

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Perubahan fungsi lahan merupakan hal yang umum terjadi di kawasan perkotaan sebagai akibat meningkatnya jumlah penduduk dan kebutuhan tempat tinggal. Hal ini mengakibatkan meningkatnya aliran permukaan dan berkurangnya air tanah. Air sebagai salah satu kebutuhan pokok dalam kehidupan perlu dijaga kelestariannya. Peningkatan aliran air permukaan menyebabkan tingginya genangan air pada saat musim penghujan di Kota Semarang bagian Utara (Kecamatan Semarang barat, Semarang Utara, Kecamatan Semarang Timur). Oleh sebab itu perlu diterapkan sistem drainase berwawasan lingkungan untuk meningkatkan konservasi air tanah dengan cara meningkatkan resapan air ke dalam tanah sehingga mampu mengurangi tinggi genangan pada musim penghujan.

2.2 Konservasi Air Tanah

Theodore Roosevelt (1902) mengemukakan konsep konservasi untuk pertama kali dengan penjelasan sebagai berikut, berasal dari kata *Conservation* yang terdiri atas kata *con (together)* dan *servare (keep/save)* yang memiliki pengertian mengenai upaya memelihara apa yang kita punya (*keep/save what you have*), namun secara bijaksana (*wise use*). Konservasi merupakan manajemen udara, air, tanah, mineral ke organisme hidup termasuk manusia sehingga dapat dicapai kualitas kehidupan manusia yang meningkat termasuk dalam kegiatan manajemen adalah survai, penelitian, administrasi, preservasi, pendidikan, pemanfaatan dan latihan (IUCN, 1968). Konservasi adalah manajemen penggunaan biosfer oleh manusia sehingga dapat memberikan atau memenuhi keuntungan yang besar dan dapat diperbaharui untuk generasi-generasi yang akan datang (WCS, 1980). Sedangkan menurut Rijksen (2001), konservasi merupakan suatu bentuk evolusi kultural dimana pada saat dulu, upaya konservasi lebih buruk daripada saat sekarang.

Konservasi air tanah menurut Danaryanto,dkk (2005) adalah upaya melindungi dan memelihara keberadaan, kondisi dan lingkungan air tanah guna mempertahankan kelestarian atau kesinambungan ketersediaan dalam kuantitas dan kualitas yang memadai, demi kelangsungan fungsi dan kemanfaatannya untuk memenuhi kebutuhan

mahluk hidup, baik waktu sekarang maupun pada generasi yang akan datang. Reastika, 2011 mengemukakan pada dasarnya konservasi air tanah tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan volume air tanah, tetapi juga meningkatkan konservasi air permukaan. Efisiensi penggunaannya sekaligus mengurangi *run off* air permukaan yang diharapkan dapat meresap ke tanah dan mengisi akuifer menjadi air tanah. Berdasarkan UU No. 5 Tahun 1990 pasal 1 angka 2 konservasi merupakan salah satu upaya untuk melindungi dan melestarikan keanekaragaman hayati, konservasi sumber daya alam hayati adalah pengelolaan sumber daya alam hayati yang pemanfaatannya dilakukan secara bijaksana untuk menjamin kesinambungan persediaannya dengan tetap memelihara dan meningkatkan kualitas keanekaragaman dan nilainya. Pasal 1 angka 9 Peraturan Pemerintah No. 43 Tahun 2008 menjelaskan bahwa, konservasi air tanah dimaksudkan sebagai upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat dan fungsi air tanah agar senantiasa tersedia dalam kualitas dan kuantitas yang memadai untuk kebutuhan mahluk hidup baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang.

Berdasarkan definisi di atas, dapat diartikan bahwa konservasi air tanah adalah salah satu upaya yang dilakukan untuk menjaga ketersediaan air tanah dalam jumlah dan kualitas yang mencukupi untuk digunakan pada masa sekarang maupun masa mendatang. Peralihan fungsi lahan terbuka menjadi lahan kedap air (bangunan) memiliki dampak penting bagi ketersediaan air tanah. Oleh sebab itu perlu dilakukan peninjauan terhadap penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan berkaitan dengan peningkatan konservasi air tanah.

2.3 Cekungan Air Tanah

Krisis air sebagai salah satu akibat kerusakan lingkungan, memerlukan suatu upaya untuk menjaga keberadaan dan ketersediaan sumber daya air tanah. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan sistem drainase berwawasan lingkungan pada kawasan resapan air yang beralih fungsi menjadi kawasan kedap air. Di dalam Undang-undang Sumber Daya Air, daerah aliran air tanah disebut dengan Cekungan Air Tanah (CAT) atau *groundwater basin* yang dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, di mana terjadi semua kejadian hidrogeologis seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah (Sutandi, 2012). Sehingga dapat dikatakan bahwa CAT adalah batas teknis Pengelolaan

Sumber Daya Air untuk air tanah. Basin dalam Bahasa Indonesia berarti cekungan (Echols & Shadily, 2002a).

2.3.1 Kriteria CAT dan Non-CAT

Di dalam Permen ESDM No. 2 Tahun 2017 diatur pula tentang kriteria CAT dan non-CAT.

- a. Berdasarkan Permen ESDM No. 2 Tahun 2017, Kriteria Cekungan Air Tanah (CAT) adalah sebagai berikut:
 1. Mempunyai batas hidrogeologis yang dikontrol oleh kondisi geologis dan/ atau kondisi hidraulik air tanah. Batas hidrogeologis adalah batas fisik wilayah pengelolaan air tanah. Batas hidrogeologis dapat berupa batas antara batuan lulus dan tidak lulus air, batas pemisah air tanah, dan batas yang terbentuk oleh struktur geologi yang meliputi, antara lain, kemiringan lapisan batuan, patahan dan lipatan.
 2. Mempunyai daerah imbuhan dan daerah lepasan air tanah dalam satu sistem pembentukan air tanah. Daerah imbuhan air tanah merupakan kawasan lindung air tanah, di daerah tersebut air tanah tidak untuk didayagunakan, sedangkan daerah lepasan air tanah secara umum dapat didayagunakan, dapat dikatakan sebagai kawasan budi daya air tanah.
 3. Memiliki satu kesatuan sistem akuifer: yaitu kesatuan susunan akuifer, termasuk lapisan batuan kedap air yang berada di dalamnya. Akuifer dapat berada pada kondisi tidak tertekan atau bebas (*unconfined*) dan/atau tertekan (*confined*).
- b. Berdasarkan Permen ESDM No. 2 Tahun 2017, Kriteria Cekungan Air Tanah tidak potensial (non-CAT) adalah sebagai berikut:
 1. Tidak mempunyai batas hidrogeologis yang dikontrol oleh kondisi geologis dan/atau kondisi hidraulik air tanah.
 2. Tidak mempunyai daerah imbuhan dan daerah lepasan air tanah dalam satu sistem pembentukan air tanah.
 3. Tidak memiliki satu kesatuan sistem akuifer.

2.3.2 Komponen CAT

Berdasarkan Keputusan Presiden No. 26 Tahun 2011 Tentang Cekungan Air Tanah, di Indonesia CAT terdiri atas akuifer bebas (*unconfined aquifer*) dan akuifer

tertekan (*confined aquifer*). Akuifer menurut Freeze dan Chery (1979) adalah lapisan geologi yang permeabel yang dapat membawa air dalam jumlah besar di bawah gradien hidraulik. Dengan kata lain, akuifer dapat dideskripsikan sebagai tempat untuk penyimpanan air tanah.

Akuifer bebas merupakan akuifer jenuh air (*saturated*) yang dibatasi oleh lapisan *aquitard* di bagian bawahnya, sedangkan pada bagian atasnya tidak dibatasi oleh lapisan *aquitard*, melainkan dibatasi oleh muka air tanah. Dengan kata lain, akuifer bebas merupakan akuifer yang memiliki muka air tanah (Kodoatie, 1996). Sedangkan akuifer tertekan adalah akuifer yang memiliki batas lapisan atas dan lapisan bawah berupa formasi yang tidak tembus air (*edap air*), sehingga muka air akan muncul di atas formasi tertekan bawah. Akuifer ini dapat ditemukan pada bagian bawah permukaan tanah (Bear, 1979). Menurut Kodoatie (1996), akuifer tertekan merupakan akuifer jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas dan lapisan bawah yang kedap air (*aquiclude*) dan memiliki tekanan air lebih besar dibandingkan tekanan atmosfer. Pada lapisan pembatasnya tidak ada air yang mengalir (*no flux*).

Pada pendefinisian tentang akuifer bebas, disebutkan bahwa batas bawah akuifer bebas adalah *aquitard*. *Aquitard* didefinisikan sebagai suatu lapisan-lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang permeabel dengan nilai konduktivitas hidraulik yang kecil namun masih memungkinkan air melewati lapisan ini walaupun dengan gerakan yang lambat. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan pembatas atas dan bawah suatu *semi confined aquifer* (Kodoatie, 1996). *Aquitard* atau lapisan batuan lambat air adalah suatu lapisan batuan yang sedikit lulus air dan tidak mampu melepaskan air dalam arah mendatar, tetapi mampu melepaskan air cukup berarti ke arah vertikal, misalnya lempung pasir (Danaryanto dkk., 2005)

Pada penjelasan tentang akuifer tertekan, disebutkan bahwa batas bawah dan batas atas akuifer tertekan adalah *aquiclude*. *Aquiclude* dapat didefinisikan sebagai lapisan-lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang *impermeable* dengan nilai konduktivitas hidraulik yang sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air melewatinya (Kodoatie, 1996). Menurut Bear (1979), *aquiclude* adalah formasi yang mungkin mengandung air (kadang-kadang dalam jumlah yang besar), tetapi tidak bisa mengalirkan air dalam jumlah yang signifikan di bawah kondisi biasa.

2.4 Pembangunan Berkelanjutan dan Terintegrasi

Pembangunan berkelanjutan adalah proses pembangunan (lahan, kota, bisnis, dan masyarakat) yang berprinsip "memenuhi kebutuhan sekarang tanpa mengorbankan pemenuhan kebutuhan generasi masa depan" (Brundtland Report dari PBB, 1987). Pembangunan terintegrasi atau dapat disebut pula sebagai *integrated development* diartikan sebagai upaya penggabungan beberapa sistem menjadi sebuah kesatuan dengan tujuan diperoleh kebersinambungan pembangunan.

2.4.1 Definisi Pembangunan Berkelanjutan

Konstruksi yang berkelanjutan adalah suatu konsep yang ditawarkan oleh pelaku di industri konstruksi untuk menjawab tantangan akan kebutuhan pengembangan yang berkelanjutan atau *sustainable development* (Huovila dan Koskela, 1988). Pengembangan yang berkelanjutan sendiri adalah konsep pembangunan yang ditujukan untuk menyediakan kualitas hidup yang lebih baik untuk semua orang saat ini dan untuk generasi yang akan datang. Dalam hal ini pengembangan yang berkelanjutan melingkupi tiga tema penting, yaitu sosial, lingkungan dan ekonomi (Khalvan 2002).

Menurut Munasinghe (1993), pembangunan berkelanjutan mempunyai tiga tujuan utama, yaitu: tujuan ekonomi (*economic objective*), tujuan ekologi (*ecological objective*) dan tujuan sosial (*social objective*). Tujuan ekonomi terkait dengan masalah efisiensi (*efficiency*) dan pertumbuhan (*growth*), tujuan ekologi terkait dengan masalah konservasi sumberdaya alam (*natural resources conservation*), dan tujuan sosial terkait dengan masalah pengurangan kemiskinan (*poverty*) dan pemerataan (*equity*). Dengan demikian, tujuan pembangunan berkelanjutan pada dasarnya terletak pada adanya harmonisasi antara tujuan ekonomi, tujuan ekologi dan tujuan sosial.

Memang diakui bahwa konsep pembangunan berkelanjutan merupakan konsep yang sederhana namun kompleks, sehingga pengertian keberlanjutanpun sangat multi dimensi dan multi-interpretasi. Menurut Heal dalam (Fauzi, 2004) konsep keberlanjutan ini paling tidak mengandung dua dimensi : Pertama adalah dimensi waktu karena keberlanjutan tidak lain menyangkut apa yang akan terjadi dimasa yang akan datang. Kedua adalah dimensi interaksi antara sistem ekonomi dan sistem sumber daya alam dan lingkungan.

2.4.2 Konsep Pembangunan Berkelanjutan

Konsep keberlanjutan paling tidak mengandung dua dimensi, yaitu dimensi waktu karena keberlanjutan tidak lain menyangkut apa yang akan terjadi di masa mendatang, dan dimensi interaksi antara sistem ekonomi dan sistem sumberdaya alam dan lingkungan (Heal, 1998 dalam Fauzi, 2004).

a. Aspek operasional dari konsep keberlanjutan ini dapat dipahami lebih jauh dengan adanya lima alternatif pengertian sebagaimana yang diuraikan Perman (1996) dalam Fauzi (2004), sebagai berikut :

1. Suatu kondisi dikatakan berkelanjutan (*sustainable*) jika utilitas yang diperoleh masyarakat tidak berkurang sepanjang waktu dan konsumsi tidak menurun sepanjang waktu (*non-declining consumption*).
2. Keberlanjutan adalah kondisi dimana sumberdaya alam dikelola sedemikian rupa untuk memelihara kesempatan produksi di masa mendatang.
3. Keberlanjutan adalah kondisi dimana sumberdaya alam (*natural capital stock*) tidak berkurang sepanjang waktu (*non-declining*).
4. Keberlanjutan adalah kondisi dimana sumberdaya alam dikelola untuk mempertahankan produksi jasa sumberdaya alam.
5. Keberlanjutan adalah kondisi dimana kondisi minimum keseimbangan dan daya tahan (*resilience*) ekosistem terpenuhi.

b. Haris (2000) dalam Fauzi (2004), melihat bahwa konsep keberlanjutan dapat diperinci menjadi tiga aspek pemahaman :

1. Keberlanjutan ekonomi.

Keberlanjutan ekonomi yang diartikan sebagai pembangunan yang mampu menghasilkan barang dan jasa secara kontinyu untuk memelihara keberlanjutan pemerintahan dan menghindari terjadinya ketidakseimbangan sektoral yang dapat merusak produksi pertanian dan industri.

2. Keberlanjutan lingkungan.

Sistem keberlanjutan secara lingkungan harus mampu memelihara sumber daya yang stabil, menghindari eksploitasi sumber daya alam dan fungsi penyerapan lingkungan. Konsep ini juga menyangkut keanekaragaman hayati, stabilitas ruang udara, dan fungsi ekosistem lainnya yang tidak termasuk kategori sumber-sumber ekonomi.

3. Keberlanjutan sosial.

Keberlanjutan sosial yang diartikan sebagai sistem yang mampu mencapai kesetaraan, penyediaan layanan sosial termasuk kesehatan, pendidikan, gender, dan akuntabilitas politik.

Pembangunan berkelanjutan dalam perkotaan menghendaki kebijakan pengelolaan yang terintegrasi antar beberapa bagian yang mendukung pembangunan di perkotaan. Salah satu upaya penanggulangan masalah banjir dan ketersediaan air bersih di perkotaan adalah melakukan upaya-upaya konservasi bagi penyediaan cadangan air (Basuki, 2012).

2.4.3 Konsep Pembangunan Terintegrasi

Pembangunan terpadu atau *integrated development* dapat diartikan sebagai upaya penggabungan kebijakan pembangunan di dalam masing-masing sistem menjadi suatu kesatuan. Di dalam konteks permukiman dan perkotaan, prasarana dan sarana umum berperan sebagai fasilitas yang dibutuhkan masyarakat luas yang penyediaannya dilakukan secara serentak atau massal. Penyediaan prasarana dan sarana umum tersebut antara lain mencakup jaringan jalan, listrik, air minum, saluran drainase, dan jaringan telepon. Fasilitas jalan, baik yang menghubungkan kota itu dengan kota lain atau daerah sekitarnya maupun jaringan jalan yang menghubungkan antar bagian kota, memegang peranan yang sangat penting bagi kelancaran aktifitas penduduk dan perkembangan kota itu sendiri serta sekaligus sebagai kerangka dasar yang membentuk struktur kota (Bintarto, 1977).

Jaringan utilitas sebagai bagian utama dari prasarana dan sarana untuk kehidupan pokok sehari-hari seperti listrik, air minum, telepon dan drainase dibangun diatas dan dibawah tanah. Jaringan tersebut biasanya mengikuti atau menumpang pada bentuk jaringan jalan. Sekali utilitas dibangun maka keberadaannya akan berlangsung lama dan akan menarik penduduk untuk menempati dan membangun tanah yang memperoleh akses utilitas tersebut. Jalan merupakan ruang linier yang dibatasi oleh bangunan-bangunan (Rapoport; Moudon, 1987).

2.5 Sistem Drainase

Sistem jaringan drainase merupakan bagian dari infrastruktur pada suatu kawasan, drainase masuk pada kelompok infrastruktur air pada pengelompokan infrastruktur wilayah, selain itu ada kelompok jalan, kelompok sarana transportasi,

kelompok pengelolaan limbah, kelompok bangunan kota, kelompok energi dan kelompok telekomunikasi (Grigg, 1988).

2.5.1 Definisi Sistem Drainase

Air hujan yang jatuh di suatu kawasan perlu dialirkan atau dibuang, caranya dengan pembuatan saluran yang dapat menampung air hujan yang mengalir di permukaan tanah tersebut. Sistem saluran di atas selanjutnya dialirkan ke sistem yang lebih besar. Sistem yang paling kecil juga dihubungkan dengan saluran rumah tangga dan sistem saluran bangunan infrastruktur lainnya, sehingga apabila cukup banyak limbah cair yang berada dalam saluran tersebut perlu diolah (*treatment*). Seluruh proses tersebut di atas yang disebut dengan sistem drainase (Kodoatie, 2002). Menurut Haryono (1999), drainase adalah suatu ilmu tentang pengeringan tanah. Drainase (*drainage*) berasal dari kata *To Drain* artinya mengosongkan air.

Bagian infrastruktur (sistem drainase) dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan /atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Dirunut dari hulunya, bangunan sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*colector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*) dan badan air penerima (*receiving waters*). Di sepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, siphon, jembatan air (*aqueduct*), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando dan stasiun pompa. Pada sistem drainase yang lengkap, sebelum masuk ke badan air penerima air diolah dahulu pada instalasi pengolah air limbah (IPAL), khususnya untuk sistem tercampur. Hanya air yang telah memiliki baku mutu tertentu yang dimasukkan ke dalam badan air penerima, biasanya sungai, sehingga tidak merusak lingkungan (Suripin, 2004).

Menurut SKSNI T-07-190-F, drainase perkotaan adalah drainase di wilayah kota yang berfungsi mengendalikan kelebihan air permukaan, sehingga tidak mengganggu masyarakat dan dapat memberikan manfaat bagi kehidupan masyarakat. Lingkup sistem drainase perkotaan meliputi drainase permukiman, drainase jalan raya, sistim drainase khusus dan pengisian air tanah.

- a. Drainase adalah prasarana yang berfungsi mengalirkan air permukaan ke badan air atau ke bangunan resapan buatan. Fungsi drainase menurut SK SNI T-07-1990-F adalah :

1. Meringkakan bagian wilayah dari genangan sehingga tidak menimbulkan dampak negatif.
 2. Mengalirkan air permukaan ke badan air penerima terdekat secepatnya.
 3. Mengendalikan kelebihan air permukaan yang dapat dimanfaatkan untuk persediaan air dan kehidupan akuatik.
 4. Meresapkan air permukaan untuk menjaga kelestarian air tanah (konservasi air).
- b. Berdasarkan fungsi pelayanan, sistem drainase dibagi menjadi tiga bagian pokok yaitu (Santoso, 2010):
1. Sistem drainase lokal

Yang termasuk dalam sistem drainase lokal adalah sistem saluran awal yang melayani suatu kawasan tertentu seperti kompleks permukiman, areal pasar, perkantoran, areal industri dan komersial. Sistem ini melayani area kurang dari 10 ha. Pengelolaan sistem drainase lokal menjadi tanggung jawab masyarakat, pengembang atau instansi lainnya.
 2. Sistem drainase utama

Yang termasuk dalam sistem drainase utama adalah saluran drainase primer, sekunder, tersier beserta bangunan kelengkapannya yang melayani kepentingan sebagian besar warga masyarakat. Pengelolaan sistem drainase utama merupakan tanggung jawab pemerintah.
 3. Pengendalian banjir (*Flood Control*)

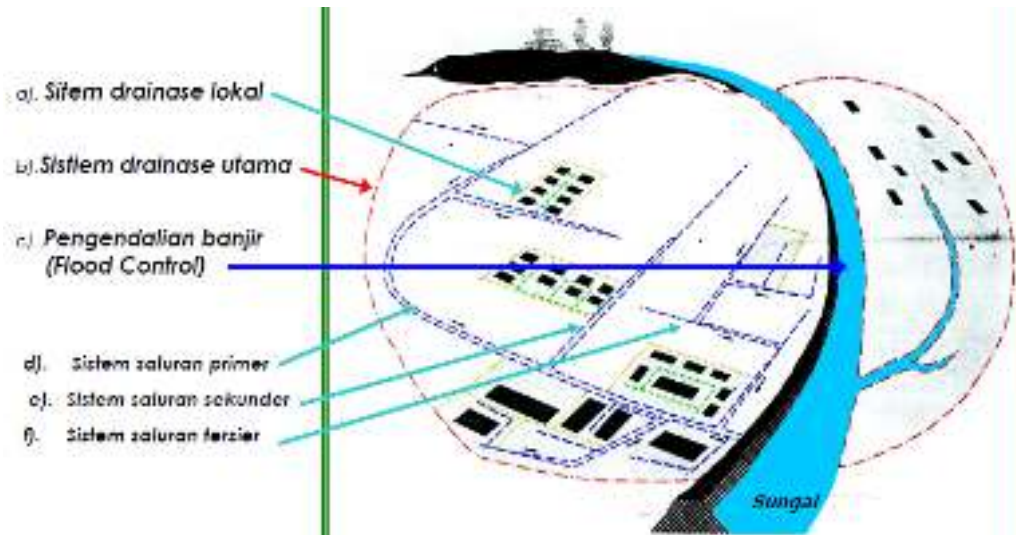
Adalah sungai yang melintasi wilayah yang berfungsi mengendalikan air sungai, sehingga tidak mengganggu masyarakat dan dapat memberikan manfaat bagi kegiatan kehidupan manusia. Pengelolaan pengendalian banjir merupakan tanggung jawab dinas pengairan (sumber daya air).
- c. Berdasarkan fisiknya, sistem drainase terdiri atas saluran primer, sekunder, tersier dan seterusnya (Santoso, 2010).
1. Sistem saluran primer

Adalah saluran utama yang menerima masukan aliran dari saluran sekunder. Dimensi saluran ini relatif besar. Akhir saluran primer adalah badan penerima air.
 2. Sistem saluran sekunder

Adalah saluran terbuka atau tertutup yang berfungsi menerima aliran air dari saluran tersier dan limpasan air dari permukaan sekitarnya, dan meneruskan air ke saluran primer. Dimensi saluran tergantung pada debit yang dialirkan.

3. Sistem saluran tersier

Adalah saluran drainase yang menerima air dari saluran drainase lokal.



Gambar 2.1. Sistem Drainase
(Sumber : Dep Kimpraswil, 2003)

d. Beberapa prinsip utama yang harus diletakkan sebagai dasar pembangunan sistem drainase, antara lain (Santoso, 2010):

1. Kapasitas sistem harus mencukupi, baik untuk melayani air hujan yang dialirkan ke badan penerima air (laut, sungai) atau yang diserapkan kedalam tanah. Bilamana kapasitas tidak mencukupi, maka sistem akan menemui kegagalan, dan terjadilah banjir atau genangan. Untuk mencapai kapasitas sistem yang memadai, dilakukan berdasarkan prinsip hidrologi dan hidraulika.
2. Tata letak sistem memenuhi kriteria dan memiliki kesempatan untuk perluasan sistem. Dalam pelaksanaannya harus diperhatikan segi hidraulik dan tata letak dalam kaitannya dengan prasarana lain.
3. Stabilitas sistem harus terjamin, baik dari segi struktural, keawetan sistem dan kemudahan dalam operasi dan pemeliharannya. Dalam pelaksanaannya diperlukan prinsip-prinsip struktural yang harus dipenuhi, termasuk bentuk struktur yang memudahkan operasi dan pemeliharaan.
4. Mengalirkan secara gravitasi, sistem drainase sedapat mungkin menggunakan sistem pengaliran secara gravitasi, mengingat cara ini lebih ekonomis dalam

pengoperasian dan pemeliharannya. Penggunaan sistem pompa hanya pada situasi-situasi khusus yang keadaan medannya memang tidak memungkinkan untuk diterapkan sistem gravitasi.

5. Minimalisasi pembebasan tanah, pengembangan sistem drainase harus diusahakan mencari jalur terpendek ke badan penerima air. Hal ini agar pembebasan tanah dapat ditekan sekecil mungkin.

2.5.2 Pengelolaan Sistem Drainase

Kata pengelolaan (manajemen) memiliki arti yang beragam. Manajemen merupakan bahasa serapan yang berasal dari kata “*manage*” yang memiliki arti mengatur atau mengurus. Defenisi kata manajemen menurut kamus adalah kegiatan, seni, cara, pengorganisasian, kepemimpinan, pengendalian dalam mengelola, mengendalikan kegiatan (New Webster Dictionary, 1997: Echols dan Shaly, 1988). Di dalam bidang infrastruktur, manajemen adalah sistematis kegiatan yang terdiri dari perencanaan, investasi, serta pembiayaan yang dilakukan dengan cara terkoordinasi, perencanaan, konstruksi, pemeliharaan, operasi, pengawasan, pelayanan periodik dan evaluasi pelayanan fasilitas fisik (Hudson, 1997). Jika memakai konsep keterpaduan dalam pengelolaan sumber daya air (Kodoatie, 2005), pengelolaan terpadu didefenisikan sebagai suatu proses yang mempromosikan koordinasi pengembangan dan pengelolaan sumber daya terkait dengan tujuan mengoptimalkan resultan ekonomi dan kesejahteraan sosial tanpa mengganggu kestabilan dari ekosistem-ekosistem lingkungan.

Pengelolaan drainase kota dapat dikelompokkan menjadi tiga elemen yaitu, kerangka umum kebijakan tingkat nasional, legislasi, regulasi dan informasi yang merupakan keterpaduan multi aspek. Di dalam pengelolaan infrastruktur perkotaan masing-masing aspek memerlukan perhatian yang saling terkait dikarenakan terdapat keterpaduan karena masing-masing elemen memiliki ketergantungan satu sama lain dan juga memiliki *driving force* dan persoalan yang berbeda. Ketergantungan masing-masing elemen dalam pengelolaannya memiliki persoalan yang sangat kompleks sehingga peluang kemungkinan terjadinya salah pengelolaan sangatlah besar (Harahap, 2014).

2.6 Paradigma Perkembangan Konsep Sistem Drainase

Seiring berkembangnya jaman dan kondisi lingkungan di muka bumi ini, terjadi perubahan konsep sistem jaringan drainase dari yang semula sistem drainase konvensional menjadi sistem drainase berwawasan lingkungan atau disebut juga dengan sistem drainase berkelanjutan.

2.6.1 Konsep Sistem Drainase Konvensional

Di dalam konsep drainase konvensional ini seluruh air hujan yang jatuh ke di suatu wilayah harus secepat-cepatnya dialirkan ke sungai dan dilanjutkan ke laut sebelum menjadi genangan dan sempat meresap ke dalam tanah. Akibat penerapan sistem drainase konvensional di masa sekarang ini adalah (Efriyandi, 2013):

- a. Meningkatnya debit air sungai sebagai dampak penerimaan beban yang melampaui kapasitasnya. Dalam jangka panjang, penerapan sistem drainase konvensional ini dapat menyebabkan banjir di musim penghujan.
- b. Tidak diberinya kesempatan bagi air untuk meresap ke dalam tanah sebagai cadangan air tanah. Dalam jangka panjang, penerapan sistem drainase konvensional ini dapat menyebabkan kekeringan di musim kemarau.
- c. Tingginya fluktuasi kandungan air tanah pada musim kemarau dan musim penghujan yang dapat menyebabkan tanah longsor.

Sistem drainase konvensional sudah tidak tepat untuk diterapkan pada masa sekarang. Hal ini dikarenakan jumlah lahan terbuka yang juga dapat berfungsi sebagai daerah resapan air pada masa sekarang sudah jauh dan terus berkurang dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Jika sistem drainase konvensional ini masih dipaksakan untuk diterapkan pada semua wilayah, maka akan timbul berbagai permasalahan, baik di daerah hulu, tengah, maupun hilir.

2.6.2 Konsep Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan

Konsep dasar pengembangan sistem drainase yang berkelanjutan adalah meningkatkan daya guna air, meminimalkan kerugian, serta memperbaiki dan konservasi lingkungan. Untuk itu diperlukan usaha-usaha yang komprehensif dan integratif yang meliputi seluruh proses, baik yang bersifat struktural maupun non struktural, untuk mencapai tujuan tersebut (Suripin, 2004). Sampai saat ini perancangan drainase didasarkan pada filosofi bahwa air secepatnya mengalir dan seminimal mungkin menggenangi daerah layanan. Tapi dengan semakin timpangnya

perimbangan air (pemakaian dan ketersediaan) maka diperlukan suatu perancangan drainase yang berfilosofi bukan saja aman terhadap genangan tapi juga sekaligus berasas pada konservasi air (Sunjoto, 1987). Konsep Sistem Drainase yang berkelanjutan prioritas utama kegiatan harus ditujukan untuk mengelola limpasan permukaan dengan cara mengembangkan fasilitas untuk menahan air hujan. Berdasarkan fungsinya, fasilitas penahan air hujan dapat dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu tipe penyimpanan dan tipe peresapan (Suripin, 2004).

Sedangkan menurut Sunjoto, 1987, konsepsi perancangan drainase air hujan yang berasaskan pada konsevasi air tanah pada hakekatnya adalah perancangan suatu sistem drainase yang mana air hujan jatuh di atap/ perkerasan, ditampung pada suatu sistem resapan air, sedangkan hanya air dari halaman bukan perkerasan yang perlu ditampung oleh sistem jaringan drainase.

Melalui Kementerian Pekerjaan Umum, pemerintah mengeluarkan kebijakan yang bersifat non-teknis, yaitu dengan program Tata Ruang Wilayah Nasional yang dituangkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 26 Tahun 2008 pada tanggal 10 Maret 2008. Di dalam peraturan tersebut, pada pasal 106 ayat 1 mengatur tentang peraturan zonasi untuk kawasan imbuhan air tanah disusun dengan memperhatikan:

- a. Pemanfaatan ruang terbuka yang secara terbatas untuk kegiatan budidaya, sehingga tanah memiliki kemampuan tinggi dalam menahan limpasan air hujan
- b. Penyediaan sumur resapan dan/ atau waduk sebagai pengganti wilayah resapan yang sudah tertutup oleh bangunan
- c. Penerapan prinsip *zero delta Q policy* pada setiap kegiatan pembangunan.

Prinsip penerapan *zero delta Q policy* adalah dengan bertambahnya luasan lahan terbangun seharusnya tidak mengakibatkan peningkatan debit air ke sistem drainase dibandingkan sebelumnya (Indriatmoko, 2010).

2.7 Upaya Peningkatan Konservasi Air Tanah dalam Rangka Penerapan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan

Bergam upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan resapan air ke dalam tanah dalam rangka konservasi air tanah dan penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan antara lain dengan membuat penampungan air, membuat lubang resapan biopori, membuat sumur resapan.

2.7.1 Kolam Resapan Air

Kolam resapan air juga berfungsi sebagai penampungan air. Namun, yang membedakan adalah bagian dasarnya tidak didesain kedap air, melainkan tetap pada kondisi tanah yang lolos air. Sehingga sebagian air dapat meresap ke dalam tanah dan sebagian lagi dapat dimanfaatkan pada musim kemarau. Kolam resapan air seperti waduk dan bendungan memiliki peran yang penting dalam rangka mengendalikan limpasan air hujan. Saat ini sebagian besar air hujan mengalir ke laut dan menggenang sebagai banjir, padahal pada musim kemarau air menjadi barang langka yang sulit dicari sebagai dampak kekeringan. Penampungan air (embung, waduk, bendungan) yang berfungsi dengan baik dapat dimanfaatkan untuk tempat menyimpan air hujan pada musim penghujan dan dimanfaatkan pada musim kemarau (Indriatmoko, 2010).

2.7.2 Penampungan Air

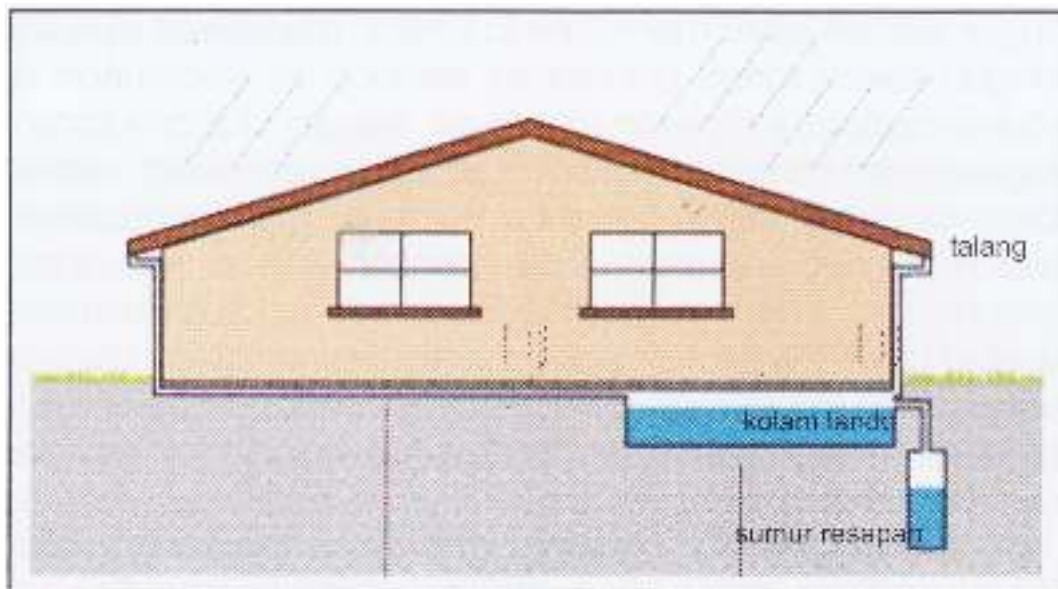
Selain waduk, bendungan, embung, dan lain sebagainya, dapat juga menggunakan kolam penampungan air hujan untuk memanen air hujan. Kolam penampungan air hujan merupakan kolam atau wadah yang dipergunakan untuk menampung air hujan yang jatuh di atas bangunan (rumah, gedung perkantoran, atau industri) yang disalurkan melalui talang (Dirjen Ciptakarya, 1996). Tata letak kolam pengumpul air hujan dapat disesuaikan dengan ketersediaan lahan, dapat diletakkan di atas permukaan tanah maupun di bawah bangunan (Maryono, 2006). Berikut gambar perletakan kolam tampungan air hujan.



Gambar 2.2. Sketsa Kolam Pengumpul Air Hujan di Atas Permukaan Tanah
(Sumber : Maryono, 2006)



Gambar 2.3. Sketsa Kolam Pengumpul Air Hujan Vertikal
(Sumber : Maryono, 2006)



Gambar 2.4. Sketsa Kolam Pengumpul Air Hujan di Bawah dan Sumbu Resapan
(Sumber : Maryono, 2006)

2.7.3 Lubang Resapan Biopori

Biopori adalah pori berbentuk liang (terowongan kecil) yang dibentuk oleh aktivitas fauna tanah atau akar tanaman. Lubang Resapan Biopori (LRB) adalah lubang silindris yang dibuat secara vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10-30 cm, kedalaman sekitar 100 cm atau tidak melebihi kedalaman muka air tanah. Lubang kemudian diisi dengan sampah organik yang berfungsi untuk menhidupkan mikroorganisme tanah, seperti cacing. Cacing tanah ini akan membentuk pori-pori atau terowongan dalam tanah (biopori) yang dapat mempercepat resapan air ke dalam tanah secara horizontal (Maryati, et al., 2010). Biopori adalah membuat lubang-lubang

pada permukaan tanah bagian atas dengan menggunakan bor tangan. Alat bor biopori tersebut mempunyai panjang sekitar 120 cm yang dilengkapi dengan setang bor, batang bor, dan mata bor dengan diameter kira-kira 3 inchi (Indriatmoko, 2010).

Salah satu fungsi lubang biopori adalah untuk menampung air hujan dan sebagai tempat untuk membuang sampah organik dari sampah dapur. Sampah organik akan bermanfaat sebagai pupuk organik dan sekaligus sebagai sumber makanan bagi organisme di dalam tanah. Pupuk organik berfungsi untuk menjaga kondisi kesuburan tanah. Organisme yang berkembang di dalam biopori ini membantu menambah lubang-lubang di dalam tanah yang akan meningkatkan daya serap air ke dalam tanah (Indriatmoko, 2010).

a. Cara kerja lubang resapan biopori sebagai teknologi tepat guna yang ramah lingkungan dalam rangka mengatasi banjir dan sampah (Maryati, et al., 2010) :

1. Meningkatkan daya resap air

Sistem pori dan terowongan dalam tanah yang dibentuk oleh cacing mampu peresapkan air lebih cepat.

2. Mengubah sampah organik menjadi kompos

Pemilahan sampah dari sumber (rumah tangga) dengan memasukkan sampah organik ke dalam lubang resapan biopori dapat menjadi kompos

3. Memanfaatkan peran aktivitas fauna tanah (cacing tanah) dan akar tanaman

4. Mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh genangan air seperti penyakit demam berdarah dan malaria.

Dengan meningkatnya resapan air ke dalam tanah dan pemilahan sampah, sehingga terjadi pengurangan genangan air dan tumpukan sampah yang menyebabkan berkembangbiaknya wabah penyakit demam berdarah dan malaria.

5. Penyedia cadangan air tanah di musim kemarau

6. Sebagai “*carbon sink*” untuk membantu mencegah terjadinya pemanasan global.

b. Pembuatan LRB dapat dilakukan di lokasi-lokasi sebagai berikut (Leaflet LRB, BPLH DKI Jakarta):

1. di dasar saluran

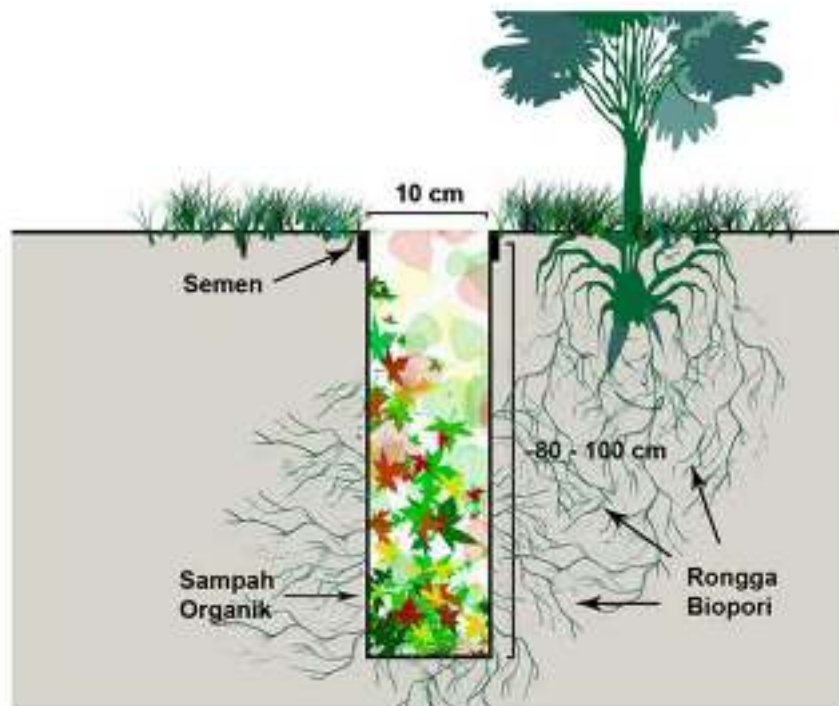
2. di dasar alur yang dibuat di sekeliling batang pohon

3. batas taman

4. paving block

c. Cara Pembuatan LRB (Maryati, et al., 2010):

1. Buat lubang silindris ke dalam tanah dengan diameter 10-30 cm, kedalaman sekitar 100cm atau jangan melampaui kedalaman air tanah pada dasar saluran atau alur yang telah dibuat. Jarak antar lubang 50-100cm.
2. Mulut lubang dapat diperkuat dengan adukan semen selebar 2-3 cm, setebal 2 cm disekiling mulut lubang.
3. Segera isi lubang LRB dengan sampah organik yang berasal dari sisa tanaman yang dihasilkan dari dedaunan pohon, pangkasan rumput atau sampah dapur.
4. Sampah organik perlu selalu ditambahkan ke dalam lubang yang isinya sudah berkurang menyusut karena proses pelapukan.
5. Kompos yang terbentuk dalam lubang dapat diambil pada setiap akhir musim kemarau bersamaan dengan pemeliharaan lubang.



Gambar 2.5. Lubang Resapan Biopori
(Sumber : poskota.co, 2014)

Jumlah lubang resapan biopori yang disarankan pada setiap lahan seluas 100 m² adalah sebanyak 30 titik dengan jarak antar lubang 0,5m – 1m. apabila lubang dengan diameter 10 cm dan kedalamannya 100 cm, maka setiap lubang mampu menampung 7,8 liter sampah organik dari dapur. Hal ini berarti setiap lubang dapat diisi sampah organik dapur 2-3 hari dan akan menjadi kompos dalam waktu 15-30 hari. Untuk sampah organik dari kebun (daun dan ranting) dapat menjadi kompos dalam waktu 2-

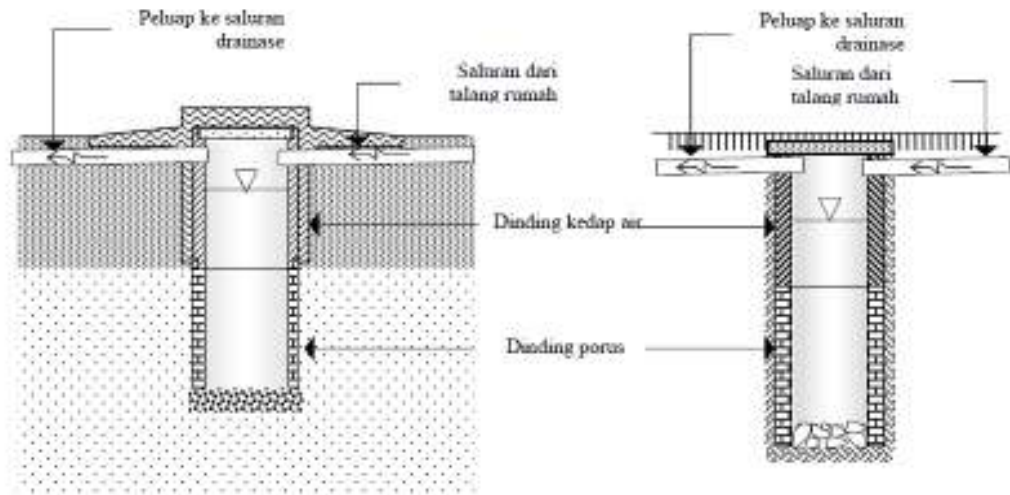
3 bulan. Untuk mempercepat proses pengomposan dapat dilakukan dengan menambahkan bioaktivator (Leaflet LRB, BPLH DKI Jakarta).

2.7.4 Sumur Resapan

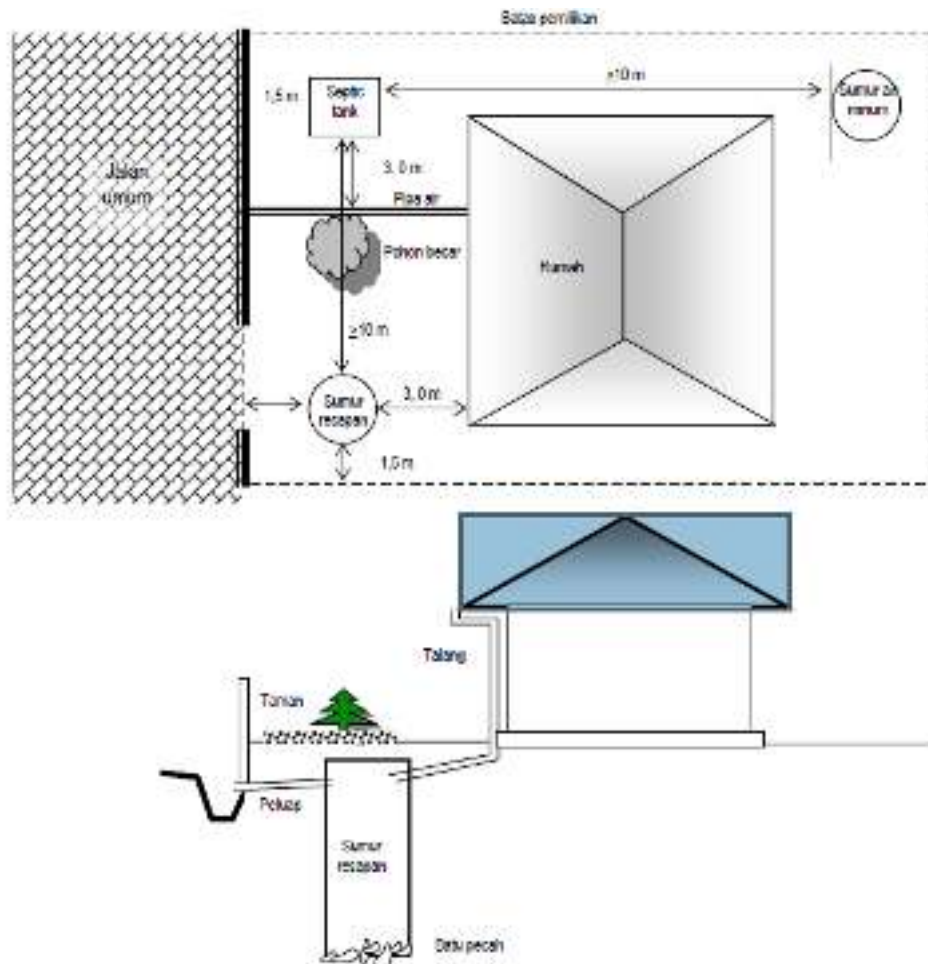
Sumur resapan dimanfaatkan sebagai pengganti tanah resapan air hujan yang mengalami perkerasan. Hal ini menyebabkan air hujan yang jatuh tidak dapat langsung meresap ke dalam tanah. Untuk mereduksi genangan penerapan sumur resapan di rencanakan di sekitar saluran drainase di wilayah yang masih termasuk dalam daerah tangkapan air saluran tersebut (Muliawati, et al., 2015).

Sesuai dengan brosur Pemda DKI tentang Sumur Resapan Buatan, sumur resapan merupakan salah satu cara konservasi air tanah. Caranya dengan membuat bangunan berupa sumur yang berfungsi untuk memasukkan air hujan ke dalam tanah.

- a. Tujuan pembuatan sumur resapan yaitu :
 1. Melestarikan dan memperbaiki kualitas lingkungan
 2. Membantu menanggulangi kekurangan air bersih
 3. Membudayakan kesadaran lingkungan
 4. Mengurangi erosi tanah
- b. Keuntungan yang dapat diperoleh dengan melakukan konservasi menggunakan sumur resapan antara lain :
 1. Mencegah intrusi air laut terutama di dataran pantai
 2. Mereduksi dimensi jaringan drainase
 3. Menurunkan konsentrasi pencemaran air tanah
 4. Mempertahankan tinggi muka air tanah
 5. Mencegah penurunan kawasan atau *land subsidence*
 6. Melestarikan teknologi tradisional sebagai budaya bangsa
 7. Meningkatkan peran serta masyarakat dalam era pembangunan
 8. Membudayakan pola pikir pelestarian lingkungan
 9. Mempunyai resiko pencemaran air tanah yang lebih kecil.



Gambar 2.6. Contoh Sumur Resapan Air Hujan
(Sumber : Suripin, 2004)



Gambar 2.7. Tata Letak Sumur Resapan Air Hujan
(Sumber : Suripin, 2004)

2.8 Analisis Hidrologi

2.8.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (*catchment area, basin, watershed*) adalah daerah di mana semua airnya yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Aliran air tersebut tidak hanya berupa air permukaan yang mengalir di dalam alur sungai, tetapi termasuk juga aliran di lereng-lereng bukit yang mengalir menuju alur sungai sehingga daerah tersebut dinamakan daerah aliran sungai. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasarkan air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian (Sri Harto, 1993).

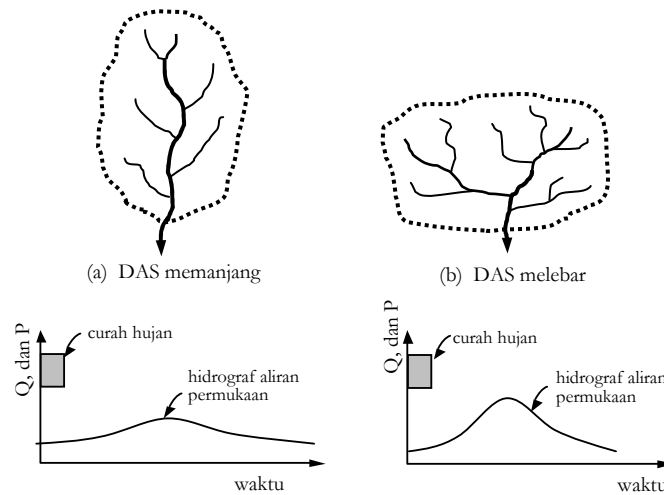
Penamaan sebuah DAS ditandai dengan nama sungai yang bersangkutan dan dibatasi oleh titik kontrol, yang umumnya merupakan stasiun hidrometri. Memperhatikan hal tersebut, berarti sebuah DAS dapat merupakan bagian dari DAS lain (Sri Harto, 1993). Dalam sebuah DAS kemudian dibagi dalam area yang lebih kecil menjadi sub-DAS. Penentuan batas-batas sub-DAS berdasarkan kontur, jalan dan rel KA yang ada di lapangan untuk menentukan arah aliran air.

Dari peta topografi, ditetapkan titik-titik tertinggi disekeliling sungai utama (*main stream*) yang dimaksudkan, dan masing-masing titik tersebut dihubungkan satu dengan lainnya sehingga membentuk garis utuh yang bertemu ujung pangkalnya. Garis tersebut merupakan batas DAS dititik kontrol tertentu (Sri Harto, 1993).

Karakteristik DAS yang memiliki pengaruh besar pada aliran permukaan yaitu : (Suripin, 2004)

a. Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luasnya DAS. Hal ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan. Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama.

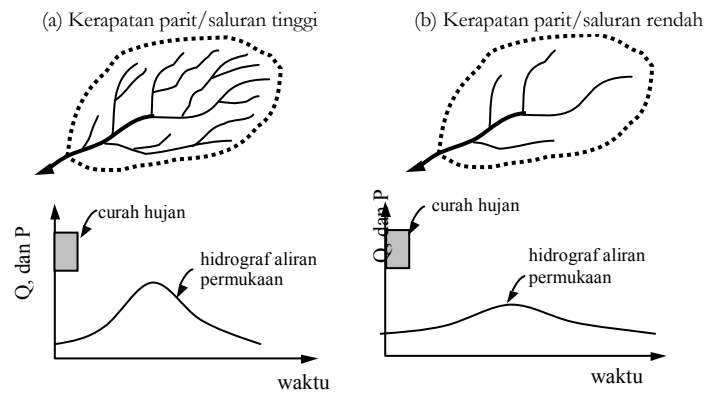


Gambar 2.8. Pengaruh bentuk DAS pada aliran permukaan
(Sumber : Suripin, 2004)

Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi DAS yang memanjang lebih lama dibandingkan dengan DAS yang melebar, sehingga terjadinya konsentrasi air dititik kontrol lebih lambat yang berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. Faktor bentuk juga dapat berpengaruh pada aliran permukaan apabila hujan yang terjadi tidak serentak diseluruh DAS, tetapi bergerak dari ujung yang satu ke ujung lainnya. Pada DAS memanjang laju aliran akan lebih kecil karena aliran permukaan akibat hujan di hulu belum memberikan kontribusi pada titik kontrol ketika aliran permukaan dari hujan di hilir telah habis, atau mengecil. Sebaliknya pada DAS melebar, datangnya aliran permukaan dari semua titik di DAS tidak terputus banyak, artinya air dari hulu sudah tiba sebelum aliran dari mengecil/habis.

b. Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit dan/atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan-cekungan. Pengaruh kerapatan parit, yaitu panjang parit per satuan luas DAS, pada aliran permukaan adalah memperpendek waktu konsentrasi, sehingga memperbesar laju aliran permukaan.



Gambar 2.9. Pengaruh kerapatan parit/saluran pada hidrograf aliran permukaan
(Sumber : Suripin, 2004)

c. Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai $C = 0$ menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai $C = 1$ menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan.

2.8.2 Data Hujan

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

Proses hidrologi dalam suatu DAS secara sederhana dapat digambarkan dengan adanya hubungan antara unsur masukan yakni hujan, proses dan keluaran yaitu berupa aliran. Adanya hujan tertentu akan menghasilkan aliran tertentu pula. Aliran ini selain dipengaruhi oleh karakteristik DAS dan juga sangat tergantung pada karakteristik hujan yang jatuh. Karakteristik hujan meliputi tebal hujan, intensitas dan durasi hujan, sedang karakteristik DAS meliputi topografi, geologi, geomorfologi, tanah, penutup lahan/vegetasi, dan pengelolaan lahan serta morfometri DAS.

Data hujan meliputi data hujan sesaat dalam bentuk catatan terusan (*continuous record*) dan data hujan harian. Data hujan sesaat didapatkan dari pluviograf (sukat hujan otomatis), perekam data (*data logger*) dan pengukuran manual yang dicatat dengan interval waktu 5 menit. Data hujan harian didapatkan dari sukat hujan manual yang diukur dan dicatat setiap hari.

a. Hujan Harian Maksimum

Data curah hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi adalah data curah hujan harian maksimum, yang merupakan hujan harian terbesar dalam setahun. Hujan harian maksimum inilah yang kemudian akan digunakan untuk analisis yang menghasilkan hujan rancangan. Curah hujan rancangan tersebut dipergunakan untuk menentukan debit rencana dengan periode ulang tertentu yang sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Hal ini bertujuan agar analisis dapat mendekati kondisi sebenarnya yang ada di lapangan. Data curah hujan tersebut didapat dari stasiun-stasiun penakar hujan maupun stasiun-stasiun pos hujan yang terdapat di sekitar daerah aliran sungai, yang dapat dianggap mewakili besaran curah hujan yang jatuh dalam daerah tangkapan hujan (*catchment area*).

b. Hujan Kawasan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh kawasan yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan kawasan dan dinyatakan dalam mm.

Dengan melakukan penakaran pada suatu stasiun hujan hanyalah didapat curah hujan disuatu titik tertentu. Bila dalam suatu area terdapat penakar curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

Oleh karena jumlah stasiun hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi hanya satu buah stasiun hujan, maka curah hujan rata-rata titik (stasiun) tersebut dianggap juga merupakan curah hujan rata-rata kawasan.

c. Hujan Rancangan

Hujan rancangan adalah berapa besarnya kedalaman hujan di suatu titik yang akan digunakan sebagai dasar perancangan bangunan keairan, atau hyetograf berupa distribusi hujan sebagai fungsi waktu selama hujan deras (Triatmodjo, 2009 dalam Hidrologi Terapan).

Hujan rancangan biasanya diartikan sebagai probabilitas tercapai atau terlampauinya besaran hujan tertentu. Misalnya hujan rancangan dengan probabilitas 4% terlampaui, ini berarti bahwa nilai rerata hujan tersebut akan mencapai atau melebihi satu kali dalam 25 tahun. Hujan rancangan ditentukan dengan menggunakan analisis probabilitas statistik.

d. Periode Ulang

Berbagai macam bangunan-bangunan air memerlukan perhitungan hidrologi yang merupakan bagian dari perencanaan bangunan-bangunan tersebut. Pemilihan periode ulang (*return period*) banjir rancangan untuk bangunan air adalah suatu masalah yang sangat bergantung pada analisis statistik dari urutan kejadian banjir baik berupa debit air di sungai maupun curah hujan badai.

Pemilihan suatu teknik analisis penentuan banjir rancangan tergantung dari data-data yang tersedia dan macam dari bangunan air tersebut. Kriteria pemilihan banjir dengan hanya meninjau kemungkinan terjadinya banjir yang lebih besar atau sama dengan banjir rencana, sekali atau lebih selama bangunan air tersebut berdiri. Kriteria lain yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan banjir rancangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1. Kriteria Pemilihan Periode Ulang Banjir Rancangan Berdasarkan Kategori Sistem Hidraulik Aliran

KATEGORI SISTEM HIDROLIK ALIRAN	ANALISIS DAN EVALUASI ASPEK TEKNIS DAN NON TEKNIS	BANJIR RENCANA (TAHUN)
Sungai (DTA > 10 km ²)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kebutuhan mendesak ▪ Kebutuhan baru bertahap ▪ Kebutuhan keamanan wilayah <ul style="list-style-type: none"> – Penduduk < 2.000.000 – Penduduk > 2.000.000 	5 ~ 10 10 ~ 25 25 ~ 50 50 ~ 100
Drainase Primer (DTA > 5 km ²)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pedesaan ▪ Perkotaan <ul style="list-style-type: none"> – Penduduk < 500.000 – 500.000 < Penduduk < 2.000.000 – Penduduk > 2.000.000 	2 ~ 5 5 ~ 10 10 ~ 25 25 ~ 50
Drainase Sekunder (DTA > 5 km ²)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pedesaan ▪ Perkotaan <ul style="list-style-type: none"> – Penduduk < 500.000 – 500.000 < Penduduk < 2.000.000 – Penduduk > 2.000.000 	1 ~ 2 2 ~ 5 5 ~ 10 10 ~ 25
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Banjir rencana lebih besar dapat diterapkan bila mengancam keselamatan manusia dan menimbulkan kerugian harta social ekonomi berdampak luas. ▪ Kebutuhan mendesak dalam bila tidak segera ditangani dapat menimbulkan korban jiwa meskipun tanpa didahului dengan studi kelayakan 		

(Sumber: Pedoman Perencanaan dan Survei Volume II, Direktorat Jenderal Pengairan, Juni 1993)

Tabel 2.2. Kriteria Pemilihan Periode Ulang Banjir Rancangan Berdasarkan Jenis Bangunan Air

NO	JENIS BANGUNAN AIR	KALA ULANG BANJIR T (Tahun)
1	Bendungan Urugan Tanah/Batu (<i>Earth/Rockfill Dam</i>)	1000
2	Bendungan Beton/Batu Kali (<i>Concrete Dam/Masonry</i>)	500 – 1000
3	Bendung (<i>Weir</i>)	50 – 100
4	Saluran Pengelak Banjir (<i>Flood Diversion Channel</i>)	20 – 50
5	Tanggul Sungai	10 – 20
6	Drainase Saluran di Sawah/ Permukiman	5 – 10

(Sumber : Ir. Suwanto M.MS. Diktat Morfologi Sungai)

Tabel 2.3. Kriteria Pemilihan Periode Ulang Banjir Rancangan Berdasarkan Klasifikasi Tingkat Bahaya

KLASIFIKASI TINGKAT BAHAYA	KATEGORI BENDUNGAN	STANDAR KEAMANAN BANJIR
Rendah (Low)	Kecil	50 Th – 100 Th
	Sedang	100 Th – 50% PMF
	Besar	50% - 100% PMF
Berpengaruh Sedang (<i>Significant</i>)	Kecil	100 Th – 50% PMF
	Sedang	50% - 100% PMF
	Besar	PMF
Tinggi (<i>High</i>)	Kecil	50% - 100% PMF
	Sedang	PMF
	Besar	PMF

(Sumber : Ir. Husni Sabar (2000:335))

2.8.3 Analisis Data Hujan

a. Parameter Statistik (Analisis Frekuensi)

Dalam melakukan analisis frekuensi diperlukan data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu (Suripin, 2004).

Dalam analisis frekuensi curah hujan data hidrologi dikumpulkan, dihitung, disajikan dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu, yaitu parameter statistik. Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat atau besaran varian disekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi (Soewarno, 1995).

Nilai parameter statistik data hujan digunakan untuk memperkirakan pemilihan jenis agihan. Dalam hal ini agihan yang dimaksud adalah agihan normal, agihan

log normal, agihan Gumbel, agihan Pearson III dan Log Person III. Parameter statistik tersebut adalah rerata, standar deviasi, koefisien kemencengan (*skewness*), kurtosis, dan koefisien variasi.

1. Deviasi Standar (*S*)

Rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{Soewarno, 1995. hal:75})$$

Di mana :

S = Deviasi standar curah hujan

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan

n = Jumlah data curah hujan

X_i = Nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke- i

2. Koefisien Variasi (*Cv*)

Koefisien variasi (*variation coefficient*) adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

Rumus:

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (\text{Soewarno, 1995. hal :80})$$

Di mana :

Cv = koefisien varian

\bar{X} = nilai rata-rata varian

S = deviasi standar

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

3. Koefisien Skewness (*Cs*)

Kemencengan atau yang biasa disebut *skewness* adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi.

Rumus:

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (\text{Soewarno, 1995. hal : 8})$$

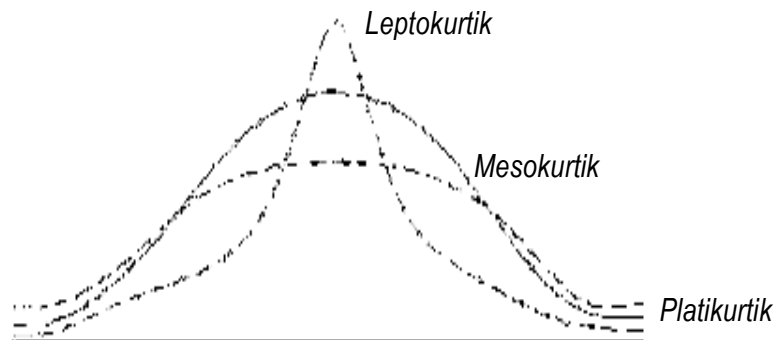
Di mana :

Cs = Koefisien skewness

- X_i = Nilai varian ke- i
 \bar{X} = Nilai rata-rata varian
 n = Jumlah data
 S = Deviasi standar

4. Pengukuran Kurtosis

Pengukuran kurtosis dimaksud untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai $C_k = 3$ yang dinamakan *mesokurtik*, $C_k < 3$ berpuncak tajam yang dinamakan *leptokurtik*, sedangkan $C_k > 3$ berpuncak datar dinamakan *platikurtik*. Pengukuran kurtosis dapat terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.10. Koefisien Kurtosis
(Sumber : C.D. Soemarto, 1999)

Rumus:

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} \quad (\text{Soewarno, 1995. hal :89})$$

Di mana :

- C_k = Koefisien kurtosis curah hujan
 n = Jumlah data curah hujan
 X_i = Curah hujan ke- i
 \bar{X} = Nilai rata-rata dari data sampel
 S = Standar deviasi

b. Sebaran Data Hujan

Penetapan debit banjir rancangan untuk perancangan bangunan hidraulik dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung dari ketersediaan data. Makin banyak data yang tersedia, dalam pengertian kuantitatif dan kualitatif memberikan

kemungkinan penggunaan cara analisis yang diharapkan dapat memberikan hasil perkiraan data hidrologi yang lebih baik.

Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari rekaman data baik data hujan maupun data debit. Analisis ini sering dianggap sebagai analisis yang paling baik, karena dilakukan terhadap data yang diukur langsung dan tidak melewati perubahan terlebih dahulu. Terlebih lagi, cara ini dapat dilakukan oleh siapapun walaupun yang bersangkutan tidak sepenuhnya memahami prinsip-prinsip hidrologi.

Kualitas data sangat menentukan hasil analisis yang dilakukan. Panjang data yang tersedia juga mempunyai peranan yang cukup besar. Perbedaan panjang data yang dipergunakan dalam analisis memberikan penyimpangan yang cukup berarti terhadap perkiraan hujan dengan periode ulang tertentu.

Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi. Penyimpangan sejenis terjadi pula sebagai akibat kerapatan jaringan peng-ukuran hujan. Makin kecil kerapatan stasiun hujan, semakin besar penyimpangannya (Sri Harto, 1986).

c. Jenis-jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi *diskrit* dan distribusi kontinyu. Yang disebut distribusi *diskrit* adalah binomial dan *poisson*, sedangkan yang disebut distribusi kontinyu adalah Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log *Pearson* dan Gumbel (C.D. Soemarto, 1999). Masing-masing sebaran memiliki sifat-sifat tersendiri sehingga data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing sebaran tersebut. Pemilihan sebaran yang tidak tepat dapat mengundang kesalahan perkiraan yang kemungkinan cukup besar, baik “*overestimated*” maupun “*underestimated*” yang keduanya tidak diinginkan. Dengan demikian, jelas bahwa pengambilan salah satu sebaran secara sembarang untuk pengujian tanpa analisis terlebih dahulu sangat tidak dianjurkan, meskipun dalam praktek harus diakui bahwa besar kemungkinan sebaran didominasi oleh sebaran tertentu. (cat: Di Indonesia, banyak dilakukan analisis frekuensi dengan menggunakan sebaran Gumbel tanpa melakukan pengujian data terlebih dahulu dan tanpa alasan hidrologik yang jelas). Dikhawatirkan cara ini akan dianggap sebagai cara ‘rutin’, Karena jelas mengandung resiko penyimpangan yang tidak dikehendaki. Dalam pengujian di tas data hujan dan data debit di Pulau Jawa ditemukan memiliki 7%

distribusi Gumbel, demikian juga sebaran normal. Sedangkan 90% lainnya kebanyakan adalah sebaran log-normal dan sebaran log-pearson tipe III (Sri Harto, 1993). Berikut ini adalah beberapa macam distribusi yang sering digunakan untuk menganalisis probabilitas banjir, yaitu :

1. Sebaran Normal

Distribusi normal atau dikenal sebagai distribusi merupakan distribusi probabilitas yang paling sering digunakan. Distribusi ini dicirikan oleh adanya rerata (μ) dan simpangan baku/standar deviasi (σ). Probabilitas kontinyu merupakan luas daerah dibawah garis kurva.

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Sebaran normal atau kurva normal disebut pula sebaran Gauss.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah :

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{X-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad (\text{Soewarno, 1995. Hal. 107})$$

Di mana :

$$\pi = 3,14156$$

$$e = 2,71828$$

X = variabel acak kontinu

σ = standar deviasi nilai X

μ = rata-rata nilai X

P(X) = Nilai logaritmik dari X atau log (X)

Pengujian distribusi normal dapat dilakukan dengan kertas probabilitas atau yang lebih akurat dengan uji kecocokan (*goodness-of-fit*) menggunakan uji chi-kuadrat (Damanhuri, 1993).

2. Sebaran Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log *Pearson* Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan $C_s = 0,00$. Metode log normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus (Soewarno, 1995).

Rumus :

$$X_t = \bar{X} + K_t \cdot S$$

Di mana :

X_t = Besarnya curah hujan yang terjadi pada periode ulang T tahun

$$S = \text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (X_i - \bar{X})^2}$$

\bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)

K_t = Standar variable untuk periode ulang T

Tabel 2.4. Standar Variabel Log Normal

T	K ₁	T	K ₁	T	K ₁
1	-18.6	20	1.89	96	3.34
2	-0.22	25	2.1	100	3.45
3	0.17	30	2.27	110	3.53
4	0.44	35	2.41	120	3.62
5	0.64	40	2.54	130	3.7
6	0.81	45	2.65	140	3.77
7	0.95	50	2.75	150	3.84
8	1.06	55	2.86	160	3.91
9	1.17	60	2.93	170	3.97
10	1.26	65	3.02	180	4.03
11	1.35	70	3.08	190	5.09
12	1.43	75	3.6	200	4.14
13	1.5	80	3.21	220	4.24
14	1.57	85	3.28	240	4.33
15	1.63	90	3.33	260	4.42

(Sumber : Sri Harto, BR, Dipl, H. Hidrologi Terapan)

3. Sebaran Gumbel

Distribusi Gumbel disebut juga Type I distribution, banyak digunakan untuk menyatakan kejadian debit tahunan (Waliesta, 1997).

Rumus :

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n} \cdot (Y_T - Y_n)$$

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

Hubungan antara periode ulang T dengan Y_T dapat dihitung dengan rumus:

$$Y = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right]$$

(CD Soemarto, 1999. Hal: 123)

untuk $T \geq 20$, maka : $Y = \ln T$

Di mana :

X_T = Nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun

\bar{X} = Nilai rata-rata hujan

S = Standar deviasi (simpangan baku)

Y_T = Nilai reduksi variat (*reduced variate*) dari variable yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun.

Y_n = Nilai rata-rata dari reduksi variat (*reduce mean*) yang nilainya tergantung dari jumlah data (n).

S_n = Deviasi standar dari reduksi variat (*reduced standart deviation*) yang nilainya tergantung dari jumlah data (n).

Tabel 2.5. Reduced Mean (Y_n) dan Reduced Standart Deviation (S_n)

n	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n	n	S_n	n	Y_n	S_n
8	0,4843	0,9043	29	0,5363	1,1086	49	1,1590	78	0,5565	1,1923
9	0,4902	0,9288	30	0,5362	1,1124	50	1,1607	80	0,5569	1,1938
10	0,4952	0,9497	31	0,5371	1,1159	51	1,1623	82	0,5575	1,1953
11	0,4996	0,9833	32	0,5380	1,1193	52	1,1638	84	0,5576	1,1967
12	0,5035	0,9972	33	0,5388	1,1226	53	1,1653	86	0,5580	1,1980
13	0,5070	1,0095	34	0,5396	1,2550	54	1,1667	88	0,5583	1,1994
14	0,5100	1,0206	35	0,5403	1,2850	55	1,1681	90	0,5586	1,2007
15	0,5128	1,0316	36	0,5410	1,1313	56	1,1696	92	0,5589	1,2020
16	0,5157	1,0411	37	0,5418	1,1339	57	1,1708	94	0,5592	1,2032
17	0,5181	1,0493	38	0,5424	1,1363	58	1,1721	96	0,5595	1,2044
18	0,5202	1,0566	39	0,5430	1,1388	59	1,1734	98	0,5598	1,2055
19	0,5220	1,0628	40	0,5436	1,1413	60	1,1747	100	0,5601	1,2065
20	0,5236	1,0696	41	0,5442	1,1436	62	1,1770	150	0,5646	1,2253
21	0,5252	1,0696	42	0,5448	1,1458	64	1,1777	200	0,5672	1,2360
22	0,5268	1,0754	43	0,5453	1,1480	66	1,1793	250	0,5688	1,2429
23	0,5268	1,0811	44	0,5458	1,1499	68	1,1814	300	0,5699	1,2479
24	0,5296	1,0864	45	0,5463	1,1518	70	1,1854	400	0,5714	1,2545
25	0,5309	1,0915	46	0,5468	1,1538	72	1,1873	500	0,5724	1,2588
26	0,5320	1,0961	47	0,5473	1,1557	74	1,1890	750	0,5738	1,2651
27	0,5332	1,1004	48	0,5477	1,1574	76	1,1906	1000	0,5745	1,2685
28	0,5343	1,1047								

(Sumber : Sri Harto, BR, Dipl, H. Hidrologi Terapan)

4. Sebaran Log Pearson III

Distribusi Log *Pearson* Tipe III Digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk sebaran Log *Pearson* tipe III merupakan hasil transformasi dari sebaran *Pearson* tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik (C.D.Soemarto, 1999).

Bentuk kumulatif dari distribusi Log-Pearson Tipe III dengan nilai variatnya X apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik (*logarithmic probability paper*) akan merupakan model matematik persamaan garis lurus. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut (C.D.Soemarto, 1999) :

a) Mengubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi $\log(X_1), \log(X_2), \log(X_3), \dots, \log(X_n)$.

b) Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\log(\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n}$$

Di mana :

$\log(\bar{X})$ = Harga rata-rata logaritmik

n = Jumlah data

X_i = Nilai curah hujan tiap-tiap tahun (R_{24} maks)

c) Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \log(\bar{X})\}^2}{n}}$$

Di mana :

S = Standar deviasi

d) Menghitung koefisien skewness (C_s) dengan rumus :

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

Di mana :

C_s = Koefisien *skewness*

e) Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus :

$$\log Y = \log \bar{X} + k.S$$

$$X_T = 10^{(\log Y)}$$

Di mana :

X_T = Curah hujan rencana periode ulang T tahun

K = Harga yang diperoleh berdasarkan nilai C_s

S = Standar deviasi

Distribusi Log *Pearson* III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien*

of skewness) atau $C_s \neq 0$. Setelah pemilihan jenis sebaran dilakukan maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun (Soewarno, 1995).

Tabel 2.6. Faktor K Untuk Sebaran Log Pearson III

ASIMETRI	PERIODE ULANG								
	Cs>0	1,0101	1,0526	1,1111	1,25	2	5	25	50
3,0	-0,6670	-0,6650	-0,6660	-0,6360	-0,3960	0,4200	2,2780	3,1520	4,0540
2,9	-0,6900	-0,6880	-0,6810	-0,6510	-0,3900	0,4400	2,2770	3,1340	4,0120
2,8	-0,7140	-0,7110	-0,7020	-0,6660	-0,3840	0,4600	2,2750	3,1140	3,9730
2,7	-0,7690	-0,7360	-0,7250	-0,6810	-0,3760	0,4790	2,2720	3,0930	3,9320
2,6	-0,7990	-0,7620	-0,7470	-0,6960	-0,3680	0,4990	2,2670	3,0720	3,8890
2,5	-0,8120	-0,7900	-0,7710	-0,7110	-0,3600	0,5180	2,2620	3,0480	3,8450
2,4	-0,8670	-0,8190	-0,7980	-0,7250	-0,3510	0,5370	2,2560	3,0290	3,8000
2,3	-0,9050	-0,8500	-0,8190	-0,7390	-0,3410	0,5550	2,2480	2,9970	3,7530
2,2	-0,9460	-0,8820	-0,8440	-0,7520	-0,3300	0,5740	2,2400	2,7400	3,7050
2,1	-0,9900	-0,9140	-0,8690	-0,7850	-0,3190	0,5920	2,2300	2,9420	3,6560
2,0	-1,0370	-0,9490	-0,8950	-0,7770	-0,3070	0,6090	2,2190	2,9120	3,6050
1,9	-1,0370	-0,9840	-0,9200	-0,7880	-0,2940	0,6270	2,2070	2,8810	3,5530
1,8	-1,0870	-1,0200	-0,9450	-0,7990	-0,2820	0,6430	2,1930	2,8480	3,4990
1,7	-1,1400	-1,0560	-0,9700	-0,8080	-0,2680	0,6600	2,1790	2,8150	3,4440
1,6	-1,1970	-1,0930	-0,9940	-0,8170	-0,2540	0,6750	2,1630	2,7800	3,3860
1,5	-1,2560	-1,1310	-0,0180	-0,8250	-0,2400	0,6900	2,1460	2,7450	3,3300
1,4	-1,3180	-1,1630	-0,0410	-0,8320	-0,2250	0,7050	2,1280	2,7060	3,2710
1,3	-1,3830	-1,2060	-1,0640	-0,8380	-0,2100	0,7190	2,1080	2,6660	3,2110
1,2	-1,4490	-1,2430	-1,0860	-0,8440	-0,1950	0,7320	2,0870	2,6260	3,1490
1,1	-1,5180	-1,2800	-1,1070	-0,8480	-0,1800	0,7450	2,0660	2,5850	3,0870
1,0	-1,5880	-1,3170	-1,1280	-0,8520	-0,1640	0,7580	2,0430	2,5420	3,0220
0,9	-1,6600	-1,3530	-1,1470	-0,8540	-0,1480	0,7690	2,0190	2,4980	2,9570
0,8	-1,7330	-1,3880	-1,1660	-0,8560	-0,1320	0,7800	1,9930	2,4530	2,8910
0,7	-1,8060	-1,4230	-1,1830	-0,8570	-0,1160	0,7900	1,9670	2,4070	2,8740
0,6	-1,8800	-1,4550	-1,2090	-0,8570	-0,0990	0,8000	1,9390	2,3590	2,7550
0,5	-1,9550	-1,4910	-1,2160	-0,8560	-0,0830	0,8080	1,9100	2,3110	2,6860
0,4	-2,0290	-1,5240	-1,2310	-0,8550	-0,0660	0,8160	1,8800	2,2610	2,6150
0,3	-2,1040	-1,5550	-1,2450	-0,8530	-0,0500	0,8240	1,8490	2,2110	2,5440
0,2	-2,1760	-1,5860	-1,2580	-0,8500	-0,0330	0,8300	1,8180	2,1590	2,4710
0,1	-2,2520	-1,6160	-1,2700	-0,8460	-0,0170	0,8360	1,7850	2,1070	2,4000
0,0	-2,3260	-1,6450	-1,2820	-0,8520	0,0000	0,8420	1,7510	2,0540	2,3260

(Sumber :Soewarno, 1995)

d. Pemilihan Jenis Sebaran

Penentuan jenis sebaran akan digunakan untuk analisis frekuensi dilakukan berdasarkan karakteristik jenis sebaran. Dalam menentukan jenis distribusi yang akan digunakan untuk menghitung Curah Hujan Rencana, terdapat syarat nilai pengukuran dispersi yang terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2.7. Syarat Nilai Pengukuran Dispersi

NO.	JENIS DISTRIBUSI	SYARAT
1	Normal	$C_s \sim 0$ $C_k \sim 3$
2	Gumbel Tipe I	$C_s \sim 1,1396$ $C_k \sim 5,4002$
3	Log Normal	$C_s = 3C_v + C_v^2 = 0,2483$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 3,1046$
4	Log Pearson III	$C_s \neq 0$ $C_k = 1,5C_s^2 + 3 = 3,0204$

(Sumber :Soewarno, 1995)

Dari parameter statistik yang ada, apabila tidak dapat memenuhi kondisi untuk keempat jenis sebaran seperti tersebut diatas maka selanjutnya dipilih yang paling mendekati. Dengan kemungkinan tingkat kesalahan yang cukup besar maka untuk mengetahui tingkat pendekatan dari sebaran terpilih selanjutnya dilakukan uji kecocokan data (*testing at goodness of fit*)

e. Uji Keselarasan Data

Pengujian kecocokan sebaran ini digunakan untuk menguji sebaran data apakah memenuhi syarat untuk data perencanaan. Pengujian kecocokan sebaran ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu *Chi-Kuadrat* ataupun dengan *Smirnov-Kolmogorov*. Umumnya pengujian dilaksanakan dengan cara menggambarkan data pada kertas peluang dan menentukan apakah data tersebut merupakan garis lurus, atau dengan membandingkan kurva frekuensi dari data pengamatan terhadap kurva frekuensi teoritisnya (*Soewarno, 1995*).

Distribusi yang dipilih dan dianggap yang cocok menurut Uji Chi Kuadrat adalah apabila harga X^2 melewati harga X^2 kritis, sementara menurut Uji Smirnov Kolmogorov yaitu apabila harga penyimpangan maksimum (D_{maks}) lebih besar dan harga penyimpangan kritik (D_{kritik}).

1. Uji Chi Kuadrat

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal apakah distribusi pengamatan dapat diterima secara teoritis. Pada penggunaan Uji Chi-Kuadrat menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya. Uji keselarasan distribusi ini digunakan

pengujian Chi-kuadrat yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang sudah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis.

Rumus :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (\text{Soewarno, 1995. Hal: 194})$$

Di mana :

χ^2 = Harga *Chi-kuadrat* terhitung

O_i = Jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke-i

E_i = Jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke-i

G = Jumlah sub kelompok

a) Prosedur Pengujian Chi- Kuadrat

Adapun prosedur pengujian keselarasan distribusi atau *Chi-kuadrat* adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995):

- Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
- Kelompokkan data menjadi G *sub-group*, tiap-tiap *sub-group* minimal terdapat empat buah data pengamatan.
- Hitung jumlah pengamatan yang teramati didalam tiap-tiap *sub-group* (O_i).
- Hitung jumlah atau banyaknya data yang secara teoritis ada di tiap-tiap *sub-group* (E_i).
- Tiap-tiap *sub-group* hitung nilai : $(O_i - E_i)$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
- Jumlah seluruh G *sub-group* nilai $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai *Chi-kuadrat* hitung.
- Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R=2$, untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai $R=1$, untuk distribusi *Poisson*).

b) Kriteria Penilaian Chi-Kuadrat

Setelah hasil pemilihan jenis sebatan dianggap memenuhi syarat distribusi setelah diuji dengan *Chi-kuadrat*, maka curah hujan rencana dapat dihitung. Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995):

- Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang lebih kecil dari 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

2. Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal, yaitu merupakan selisih simpangan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris (D_0). Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis, dan kebenaran hipotesa diterima atau ditolak.

Uji kesesuaian Smirnov-Kolmogorov, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non-parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Langkah-langkah pengujian Smirnov-Kolmogorof adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995: 198) :

- Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan juga besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- Menentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
- Dari kedua nilai peluang ditentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
- Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov Test*) dapat ditentukan harga D_{cr} .

Apabila D_0 lebih kecil dari D_{cr} maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila D_0 lebih besar dari D_{cr} maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

2.8.4 Analisis Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum

hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Apabila data curah hujan yang tersedia adalah data curah hujan harian, maka digunakan rumus perhitungan intensitas curah hujan menurut Dr. Mononobe.

Rumus :

$$i = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}}$$

(C.D. Soemarto, 1999. Hal : 14)

Di mana :

i = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan (menit)

R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

2.8.5 Analisis Debit Banjir

Debit banjir rencana pada setiap profil sungai merupakan data yang paling penting untuk perencanaan perbaikan dan pengaturan sungai (*Sosrodarsono dan Tominaga, 1985*). Dalam perencanaan ini debit banjir dihitung dengan program EPA SWMM (*Storm Water Management Model*). Besarnya debit banjir rencana yang dipakai bervariasi tergantung pada orde saluran, yaitu sebagai berikut:

- a. Saluran primer (sungai orde 1) : debit dengan kala ulang 25-tahunan
- b. Saluran sekunder : debit dengan kala ulang 10-tahunan
- c. Saluran tersier : debit dengan kala ulang 2-tahunan

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan debit banjir (laju aliran puncak). Metode yang dipakai pada suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Secara umum, metode yang umum dipakai adalah (*Suripin, 2004*) :

- a. Metode Rasional

Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (*Goldman et al., 1986*). Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf. Metode rasional

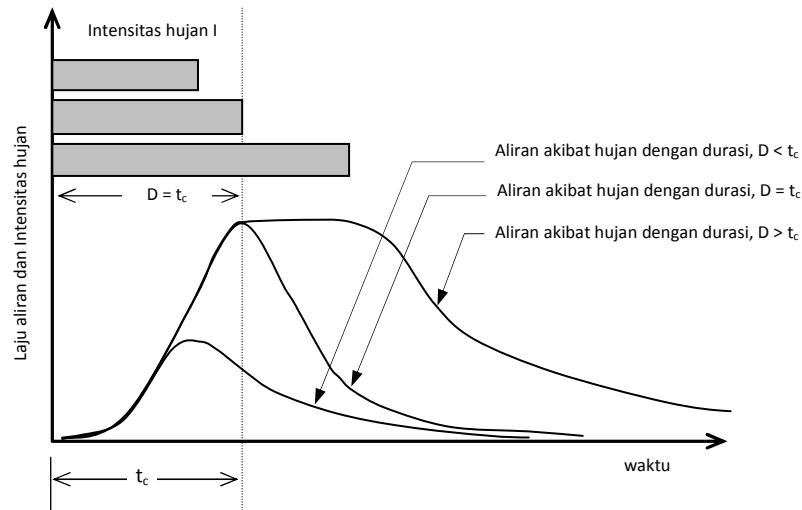
dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh DAS selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (t_c) DAS. Berikut adalah table koefisien limpasan untuk metode rasional.

Tabel 2.8. Koefisien Limpasan untuk metode Rasional

No	Deskripsi Lahan / Karakter Permukaan	Koefisien C
1	Bisnis	
	- Perkotaan	0,70 – 0,95
	- Pinggiran	0,50 – 0,70
2	Perumahan	
	- Rumah tunggal	0,30 – 0,50
	- Multiunit terpisah	0,40 – 0,60
	- Multiunit tergabung	0,60 – 0,75
	- Perkampungan	0,25 – 0,40
	- Apartemen	0,50 – 0,70
3	Industri	
	- Ringan	0,50 – 0,80
	- Berat	0,60 – 0,90
	Perkerasan	
	- Aspal dan beton	0,70 – 0,95
	- Batu bata, paving	0,50 – 0,70
	Atap	0,75 – 0,95
	Halaman, tanah berpasir	
	- Datar 2%	0,05 – 0,10
	- Rata-rata 2% - 7%	0,10 – 0,15
	- Curam 7%	0,15 - 0,20
	Halaman, tanah berat	
	- Datar 2%	0,13 – 0,17
	- Rata-rata 2% - 7%	0,18 – 0,22
	- Curam 7%	0,25 – 0,35
	Halaman kereta api	0,10 – 0,35
	Taman tempat bermain	0,20 – 0,35
	Taman, pekuburan	0,10 – 0,25
	Hutan	
	- Datar 0% - 5%	0,10 – 0,40
	- Bergelombang 5% - 10%	0,25 – 0,50
	- Berbukit 10% - 30%	0,30 – 0,60

(Sumber : Mc. Guen, 1989 dalam Suripin 2003)

Gambar 2.11. menunjukkan bahwa hujan dengan intensitas seragam dan merata seluruh DAS berdurasi sama dengan waktu konsentrasi (t_c). Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari t_c maka debit puncak yang terjadi lebih kecil dari Q_q , karena seluruh DAS tidak dapat memberikan kontribusi aliran secara bersama pada titik kontrol (*outlet*). Sebaliknya jika hujan yang terjadi lebih lama dari t_c , maka debit puncak aliran permukaan akan tetap sama dengan Q_p .



Gambar 2.11. Hubungan Curah Hujan dengan Aliran Permukaan
(Sumber : Goldman et al.,1986)

Perhitungan metode rasional menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot f \cdot r \cdot A \quad (\text{Ir. Joesron Loebis, M.Eng., 1999. hal : IV-3})$$

Di mana :

Q = Debit banjir rencana (m^3/det)

f = Koefisien pengaliran

i = Intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

$$r = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{T}\right)^{2/3} = R_{24} \left[\frac{0,347}{T^{2/3}}\right]$$

$$T = \frac{l}{w}$$

T = Waktu konsentrasi (jam)

$$w = 20 \frac{H^{0,6}}{l} (\text{m}/\text{det})$$

$$w = 72 \frac{H^{0,6}}{l} (\text{km}/\text{jam})$$

w = Waktu kecepatan perambatan (m/det atau Km/jam)

l = Jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang ditinjau (Km)

A = Luas DAS (km^2)

H = Beda tinggi ujung hulu dengan titik tingi yang ditinjau (m)

Koefisien pengaliran (f) tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah,

kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.9. Koefisien Pengaliran

Kondisi Daerah Pengaliran	Koefisien Pengaliran (<i>f</i>)
Daerah pegunungan berlereng terjal	0,75 – 0,90
Daerah perbukitan	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan bersemak-semak	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang digarap	0,45 – 0,65
Persawahan irigasi	0,70 – 0,80
Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

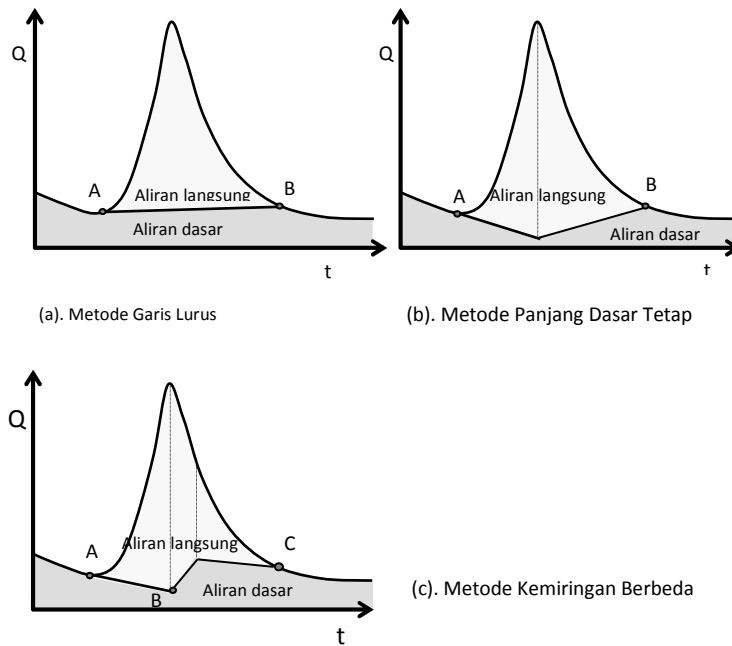
(Sumber : Ir.Joesron Loebis.M.Eng, 1987)

b. Metode Hidrograf

Hidrograf dapat didefinisikan sebagai hubungan antara salah satu unsur aliran terhadap waktu. Berdasarkan definisi tersebut dikenal ada dua macam hidrograf, yaitu hidrograf muka air dan hidrograf debit. Hidrograf muka air adalah data atau grafik hasil rekaman AWLR (*Automatic Water Level Recorder*). Sedangkan hidrograf debit disebut hidrograf.

Hidrograf tersusun dari dua komponen, yaitu aliran permukaan yang berasal dari aliran langsung air hujan, dan aliran dasar (*base flow*). Aliran dasar berasal dari air tanah yang pada umumnya tidak memberikan respon yang tepat terhadap hujan. Hujan juga dapat dianggap terbagi dalam dua komponen, yaitu hujan efektif dan kehilangan (*losses*). Hujan efektif adalah bagian hujan yang menyebabkan terjadinya aliran permukaan. Kehilangan hujan merupakan bagian hujan yang menguap, masuk kedalam tanah, kelembaban tanah dan simpanan air tanah.

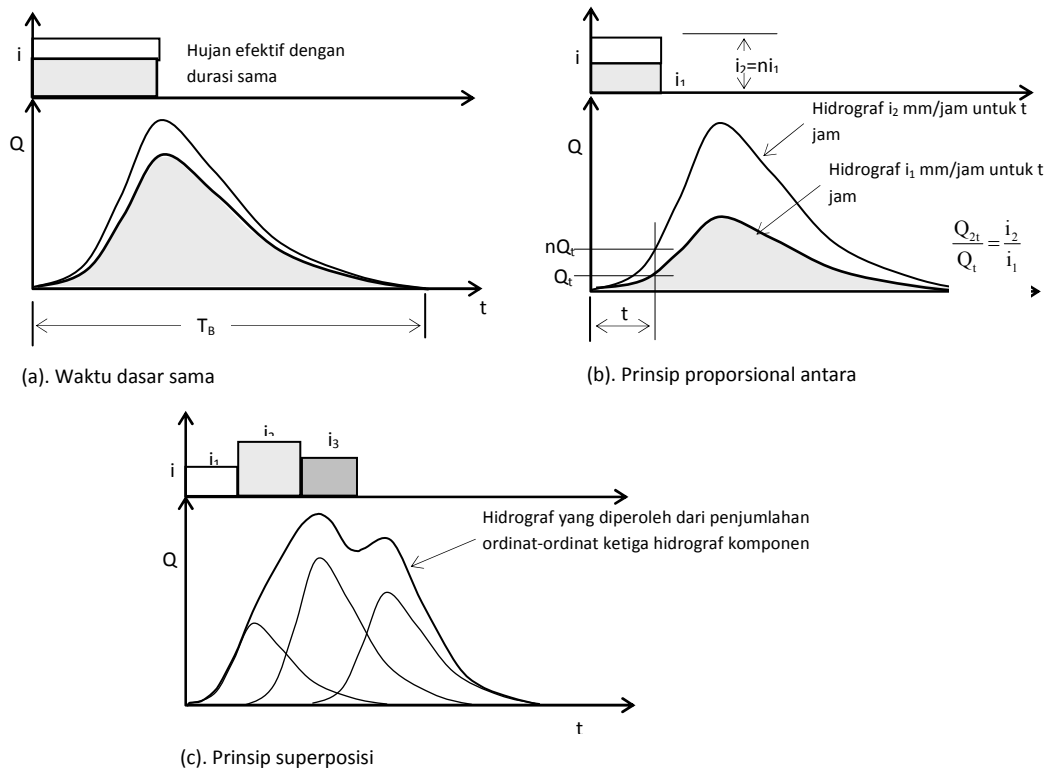
Hidrograf aliran langsung dapat diperoleh dengan memisahkan hidrograf dari aliran dasarnya. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan, diantaranya adalah metode garis lurus (*straight line method*), metode panjang dasar tetap (*fixed based method*) dan metode kemiringan berbeda (*variable slope method*), seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.12. Berbagai Metode Pemisahan Aliran Langsung
(Sumber : Goldman et al.,1986)

c. Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif yang terjadi merata di seluruh DAS dan dengan intensitas tetap selama satu satuan yang ditetapkan, yang disebut hujan satuan. Hujan satuan adalah curah hujan yang lamanya sedemikian rupa sehingga lamanya limpasan permukaan tidak menjadi pendek, meskipun curah hujan ini menjadi pendek. Jadi hujan satuan yang dipilih adalah yang lamanya sama atau lebih pendek dari periode naik hidrograf (waktu dan titik permulaan aliran permukaan sampai puncak). Periode limpasan dari hujan satuan semuanya adalah kira-kira sama dan tidak ada sangkut pautnya dengan intensitas hujan. Prinsip-prinsip hidrograf satuan terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.13. Prinsip-Prinsip Hidrograf Satuan
(Sumber : Goldman et al.,1986)

Hidrograf satuan merupakan model sederhana yang menyatakan respon DAS terhadap hujan. Tujuan dari hidrograf satuan adalah untuk memperkirakan hubungan antara hujan efektif dan aliran permukaan. Konsep hidrograf satuan pertama kali dikemukakan oleh Sherman pada tahun 1932. Dia menyatakan bahwa suatu sistem DAS mempunyai sifat khas yang menyatakan respon DAS terhadap suatu masukan tertentu yang berdasarkan pada tiga prinsip :

1. Pada hujan efektif yang berintensitas seragam pada suatu daerah aliran tertentu, intensitas hujan yang berbeda tetapi memiliki durasi sama, akan menghasilkan limpasan dengan durasi sama, meskipun jumlahnya berbeda.
2. Pada hujan efektif yang berintensitas seragam pada suatu daerah aliran tertentu, intensitas hujan yang berbeda tetapi memiliki durasi sama, akan menghasilkan hidrograf limpasan dimana ordinatnya pada sembarang waktu memiliki proporsi yang sama dengan proporsi intensitas hujan efektifnya. Dengan kata lain, ordinat hidrograf satuan sebanding dengan volume hujan efektif yang menimbulkannya. Hal ini berarti bahwa hujan sebanyak n kali lipat dalam suatu waktu tertentu akan menghasilkan suatu hidrograf

dengan ordinat sebesar n kali lipat.

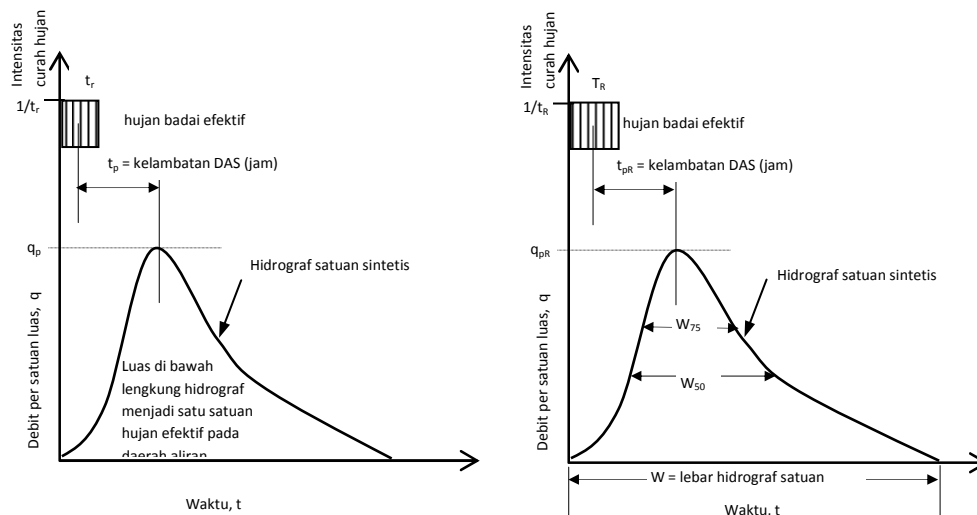
- Prinsip superposisi dipakai pada hidrograf yang dihasilkan oleh hujan efektif berintensitas seragam yang memiliki periode-periode yang berdekatan dan/atau tersendiri. Jadi hidrograf yang merepresentasikan kombinasi beberapa kejadian aliran permukaan adalah jumlah dari ordinat hidrograf tunggal yang memberi kontribusi.

d. Hidrograf Satuan Sintetik

Dalam kasus ini, hidrograf satuan diturunkan berdasarkan data-data dari sungai pada DAS yang sama atau DAS terdekat yang mempunyai karakteristik sama. Hasil dari penurunan hidrograf satuan ini dinamakan hidrograf satuan sintesis (HSS). Ada tiga jenis hidrograf satuan sintesis yang akan dibahas, yaitu :

1. HSS Snyder

Berdasarkan data-data DAS di Amerika Serikat, yang berukuran 30 sampai 30.000 km², Snyder (1938) menemukan tiga parameter hidrograf : lebar dasar hidrograf, debit puncak dan kelambatan DAS (*basin lag*). Snyder beranggapan bahwa karakteristik DAS yang mempunyai pengaruh kuat terhadap hidrograf satuan sintesis adalah luas DAS, bentuk DAS, topografi, kemiringan saluran dan daya tampung saluran.

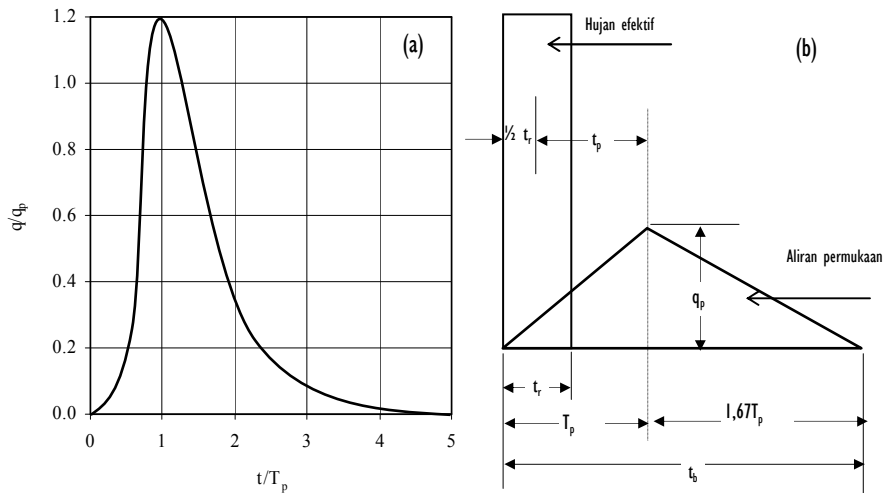


Gambar 2.14. HSS Snyder, HSS Standard (Kiri), Hidrograf Satuan Yang Diperlukan
(Sumber : Goldman et al., 1986)

2. HSS tak berdimensi SCS

Hidrograf tak berdimensi SCS (*Soil Conservation Services*) adalah hidrograf

satuan sintesis, dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit q terhadap debit puncak q_p dan waktu dalam nisbah waktu t terhadap waktu naik dari hidrograf satuan T_p . Jika debit puncak dan waktu kelambatan dari suatu durasi hujan efektif diketahui, maka hidrograf satuan dapat diestimasi dari hidrograf sintesis tak berdimensi untuk suatu DAS.



Gambar 2.15. HSS-SCS (A) Hidrograf Tak Berdimensi, (B) Hidrograf Segitiga
(Sumber : SCS, 1972)

3. Hidrograf Satuan Sintetik Gama I

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I biasa digunakan untuk mengukur debit banjir dengan parameter yang sesuai dengan keadaan di Indonesia. Parameter-parameter yang digunakan yaitu sebagai berikut :

- Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai-sungai semua tingkat.
- Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan antara jumlah pangsa sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai-sungai semua tingkat.
- Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak $0,75L$ dengan lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak $0,25L$ dari stasiun hidrometri.
- Luas DAS sebelah hulu (RUA), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melewati titik tersebut.

- Faktor simetri (SIM), yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu.
- Jumlah pertemuan sungai (JN), yaitu jumlah pertemuan sungai di dalam DAS tersebut
- Kerapatan jaringan kuras (D), yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Hidrograf satuan diberikan dengan empat variabel pokok, yaitu waktu naik (TR), debit puncak (QP), waktu dasar (TB) dan koefisien tampungan (k).

Persamaan-persamaan yang dipakai yaitu:

$$Q_t = Q \cdot P \cdot e^{t/k} \text{ (m}^3/\text{dtk)}$$

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \text{ (jam)}$$

$$Q_p = 0,1836A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \text{ (m}^3/\text{dtk)}$$

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7334} RUA^{0,2574} \text{ (jam)}$$

$$k = 0,5617A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0462}$$

Dalam pemakaian cara ini masih ada hal-hal lain yang perlu diperhatikan, diantaranya sebagai berikut :

- Penetapan hujan-mangkus yang digunakan untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks-Infiltrasi. Perkiraan indeks Infiltrasi dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologik dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks-Infiltrasi. Persamaan pendekatannya sebagai berikut :

$$\phi = 10,4903 - 3,859^{-6} A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4$$

- Untuk memperkirakan aliran dasar digunakan persamaan berikut ini :

$$QB = 0,4751A^{-0,1491} D^{0,9430} \text{ (m}^3/\text{dtk)}$$

- Dalam menetapkan hujan rata-rata DAS, perlu mengikuti cara-cara yang ada. Tetapi bila dalam praktek analisis tersebut sulit, maka disarankan menggunakan cara yang disebutkan dengan mengalikan hujan titik dengan faktor reduksi hujan, sebesar :

$$B = 1,5518A^{-0,1491} N^{-0,2725} SIM^{-0,0259} S^{-0,0733}$$

Berdasarkan persamaan di atas maka dapat dihitung besar debit banjir setiap jam dengan persamaan :

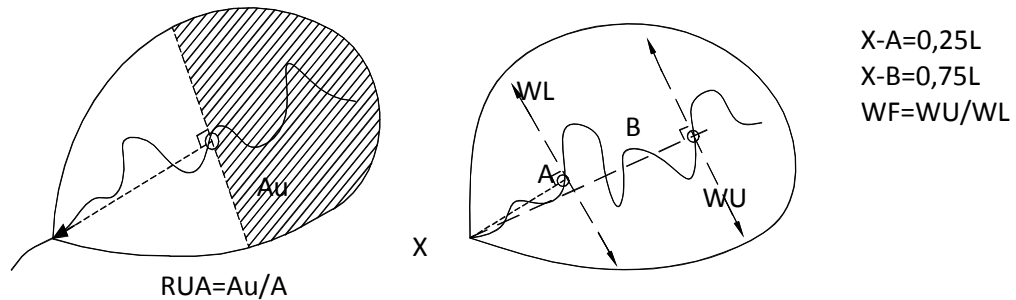
$$Q_p = (Q_t \times R_e) + QB(m^3/dtk)$$

Di mana :

Q_p = debit banjir setiap jam (m^3/dtk)

Q_t = debit satuan tiap jam (m^3/dtk)

R_e = curah hujan efektif (mm/jam)



Gambar 2.16. Sketsa Penetapan RUA

2.9 Konsep EPA-SWMM

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana adalah Program EPA SWMM (*Storm Water Management Model*) Versi 5.0. EPA SWMM adalah model simulasi limpasan (*run off*) curah hujan periodik yang digunakan untuk mensimulasi kejadian tunggal atau kejadian terus-menerus dengan kuantitas dan kualitas limpasan dari luas wilayah yang ditinjau. Komponen limpasan SWMM dioperasikan dengan menjumlahkan luas daerah tangkapan (*subcatchment*) yang menerima hujan total dan membangkitkannya dalam bentuk limpasan (*run off*) dan beban polusi. Aliran limpasan di SWMM dapat ditelusuri melalui sistem pipa, saluran terbuka, kolam tampungan dan pompa. SWMM merupakan kuantitas dan kualitas limpasan yang dibangkitkan pada masing-masing daerah tangkapan (*subcatchment*), dan rata-rata aliran, kedalaman aliran dan kualitas air dimasing-masing pipa dan saluran terbuka waktu simulasi dimasukkan dalam penambahan waktu (Rossman, 2005).

SWMM digunakan untuk menghitung berbagai jenis proses hidrologi yang menghasilkan limpasan di daerah yang ditinjau. Hal itu meliputi :

- Perbedaan waktu curah hujan.
- Penguapan pada permukaan air.
- Timbunan salju dan pelelehan salju.
- Kehilangan hujan dari tampungan-cekungan.
- Infiltrasi curah hujan ke dalam permukaan tanah tak jenuh.
- Perkolasi dari air Infiltrasi kedalam permukaan air tanah.

- Aliran antara air tanah dengan sistem drainase.
- Penelusuran waduk nonlinear dari aliran permukaan.

Variasi ruang hujan dalam semua proses ini diselesaikan dengan membagi studi area kedalam lingkup yang lebih kecil, luas daerah tangkapan (*subcatchment*) homogen, masing-masing mengandung fraksi *pervious* dan *impervious* sub-area sendiri-sendiri. Aliran permukaan dapat ditelusuri antar sub-area, antar daerah tangkapan (*subcatchment*), atau antar titik masuk dari sistem drainase.

2.9.1 Subcatchment

Subcatchment atau disebut juga sub daerah pengalihan sungai adalah salah satu unit hidrologi di permukaan tanah yang mempunyai topografi dan element sistem drainase internal yang mengalirkan limpasan permukaan ke satu titik outlet. *Subcatchment* dapat dibagi menjadi bagian *pervious sub area* dan *impervious sub area* dimana limpasan dapat mengalami Infiltrasi jika melewati *pervious sub area* tetapi tidak dapat jika melewati *impervious sub area*. Limpasan dapat mengalir dari satu sub area ke sub area lainnya atau mengalir bersama ke satu titik outlet.

Infiltrasi adalah aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah secara vertikal. Parameter yang mempengaruhi antara lain adalah intensitas hujan, kondisi permukaan tanah (jenis penutup tanah), sifat tanah (*porositas*), kelengasan tanah, tanaman penutup lahan, dan topografi. Infiltrasi air hujan di kawasan Sub DAS yang tidak kedap air ke dalam zona lapisan atas tanah dalam model SWMM digambarkan dengan Model Infiltrasi Horton dengan masukan (*input*) parameter lain untuk untuk *subcatchment* adalah :

- Menentukan *Rain Gage* yang akan digunakan.
- Menentukan outlet *subcatchment*
- Menentukan tata guna lahan
- Menentukan *pervious* dan *impervious sub area*.
- Menentukan slope atau kemiringan *subcatchment*.
- Menentukan lebar *subcatchment*.
- Menentukan bilangan *manning* untuk aliran permukaan.

Koefisien *manning* yang digunakan dalam permodelan adalah sebagai berikut :

$$\text{Impervious area} = 0,01$$

$$\text{Pervious area} = 0,1$$

Berikut adalah tabel besaran angka kekasaran manning pada beragam jenis permukaan.

Tabel 2.10. Tabel Angka Koefisien Manning

Permukaan	N	
	Minimum	Maksimum
Permukaan yang dilapisi		
Permukaan dari acian semen yang rapi	0,010	0,013
Permukaan saluran yang terbuat dari kayu	0,010	0,014
Saluran yang terbuat dari papan halus	0,010	0,017
Pipa air limbah yang terbuat dari besi patri (kasar)	0,010	0,015
Saluran yang terbuat dari metal logam (halus)	0,011	0,013
Beton precast	0,011	0,015
Permukaan dari mortar semen	0,011	0,015
Saluran terbuat dari ipapan tidak halus	0,011	0,015
Ubin untuk drainase	0,011	0,017
Beton monolit	0,012	0,016
Pelapis besi	0,013	0,017
Permukaan semen yang kasar	0,017	0,030
Kanal		
Hasil pengerukan tanah halus	0,025	0,033
Pada batuan yang dipotong halus	0,025	0,035
Dengan dasar dan masing-masing sisinya ditumbuhi rumput liar	0,025	0,040
Pada batuan yang dipotong kasar dan tidak rata	0,015	0,045
Saluran Alam		
Halus dan lurus	0,025	0,033
Dengan kondisi dipenuhi rumput dan bebatuan	0,045	0,060
Yang dalam dan dipenuhi rumput	0,075	0,150
Dataran		
Padang rumput	0,025	0,050
Semak-semak	0,035	0,160
Pepohonan		
- Padat	0,011	0,200
- Jarang	0,030	0,050
- Dengan pohon yang besar-besar	0,080	0,120

(Sumber : Imam Subarkah, 2001)

- Menentukan persentase *impervious sub area*.

Penentuan prosentase *impervious* (daerah kedap air) dan prosentase *zero impervious* (daerah yang 100% kedap air) bergantung pada tata guna lahan, jumlah bangunan, dan jenis bangunan.

2.9.2 Junction Nodes

Junction merupakan titik pertemuan aliran. Dalam keadaan sebenarnya *junction* dapat menggambarkan pertemuan antara saluran, *manholes* pada *sewer sistem*, ataupun pada pipa saluran tertutup. Aliran yang akan masuk ke dalam sistem drainase harus melalui *junction*. Kelebihan air pada *junction* dapat menyebabkan meluapnya air pada titik tersebut sehingga dapat digambarkan sebagai banjir pada titik tersebut.

Masukan parameter untuk *junction* adalah :

- Elevasi dasar.
- Tinggi hingga permukaan tanah.
- Kolam tampungan pada permukaan ketika terjadi banjir (*optional*).
- Data debit dari luar (*optional*)

2.9.3 Outfall Nodes

Outfalls adalah terminal terakhir dari rangkaian aliran sistem drainase, menggambarkan titik akhir berupa muara ataupun keluaran lainnya. Pada *outfalls* dapat digambarkan dengan beberapa kondisi antara lain :

- Kedalaman aliran pada penghubung saluran.
- Kondisi air pasang tertinggi (*fixed tide*).
- Tabel pasang surut.

Parameter masukan lainnya :

- Elevasi dasar.
- Keadaan pasang surut.
- Pintu engsel untuk mencegah *backwater* melalui *Outfalls*.

2.9.4 Flow Divider Nodes

Flow Divider Nodes adalah suatu titik yang membagi sebagian aliran ke saluran yang lain. Suatu divider hanya dapat membagi aliran menjadi dua.

Ada empat jenis *Flow dividers* berdasarkan cara membagi aliran :

- *Cut off Divider*, membagi aliran berdasarkan jumlah yang telah ditentukan sebelumnya.
- *Overflow Divider*, membagi aliran berdasarkan kapasitas maksimum saluran utama, jika saluran utama melewati kapasitas maksimum maka aliran akan langsung terbagi.
- *Tabular Divider*, membagi aliran berdasarkan tabel fungsi total aliran.
- *Weir Divider*, membagi aliran dengan menggunakan persamaan *weir* (bendung).

2.9.5 Storage Units

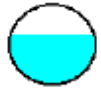




















Storage unit merupakan suatu titik dimana dapat menyediakan tampungan air dengan volume tertentu. Dalam hal ini *storage unit* menggambarkan suatu kolam tampungan air dengan volume tertentu dimana air dapat ditahan untuk sementara. Volume kolam tampungan diperoleh dari tabel fungsi luas permukaan kolam dengan kedalaman.

Masukan lainnya untuk *Storage Unit* :

- Elevasi dasar
- Kedalaman maksimum
- Tabel fungsi luas permukaan dan kedalaman
- Penguapan
- Genangan di permukaan (*optional*)

2.9.6 Conduits

Conduits adalah penghubung yang mengalirkan air dari suatu node ke node lainnya dalam sistem pengaliran dalam hal ini dapat berupa saluran terbuka ataupun tertutup. Penampang melintang saluran dapat ditentukan melalui tabel yang telah disediakan. Selain itu bentuk saluran alam yang tidak beraturan juga dapat digunakan.

Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Depth		Filled Circular	Depth, Filled Depth	
Rectangular - Closed	Depth, Width		Rectangular - Open	Depth, Width	
Trapezoidal	Depth, Base Width, Side Slopes		Triangular	Depth, Top Width	
Horizontal Ellipse	Depth, Max Width		Vertical Ellipse	Depth, Max Width	
Arch	Depth, Max Width		Parabolic	Depth, Top Width	
Power	Depth, Top Width, Exponent		Rectangular-Triangular	Depth, Top Width, Triangle Height	
Rectangular-Round	Depth, Width		Modified Baskethandle	Depth, Bottom Width	
Egg	Depth		Horseshoe	Depth	
Gothic	Depth		Catenary	Depth	
Semi-Elliptical	Depth		Baskethandle	Depth	
Semi-Circular	Depth				

Gambar 2.17. Bentuk Penampang Melintang Saluran Dalam SWMM
(Sumber : Roosman 2010)

Masukan untuk conduits :

- Nama node masuk dan node keluar
- Panjang saluran
- Bilangan kekasaran Manning
- Geometri penampang melintang

2.9.7 Orifices

Orifices digunakan untuk model struktur diversifikasi dan saluran dari sistem drainase, yang secara khusus membuka dinding dari manhole, fasilitas tampungan dan pengendali gate. *Orifices* secara internal diwakili didalam SWMM sebagai mata rantai yang menghubungkan dua node. *Orifices* bisa memiliki bentuk bulat atau persegi, bisa diletakkan di dasar ataupun sepanjang sisi node di hulu dan mempunyai *flap gate* penutup untuk mencegah *backflow*. Aliran sepanjang *orifices* dihitung berdasarkan pada area pembukaannya, koefisien *discharge*-nya dan perbedaan puncak disebaliknya. Parameter masukan untuk *orifices* antara lain : nama titik inlet dan outlet, tipe orifices (dasar atau sisi), bentuk *orifices* (bulat atau persegi), tinggi *orifices* saat terbuka penuh.

a. Batas antara Sistem Gravitasi dan Sistem Polder

Konsep Sistem Drainase daerah hulu menggunakan sistem gravitasi sedangkan drainase di daerah hilir menggunakan sistem polder. Debit banjir dari daerah hulu dibuang ke Laut melalui Banjir Kanal dengan sistem gravitasi, sehingga debit banjir dari hulu tidak akan membebani daerah hilir. Daerah drainase hulu dan hilir ini dipisahkan oleh saluran sabuk yang berfungsi untuk mengalirkan debit banjir yang berasal dari hulu ke banjir kanal di masing-masing sistem drainase.

b. Kapasitas Pompa dan Kebutuhan Kolam Tando

Kapasitas Pompa dan Kebutuhan Kolam Tando dapat dihitung dengan menggunakan Program SWMM. Di dalam Program SWMM, kapasitas pompa dapat dilihat dari kurva pompa yang menggambarkan hubungan antara aliran rata-rata pompa dan kondisi node di inlet dan outlet. Ada empat tipe pompa yang digunakan dalam SWMM.

Sedangkan kebutuhan Kolam Tando di dalam Program SWMM diperoleh dari tabel fungsi luas permukaan kolam dengan kedalaman. Masukan lainnya untuk Kolam Tando di dalam Program SWMM antara lain :

- Elevasi dasar
- Kedalaman maksimum
- Tabel fungsi luas permukaan dan kedalaman
- Penguapan
- Genangan di permukaan (optional)

2.10 Analisis Kajian Kinerja Saluran dan Bangunan

Kriteria analisis hidrolika ditentukan oleh :

1. Bentuk saluran : 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 (n_{eq}).

