

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Sungai

Sungai adalah suatu saluran drainase yang terbentuk secara alamiah. Akan tetapi disamping fungsinya sebagai saluran drainase dan adanya air yang mengalir didalamnya, sungai juga menggerus tanah dasarnya terus menerus dan maka akan terjadi sedimen pada bagian hilirnya.

B. Banjir

Banjir dalam pengertian umum adalah debit aliran sungai dalam jumlah yang tinggi atau debit aliran air sungai secara relatif lebih besar dari kondisi normal akibat hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu terjadi secara terus menerus, sehingga air tersebut tidak dapat ditampung oleh alur sungai yang ada, maka air melimpah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya. Dikatakan banjir apabila terjadi luapan air yang disebabkan kurangnya kapasitas penampang saluran. Banjir dibagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek. Sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang. Pengendalian banjir merupakan suatu hal yang kompleks untuk di bahas. Dimensi rekayasanya (*engineering*) banyak melibatkan ilmu teknik antara lain: hidrologi, hidrolika, erosi DAS, teknik sungai, morfologi & sedimentasi sungai.

Dengan demikian maka sangat perlu diperhatikan juga penyebab terjadi genangan – genangan air di suatu lokasi, antara lain :

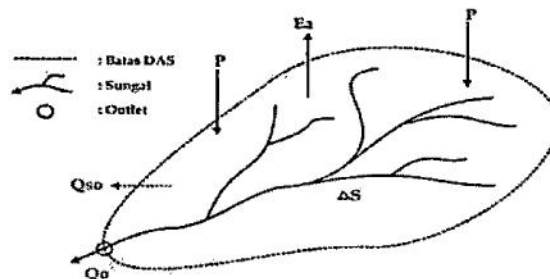
- a. Perubahan tata guna lahan yang menyebabkan terjadinya peningkatan debit banjir di suatu daerah aliran drainase.
- b. Elevasi saluran tidak memadai.
- c. Lokasi merupakan daerah cekungan.
- d. Tanggul kurang tinggi.
- e. Kapasitas tampungan kurang besar.
- f. Adanya penyempitan saluran.

- g. Lokasi merupakan tempat retensi air yang diubah fungsinya menjadi permukiman, ketika belum di huni jika terjadi genangan tidak masalah. Namun masalah timbul ketika daerah tersebut di huni.
- h. Terjadinya banjir pasang surut dari laut (ROB)

Masalah yang terjadi di Dusun Cemara, Kec. Lembar, Kab. Lombok Barat ini sangatlah kompleks, ketika musim hujan tiba maka debit yang terjadi di sungai Dodokan akan menjadi besar dan alirannya akan langsung menuju ke laut, dan pada saat itu juga air pasang dari laut mulai naik, maka dusun tersebut akan mengalami kebanjiran, karena kapasitas tampung sungai tidaklah mampu untuk menahan debit yang begitu besar. Maka perlu dilakukan kajian tentang saluran sungai, debit, sedimentasi, dan pasang surut yang terjadi pada sungai Dodokan.

C. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) didefinisikan sebagai suatu wilayah daratan yang merupakan kesatuan ekosistem dengan sungai dan anak-anak sungainya, dibatasi topografis, berfungsi menampung air hujan dan sumber air lainnya untuk dialirkan melalui sungai utama yang bermuara ke laut atau danau secara alami. Martopo (1994), memberi pengertian bahwa, Daerah aliran sungai (DAS) merupakan satu kesatuan ekosistem alam yang mempunyai berbagai fungsi. Tetapi apabila terjadi eksploitasi berlebih pada kawasan hulu atau tengah dari DAS dapat mempengaruhi kondisi DAS secara keseluruhan dimana kualitas dan kuantitas air akan berkurang.



Gambar 3.1 Daerah aliran sungai (DAS)

Mengetahui karakteristik sungai dan DAS penting dalam perencanaan dan perancangan mengenai keairan, karena didalamnya terdapat masalah yang kompleks dan detail yang keadaannya bisa terus berubah setiap waktu. Pengukuran dan perhitungan terhadap jumlah air hujan yang jatuh diatas suatu DAS dapat dihitung diantaranya dengan metode Poligon Thiessen dan metode Isohyet.

D. Curah Hujan Wilayah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut sebagai curah hujan wilayah atau daerah dan dinyatakan dalam mm. Curah hujan daerah ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Cara-cara perhitungan curah hujan rerata daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik, antara lain (Sosrodarsono, 1980:27) :

1. Cara Rata – rata Aljabar

Metode ini adalah yang paling sederhana yaitu dengan merata-ratakan tinggi curah hujan yang terukur dalam daerah yang ditinjau secara aritmatik. Keuntungan cara ini adalah lebih objektif jika dibandingkan dengan cara lain. Hasil yang diperoleh dengan cara ini tidak berbeda jauh dari hasil yang didapat dengan cara lain jika dipakai pada :

- a. Daerah datar.
- b. Stasiun-stasiun penakarannya banyak dan tersebar merata.
- c. Masing- masing data tidak bervariasi banyak dari nilai rata – ratanya.

Hujan rata – rata dapat dihitung dengan rumus pendekatan :

$$\overline{R_H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (3.1)$$

Dimana :

H_i = hujan pada masing-masing stasiun i (1,2,..., n dalam areal yang ditinjau)

N = jumlah stasiun

R_H = rata-rata hujan

Perlu diketahui bahwa untuk menghitung hujan wilayah dengan menerapkan cara rata-rata aljabar, data hujan yang ditinjau dan diperhitungkan adalah data hujan yang berada di dalam daerah aliran (*catchment area*) dalam hal ini H_1, H_2, \dots, H_n . Data yang berada di luar daerah aliran tidak dihitung.

2. Cara Poligon Thiessen

Cara ini sering dipakai karena mengimbangi tidak meratanya distribusi alat ukur dengan menyediakan suatu faktor pembobot (*weighting factor*) bagi masing-masing stasiun. Cara Poligon Thiessen dapat dipakai pada daerah dataran atau daerah pegunungan (dataran tinggi) dan stasiun pengamat hujan minimal ada tiga, sehingga dapat membentuk segitiga.

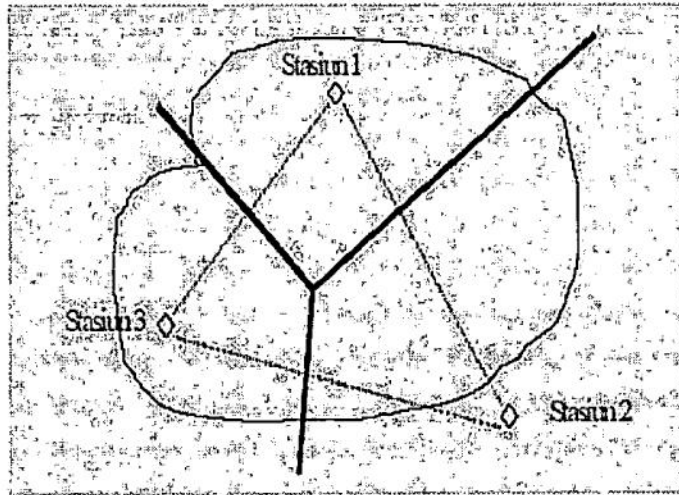
Koordinat/lokasi stasiun diplot pada peta, kemudian hubungkan tiap titik yang berdekatan dengan sebuah garis lurus sehingga membentuk segitiga. Garis-garis bagi tegak lurus dari garis-garis penghubung ini membentuk poligon di sekitar masing-masing stasiun. Sisi-sisi setiap poligon merupakan batas luas efektif yang diasumsikan untuk stasiun tersebut. Luas masing-masing poligon ditentukan dengan planimetri atau cara lain.

Hujan rata-rata dapat dihitung dengan rumus pendekatan :

$$R = \frac{R_1A_1 + R_2A_2 + \dots + R_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.2)$$

dimana:

- R = curahhujan rata-rata (mm)
- R_1, \dots, R_n = besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun (mm)
- A_1, \dots, A_n = luasadaerah yang mewakili masing-masing stasiun (mm)
- n = banyaknya stasiun hujan



Gambar 3.2 Metode Poligon Thiessen

Kendala terbesar dari metode ini adalah sifat ketidakluwesannya, dimana suatu diagram poligon Thiessen baru, selalu diperlukan setiap kali terdapat suatu perubahan dalam jaringan alat ukurnya.

3. Cara Isohyet

Cara ini merupakan cara rasional yang terbaik dalam merata-ratakan hujan pada suatu daerah, jika garis-garis digambar dengan akurat. Cara ini dapat dipakai bila stasiun curah hujan cukup banyak dan tersebar merata pada daerah aliran sungai.

Cara ini agak sulit mengingat proses penggambaran peta isohyet (serupa dengan garis kontur pada peta topografi) harus mempertimbangkan topografi, arah angin, dan faktor di daerah yang bersangkutan. Lokasi stasiun dan besar datanya diplot dalam peta, kemudian digambar garis yang menghubungkan curah hujan yang sama (prosesnya sama dengan penggambaran garis kontur pada peta topografi) dengan perbedaan interval berkisar antara 10 sampai 20 mm. Luas bagian daerah antara dua garis isohyet berdekatan yang termasuk bagian-bagian daerah itu kemudian diukur dengan planimetri. Besarnya rerata curah hujan dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut :

$$\overline{R_H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (3.3)$$

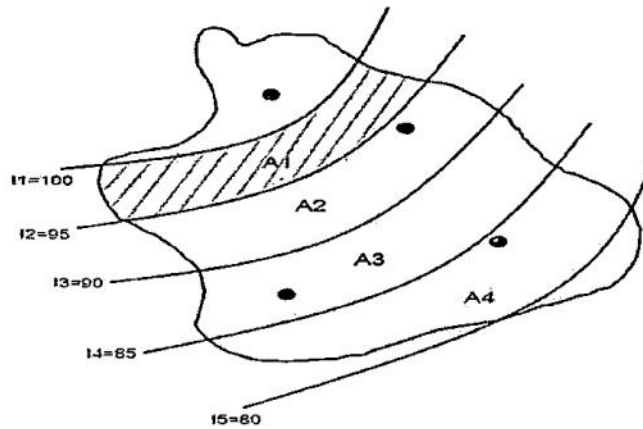
dimana :

H_i = hujan pada masing-masing stasiun L_1, L_2, \dots, L_n

L_i = luas bagian-bagian antara garis-garis isohyet

n = jumlah bagian-bagian antara garis-garis isohyet

R_H = rata-rata hujan



Gambar 3.3 Metode Isohyet

Cara ini akan menjadi lebih sulit jika titik-titik pengamatan hujan itu banyak dan variasi curah hujan yang cukup besar pada daerah tersebut. Hal ini disebabkan kemungkinan *individual error* si penggambar isohyet akan bertambah besar.

E. Analisis Debit Banjir Rencana

Analisa debit banjir digunakan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana pada suatu DAS. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa

membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai. Data untuk penentuan debit banjir rencana adalah data curah hujan, dimana curah hujan merupakan salah satu dari beberapa data yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya debit banjir rencana baik secara rasional, empiris maupun statistik.

Menurut Gunawan (1991) bahwa perhitungan debit puncak dengan menggunakan metode rasional merupakan penyederhanaan terhadap suatu proses penentuan aliran permukaan yang rumit akan tetapi metode tersebut dianggap akurat. Metode rasional adalah metode lama yang masih digunakan hingga sekarang untuk memperkirakan debit puncak (*peak discharge*). Apabila curah hujan dengan intensitas I terjadi secara terus menerus, maka laju limpasan langsung akan bertambah sampai mencapai waktu konsentrasi. Untuk menentukan debit aliran akibat air hujan diperoleh dari hubungan rasional antara air hujan dengan limpasannya. Adapun rumusan perhitungan debit rencana Metode Rasional adalah sebagai berikut :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (3.4)$$

dimana :

Q = debit rencana (m^3/dtk)

C = koefisien aliran permukaan

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

F. Hidrograf

Hidrograf adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara parameter aliran dan waktu. Hidrograf yang digunakan dalam penelitian ini adalah hidrograf satuan sintesis (HSS) metode Nakayashu. HSS dapat memberikan informasi penting untuk keperluan evaluasi keamanan bangunan air (*hydraulic structures*) dan resiko yang didasarkan pada perencanaan (Tung *et al.*, 1995; Montarcih L, 2009).

Pada tahun 1932, L.K Sherman mengenalkan konsep hidrograf satuan yang banyak digunakan untuk melakukan transformasi dari hujan menjadi debit aliran. Dalam penggunaan hidrograf satuan sintesis basis data yang dibutuhkan berupa

rumusan empiris dimana data yang digunakan adalah karakteristik DAS dan faktor-faktor lain yang mendukung rumusan empiris tersebut. Ada beberapa macam HSS yang dikembangkan antara lain HSS Snyder, HSS Nakayashu, HSS Gama I dan lain-lain.

Hidrograf satuan sintesis Nakayashu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai yang ada di Jepang (Soemarto, 1987). Bentuk HSS Nakayashu diberikan oleh Gambar 3.4, berikut persamannya :

$$T_g = 0,4 + 0,058L \text{ untuk } L > 15 \text{ Km} \quad (3.5)$$

$$T_r = 0,75 \times T_g \quad (3.6)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \quad (3.7)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (3.8)$$

$$Q_p = \frac{1}{36} \frac{A R_e}{0,3 T_p + T_{0,3}} \quad (3.9)$$

Dimana:

Q_p : debit puncak banjir

A : luas DAS (km²)

R_e : curah hujan efektif

T_p : waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

$T_{0,3}$: waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)

t_g : waktu konsentrasi (jam)

T_r : satuan waktu dari curah hujan (jam)

α : koefisien karakteristik DAS biasanya diambil 2

L : panjang sungai utama (km)

Dari persamaan diatas parameter yang dihasilkan membentuk hidrograf satuan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

a. Pada Kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \frac{t^{2,4}}{T_p} \quad (3.10)$$

b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

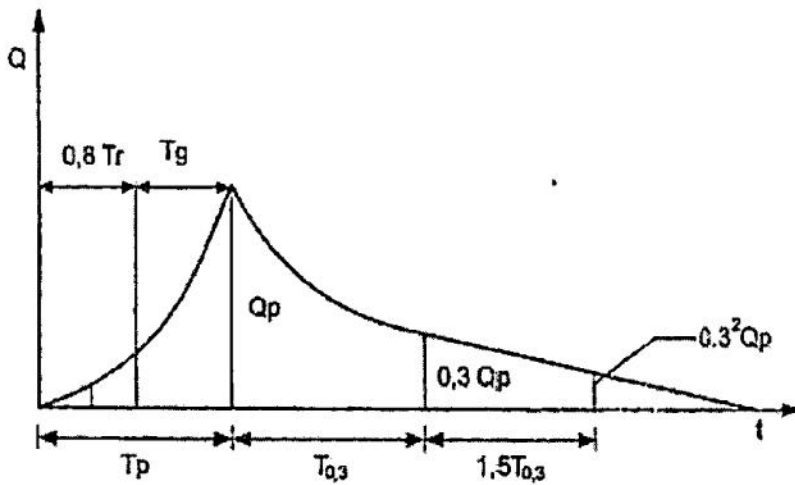
$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \quad (3.11)$$

c. Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})](1,5T_{0,3})}{(1,5T_{0,3})}} \quad (3.12)$$

d. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})](2T_{0,3})}{(2T_{0,3})}} \quad (3.13)$$



Gambar 3.4 Hidrograf Satuan Sintetik metode Nakayasu

G. Hec – Ras 4.1.0

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, River Analysis System (RAS), yang dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam Institute for Water Resources (IWR), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteadyone-dimensional flow model*) (USACE, 2010). Aplikasi Hec- Ras juga dapat digunakan untuk kerusakan perhitungan banjir, restorasi ekosistem, dan peringatan kesiapsiagaan terhadap respon banjir.

H. Aliran Tak Permanen (*Unsteady Flow*)

Menurut Simple Geometry River (2011) apabila kecepatan, kedalaman, dan debit aliran tidak berubah terhadap waktu dalam kasus aliran permanen, maka ketiga parameter tersebut merupakan fungsi waktu dalam kasus aliran tak permanen (*unsteady flow*). Untuk menampilkan analisa aliran *unsteady* dibutuhkan data aliran yang terdiri dari kondisi batas dan kondisi awal. Dalam melakukan analisis aliran tidak permanen membutuhkan *unsteady flow data* (USACE,2010) yang meliputi:

1. Boundary Condition (Kondisi Batas)

Besarnya debit yang harus dilayani oleh saluran yang direncanakan akan berlaku sebagai kondisi batas. Bagian hulu sungai biasanya digunakan data *flow hydrograph*, *stage hydrograph*, dan *stage/ flow hydrgraph*. Sedangkan pada bagian hilir umumnya digunakan *normal depth*. *Flow hydrograph* merupakan data debit banjir hasil analisis hidrologi. *Stage hydrograph* biasanya terdiri dari data pasang surut pada aliran sungai. Untuk rata – rata kemiringan sungai atau saluran di inputkan sebagai *normal depth*.

2. Initial Condition (Kondisi Awal)

Kondisi Awal digunakan sebagai kondisi permulaan elevasi muka air sebelum dilakukan *excute* pada HEC-Ras. Untuk menentukan kondisi awal sebuah sistem sungai hal utama adalah menentukan elevasi muka air awal pada setiap pias sungai yang diamati.

I. Persamaan Aliran Tak Permanen

1. Persamaan Dasar

Berdasarkan Simple Geometry River (2011) aliran di saluran atau sungai merupakan proses fisik yang mengikuti hukum kekekalan massa dan momentum. Proses fisik ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis, yang dikenal sebagai persamaan St. Venant. Persamaan tersebut terdiri dari persamaan kontinuitas (prinsip konversi massa) dan persamaan momentum (prinsip konversi momentum), yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut :

a) Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (3.14)$$

b) Persamaan Momentum

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Qv}{\partial x} + qA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + Sf \right) = 0 \quad (3.15)$$

Dengan :

A = luas total tampang aliran (jumlah luas tampang aliran di main channel dan overbank channel),

Q = debit aliran

q_l = debit lateral per satuan panjang,

V = kecepatan aliran,

g = percepatan gravitasi,

x = jarak, diukur searah aliran,

z = elevasi muka air,

t = waktu,

dimana S_f merupakan kemiringan garis energi (*friction slope*) dapat dihitung dengan persamaan Manning sebagai berikut :

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{2.208 R^{4/3} A^2} \quad (3.16)$$

dengan :

S_f = kemiringan garis energi (*friction slope*), dihitung dengan persamaan Manning

n = koefisien kekasaran Manning,

R = radius hidraulik.

2. Penerapan Persamaan Aliran Tak Permanen

HEC-RAS membagi alur saluran menjadi tiga bagian, yaitu bantaran kiri, alur utama, dan bantaran kanan. Saat air sungai naik, air bergerak menyamping, menjauh dari alur utama, menggenangi bantaran dan mengisi tampungan-tampungan yang ada di sepanjang bantaran. Seiring dengan kenaikan muka air lebih lanjut, air di bantaran mulai mengalir ke hilir, aliran di bantaran ini umumnya menempuh jarak yang lebih pendek dari pada aliran di alur utama. Saat air mulai surut, air di bantaran bergerak menuju alur utama, menggantikan aliran di alur utama. Karena arah utama aliran adalah sepanjang alur utama, aliran dua dimensi ini dapat didekati dengan anggapan aliran satu dimensi. Kawasan genangan di luar alur utama dapat dimodelkan sebagai kawasan tampungan yang airnya dapat saling berpindah keadaan dari alur utama. Aliran di bantaran dapat didekati sebagai aliran melalui alur terpisah dari alur utama.

Berbagai cara telah dilakukan untuk memodelkan permasalahan aliran melalui alur utama dan bantaran. Salah satu cara adalah mengabaikan kapasitas angkut bantaran dan menganggap bahwa bantaran hanya berfungsi sebagai tampungan. Cara ini cocok untuk sungai-sungai besar yang alurnya dibatasi tanggul dan bantarannya merupakan kawasan bervegetasi lebat atau merupakan sebuah kawasan tampungan (*offchannel storage*). Cara HEC-RAS memodelkan aliran di bantaran didasarkan pada metode yang awalnya dikembangkan oleh Fread (1976) dan Smith (1978), yang kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Barkau (1982). Secara garis besar, metode ini adalah aliran melalui alur utama dan melalui bantaran sebagai dua aliran yang melewati dua tampang saluran terpisah serta menuliskan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum untuk masing-masing tampang tersebut.

Penyederhanaan dilakukan dengan menganggap muka air di kedua tampang saluran pada arah lateral (tegak lurus arah aliran) datar atau horizontal. Dengan demikian: 1) transfer momentum di antara kedua tampang dapat diabaikan, dan 2)

debit terbagi ke kedua ujung tampang berdasarkan kapasitas angkut (*conveyance*) masing-masing tampang yaitu:

$$Q_c = \Phi Q \quad (3.17)$$

Dengan :

Q_c = debit aliran melalui alur utama (*channel*),

Q = debit total aliran,

$$\Phi = Kc / (Kc + Kf) \quad (3.18)$$

dengan :

Kc = kapasitas angkut tampang alur utama,

Kf = kapasitas angkut tampang bantaran.

Dengan anggapan tersebut, maka persamaan aliran satu dimensi dapat digabungkan menjadi satu kelompok persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial(1-\Phi)Q}{\partial x_f} = 0 \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\Phi)^2 Q^2 / A_f)}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (3.20)$$

Dalam kedua persamaan di atas, subskrip c mengacu pada alur utama dan subskrip f mengacu pada bantaran. Persamaan di atas dijabarkan dengan pendekatan beda hingga implisit dan persamaan yang diperoleh diselesaikan dengan cara iterasi Newton-Raphson. Barkau (1982) menyempurnakan cara penyelesaian di atas dengan menjabarkan kedua persamaan ke dalam bentuk beda hingga yang penyelesaiannya lebih efisien dan stabil.

Tabel 3.1 Angka kekasaran Manning

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
A. Saluran, dilapis atau dipoles			
A-1 Logam			
a. Baja dengan permukaan licin			
1. Tidak dicat	0,011	0,012	0,014
2. dicat	0,012	0,013	0,017
b. Baja dengan permukaan bergelombang	0,021	0,025	0,03
A-2 Bukan Logam			
a. Semen			
1. Acian	0,01	0,011	0,013
2. Adukan	0,011	0,013	0,015
b. Kayu			
1. Diserut, tidak diawetkan	0,01	0,012	0,014
2. Diserut, diawetkan dengan creosote	0,011	0,012	0,015
3. Tidak diserut	0,011	0,013	0,015
4. Papan	0,012	0,015	0,018
5. Dilapis dengan kertas kedap air	0,01	0,014	0,017
c. Beton			
1. Dipoles dengan sendok kayu	0,011	0,013	0,015
2. Dipoles sedikit	0,013	0,015	0,016
3. Dipoles	0,015	0,017	0,02
4. Tidak dipoles	0,014	0,017	0,02
5. Adukan semprot, penampang rata	0,016	0,019	0,023
6. Adukan semprot, penampang bergelombang	0,018	0,022	0,025
7. Pada galian batu yang teratur	0,017	0,02	
8. Pada galian batu yang tak teratur	0,022	0,027	
d. Dasar beton dipoles sedikit dengan tebing dari			
1. Batu teratur dalam adukan	0,015	0,017	0,02
2. Batu tak teratur dalam adukan	0,014	0,02	0,024
3. Adukan batu, semen, diplester	0,016	0,02	0,024
4. Adukan batu dan semen	0,02	0,025	0,03
5. Batu kosong atau rip-rap	0,02	0,03	0,035
e. Dasar kerikil dengan tebing dari			
1. Batu acuan	0,017	0,02	0,025
2. Batu tak teratur dalam adukan	0,02	0,023	0,026
3. Batu kosong atau rip-rap	0,023	0,033	0,036
f. Bata			
1. Diglasir	0,011	0,013	0,015
2. Dalam adukan semen	0,012	0,015	0,018

Tabel 3.2 Angka kekasaran Manning - Lanjutan

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
g. Pasangan batu			
1. Batu pecah disemen	0,017	0,025	0,03
2. Batu kosong	0,023	0,032	0,035
h. Batu potong, diatur	0,013	0,015	0,017
i. Aspal			
1. Halus	0,013	0,013	
2. Kasar	0,016	0,016	
j. Lapisan dari tanaman	0,03		0,05
B. Digali atau dikeruk			
a. Tanah lurus dan seragam			
1. Bersih, baru dibuat	0,016	0,018	0,02
2. Bersih, telah melapuk	0,018	0,022	0,025
3. Kerikil, penampang seragam, bersih	0,022	0,025	0,03
4. Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
b. Tanah, berkelok-kelok dan tenang			
1. Tanah tetumbuhan	0,023	0,025	0,03
2. Rumput dengan beberapa tanaman pengganggu	0,025	0,03	0,033
3. Banyak tanaman pengganggu atau tanaman air pada saluran yang dalam	0,03	0,035	0,04
4. Dasar tanah dengan tebing dari batu pecah	0,028	0,03	0,035
5. Dasar berbatu dengan tanaman pengganggu pada tebing	0,025	0,035	0,04
6. Dasar berkerakal dengan tebing yang bersih	0,03	0,04	0,05
c. Hasil galian atau kerukan			
1. Tanpa tetumbuhan	0,025	0,028	0,033
2. Semak-semak kecil di tebing	0,035	0,05	0,06
d. Pecahan batu			
1. Halus, seragam	0,025	0,035	0,04
2. Tajam, tidak beraturan	0,035	0,04	0,05
e. Saluran tidak dirawat, dengan tanaman pengganggu dan belukar tidak dipotong			
1. Banyak tanaman pengganggu setinggi air	0,05	0,08	0,12
2. Dasar bersih, belukar di tebing	0,04	0,05	0,08
3. Idem, setinggi muka air tertinggi	0,045	0,07	0,11
4. Banyak belukar setinggi air banjir	0,08	0,1	0,14

Tabel 3.3 Angka kekasaran Manning - Lanjutan

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
C. Saluran Alam			
C-1 Saluran kecil (lebih atas pada taraf banjir < 100 kaki)			
a. Saluran di daratan			
1. Bersih lurus, terisi penuh, tanpa rekahan atau ceruk dalam	0,025	0,03	0,033
2. Seperti di atas, banyak batu-batu, tanaman pengganggu	0,03	0,035	0,04
3. Bersih, berkelok-kelok, berceruk, bertebing	0,033	0,04	0,045
4. Seperti di atas, dengan batu-batu, tanaman pengganggu	0,035	0,045	0,05
5. Seperti di atas, tidak terisi penuh, banyak kemiringan dan penampang yang kurang efektif	0,04	0,048	0,055
6. Tenang pada bagian lurus, tanaman pengganggu, ceruk dalam	0,05	0,07	0,08
b. Saluran di pegunungan, tanpa tetumbuhan di saluran tebing umumnya terjal, pohon dan semak-semak sepanjang tebing			
1. Dasar: kerikil, kerakal dan sedikit batu besar	0,03	0,04	0,05
2. Dasar: kerakal dengan batu besar	0,04	0,05	0,07
C-2 Dataran Banjir			
a. Padang rumput tanpa belukar			
1. Rumput pendek	0,025	0,03	0,035
2. Rumput tinggi	0,03	0,035	0,05
b. Daerah pertanian			
1. Tanpa tanaman	0,02	0,03	0,04
2. Tanaman dibariskan	0,025	0,035	0,045
3. Tanaman tidak dibariskan	0,03	0,04	0,05
c. Belukar			
1. Belukar terpecah, banyak tanaman pengganggu	0,035	0,05	0,07
2. Belukar jarang dan pohon, musim dingin	0,035	0,05	0,06
3. Belukar jarang dan pohon, musim semi	0,04	0,06	0,08
4. Belukar sedang sampai rapat, musim dingin	0,045	0,07	0,11
5. Belukar sedang sampai rapat, musim semi	0,07	0,1	0,16

Sumber : Manual HEC-RAS (2010)