1.5 m
- Untuk $Q > 2.5 \text{ m}^3 / \text{dt}$, tinggi terjun maksimum adalah 2.5 m

Untuk menentukan terjunan tegak digunakan rumus (Hasmar, 2002):

$$Y_c = 2/3 h \quad (\text{Persamaan 2. 61})$$

$$Q = bq \quad (\text{Persamaan 2. 62})$$

$$q = Y_c \sqrt{Y_c g} \quad (\text{Persamaan 2. 63})$$

$$D = Y_c/h \quad (\text{Persamaan 2. 64})$$

$$Y_1 = 0.54 HD^{0.425} \quad (\text{Persamaan 2. 65})$$

$$Y_2 = 1.66 HD^{0.27} \quad (\text{Persamaan 2. 66})$$

$$Y_p = HD^{0.22} \quad (\text{Persamaan 2. 67})$$

$$4L_d = 4.3 HD^{0.22} \quad (\text{Persamaan 2. 68})$$

$$L_j = 6.9 (Y_2 - Y_1) \quad (\text{Persamaan 2. 69})$$

$$L_t = L_d + L_j \quad (\text{Persamaan 2. 70})$$

Keterangan:

Y_c = Kedalaman air kritis (m)

h = Kedalaman air normal (m)

Q = Debit aliran (m^3/detik)

b = Lebar saluran

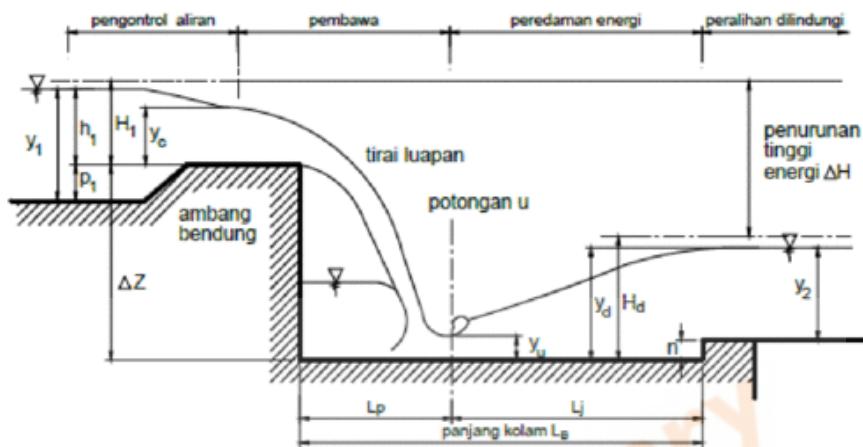
q = Debit persatuan lebar ambang

g = Gaya graviti

Y_1 = Kedalaman sebelum terjadi lompatan (m)

Y_2 = Kedalaman setelah terjadi lompatan (m)

- Y_p = Kedalaman terjunan
 L_d = Panjang terjunan
 L_j = Panjang lompatan air (m)
 L_t = Panjang total



Gambar 2.21. Terjunan Tegak
Sumber: Hasmar, 2002

c. Terjunan Miring

Terjunan miring dipakai untuk tinggi terjun > 2 m. Mulai dari awal terjunan miringnya air yang mendapat tambahan kecepatan sehingga sepanjang terjunan miring tersebut berangsurg-angsurg terjadi penurunan muka air. Supaya perubahan kecepatan air dari kecepatan normal ke kecapatan maksimum berjalan secara teratur dan tidak secara mendadak, dibuat suatu bagian peralihan. Tipe yang sering digunakan adalah tipe vluighter (Hasmar, 2002).

$$H = h_1 + (v^2/2g) \quad (\text{Persamaan 2. 71})$$

$$h_2 = 2/3 h_1 \quad (\text{Persamaan 2. 72})$$

$$S = CH (H/z) \quad (\text{Persamaan 2. 73})$$

Keterangan 1:

$$C = 0.40$$

untuk $1/3 < z/H < 4/3$, maka $D = 0.60 H + 1.1 z$

$$a = 0.2 H H/z$$

untuk $4/3 < z/H <$, maka $D = H + 1.1z$

$$a = 0.15 H \text{ H/z}$$

Keterangan 2:

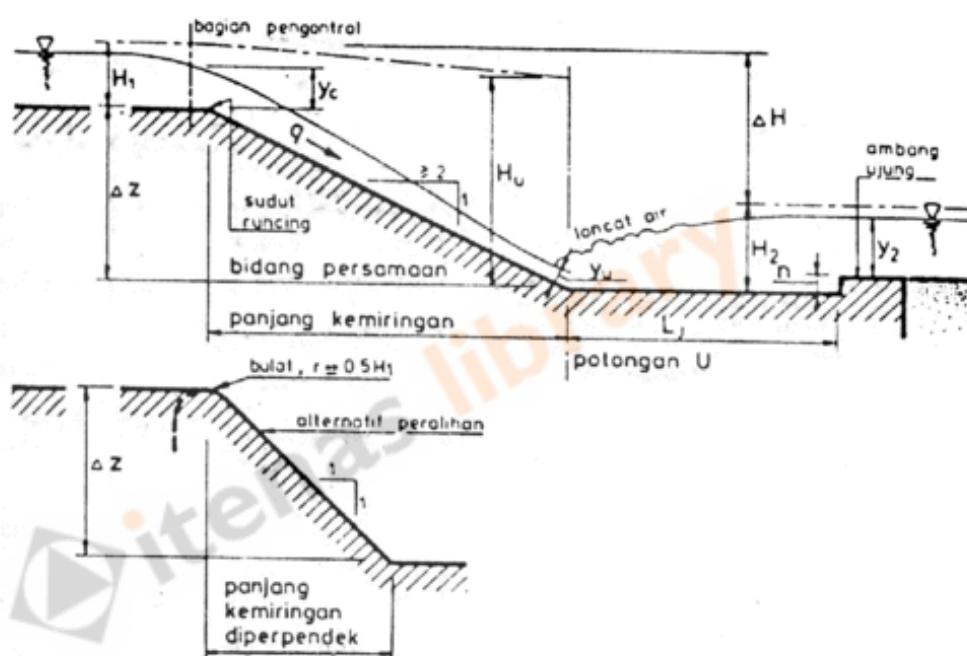
H = Tinggi energi (m)

h_1 = Kedalaman air di hilir

h_2 = Kedalaman kritis (m)

s = Ketinggian air pada bagian yang miring (m)

z = Beda tinggi air sebelum dan sesudah terjunan (m)



Gambar 2.22. Terjunan Miring

Sumber: Hasmar, 2002

d. Bangunan Pembuangan atau *Outfall*

Bangunan pembuangan atau *outfall* merupakan ujung saluran yang ditempatkan pada sungai atau badan air penerima lainnya. Strukturnya *outfall* ini hampir sama dengan struktur bangunan terjunan karena biasanya titik ujung saluran terletak pada elevasi yang lebih tinggi dari permukaan badan air penerima, sehingga dalam perencanaan *outfall* ini merupakan bangunan terjunan. Untuk menghitung dimensinya digunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Manning. Kecepatan aliran dapat direncanakan antara 6

sampai 10 m/dt. Lebar mulut peralihan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Hardjosuprato, 1998)

$$Q = 0.35 b(h+(v^2/2g)) 2g \sqrt{h+(v^2/2g)} \quad (\textbf{Persamaan 2. 74})$$

V adalah kecepatan aliran pada saluran, sedangkan kecepatan aliran pada awal bagian peralihan (v_1) dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Hardjosuprato, 1998):

$$Q = A v_1 \quad (\textbf{Persamaan 2. 75})$$

$$A = b (2/3 h) \quad (\textbf{Persamaan 2. 76})$$

Sedangkan panjang bagian peralihan dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Hardjosuprato, 1998):

$$L = H/S \quad (\textbf{Persamaan 2. 77})$$

$$v_2 - v_1 = m \sqrt{2gH} \quad (\textbf{Persamaan 2. 78})$$

Keterangan:

H = Perbedaan tinggi profil awal dan akhir dari bagian peralihan

S = Kemiringan saluran (%)

2.5 Drainase Berwawasan Lingkungan

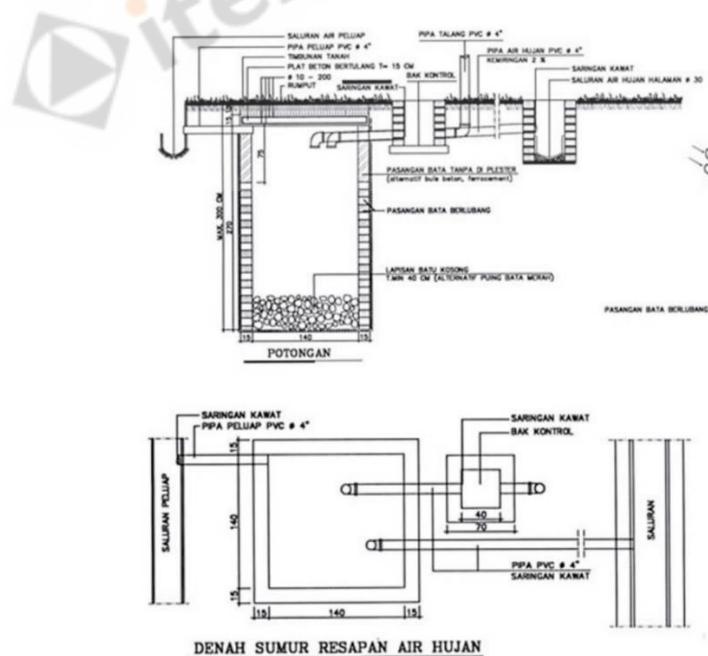
Konsep drainase dengan paradigma lama adalah drainase mengalirkan kelebihan air (utamanya air hujan) ke badan air terdekat. Drainase dengan paradigma lama semacam ini adalah drainase yang lahir sebelum pola pikir komprehensif yang berkembang, dimana masalah genangan, banjir, kekeringan dan kerusakan lingkungan masih dipandang sebagai masalah lokal dan sektoral yang bisa diselesaikan secara lokal dan sektoral pula tanpa melihat kondisi sumber daya air dan lingkungan di hulu, tengah dan hilir secara komprehensif (Permen PU RI Nomor 12 PRT/M/2014).

Drainase berwawasan lingkungan didefinisikan sebagai upaya untuk mengelola air kelebihan (air hujan) dengan berbagai metode diantaranya dengan menampung melalui bak tandon air untuk langsung bisa digunakan, menampung dalam tampungan buatan atau badan air alamiah, meresapkan dan mengalirkan ke sungai terdekat tanpa menambah beban pada sungai yang bersangkutan serta dapat

memelihara sistem tersebut sehingga berdaya guna secara berkelanjutan. Dengan konsep drainase berwawasan lingkungan tersebut, maka kelebihan air hujan tidak secepatnya dibuang ke sungai terdekat, namun air hujan tersebut dapat disimpan di berbagai lokasi di wilayah yang bersangkutan dengan berbagai macam cara, sehingga dapat langsung dimanfaatkan atau dimanfaatkan pada musim berikutnya, dan dapat digunakan sebagai sarana untuk mengurangi genangan dan banjir yang ada (Permen PU No.12 Tahun 2014).

2.5.1 Sumur Resapan

Sumur resapan merupakan sumur atau lubang pada permukaan tanah yang dibuat untuk menampung air hujan agar dapat meresap ke dalam tanah. Sumur resapan ini berkebalikan dari sumur air minum. Sumur resapan merupakan lubang untuk memasukkan air ke dalam tanah, sedangkan sumur air minum berfungsi untuk menaikkan air tanah ke permukaan. Dengan demikian konstruksi dan kedalamannya berbeda. Sumur resapan digali dengan kedalaman di atas muka air tanah. Sumur air minum digali lebih dalam lagi atau di bawah muka air tanah (Kusnaedi, 1995).



Gambar 2.23. Denah Sumur Resapan

Sumber : Kusnaedi, 1995

2.5.1.1 Kegunaan Sumur Resapan

Beberapa kegunaan sumur resapan, adalah sebagai berikut:

1. Konservasi air tanah.

Sumur resapan sebagai konservasi air tanah, diharapkan agar air hujan lebih banyak yang diresapkan ke dalam tanah menjadi air cadangan dalam tanah. Air yang tersimpan dalam tanah tersebut akan dapat dimanfaatkan melalui sumur-sumur atau mata air. Peresapan air melalui sumur resapan ke dalam tanah sangat penting mengingat adanya perubahan tata guna tanah di permukaan bumi sebagai kosekuensi dari perkembangan penduduk dan perekonomian masyarakat. Dengan adanya perubahan tata guna tanah tersebut akan menurunkan kemampuan tanah untuk meresapkan air. Hal ini mengingat semakin banyaknya tanah yang tertutupi tembok, beton, aspal dan bangunan lainnya yang tidak meresapkan air (Kusnaedi, 1995).

2. Menekan laju erosi.

Dengan adanya penurunan aliran permukaan maka laju erosi pun akan menurun. Bila aliran permukaan menurun, tanah-tanah yang tergerus dan terhanyut pun akan berkurang. Dampaknya, aliran permukaan air hujan kecil dan erosi pun akan kecil. Dengan demikian adanya sumur resapan yang mampu menekan besarnya aliran permukaan berarti dapat menekan laju erosi (Kusnaedi, 1995).

3. Pengendali banjir.

Sumur resapan mampu memperkecil aliran permukaan sehingga terhindar dari penggenangan aliran permukaan secara berlebihan yang menyebabkan banjir (Kusnaedi, 1995).

2.5.1.2 Persyaratan Penggunaan Sumur Resapan

Berdasarkan SNI 8456:2017 Tata Cara Perencanaan Teknik Sumur Resapan Air Hujan Untuk Lahan Pekarangan memiliki persyaratan yang harus di penuhi adalah sebagai berikut:

- a. Persyaratan Umum

- Sumur resapan air hujan di tempatkan pada lahan yang relatif datar, mempunyai beda ketinggian antara 0,03 atau 3%
- Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah air hujan yang tidak tercemar
- Penempatan sumur resapan air hujan harus mempertingkan keamanan bangunan sekitarnya
- Harus memperhatikan peraturan daerah setempat
- Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan ini harus disetujui instansi yang berwenang (SNI 8456:2017).

b. Persyaratan Teknis

- Kedalaman air tanah

Kedalaman air tanah minimum 1,5 m pada musim hujan

- Permeabilitas tanah

Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah $\geq 2 \text{ cm/jam}$ dengan klasifikasi sebagai berikut:

- Permeabilitas tanah sedang (geluh kelanauan, 2 – 3,6 cm/jam atau 0,48 – 0,864 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$)
- Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus, 3,6 – 36 cm/jam atau 0,864 – 8,64 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$)
- Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar, lebih besar 36 cm/jam atau 8,64 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$)
- Jarak terhadap bangunan

Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan, dapat dilihat

Tabel 2.25 (SNI 8456:2017).

Tabel 2.25. Jarak Minimum Sumur Resapan Air Hujan Terhadap Bangunan

No.	Jenis Bangunan	Jarak Minimum dari Sumur Resapan Air Hujan (m)
1	Sumur resapan air hujan/smur air bersih	3
2	Pondasi bangunan	1
3	Bidang resapan/sumur resapan tangki septik	5

Sumber: SNI 8456:2017

2.5.1.3 Perhitungan dan Penentuan Sumur Resapan

A. Perhitungan sumur resapan air hujan

Sebagai upaya konservasi air tanah digunakan alternatif penggunaan sumur resapan SNI 8456:2017, Perhitungan sumur resapan air hujan terbagi atas:

1) Perhitungan Intensitas

Intensitas hujan ditentukan dengan analisis Intensity Duration Frequency (IDF) dari daerah lokasi pembangunan dengan durasi hujan 2 jam dan periode ulang 2 tahunan digunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{Persamaan 2. 79})$$

Keterangan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

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

R_{24} = Curah hujan rencana dalam suatu periode ulang, yang nilainya didapat dari tahapan sebelumnya (tahapan analisis frekuensi)

2) Kedalaman Sumur (H) digunakan rumus sebagai berikut:

$$H = \frac{Q}{\omega \pi r K} \cdot A_{total} \cdot K \quad (\text{Persamaan 2. 80})$$

Keterangan:

- Harga $\omega = 2$, untuk sumur kosong berdinding kedap air atau sumur tanpa dinding dengan batu pengisi.
- Harga $\omega = 5$, untuk sumur kosong berdinding poros.

H = kedalaman sumur (m)

r = radius sumur (m)

K = koefisien permeabilitas tanah (m/jam)

Q = debit andil banjir ($Q = C \cdot I \cdot A$) (m³/jam)

3) Debit Andil Banjir digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = C \times i \times A \quad (\text{Persamaan 2. 81})$$

2.5.2 Lubang Resapan Biopori

Lubang Resapan Biopori (LRB) yaitu ruangan atau pori-pori dalam tanah yang dibentuk secara alami dengan adanya aktivitas makhluk hidup di dalam tanah seperti, akar tanaman, cacing, rayap dan mikroorganisme lainnya. Bentuk biopori meyerupai liang kecil dan bercabang-cabang yang sangat efektif menyerap air ke dalam tanah (**Gambar 2.24**) (Brata dan Nelistya, 2008).

Lubang Resapan Biopori (LRB) dikembangkan atas dasar prinsip ekohidrologis, yaitu dengan memperbaiki kondisi ekosistem tanah akan memperbaiki fungsi hidrologis ekosistem tersebut. Pemanfaatan sampah organik ke dalam lubang kecil dan dalam ternyata dapat menciptakan habitat yang baik bagi beraneka ragam organisme tanah. Organisme tanah dapat mempercepat pelapukan bahan organik serta meningkatkan pembentukan biopori yang dapat memperlancar peresapan air dan pertukaran O₂ dan CO₂ di dalam tanah. Manfaat lubang resapan biopori (LRB) yaitu (Brata dan Nelistya, 2008):

1. Memperbaiki ekosistem tanah;
2. Meresapkan air, mencegah banjir;
3. Menambah cadangan air tanah;
4. Mengatasi kekeringan;
5. Mempermudah penanganan sampah dan menjaga kebersihan;
6. Mengubah sampah menjadi kompos;
7. Mengurangi gas emisi rumah kaca dan metan; dan
8. Mengatasi masalah akibat genangan

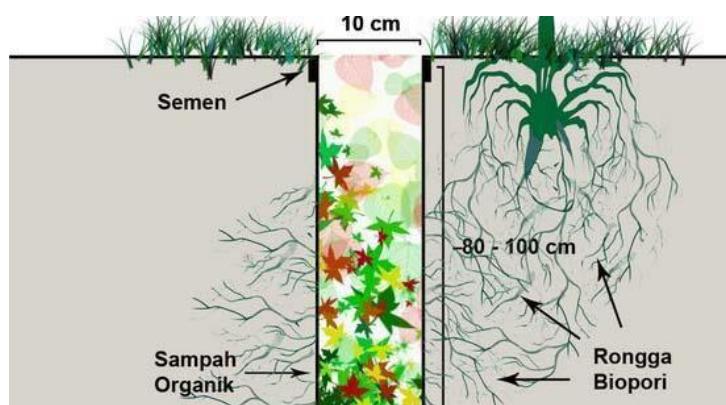
Peresapan air ke dalam tanah dapat diperlancar dengan adanya biopori yang dapat diciptakan oleh fauna tanah dan akar tanaman. Cacing tanah adalah fauna tanah yang sangat berperan dalam memperbaiki kondisi tanah. Fauna ini dapat melalukan porositas tanah dengan membuat biopori. Biopori cacing tanah dapat membantu proses resapan air tanah (Brata dan Nelistya, 2008).

Teknologi ini bisa diaplikasikan di kawasan perumahan yang 100 persen kedap air atau sama sekali tidak ada tanah terbuka maupun di areal persawahan yang berlokasi di kawasan perbukitan. Prinsip dari teknologi ini adalah menghindari

air hujan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan membiarkannya terserap ke dalam tanah melalui lubang resapan tersebut. Yang menjadi salah satu faktor penyebab banjir adalah air hujan yang mengguyur wilayah hulu tidak bisa diserap dengan baik karena berkurangnya pepohonan dan banyaknya bangunan, sehingga wilayah hilir kebanjiran. Dinamakan teknologi biopori atau mulsa vertikal karena teknologi ini mengandalkan jasa hewan-hewan tanah seperti cacing dan rayap untuk membentuk pori-pori alami dalam tanah, dengan bantuan sampah organik, sehingga air bisa terserap dan struktur tanah diperbaiki (Brata dan Nelistya, 2008).

Di kawasan perumahan yang 100 persen kedap air, teknologi lubang serapan biopori ini diterapkan dengan membuat lubang di saluran air ataupun di areal yang sudah terlanjur diperkeras dengan semen dengan alat bor. Kemudian ke dalam lubang berdiameter 10 cm dengan kedalaman 80 cm atau maksimal satu meter tersebut, dimasukkan sampah organik yang bisa berupa daun atau ranting kering serta sampah rumah tangga. Keberadaan sampah organik ini berfungsi untuk membantu menghidupkan cacing tanah dan rayap yang nantinya akan membuat biopori (Brata dan Nelistya, 2008)

Tempat yang dianjurkan untuk pemasangan biopori adalah: di saluran pembuangan air hujan, sekeliling pohon, kontur taman, pada sisi pagar, dan tempat lain yang dianggap sesuai. Sudah semestinya biopori ditempatkan pada titik yang berpotensi terjadi genangan, karena pembuatan biopori pada lokasi yang agak tinggi maka laju resapan air tidak maksimal (Brata dan Nelistya, 2008).



Gambar 2. 24 Lubang Resapan Biopori

Sumber : Hasmar, 2012

2.5.3.1 Persyaratan Lokasi Lubang Resapan Biopori

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2009, berikut ini merupakan persyaratan lokasi lubang resapan :

- a. Di sekitar daerah pemukiman, taman, halaman parkir dan sekitar pohon.
- b. Di daerah yang dilewati aliran air hujan.

2.5.3.2 Konstruksi Lubang Resapan Biopori

Konstruksi untuk lubang resapan biopori yaitu sebagai berikut (Permen LH No 12, 2009):

- a. Membuat lubang silindris ke dalam tanah dengan diameter 10 cm, kedalaman 100 cm atau tidak melampaui kedalaman air tanah. Jarak pembuatan lubang resapan biopori antara 50-100 cm.
- b. Memperkuat mulut atau pangkal lubang dengan menggunakan :
 - 1) Paralon dengan diameter 10 cm, panjang minimal 10 cm, atau
 - 2) Adukan semen selebar 2-3cm, setebal 2 cm disekeliling mulut lubang.
- c. Mengisi lubang LRB dengan sampah organik yang berasal dari dedaunan, pangkasan rumput dari halaman atau sampah dapur.

2.5.3.3 Perawatan Lubang Resapan Biopori

Perlu dilakukan perawatan lubang resapan biopori agar tetap berfungsi optimal. Perawatan dilakukan dengan cara :

- a. Penambahan bahan organik menambahkan sampah organik dengan tujuan untuk mempertahankan ketersediaan bahan organik yang berguna untuk kelangsungan hidup dan aktivitas mikro organisme tanah yang berperan dalam terbentuknya liang-liang pori di dalam tanah, karena organisme tanah membutuhkan pakan setiap hari untuk dapat tumbuh dan berkembang biak, selain itu juga agar lubang biopori tetap penuh, sehingga tanah yang terbawa oleh air hujan tidak masuk ke dalam lubang dan menjaga dinding biopori tidak roboh (Brata dan Nelistya, 2008).
- b. Memanen kompos sampah organik yang dimasukkan ke dalam LRB akan terurai dan mengalami pelapukan dengan bantuan berbagai organisme tanah

menjadi kompos, yang ditandai perubahan struktur menjadi lebih halus dan warna menjadi coklat kehitaman. Pemanenan kompos sebaiknya dilakukan pada musim kemarau di mana kondisi tanah tidak dalam keadaan basah (Brata dan Nelistya, 2008).

2.3.5 *Rainwater Harvesting*

Rain Water Harvesting merupakan kegiatan mengumpulkan, menggunakan, dan/atau meresapkan air hujan ke dalam tanah (PERMEN LH No 12 Tahun 2009). *Rain Water Harvesting* bertujuan untuk mengurangi genangan air atau banjir serta mempertahankan kualitas dan meningkatkan kuantitas air tanah ketika air hujan digunakan untuk mengairi area taman, terjadi evapotranspirasi oleh vegetasi atau menyerapkan air hujan ke dalam tanah, sehingga membantu untuk menjaga keseimbangan air (Dhalla dan Christine Zimmer, 2010).

Keuntungan *Rain Water Harvesting* sebagai salah satu alternatif sumber air bersih adalah untuk meminimalisasi dampak lingkungan dan membantu masyarakat dalam mempermudah pemanfaatan air hujan dengan memanfaatkan lokasi yang sudah tersedia seperti atap sekolah, tempat parkir, dan lain-lain. Air hujan yang dikumpulkan juga relatif lebih jernih dikarenakan pengolahan air hujan langsung tanpa media apapun. Air hujan juga dapat dimanfaatkan untuk kondisi yang darurat, terutama pada saat bencana alam, kebanjiran dan lain-lain. Keuntungan berikutnya adalah sebagai cadangan pemenuhan kebutuhan air bersih, dapat mengurangi ketergantungan penyediaan air PAM. Pemanenan air hujan merupakan teknologi yang mudah dan fleksibel dan dapat dibangun sesuai dengan kebutuhan. Sarana prasarana yang digunakan untuk memanen air hujan yaitu tangki penampungan/tendon, kolam penampungan, waduk kecil atau embung atau danau buatan.

Sistem pemanenan air hujan dapat diklasifikasikan seperti berikut, antara lain:

a. Sistem Penangkap (Collection System)

Dalam perencanaan, menentukan tempat untuk menangkap air hujan sangat mempengaruhi kuantitas dan kualitas air, faktor pemasukan pemanenan air hujan, kotoran, dan daun, adalah hal yang harus diperhatikan karena dapat

mempengaruhi kualitas air. Tempat yang biasa digunakan untuk menangkap air hujan adalah atap bangunan, lapangan terbuka, jalan dan saluran.

b. Sistem Filter (Filtering System)

Air hujan yang sudah ditangkap biasanya masih tercampur dengan tanah, pasir, dedaunan, sampah, kotoran hewan, dan lain-lain. Karena itu, perlu dilakukan usaha penyaringan untuk meningkatkan kualitas air dan memastikan air bebas dari pencemaran. Tingkat pencemaran air dipengaruhi oleh tempat penangkap air hujan. Air hujan yang ditangkap dari jalan mengandung kotoran lebih banyak dibandingkan air hujan yang ditangkap dari atap bangunan. Untuk pengolahan air hujan ini, dapat dilakukan dengan memasang filter atau mesh screen. Ukuran mesh screen biasanya digunakan 1–5 mm.

c. Sistem Penampungan (Storage System)

Tempat penyimpanan atau penampungan air hujan ini bisa berupa tangki alami seperti kolam ataupun tangki buatan seperti tanki/tong atau bak. Biasanya, bahan yang digunakan untuk tampungan outdoor menggunakan beton atau plastik, dan untuk indoor menggunakan bahan plastik. Tampungan tidak boleh ada lubang pada penampungan untuk menjaga kualitas air yang sudah melewati tahap penyaringan. Dan untuk tempat pemasangan tampungan ini harus dijauhkan dari suhu yang terlalu tinggi atau rendah, serta terhindar dari cahaya langsung (Kementerian lingkungan Hidup, 2010).

Persamaan - persamaan utama yang digunakan, diantaranya; debit limpasan permukaan menggunakan Metode Rasional dengan persamaan (Suhardjono. 2015):

$$Q = C \times i \times A \quad (\text{Persamaan 2. 82})$$

Keterangan :

Q = debit limpasan rencana ($\text{m}^3 / \text{detik}$).

C = koefisien limpasan (tak berdimensi).

I = intensitas hujan pada durasi yang sama dengan waktu konsentrasi dan periode ulang hujan tertentu (mm/jam).

A = luas daerah pengaliran (m^2).

Air hujan yang jatuh ke atap pada saat awal terjadinya hujan memiliki kualitas buruk akibat dari akumulasi debu, sedimen, kotoran hewan dan burung, daun serta puing-puing dari daerah sekitarnya. Maka dari itu, diperlukan penggelontoran sejumlah air hujan yang jatuh ke atap (*first flush*) untuk meningkatkan kualitas air panen yang akan dipergunakan.

Komponen-komponen utama konstruksi tampungan air hujan seperti yang digambarkan dalam Gambar 5, terdiri dari : atap rumah, saluran pengumpul (*collector channel*), filter untuk menyaring daun-daun atau kotoran lainnya yang terangkut oleh air, dan bak penampung air hujan.