

Bab 2 Studi Pustaka

2.1 Tinjauan Umum

Permasalahan banjir akibat hujan lokal dan *rob* merupakan permasalahan yang laten bagi Kota Semarang bawah. Berbagai bentuk penanganan telah dilakukan tetapi sifatnya masih setengah-setengah dan tidak maksimal sehingga tidak teratasi dengan tuntas. Untuk itu diperlukan penanganan yang komprehensif dengan melibatkan semua pihak terkait. Implementasi perencanaan pengendalian banjir ini antara lain dengan normalisasi sungai dan kolam penampungan serta stasiun pompa.

Perencanaan pengendalian banjir ini diutamakan untuk meningkatkan kapasitas saluran dan memperkecil debit yang mengalir melalui sungai dan saluran sehingga air sungai tidak meluap di titik-titik yang rawan banjir dan debit yang keluar dilaut diharapkan tidak mengalami perubahan yang drastis.

2.2 Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu (Soewarno, 1995).

Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan sebagian data hidrologi yang dikumpulkan (Soewarno, 1995).

Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut :

- Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
- Menganalisis distribusi curah hujan dengan periode ulang T tahun.
- Menganalisis frekuensi curah hujan.
- Mengukur dispersi.
- Memilih jenis sebaran.

- Menguji kecocokan sebaran.
- Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun untuk menentukan bangunan pengendali banjir.

2.2.1 Perencanaan Daerah Aliran Sungai

DAS atau Daerah Aliran Sungai (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian.

Nama 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.

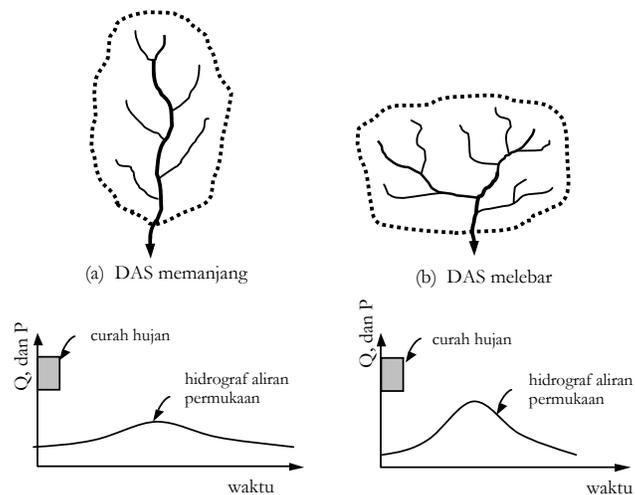
Dari peta topografi, ditetapkan titik-titik tertinggi disekeliling sungai utama (*main stream*) yang dimaksudkan, dan masing-masing titik tersebut dihubungkan satu dengan lainnya sehingga membentuk garis utuh yang bertemu ujung pangkalnya. Garis tersebut merupakan batas DAS dititik kontrol tertentu (Sri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

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi (Suripin, 2004):

- 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. 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.

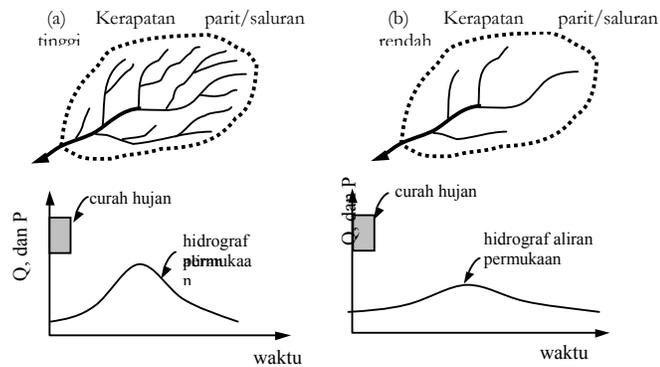


Gambar 2.1 Pengaruh bentuk DAS pada aliran permukaan

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 di titik 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.

- 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 2.2 Pengaruh kerapatan parit/saluran pada hidrograf aliran permukaan

- 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.

2.2.2 Analisis Distribusi Curah Hujan

Hal yang penting dalam pembuatan rancangan dan rencana adalah distribusi curah hujan. Distribusi curah hujan adalah berbeda-beda sesuai dengan jangka waktu yang ditinjau yakni curah hujan tahunan (jumlah curah hujan dalam setahun), curah hujan bulanan

(jumlah curah hujan sebulan), curah hujan harian (jumlah curah hujan 24 jam), curah hujan per jam.

2.2.3 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi diperlukan seri 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).

Perencanaan persungai biasanya diadakan setelah ditentukannya batas-batas besaran hidrologi yang terjadi karena fenomena alam yang mendadak dan tidak normal. Karena itu perlu dihitung kemungkinan debit atau curah hujan yang lebih kecil atau lebih besar dari suatu nilai tertentu, berdasarkan data-data yang diperoleh sebelumnya (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

2.2.4 Pengukuran Dispersi

Dalam analisis frekuensi curah hujan data hidrologi dikumpulkan, dihitung, disajikan dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu, yaitu metode 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 di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi (Soewarno, 1995).

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

- Deviasi Standar (S)
- Koefisien *Skewness* (Cs)
- Pengukuran *Kurtosis* (Ck)
- Koefisien Variasi (Cv)

2.2.4.1 Deviasi Standar (S)

Umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar (*standard deviation*) dan varian (*variance*). Varian dihitung sebagai nilai kuadrat dari deviasi standar. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai standar deviasi akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka standar deviasi akan kecil.

Rumus :

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

Dimana :

S = deviasi standar

X_i = nilai variat

\bar{X} = nilai rata-rata

n = jumlah data

2.2.4.2 Koefisien Skewness (Cs)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*asymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Umumnya ukuran kemencengan dinyatakan dengan besarnya koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*).

Rumus :

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

Dimana :

CS = koefisien kemencengan

X_i = nilai variat

\bar{X} = nilai rata-rata

n = jumlah data

S = standar deviasi

2.2.4.3 Pengukuran Kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

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

Dimana :

Ck = koefisien kurtosis

X_i = nilai variat

\bar{X} = nilai rata-rata

n = jumlah data

S = standar deviasi

2.2.4.4 Koefisien Variasi (Cv)

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

Rumus :

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}}$$

Keterangan :

Cv = koefisien variasi

S = standar deviasi

\bar{X} = nilai rata-rata

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

2.2.5 Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan Poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Pearson dan Gumbel (Soewarno, 1995).

Berikut ini adalah beberapa macam distribusi yang sering digunakan, yaitu:

2.2.5.1 Distribusi Normal

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

Rumus :

$$X_t = X_{rt} + k * S$$

Dimana :

X_t = curah hujan rencana

X_{rt} = curah hujan rata-rata

k = koefisien untuk distribusi Normal

S = standar deviasi

2.2.5.2 Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari Distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X .

Rumus :

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k * S$$

$$X_t = 10^{\text{Log}X_t}$$

Dimana :

X_t = curah hujan rencana

X_{rt} = curah hujan rata-rata

k = koefisien untuk distribusi Normal

S = standar deviasi

2.2.5.3 Distribusi Gumbel I

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I (*extreme type I distribution*) digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Rumus :

$$X_t = X_{rt} + \left(\frac{Y - Y_n}{S_n} \right) * S$$

Dimana :

X_t = curah hujan rencana

X_{rt} = curah hujan rata-rata

S = standar deviasi

S_n = standar deviasi ke n

Y = koefisien untuk distribusi Gumbel

Y_n = koefisien untuk distribusi Gumbel ke n

2.2.5.4 Distribusi Log Person Tipe III

Distribusi Log-Pearson tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai extrim. Bentuk Distribusi Log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik.

Rumus :

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k * S$$

$$X_t = 10^{\text{Log}X_t}$$

Dimana :

X_t = curah hujan rencana

X_{rt} = curah hujan rata-rata

k = koefisien untuk distribusi Log Pearson

S = standar deviasi

2.2.6 Ploting Data

Perkiraan kasar periode ulang atau curah hujan yang mungkin, lebih mudah dilakukan dengan menggunakan kertas kemungkinan. Kertas kemungkinan normal (*normal probability paper*) digunakan untuk curah hujan tahunan yang mempunyai distribusi yang hampir sama dengan distribusi normal dan kertas kemungkinan logaritmis normal (*logarithmic-normal probability paper*) digunakan untuk curah hujan harian maksimum dalam setahun yang mempunyai distribusi normal logaritmis (Sosrodarsono dan Takeda, 1977).

Plotting data distribusi frekuensi dalam kertas probabilitas bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, dimana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus. Hasil *plotting* juga dapat digunakan untuk menaksir nilai tertentu dari data baru yang kita peroleh (Soewarno, 1995).

Dalam hal ini harus dipilih kertas kemungkinan yang sesuai dengan distribusi data secara teoritis maupun empiris dan bentuk distribusi ditentukan dengan menggambarannya (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

Ada dua cara untuk mengetahui ketepatan distribusi probabilitas data hidrologi, yaitu data yang ada diplot pada kertas probabilitas yang sudah didesain khusus atau menggunakan skala skala plot yang melinierkan fungsi distribusi. Posisi pengeplotan data merupakan nilai probabilitas yang dimiliki oleh masing-masing data yang diplot. Banyak metode yang

telah dikembangkan untuk menentukan posisi pengeplotan yang sebagian besar dibuat secara empiris. Untuk keperluan penentuan posisi ini, data hidrologi (hujan atau banjir) yang telah ditabelkan diurutkan dari besar ke kecil (berdasarkan peringkat m), dimulai dengan $m = 1$ untuk data dengan nilai tertinggi dan $m = n$ (n adalah jumlah data) untuk data dengan nilai terkecil. Periode ulang T_r dapat dihitung dengan beberapa persamaan yang telah terkenal, yaitu Weibull, California, Hazen, Gringorten, Cunnane, Blom dan Turkey. Data yang telah diurutkan dan periode ulangnya telah dihitung dengan salah satu persamaan diatas diplot di atas kertas probabilitas sehingga diperoleh garis T_r vs P (hujan) atau Q (debit banjir) yang berupa garis lurus (Suripin, 2003).

2.2.7 Pengujian Kecocokan Sebaran

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan/mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Pengujian parameter 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).

2.2.7.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 , oleh karena itu disebut dengan uji Chi-Kuadrat.

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- 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 berada diantara 1 % - 5 %, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

2.2.7.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

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

Pengujian kecocokan sebaran dengan cara ini dinilai lebih sederhana dibanding dengan pengujian dengan cara Chi-Kuadrat. Dengan membandingkan kemungkinan (*probability*) untuk setiap variat, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan terdapat perbedaan (Δ) tertentu.

Apabila harga Δ max yang terbaca pada kertas probabilitas lebih kecil dari Δ kritis maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila Δ max lebih besar dari Δ kritis maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

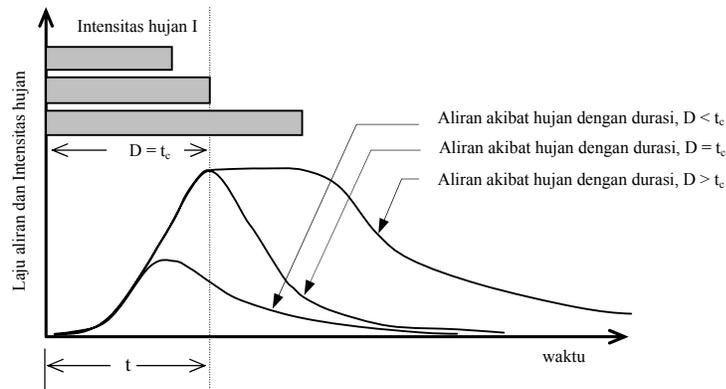
2.3 Analisa Debit Banjir Rencana

Ada beberapa metode 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) :

2.3.1 Metode Rasional

Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Metode ini sangat simple dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Goldman, 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.



Gambar 2.3 Hubungan curah hujan dengan aliran permukaan untuk durasi hujan yang berbeda.

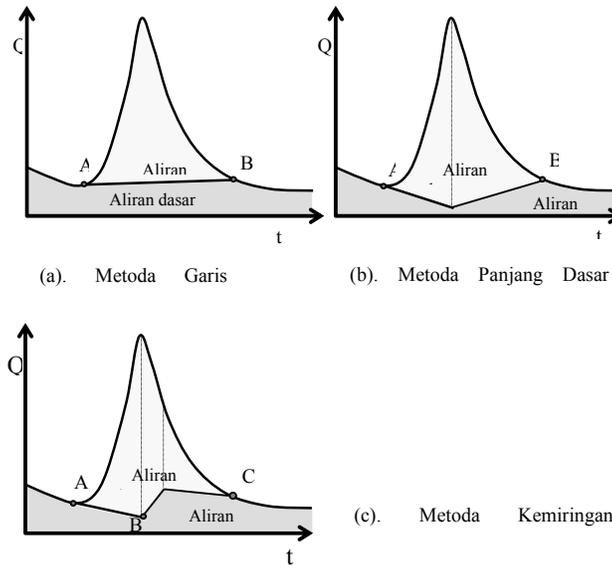
Gambar diatas menunjukkan bahwa hujan dengan intensitas seragam dan merata seluruh DAS berdurasi sama dengan waktu konsentrasi (t_c). Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari t_c maka debit puncak yang terjadi lebih kecil dari Q_q , karena seluruh DAS tidak dapat memberikan kontribusi aliran secara 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 .

2.3.2 Metode Hidrograf

Hidrograf dapat didefinisikan sebagai hubungan antara salah satu unsure 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.

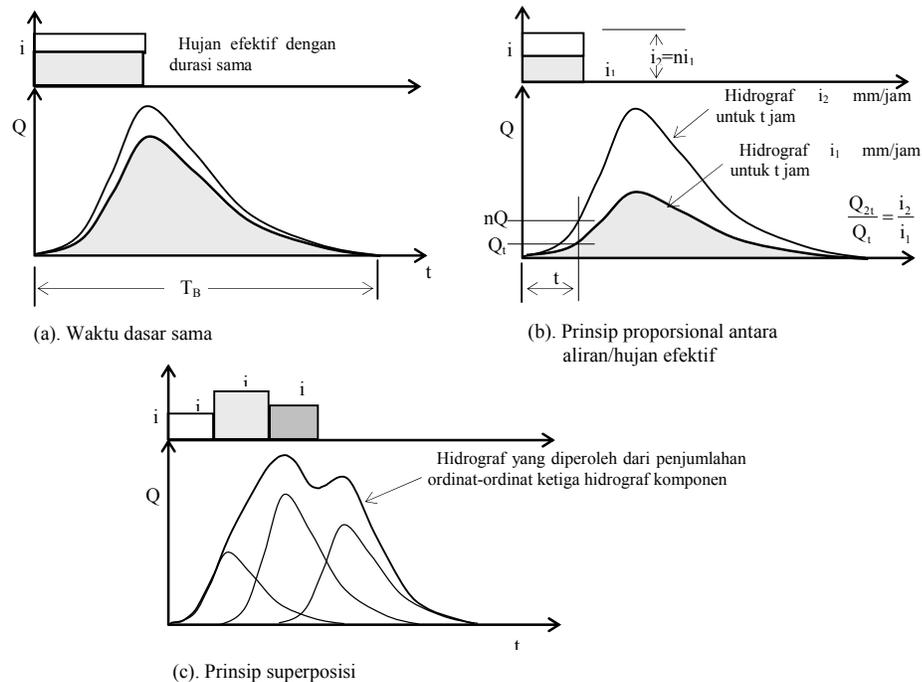
Hidrograf aliran langsung dapat diperoleh dengan memisahkan hidrograf dari aliran dasarnya. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan, diantaranya adalah metode garis lurus (*straight line method*), metode panjang dasar tetap (*fixed based method*) dan metode kemiringan berbeda (*variable slope method*).



Gambar 2.4 Berbagai metode pemisahan aliran langsung

2.3.3 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.

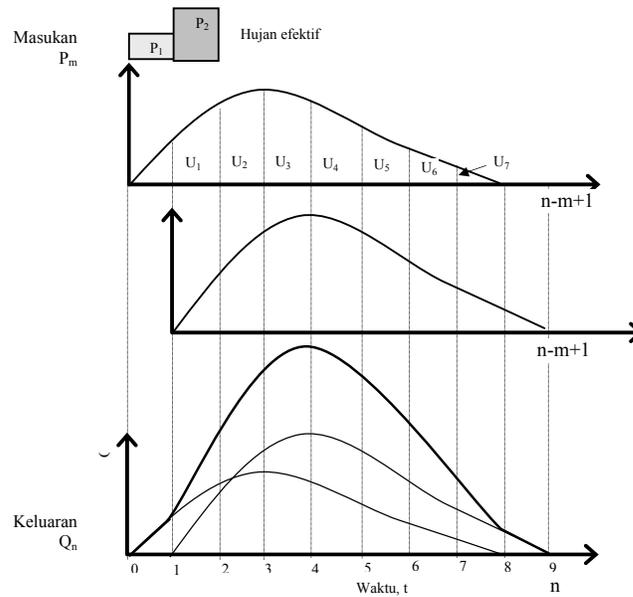


Gambar 2.5 Prinsip-prinsip hidrograf satuan

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 system DAS mempunyai sifat khas yang menyatakan respon DAS terhadap suatu masukan tertentu yang berdasarkan pada tiga prinsip :

- 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.
- 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.



Gambar 2.6 Pemakaian proses konvolusi pada hidrograf satuan

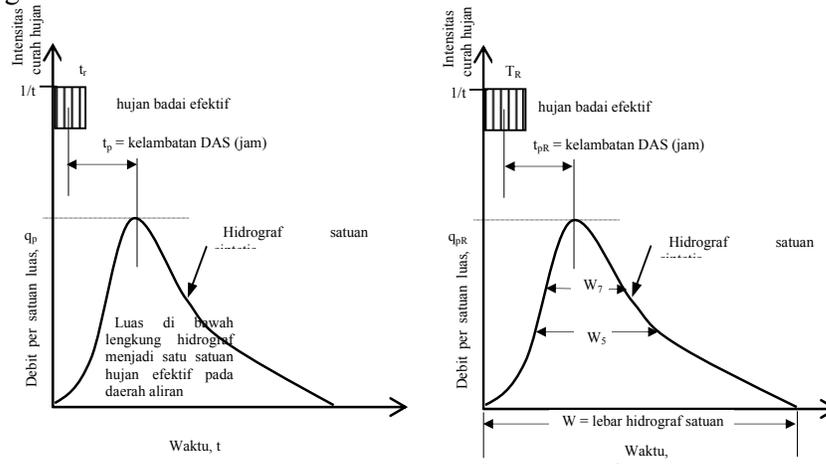
2.3.4 Hidrograf Satuan Sintetik

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 sintetik (HSS). Ada dua jenis hidrograf satuan sintesis yang akan dibahas, yaitu :

- HSS Snyder

Berdasarkan data-data DAS di Amerika Serikat, yang berukuran 30 sampai 30.000 km², Syder (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

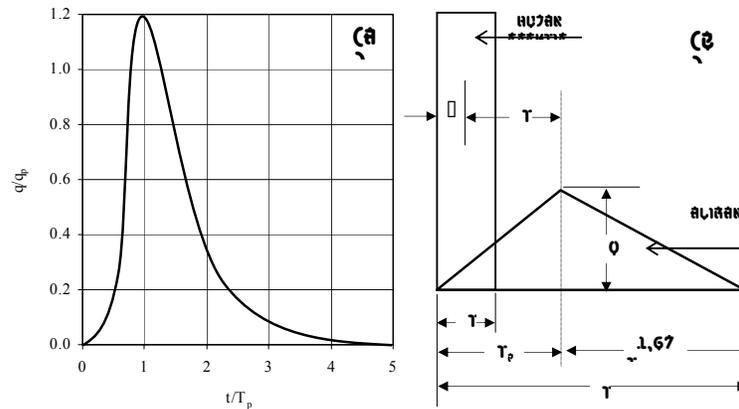
sintetis adalah luas DAS, bentuk DAS, topografi, kemiringan saluran dan daya tampung saluran.



Gambar 2.7 HSS Snyder, HSS standard (kiri), hidrograf satuan yang diperlukan

- 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 2.8 HSS-SCS (a) hidrograf tak berdimensi, (b) hidrograf segitiga (Sumber, SCS, 1972)

2.3.5 Konsep EPA SWMM 5.0

Dalam Tugas Akhir ini debit banjir dihitung *software* EPA SWMM 5.0. Konsep simulasi EPA SWMM ini menggunakan Hidrograf Satuan. EPA SWMM (*Storm Water Management Model*) Versi 5.0. EPA SWMM adalah model simulasi limpasan (*runoff*) 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 (*runoff*) 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 study area kedalam lingkup yang lebih kecil, luas daerah tangkapan (*subcatchment*) homogen, masing-masing mengandung fraksi *previous* dan *impervious* sub-area sendiri-sendiri. Aliran permukaan dapat ditelusuri antar sub-area, antar daerah tangkapan (*subcatchment*), atau antar titik masuk dari sistem drainase.

SWMM juga mengandung aturan yang fleksibel untuk kemampuan permodelan hidrolika yang digunakan untuk menelusuri limpasan dan aliran external melalui jaringan sistem drainase pipa, saluran terbuka, kolam tampungan dan bangunan pengelak. Hal ini termasuk kemampuan untuk :

- Mengendalikan jaringan yang ukurannya tidak terbatas
- Menggunakan lebar yang bermacam-macam dari bentuk saluran tertutup atau terbuka.
- Memodelkan bagian-bagian yang khusus seperti kolam tampungan, pembagi aliran, pompa, bendung dan saluran pembuang.
- Menganalisa aliran external dan kualitas air dari limpasan permukaan, aliran antara air tanah, curah hujan yang dipengaruhi infiltrasi/aliran, aliran pembuangan kering udara dan pembatasan pengguna aliran antara.
- Menggunakan salah satu metode penelusuran aliran diantara gelombang kinematik atau gelombang dinamik penuh
- Memodelkan bermacam-macam cara aliran, seperti *backwater*, *surcharging*, aliran pembalik dan kolam permukaan.
- Pembatasan pengendali dinamis untuk mensimulasi pengoperasian pompa, pembukaan saluran pembuang dan level puncak bendung.

Dengan program EPA SWMM 5.0 debit banjir rencana dapat dihitung secara kumulatif. Sehingga didapatkan debit banjir puncak yang maksimum untuk desain selanjutnya. Dengan program EPA SWMM 5.0 kita bisa merencanakan debit yang keluar agar tetap konstan.

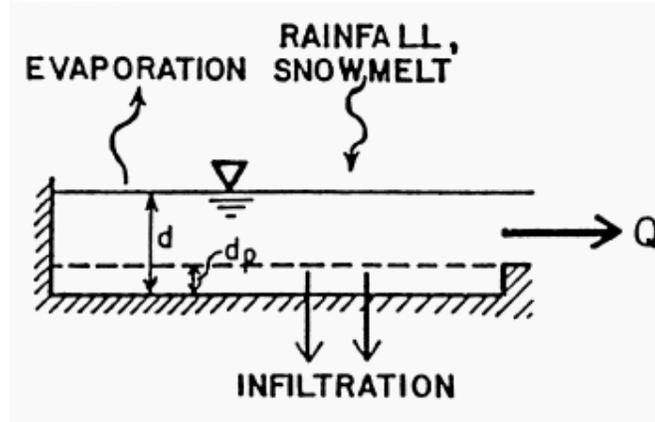
EPA SWMM dapat menghitung debit banjir dengan cara memodelkan suatu sistem drainase, melalui proses-proses :

- Aliran permukaan (*Surface Runoff*)
- Infiltrasi (*Infiltration*)
- Air tanah (*Ground Water*)

- Penelusuran banjir (*Flow Routing*)

Dalam Tugas Akhir hanya menggunakan perhitungan metode aliran permukaan dan infiltrasi untuk mendapatkan hidrograf, maka kita hanya membahas tentang Aliran permukaan dan Infiltrasi.

1. Aliran Permukaan



Gambar 2.9 Model simulasi aliran pada SWMM

Konsep aliran permukaan yang digunakan oleh SWMM dapat dilihat pada gambar 2-9. Permukaan *subcatchment* didefinisikan sebagai reservoir nonlinear. Air masuk melalui presipitasi serta *subcatchment* yang di atasnya. Kemudian air akan mengalir dengan beberapa cara diantaranya melalui infiltrasi, evaporasi dan aliran permukaan. Aliran permukaan per unit area (Q) terjadi apabila air tanah telah mencapai maksimum dan tanah menjadi jenuh. Untuk mendapatkan nilai Q dihitung dengan persamaan manning .

$$Q = W \frac{1.49}{n} (d - dp)^{\frac{5}{3}} \sqrt{S}$$

Dimana :

Q = debit aliran yang terjadi

W = lebar subcatchment

n = koefisien kekasaran manning

d = kedalaman air

d_p = kedalaman air tanah

S = kemiringan subcatchment

Selanjutnya limpasan yang terjadi (Q) akan mengalir melalui conduit atau saluran yang ada. SWMM menggunakan persamaan manning untuk menghitung debit aliran :

$$Q = \frac{1.49}{n} AR^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$$

Dimana :

Q= debit saluran

A= luas penampang saluran

R= jari-jari hidrolis

S = kemiringan dasar saluran

n = bilangan manning untuk kekasaran saluran

Tabel 2.1 Bilangan Kekasaran Manning untuk saluran

Saluran	Keterangan	n Manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0,016 - 0,033
	Berkelok, landai dan berumput	0,023 - 0,040
	Tidak terawat dan kotor	0,050 - 0,140
	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0,035 - 0,045
Pasangan	Batu kosong	0,023 - 0,035
	Pasangan batu belah	0,017 - 0,030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0,014 - 0,018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018 - 0,030

Sumber : Imam Subarkah, 1980

2. Infiltrasi

Infiltrasi adalah suatu proses dimana air hujan merembes masuk ke dalam tanah permukaan pervious subcatchment area. SWMM menyediakan tiga pilihan untuk memodelkan infiltrasi yaitu model infiltrasi Horton, model Green-Ampt dan model Curve Number.

- Metode Horton.

Metode ini berdasarkan hasil pengamatan empiris yang dilakukan oleh RE. Horton (1940) yang menunjukkan bahwa infiltrasi akan berkurang secara eksponensial dari nilai maksimum ke nilai minimum selama terjadinya hujan. Parameter masukan yang dibutuhkan metode ini termasuk maksimum dan minimum rata-rata infiltrasi, koefisien pengeringan yang menjelaskan seberapa cepat penurunan yang terjadi, dan waktu yang dibutuhkan tanah jenuh menjadi benar-benar kering.

- Metode Green-Ampt

Metode ini untuk memodelkan infiltrasi yang mengasumsikan bahwa suatu lapisan basah jelas ada dalam ruang tanah, memisahkan tanah dengan kandungan kelembaban awal dibagian bawah dari tanah jenuh di atasnya.

- Metode Curve Number

Pendekatan ini diadaptasi dari NRCS (SCS) metode Curve Number untuk mengestimasi *runoff*. Ini diasumsikan bahwa total kapasitas infiltrasi pada tanah bias dicari pada tabel Curve Number. Selama hujan, kapasitas ini dihabiskan sebagai fungsi curah hujan kumulatif dan kapasitas sisanya.

- **Penelurusan Banjir**

Penelurusan banjir dalam di SWMM dilakukan berdasarkan rumus konservasi massa dan rumus momentum untuk “*gradually varied, unsteady flow*”. Metoda analisa penelurusan yang dapat digunakan adalah seperti berikut (Rossman, 2005):

- Steady Flow Routing

Steady flow routing adalah teknik penelurusan yang paling sederhana dan memakai asumsi aliran seragam (*uniform*) dan tetap (*steady*). Pada teknik

penelusuran banjir, hydrograph banjir yang masuk dibagian hulu saluran hanya digeser ke hilir saluran tanpa penundaan waktu dan perubahan bentuk. Rumus Manning digunakan dalam perhitungan kecepatan dan debit air.

Tipe penelusuran ini tidak bisa digunakan untuk efek pembendungan (*channel storage*), efek arus balik (*backwater*), kehilangan pada saat pengeluaran/pemasukan (*entrance/exit losses*), aliran balik atau aliran bertekanan. Ini hanya bisa digunakan dengan jaringan saluran “*dendrytic*”, dimana masing-masing node hanya mempunyai satu jaringan outflow (kecuali node merupakan pembagi untuk kasus dengan dua jaringan *outflow*). Bentuk penelusuran ini tidak peka untuk pekerjaan bertahap dan hanya dikhususkan untuk analisis awal menggunakan simulasi waktu yang panjang dan terus-menerus.

- Kinematic Wave Routing

Kinematic Wave Routing adalah teknik penelusuran banjir yang memanfaatkan rumus momentum, dimana kemiringan dasar saluran sama dengan kemiringan muka air. Teknik penelusuran banjir ini memungkinkan terjadinya penundaan waktu dan pengurangan besarnya banjir puncak, akan tetapi belum dapat menganalisa efek pembendungan, aliran balik, aliran bertekanan dan kehilangan energi di ujung saluran.

- Dynamic Wave Routing

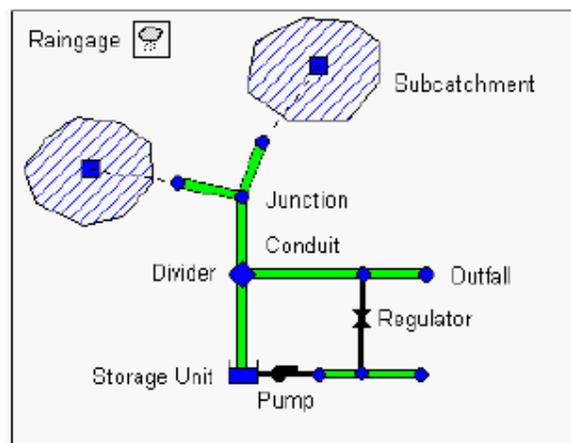
Dynamic Wave Routing memanfaatkan rumus “Saint Venant” pada analisisnya, sehingga secara teori teknik penelusuran banjir ini lebih teliti. Aliran tertutup yang bertekanan dapat dianalisa dengan teknik ini. Tampang yang ada disaluran, efek pembendungan dan kehilangan energi diujung saluran dapat dianalisa dengan teknik penelusuran banjir ini.

2.3.6 Pemodelan dalam EPA SWMM

SWMM adalah pemodelan dari siklus hidrologi yang ada di bumi. Pemodelan ini berisikan tentang :

- Pemodelan curah hujan. Hujan merupakan faktor terpenting dalam hidrologi. Derajat curah hujan biasanya dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam satuan waktu tertentu dan di sebut Intensitas Curah Hujan (Takeda, 1993). Di dalam SWMM curah hujan di gambarkan dengan simbol *Rain Gage* untuk mewakili hujan yang akan di simulasikan.
- Pemodelan permukaan tanah, dimana dalam hal ini diwakili oleh simbol *Subcatchment*. Permukaan tanah menerima curah hujan dari atmosfer kemudian air sebagian akan meresap kedalam tanah sebagai infiltrasi dan sebagian akan menjadi limpasan permukaan.
- Pemodelan air tanah yang mana melalui proses infiltrasi menerima air dari permukaan. Dalam SWMM dilambangkan dengan simbol *Aquifer*.
- Pemodelan jaringan transportasi air. Dimana air dialirkan melalui kanal, saluran, pipa, kemudian juga dapat disimulasikan tentang penggunaan pompa, kolam penampungan dan pengolahan limbah. dalam SWMM bagian ini di simbolkan sebagai *Node* dan *Link*.

Pemodelan seperti tersebut diatas dirangkai menjadi satu kesatuan sehingga menggambarkan suatu sistem drainase. Gambar dan rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pemodelan rangkaian sistem drainase pada SWMM

2.3.6.1 Rain Gage

Rain Gage adalah pemodelan yang mewakili curah hujan yang akan mensuplai area studi. Data hujan yang digunakan adalah data hujan yang telah diolah terlebih dahulu sehingga didapatkan format yang diinginkan. Beberapa format curah hujan dapat digunakan dalam simulasi ini adalah :

- Intensitas curah hujan yaitu jumlah hujan rata-rata dalam satuan waktu tertentu
- Volume curah hujan yaitu jumlah hujan yang tercatat pada pengukur hujan dalam waktu tertentu
- Curah hujan kumulatif yaitu jumlah curah hujan yang terjadi dari hujan mulai turun hingga hingga berhenti.

Data masukan untuk curah hujan :

- Tipe data hujan (intensitas, volume, kumulatif)
- Interval pencatatan curah hujan (1 jam, 15 menit, 5 menit ,dll)
- Sumber dari data hujan
- Nama sumber data hujan

2.3.6.2 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 di bagi menjadi bagian *pervious subarea* dan *impervious subarea* dimana limpasan dapat mengalami infiltrasi jika melewati *pervious subarea* tetapi tidak dapat jika melewati *impervious subarea*. Limpasan dapat mengalir dari satu subarea ke subarea lainnya atau mengalir ke bersama ke satu titik outlet.

Infiltrasi air hujan pada *subcatchment* dengan *pervious area* dapat di deskripsikan dengan tiga model yang berbeda :

- Model infltrasi Horton
- Model infiltrasi Green-Ampt

- Model infiltrasi SCS Curve Number

Masukan parameter lain untuk untuk subcatchment adalah :

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

2.3.6.3 Junction Nodes (Titik Pertemuan)

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

2.3.6.4 Outfall Nodes (Titik Pengeluaran)

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 tid*)
- Tabel pasang surut

Parameter masukan lainnya :

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

2.3.6.5 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 :

- *Cutoff Divider* : membagi aliran berdasarkan jumlah yang telah di tentukan 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).

2.3.6.6 Storage Units (Kolam Tampungan)

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

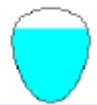
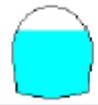
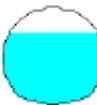
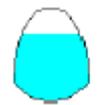
- Tabel fungsi luas permukaan dan kedalaman
- Penguapan
- Genangan di permukaan (*optional*)

2.3.6.7 Conduits (Saluran)

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.

Masukan untuk conduits :

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

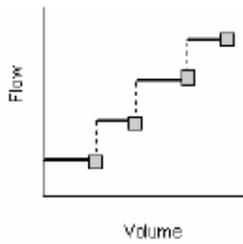
Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Depth		Filled Circular	Depth, Filled Depth	
Rectangular - Closed	Depth, Width		Rectangular - Open	Depth, Width	
Trapezoidal	Depth, Base Width, Side Slopes		Triangular	Depth, Top Width	
Horizontal Ellipse	Depth, Max Width		Vertical Ellipse	Depth, Max 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 2.11 Bentuk penampang melintang saluran dalam SWMM

2.3.6.8 Pompa

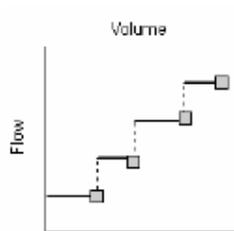
Pompa adalah alat yang digunakan untuk menaikkan air ke elevasi yang lebih tinggi. Sebuah kurva pompa menggambarkan hubungan antara aliran rata-rata pompa dan kondisi node di inlet dan outlet. Ada empat tipe pompa yang digunakan dalam SWMM.

- Tipe 1



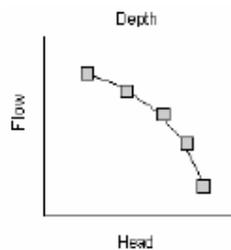
Pompa off-line dimana aliran pompa bertambah secara bertahap berdasarkan volume air dalam tampungan.

- Tipe 2



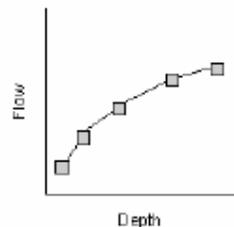
Pompa in-line dimana aliran pompa bertambah secara bertahap berdasarkan kedalaman air yang masuk.

- Tipe 3



Pompa in-line dimana aliran bervariasi terus menerus berdasarkan perbedaan puncak antara inlet dan outlet.

- Tipe 4



Pompa in-line dengan kecepatan bervariasi dimana aliran bertambah terus menerus berdasarkan kedalaman titik inlet.

2.3.6.9 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 didasar 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 orifice (bulat atau persegi)
- Tinggi orifices saat terbuka penuh

2.4 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Triatmodjo, 1999).

Pasang surut mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap sistem drainase di wilayah perkotaan yang terletak di kawasan pantai, khususnya untuk daerah yang datar dengan elevasi muka tanah yang tidak cukup tinggi. Permasalahan yang dihadapi antara lain (Suripin, 2004) :

- Terjadinya genangan pada kawasan-kawasan yang elevasinya berada di bawah muka air pasang.
- Terhambatnya aliran air/banjir pada saluran yang langsung berhubungan dengan laut atau sungai (yang terpengaruh pasang surut) akibat naiknya permukaan air pada saat terjadi air pasang.
- Drainase sistem gravitasi tidak dapat bekerja dengan penuh, perlu bantuan pompa, serta perlu dilengkapi pintu otomatis pada *outlet-outlet*, yang berfungsi untuk mencegah masuknya air laut pada saat pasang. Sehingga biaya konstruksi maupun operasi dan pemeliharaan sistem drainase menjadi mahal.
- Bangunan-bangunan air, khususnya yang terbuat dari metal, mudah berkarat dan rusak akibat terkena oleh air laut. Hal ini akan meningkatkan biaya pemeliharaan.

2.5 Analisis Hidrolika

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair. Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui kapasitas alur sungai dan saluran pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana, yang selanjutnya digunakan untuk mendesain alur sungai dan saluran.

Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrolika adalah sebagai berikut :

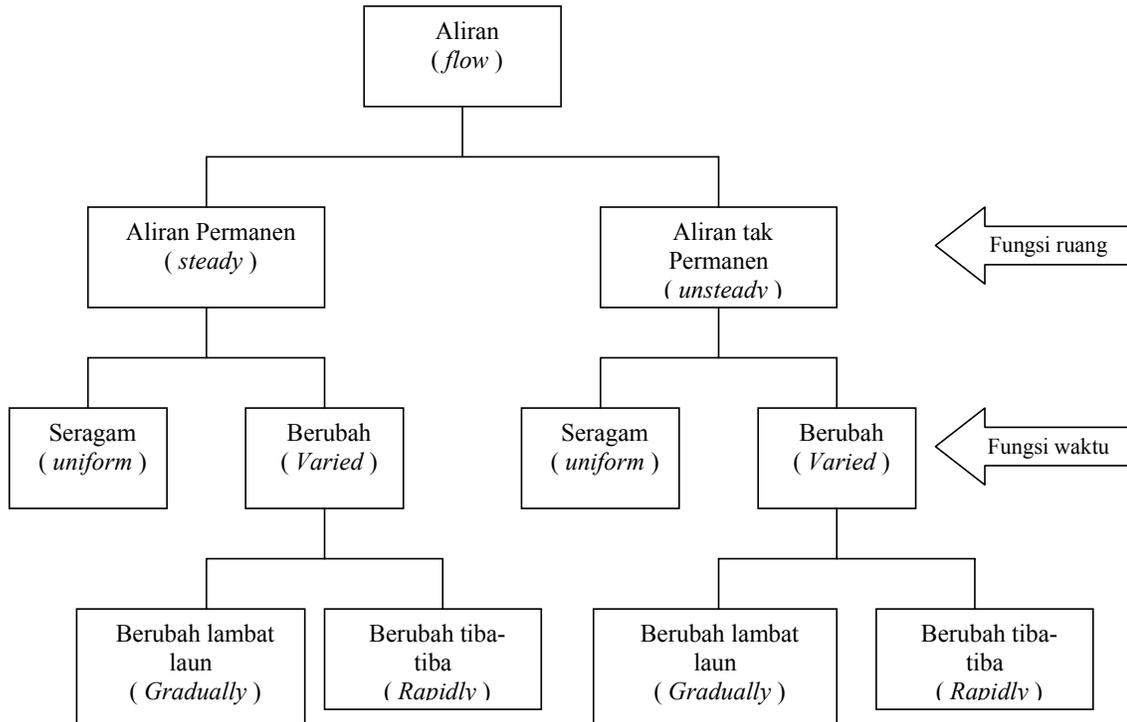
- Perencanaan Saluran
- Perencanaan Kapasitas Saluran dengan program HEC-RAS
- Free board
- Perencanaan Saluran Gendong
- Perencanaan Kolam Tampungan (Pond)
- Perencanaan Pompa

- Perencanaan Pintu Air
- Perencanaan Tanggul

2.5.1 Aliran

Aliran dalam suatu saluran yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*).

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Jika berdasarkan fungsi kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*). Sedangkan jika berdasarkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*).



Gambar 2.12 Klasifikasi aliran pada saluran terbuka

2.5.1.1 Aliran Permanen dan Tidak Permanen

Jika kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu, maka alirannya disebut aliran permanen atau tunak (*steady flow*), jika kecepatannya pada suatu lokasi

tertentu berubah terhadap waktu, maka alirannya disebut aliran tidak permanen atau tidak tunak (*unsteady flow*).

2.5.1.2 Aliran Seragam dan Berubah

Jika kecepatan aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang saluran yang ditinjau, maka alirannya disebut aliran seragam (*uniform flow*). Namun jika kecepatan aliran pada saat tertentu berubah terhadap jarak, maka alirannya disebut aliran aliran tidak seragam atau aliran berubah (*nonuniform flow or varied flow*).

Berdasarkan laju perubahan terhadap jarak, maka aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) atau aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

2.5.1.3 Aliran laminar dan Turbulen

Jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti seragam tipis yang paralel, maka aliran tersebut disebut laminar. Sebaliknya, jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang dan waktu maka aliran tersebut disebut aliran turbulen.

Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif antara gaya kekentalan (*viskositas*) dan gaya inersia. Jika viskositas yang dominan maka alirannya laminar, sedangkan jika gaya inersia yang dominan, maka alirannya turbulen.

2.5.1.4 Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis, sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis.

2.5.2 Perencanaan Saluran

2.5.2.1 Alinyemen Saluran

Pada ruas sungai yang belok-belokannya sangat tajam atau *meander*-nya sangat kritis, maka tanggul yang akan dibangun biasanya akan menjadi lebih panjang. Selain itu pada ruas sungai yang demikian, gerusan pada belokan luar sangat meningkat dan terjadi

kerusakan tebing sungai yang akhirnya mengancam kaki tanggul. Sebaliknya pada belokan dalamnya terjadi pengendapan yang intensif pula.

Jadi alur sungai menjadi lebih panjang dan dapat mengganggu kelancaran aliran banjir. Guna mengurangi keadaan yang kurang menguntungkan tersebut, maka pada ruas sungai tersebut perlu dipertimbangkan pembuatan alur baru (*sudetan*), agar pada ruas tersebut alur sungai mendekati garis lurus dan lebih pendek (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

2.5.2.2 Bentuk Penampang Melintang Saluran

Ada beberapa bentuk penampang melintang saluran banjir yang umum dilaksanakan, yaitu penampang berganda, penampang tunggal trapesium, dan penampang tunggal persegi. Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran dan kemiringan dasar tertentu. Faktor yang terpenting dalam menentukan pilihan bentuk penampang saluran adalah pertimbangan ekonomi (Suripin, 2004).

2.5.3 Perencanaan Kapasitas Saluran dengan HEC-RAS

Dalam perencanaan dimensi sungai digunakan program HEC-RAS (*Hydrologic Engineering System-River Analysis System*). HEC-RAS adalah sebuah sistem yang, didesain untuk penggunaan yang interaktif dalam lingkungan yang bermacam-macam. Ruang lingkup HEC-RAS adalah menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran steady dan unsteady, serta penghitungan pengangkutan sedimen. Element yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang.

2.5.3.1 Profil Muka Air Pada Aliran *Steady*

Dalam bagian ini HEC-RAS memodelkan suatu saluran dengan aliran *steady* berubah lambat laun. Sistem ini dapat mensimulasikan aliran pada seluruh jaringan saluran ataupun pada saluran tunggal tanpa percabangan, baik itu aliran kritis, subkritis, superkritis ataupun campuran sehingga didapat profil muka air yang diinginkan.

Konsep dasar dari perhitungan adalah menggunakan persamaan energi dan persamaan momentum. Kehilangan energi juga di perhitungkan dalam simulasi ini dengan menggunakan prinsip gesekan pada saluran, belokan serta perubahan penampang, baik

akibat adanya jembatan, gorong-gorong ataupun bendung pada saluran atau sungai yang ditinjau.

2.5.3.2 Profil Muka Air Pada Aliran *Unsteady*

Pada sistem pemodelan ini, HEC-RAS mensimulasikan aliran *unsteady* pada jaringan saluran terbuka. Konsep dasarnya adalah persamaan aliran *unsteady* yang dikembangkan oleh Dr. Robert L. Barkau's UNET model (Barkau, 1992 dan HEC, 1999).

Pada awalnya aliran *unsteady* hanya di disain untuk memodelkan aliran subkritis, tetapi versi terbaru dari HEC-RAS yaitu versi 3.1 dapat juga untuk memodelkan aliran superkritis, kritis, subkritis ataupun campuran serta loncatan hidrolis. Selain itu penghitungan kehilangan energi pada gesekan saluran, belokan serta perubahan penampang juga diperhitungkan.

2.5.3.3 Konsep Penghitungan Profil muka air dalam HEC-RAS

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung.

Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran di bagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai n (koefisien kekasaran manning) sebagai dasar bagi pembagian penampang. setiap aliran yang terjadi pada bagian dihitung dengan menggunakan persamaan Manning :

$$Q = KS_f^{1/2} \quad \text{dan} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

Dimana :

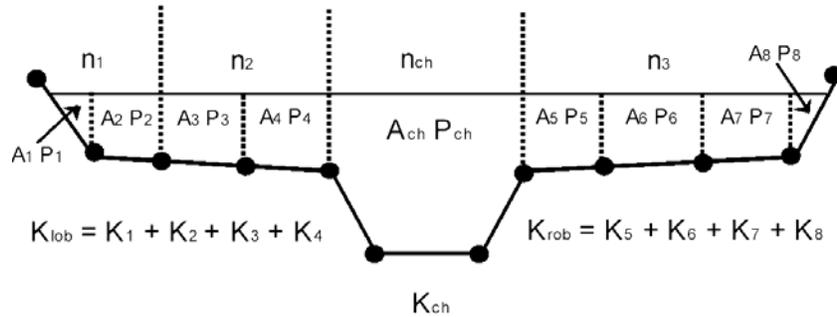
K = nilai pengantar aliran pada unit

n = koefisien kekasaran manning

A = luas bagian penampang

R = jari-jari hidrolis

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran manning yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut seperti terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Contoh penampang saluran dalam HEC-RAS

Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air. Konsep dasar penghitungan profil permukaan air berdasarkan persamaan energi yaitu:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Dimana :

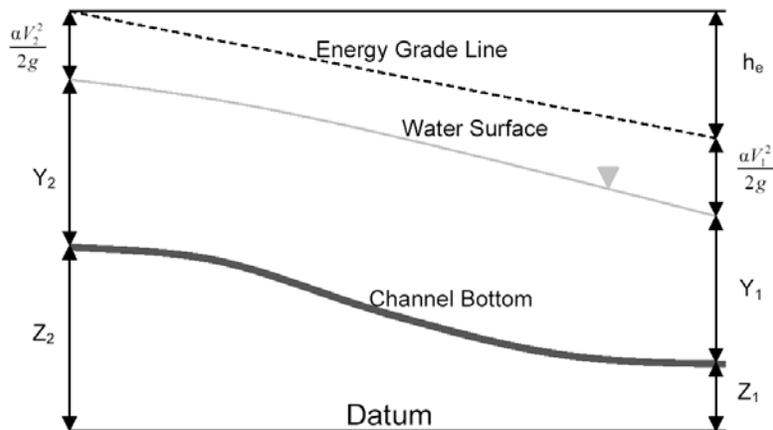
Z = fungsi titik diatas garis referensi

Y = fungsi tekanan di suatu titik

V = kecepatan aliran

α = koefisien kecepatan

h_e = energy head loss



Gambar 2.14 Penggambaran persamaan energi pada saluran terbuka

Nilai h_e didapat dengan persamaan :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Dimana :

L = jarak antara dua penampang

S_f = kemiringan aliran

C = koefisien kehilangan energi (penyempitan, pelebaran atau belokan)

Langkah berikutnya dalam perhitungan HEC-RAS adalah dengan mengasumsikan nilai muka air (*water surface*) pada penampang awal saluran (dalam hal ini penampang di hilir). Kemudian dengan menggunakan persamaan energi diatas maka profil muka air untuk semua penampang di saluran dapat di ketahui.

2.5.3.4 Analisis Aliran pada Gorong-gorong

- Kontrol Pemasukan (*Inlet control*)

Untuk kondisi kontrol pemasukan, kapasitas gorong-gorong dibatasi oleh luas penampang daripada kondisi di hilir. Perhitungan kontrol pemasukan terdiri pemasukan tidak tenggelam (*unsubmerged inlet*) dan pemasukan tenggelam (*submerged inlet*).

- Pemasukan tidak tenggelam

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

- Pemasukan tenggelam

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

Dimana :

HW_i = kedalaman energi air puncak diatas dasar gorong-gorong pada pemasukan (m)

D = diameter gorong-gorong (m)

H_c = puncak spesifik pada kedalaman kritis ($d_c + V_c^2/2g$) (m)

Q = debit yang melewati gorong-gorong (m^3/dt)

A = luas penampang melintang gorong-gorong (m^2)

S = kemiringan gorong-gorong (m/m)

K, M, c, Y = konstanta, tergantung bentuk gorong-gorong dan kondisi pemasukan

- Kontrol Pengeluaran (*Outlet control*)

Untuk kontrol pengeluaran HEC-RAS menggunakan rumus Bernoulli's untuk menghitung perubahan energi melalui gorong-gorong dibawah kondisi kontrol pengeluaran. rumus yang digunakan adalah :

$$Z_3 + Y_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_L$$

Dimana :

Z_3 = elevasi dasar upstream pada gorong-gorong

Y_3 = kedalaman air diatas elevasi dasar upstream

V_3 = kecepatan rata-rata upstream pada gorong-gorong

2.5.3.5 Kehilangan energi pada gorong-gorong terdiri dari:

- Kehilangan energi pada pemasukan (*entrance*):

$$h_e = 0,5 \frac{V^2}{2g}$$

- Kehilangan energi sepanjang gorong-gorong:

$$h_f = \frac{\lambda L V^2}{D 2g}$$

- Kehilangan energi pada pengeluaran (*exit*):

$$h_o = \frac{V^2}{2g}$$

Dimana:

V = kecepatan aliran dalam gorong-gorong

λ = koefisien gesekan pada dinding gorong-gorong

L = panjang gorong-gorong

D = diameter gorong-gorong

2.5.4 Free Board

Freeboard yang dikenal sebagai tinggi jagaan merupakan bagian dari penampang saluran di atas muka air tinggi. *Freeboard* untuk saluran terbuka dengan permukaan diperkeras ditentukan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan antara lain :

- Ukuran saluran
- Kecepatan aliran
- Arah dan lengkung (belokan)
- Debit banjir

2.5.5 Perencanaan Kolam Tampungan (Pond)

Pengendalian banjir selain direncanakan dengan meningkatkan kapasitas saluran (normalisasi) juga dengan menurunkan debit yang masuk ke sungai induk yaitu dengan memanfaatkan rawa-rawa (*retarding basin*) di daerah dataran atau diantara sungai sebagai kolam tampungan yang menangkap limpasan dari DAS di hulu untuk sementara dan kemudian dialirkan lagi ke sungai dengan mengatur debit yang keluar. Hal ini dianggap lebih menguntungkan daripada penanganan debit banjir rencana yang hanya dilakukan dengan perbaikan dan pengaturan sungai saja.

Kolam pengatur berfungsi sebagai pemotong puncak debit banjir. Dengan demikian kolam yang tidak luas pun dapat mengendalikan banjir secara efektif. Dalam perencanaan pengendalian banjir, penentuan dimensi dari masing-masing komponen sistem pengendalian banjir harus ditelaah dari segi teknis, ekonomis maupun sosial dalam rangka perencanaan persungai secara keseluruhan (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

2.5.6 Perencanaan Pompa

Banjir atau genangan yang terjadi di daerah perkotaan, khususnya daerah yang terletak di dataran rendah dekat pantai, dapat berasal dari tiga sumber; yaitu air kiriman dari hulu yang meluap dari sungai induk, hujan setempat, dan genangan akibat air pasang. Begitu saluran utama diperbaiki, genangan akibat meluapnya saluran induk dapat dicegah. Namun, karena durasi air tinggi di sungai utama tambah panjang, daerah yang rendah yang dikelilingi tanggul saluran utama susah untuk mengalirkan air ke saluran induk, dan lama genangan tambah panjang, kerusakanpun/kerugian tambah besar. Daerah yang tidak dapat dilayani oleh drainase sistem gravitasi dinamakan daerah drainase interior. Sistem drainase yang tidak dapat sepenuhnya mengandalkan gravitasi sebagai faktor pendorong perlu dilengkapi dengan stasiun pompa. Pompa ini berfungsi untuk membantu mengeluarkan air dari kolam penampung banjir maupun langsung dari saluran drainase pada saat air tidak dapat mengalir secara gravitasi karena air di muaranya/pengurasnya lebih tinggi baik akibat pasang surut maupun banjir (Suripin, 2004).

Dalam perencanaan hidraulika sistem pompa, perlu dipelajari hal-hal sebagai berikut:

- Aliran masuk (*inflow*) ke kolam penampung,
- Tinggi muka air sungai pada titik *outlet*,
- Kolam penampung dan volume tampungan,
- Ketinggian air maksimum dan kapasitas pompa yang diperlukan,
- Dimensi penguras,
- Pengaruh pompa, dan
- Pola operasi pompa.

2.5.7 Perencanaan Pintu Air

Pintu air (*gate, sluice*) yang biasanya dibangun memotong tanggul sungai atau antara sungai utama dengan saluran drainase berfungsi sebagai pengatur aliran air untuk pembuang (*drainage*), penyadap dan pengatur lalu-lintas air. Ditinjau dari konstruksinya, secara garis besarnya pintu air dapat dibedakan dalam dua tipe yaitu pintu air tipe saluran terbuka atau disebut pintu air saluran (*gate*) dan pintu air tipe saluran tertutup atau disebut pintu air terowongan (*sluice*). Pintu air saluran pada umumnya dibangun pada sistem saluran air yang besar-besar, sedangkan pintu air terowongan dibangun pada sistem saluran air yang relatif kecil. Fungsi pintu air adalah mengatur aliran air untuk pembuang, penyadap dan pengatur lalu-lintas air. Sebagai pembuang yang dibangun di muara sistem drainase biasanya senantiasa dalam keadaan terbuka dan penutupannya dilakukan manakala elevasi muka air di dalam sungai induk lebih tinggi dari elevasi air yang terdapat di dalam saluran drainase. Dengan demikian, dapat dicegah masuknya air sungai ke dataran yang dilindungi. Sedangkan pintu air sebagai penyadap untuk mengatur besarnya debit air yang dialirkan ke dalam sistem saluran air yang dibelakanginya. Sehingga daun pintunya senantiasa diatur disesuaikan debit yang diinginkan. Selain itu bangunan pintu air harus dapat pula berfungsi sebagai tanggul banjir. Karenanya bidang kontak antara bangunan pintu air yang terdiri dari beton dan tubuh tanggul yang terdiri dari urugan tanah haruslah benar-benar rapat air, agar tidak terjadi kebocoran melalui kontak tersebut yang dapat menjebolkan tanggul disekitar bangunan pintu tersebut (Sosrodarsono dan Takeda, 1985)

Tahap-tahap yang dilakukan dalam perencanaan pintu air adalah (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985) :

2.5.7.1 Penentuan Dimensi Pintu Air

Dimensi pintu air ditetapkan berdasarkan debit yang akan dilewatkan melalui pintu. Untuk dimensi pintu drainase ditentukan berdasarkan elevasi muka air banjir di sungai, elevasi banjir dan debit drainase yang dibuang melalui pintu tersebut. Apabila banjir pada sungai bersamaan dengan terjadinya hujan pada daerah pengaliran pintu drainasenya, maka genangan air hujan tersebut tidak dapat dihindarkan, tetapi durasinya, kedalaman serta luas kedalaman haruslah dibatasi pada tingkat yang tidak membahayakan. Apabila persyaratan

tersebut tidak terpenuhi, maka harus dipertimbangkan untuk pemasangan pompa drainase. Kecepatan aliran air yang diinginkan melalui pintu adalah antara 1 – 2 m/dt, tetapi untuk pintu-pintu air berdimensi kecil dapat mencapai kecepatan 3,5 m/dt

2.5.7.2 Penentuan Penampang Pintu Drainase

Meskipun penampang pintu tidak berubah, akan tetapi debit yang akan dialirkan melalui pintu tersebut tidaklah selalu sama. Tetapi penampang pintu ditentukan berdasarkan debit hasil perhitungan limpasan, genangan yang diizinkan di areal yang diamankan dan pertimbangan-pertimbangan ekonomi lainnya. Kapasitas pintu drainase umumnya diperoleh dari hasil perhitungan aliran *uniform* atau aliran *non uniform* yang dimulai dari elevasi muka air sungai.

2.5.8 Perencanaan Tanggul (*Levee Design*)

Tanggul disepanjang sungai adalah salah satu bangunan yang paling utama dan paling penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan-genangan yang disebabkan oleh banjir dan badai (gelombang pasang). Tanggul dibangun terutama dengan konstruksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan yang volumenya besar. Bahan urugan dapat diperoleh dari hasil galian di kanan-kiri trase rencana tanggul atau bahkan dapat diperoleh dari hasil pekerjaan normalisasi sungai, berupa galian pelebaran alur sungai dimana hanya hasil galian yang memenuhi syarat untuk bahan urugan tanggul (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

Hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan tanggul antara lain (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985) :

2.5.8.1 Lebar Mercu Tanggul

Pada areal yang padat, dimana perolehan areal tanah untuk tempat kedudukan tanggul sangat sukar dan mahal, pembangunan tanggul dengan mercu yang tidak lebar dan dengan lerengnya yang agak curam kelihatannya memadai, khususnya apabila hanya ditinjau dari segi stabilitas tanggulnya. Akan tetapi mercu yang cukup lebar (3 – 7 m) biasanya diperlukan apabila ditinjau dari keperluan untuk perondaan diwaktu banjir dan sebagai jalan-jalan inspeksi serta logistik untuk pemeliharaan tanggul. Mercu tanggul diperlukan

pula dalam rangka pencegahan bahaya banjir, seperti pencegahan bobolnya tanggul akibat limpasan atau akibat gelombang dan untuk jalan-jalan transportasi dalam pelaksanaan pembangunan tanggul.

2.5.8.2 Kemiringan Lereng Tanggul

Penentuan kemiringan lereng tanggul merupakan tahapan yang paling penting dalam perencanaan tanggul dan sangat erat kaitannya dengan infiltrasi air dalam tanggul serta karakteristik mekanika tanah tubuh tanggul tersebut. Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan, lereng tanggul direncanakan dengan kemiringan 1:2 atau lebih kecil.