

BAB II

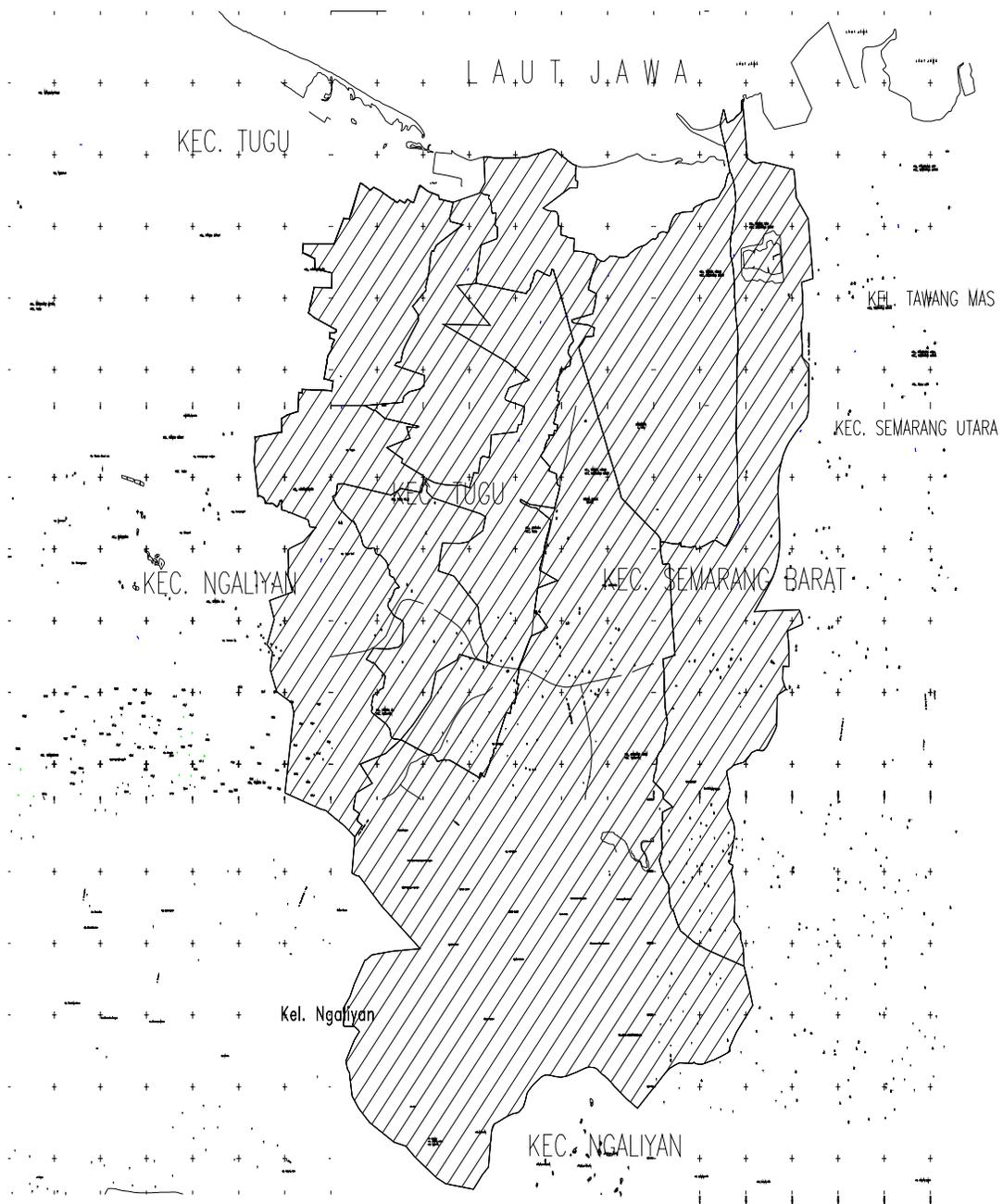
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Tinjauan pustaka dimaksudkan untuk memaparkan teori-teori yang ada dan tepat untuk digunakan sebagai acuan dasar penyelesaian pokok permasalahan untuk mewujudkan maksud serta tujuan yang hendak dicapai.

Tinjauan pustaka memberikan arahan dalam tahapan perencanaan untuk menganalisis data-data dan faktor penentu lainnya maupun dalam tahapan perhitungan teknis perencanaan konstruksi. Didalam tinjauan pustaka ini akan dipaparkan secara ringkas mengenai analisis dan perencanaan saluran drainase perkotaan.

Secara umum drainase perkotaan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi : pemukiman, kawasan industri dan perdagangan, sekolah dan fasilitas umum lainnya serta tempat-tempat yang merupakan bagian dari sarana kota untuk mengurangi bahkan mencegah terjadinya banjir yang akan mengganggu kenyamanan dan aktifitas masyarakat kota.



GAMBAR 2.1 Peta Lokasi DAS Sungai di Kawasan Bandar Udara Achmad Yani

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 yang 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. Untuk perencanaan bendung analisis hidrologi yang terpenting yaitu dalam menentukan debit banjir rencana dan debit andalan (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

Daerah Aliran Sungai (DAS) (*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 Br., 1993). Dalam sebuah DAS kemudian dibagi dalam area yang lebih kecil menjadi Sub-DAS. Penentuan batas-batas sub-DAS berdasarkan kontur di lapangan yang 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 Br., 1993).

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).

Untuk memperkirakan kemungkinan curah hujan langkah-langkah statistik hidrologinya adalah sebagai berikut :

Umum

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).

Metode Perhitungan Sederhana dengan Kertas Kemungkinan Logaritmis (*logarithmic probability paper*)

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).

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 :

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

Keterangan:

S = deviasi standar

X_i = nilai varian

\bar{X} = nilai rata-rata

n = jumlah data

2.2.4.2 Koefisien *Skewness* (Cs)

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

Rumus :

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

Keterangan :

CS = koefisien kemencengan

X_i = nilai varian

\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 :

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

Keterangan :

Ck = koefisien kurtosis

X_i = nilai varian

\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.

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

Rumus :

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

Keterangan :

Cv = koefisien variasi

S = standar deviasi

\bar{X} = nilai rata-rata

2.2.5 Pemilihan Jenis Sebaran

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

Berikut ini adalah beberapa macam distribusi yang sering digunakan, yaitu (Soewarno, 1995):

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*.

Distribusi Log Normal

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

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.

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 ekstrim. Bentuk distribusi log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan menggantikan varian menjadi nilai logaritmik.

2.2.6 Ploting Data

2.2.6.1 Analisis Distribusi Peluang

Analisis distribusi peluang dapat untuk menentukan nilai varian dari variabel hidrologi yang dapat diharapkan terjadi dengan peluang sama atau lebih besar (sama atau lebih kecil) daripada nilai rata-ratanya tiap N tahun, atau peristiwa N tahunan.

Rumus yang digunakan dalam distribusi peluang adalah :

$$T(X_m) = \frac{1}{P(X_m)}$$

Keterangan :

$T(X_m)$ = periode ulang (tahun)

$P(X_m)$ = peluang terjadinya

Dalam metode *Weibull*, peluang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} \text{ atau}$$

$$T(X_m) = \frac{n+1}{m}$$

Dimana :

$P(X_m)$ = peluang terjadinya

$T(X_m)$ = periode ulang (tahun)

N = jumlah pengamatan

m = nomor urut kejadian

2.2.6.2 Periode Ulang

Salah satu tujuan dalam analisis distribusi peluang adalah menentukan periode ulang (*return period, recurrence interval*).

Perhitungan Periode Ulang Distribusi Normal

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

Perhitungan Periode Ulang Distribusi Gumbel

Rumus :

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

Dimana :

X = 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

Perhitungan Periode Ulang Distribusi Log Normal

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

Perhitungan Periode Ulang Distribusi Log Pearson III

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 III

S = standar deviasi

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 besar 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 varian, 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 ANALISIS DEBIT BANJIR RENCANA

Debit banjir rencana pada setiap profil sungai merupakan data yang paling penting untuk perencanaan perbaikan dan pengaturan sungai (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

2.3.1 EPA SWMM

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana adalah Program EPA SWMM (*Storm Water Management Model*) Version 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 *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.

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 yang standar sebaik saluran alam.
- Memodelkan bagian-bagian yang khusus seperti kolam tampungan, aliran pembagi, pompa, bendung dan saluran pembuang.
- Meminta memasukkan 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.
- Meminta pembatasan aturan pengendali dinamis untuk mensimulasi pengoperasian pompa, pembukaan saluran pembuang dan level puncak bendung.

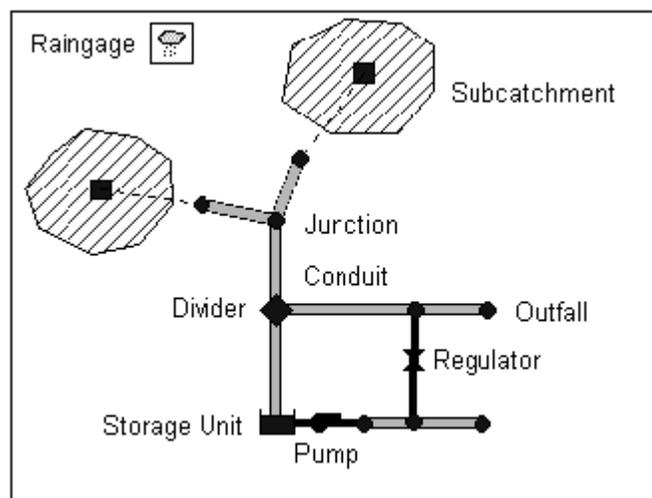
Konsep dari SWMM adalah pemodelan dari siklus hidrologi yang ada di bumi, pemodelan ini berisikan tentang :

- Pemodelan curah hujan. Hujan merupakan faktor terpenting dalam hidrologi. Derajat curah hujan biasanya dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam satuan waktu tertentu dan disebut Intensitas Curah Hujan (

Kensaku Takeda, 1993). Di dalam SWMM curah hujan digambarkan dengan simbol *Rain Gage* untuk mewakili hujan yang akan disimulasikan.

- Pemodelan permukaan tanah, dimana dalam hal ini diwakili oleh simbol *Subcatchment*. Permukaan tanah menerima curah hujan dari atmosfer kemudian sebagian air 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 2.2.



GAMBAR 2.2 Pemodelan rangkaian sistem drainase pada SWMM

2.3.1.1 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.

- 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 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.

2.3.1.2 Subcatchment

Subcatchment atau disebut juga sub daerah pengaliran sungai adalah salah satu unit hidrologi di permukaan tanah yang mempunyai topografi dan elemen sistem

drainase internal yang mengalirkan limpasan permukaan ke satu titik outlet. *Subcatchment* dapat dibagi menjadi bagian *pervious subarea* dan *impervious sub area* di mana limpasan dapat mengalami infiltrasi jika melewati *pervious subarea* tetapi tidak dapat jika melewati *impervious sub area*. Limpasan dapat mengalir dari satu subarea ke subarea lainnya atau mengalir bersama ke satu titik outlet.

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

- Model infiltrasi 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*.

2.3.1.3 Junction Nodes

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 kedalam 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*).

2.3.1.4 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*.

2.3.1.5 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).

2.3.1.6 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*).

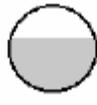
2.3.1.7 Conduits

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.

Masukan untuk conduits :

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

TABEL 2.1 Bentuk penampang melintang saluran dalam EPA SWMM 5.0

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				

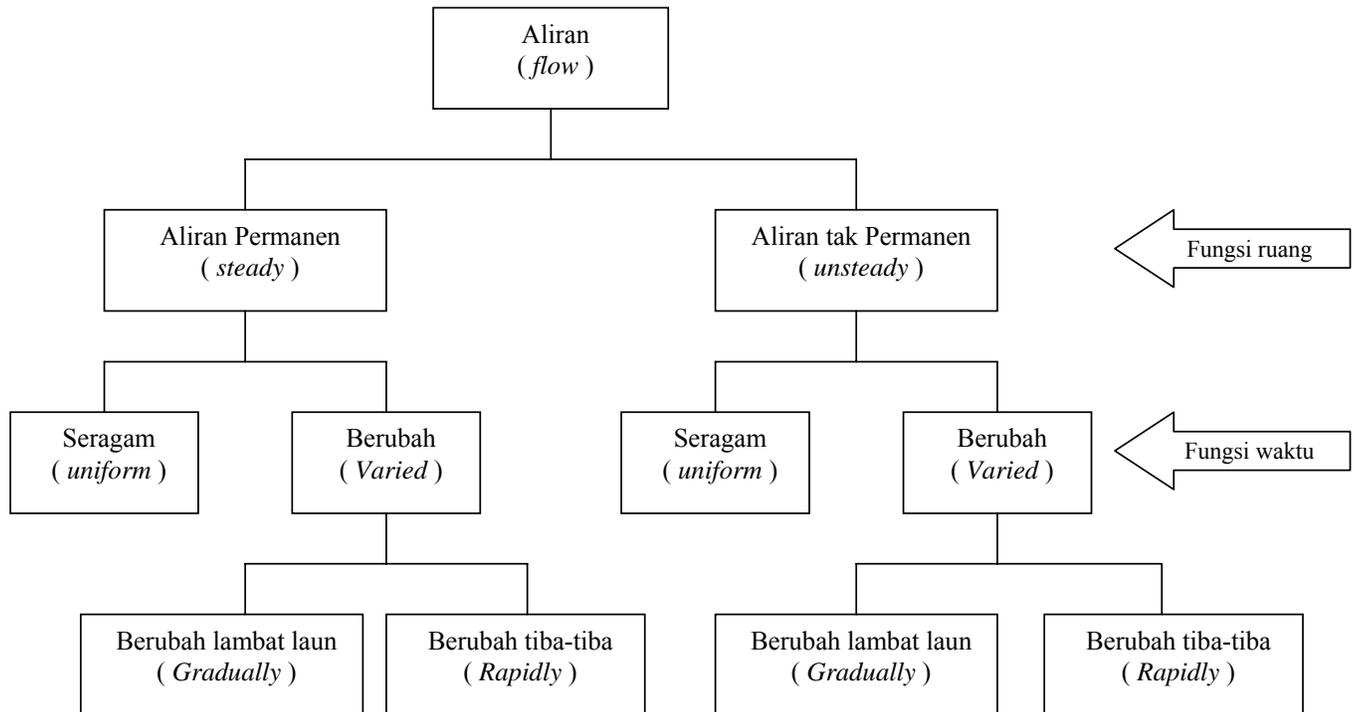
2.4 ANALISIS HIDROLIKA

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.

2.4.1 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 2.3 Klasifikasi aliran pada saluran terbuka

Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa aliran seragam dapat dibagi lagi berdasarkan laju perubahan kecepatan terhadap jarak, menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

2.4.1.1 Aliran seragam

Uniform flow adalah aliran seragam yang mempunyai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah konstan.

Rumus yang digunakan dalam kondisi aliran normal adalah rumus Manning karena mudah pemakaiannya (Bambang Triatmodjo, Hidraulika II, 1996).

2.4.1.2 Aliran tidak seragam

Non uniform flow adalah aliran tidak seragam atau berubah yang mempunyai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah tidak konstan.

Aliran tidak seragam dapat dibedakan dalam dua kelompok berikut ini :

- Aliran berubah cepat (*Rapidly varied flow*), dimana parameter hidrolis berubah secara mendadak dan kadang-kadang juga tidak kontinyu (*discontinue*).
- Aliran berubah lambat laun (*Gradually varied flow*), dimana parameter hidrolis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain.

2.4.1.3 Aliran Berubah lambat Laun (*Gradually Varried Flow*)

Aliran berubah lambat laun berbeda dengan aliran seragam maupun aliran berubah tiba-tiba (loncatan air). pada aliran berubah lambat laun, kedalaman air pada saluran berubah gradual terhadap jarak. Dalam aliran seragam kedalaman air adalah konstan yang dikenal dengan nama kedalaman normal. Garis kemiringan energi sejajar dengan garis muka air dan garis dasar saluran. Distribusi kecepatan tetap sepanjang saluran, sehingga perhitungan kedalaman air cukup dilakukan sekali sepanjang saluran.

Pada aliran berubah tiba-tiba, seperti pada loncatan air, kedalaman air berubah secara cepat pada jarak yang pendek. Terjadi perubahan kecepatan air secara signifikan disertai dengan perubahan penampang basah saluran dengan cepat. Dengan laju perlambatan aliran yang mendadak, maka terjadi kehilangan energi. Perhitungan

kedalaman air tidak dapat dilakukan dengan prinsip energi, melainkan dengan prinsip momentum.

Pada aliran berubah lambat laun, perubahan kecepatan terjadi secara gradual terhadap jarak, sehingga pengaruh percepatan pada aliran antara dua potongan yang berdekatan dapat diabaikan. Perhitungan profil muka air dapat dilakukan dengan persamaan energi.

2.4.1.4 Aliran laminar dan Turbulen

Jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti serat-serat 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.

Tidak seperti aliran dalam pipa, di mana diameter pipa biasanya dipakai sebagai panjang karakteristik, pada aliran bebas dipakai kedalaman hidrolis atau jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik. Kedalaman hidrolis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi lebar permukaan air, sedangkan jari-jari hidrolis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi keliling basah. Batas peralihan antara aliran laminar dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan Reynold = 600, yang dihitung berdasarkan jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik.

2.4.1.5 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.

Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia, yang dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr).

2.4.2 Perbaikan Alur Sungai

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).

2.4.3 Perencanaan Penampang Sungai dengan HEC-RAS

Dalam perencanaan dimensi sungai digunakan program HEC-RAS (*Hydrologic Engineering System-River Analysis System*). HEC-RAS adalah sebuah

sistem yang menyeluruh dari *software*, 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. Elemen yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang.

2.4.3.1 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 diperhitungkan 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.

2.4.3.2 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, 1997).

Pada awalnya aliran unsteady hanya didesain 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.

2.4.3.3 Penghitungan Pengangkutan Sedimen

Pada bagian ini dimungkinkan untuk memodelkan pengangkutan sedimen yang dihasilkan pada jangka waktu tertentu (biasanya dalam satu tahun, walaupun dimungkinkan juga untuk mengaplikasikan pada satu kejadian banjir).

Penghitungan pengangkutan sedimen berdasarkan pada fraksi ukuran butir sedimen. selain itu juga dapat dimodelkan seluruh jaringan dari aliran yang membawa sedimen, pengerukan saluran, serta beberapa alternatif untuk tanggul yang akan digunakan.

Pemodelan ini dapat digunakan untuk mengevaluasi volume sedimen pada waduk, kolam penampungan serta saluran sehingga kita dapat merencanakan pengerukan, perawatan serta memperkirakan kapasitas tampungan yang tersedia.

HEC-RAS dapat menganalisis penampang permukaan air pada sungai alam ataupun pada saluran buatan, aliran subkritis, super kritis ataupun campuran.

2.4.4 Perencanaan Kolam Tampungan

Pengendalian banjir direncanakan dengan memanfaatkan waduk-waduk didaerah pegunungan dan rawa-rawa (*retarding basin*), di daerah dataran, atau diantara sungai dan *retarding basin* dibuat suatu tanggul yang sebagian dimanfaatkan

sebagai pelimpah guna memotong puncak debit banjir sehingga *retarding basin* berubah menjadi kolam pengatur. Hal ini dianggap lebih menguntungkan daripada penanganan debit banjir rencana yang dilakukan dengan perbaikan dan pengaturan sungai.

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).

2.4.5 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 didalam 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 kedalam 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) :

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. 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.