

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bali merupakan daerah pariwisata terdepan di Indonesia. Perpaduan alam yang indah dengan budaya yang menarik dan khas menjadi daya tarik bagi wisatawan domestik maupun mancanegara. Bali terbagi menjadi 8 kabupaten dan 1 kota. Kota Denpasar merupakan ibu kota dari Provinsi Bali dan termasuk salah satu pusat kota teramai di Bali. Padatnya penduduk yang mencapai 822.385 jiwa dengan jumlah penduduk laki – laki sebanyak 413.965 jiwa dan perempuan 408.419 jiwa. Tingginya arus migrasi mengakibatkan pertumbuhan penduduk yang sangat pesat. Seiring dengan perkembangan penduduk, meningkatnya aktivitas perekonomian dan pertumbuhan industri memberikan dampak yang cukup besar pada siklus hidrologi sehingga berpengaruh besar terhadap sistem drainase perkotaan. Sistem drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang memiliki fungsi untuk mengurangi atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan dengan optimal.

Renon merupakan sebuah kelurahan yang berada di wilayah Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar. Monumen Bajra Sandhi menjadi salah satu ikon Kota Denpasar yang berada pada kawasan ini. Kawasan ini merupakan kawasan yang padat penduduk, sehingga menimbulkan berbagai permasalahan termasuk gangguan terhadap lingkungan. Salah satu gangguan yang sering timbul adalah permasalahan pada saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX daerah Kelurahan Renon Denpasar.

Saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya daerah Kelurahan Renon Denpasar merupakan tipe trapesium dengan bahan batu kali memiliki ukuran 85 x 280 cm. Saluran drainase tersebut dapat didefinisikan sebagai tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan maupun kelebihan irigasi dari suatu kawasan atau lahan.

Namun akibat kurangnya perhatian dan penanganan oleh masyarakat terhadap saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX daerah Kelurahan Renon Denpasar, maka terjadi adanya genangan di sekitar saluran drainase dan sedimentasi seperti sampah yang mengakibatkan air tidak mengalir secara teratur sehingga menyebabkan banjir pada saat curah hujan sedang sampai tinggi.

Maka dari masalah tersebut, dilaksanakan suatu penelitian untuk menentukan perhitungan debit banjir rancangan pada daerah Kelurahan Renon Denpasar ruas Jalan Tukad Yeh Aya IX, yang dihitung berdasarkan hasil dari debit banjir rancangan dan dimensi penampang saluran.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang dapat dirumuskan dari latar belakang adalah sebagai berikut:

1. Berapa curah hujan rancangan pada saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX Kelurahan Renon Denpasar?
2. Berapa debit banjir rancangan pada saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX Kelurahan Renon Denpasar?
3. Berapa kapasitas debit saluran eksisting dan profil permukaan air saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX Kelurahan Renon Denpasar?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung curah hujan rancangan pada saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX Kelurahan Renon Denpasar.
2. Menghitung debit banjir rancangan pada saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX Kelurahan Renon Denpasar.
3. Menghitung kapasitas eksisting saluran drainase di Jalan Tukad Yeh Aya IX Kelurahan Renon Denpasar.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Manfaat bagi Mahasiswa

Agar mahasiswa khususnya teknik sipil konsentrasi keairan/hidrologi dapat memahami dan menambah pengetahuan dalam proses perhitungan debit banjir rencana pada suatu saluran drainase.

2. Manfaat bagi Universitas

Agar dapat berperan sebagai acuan jika terdapat penelitian tentang perhitungan debit banjir rencana pada suatu saluran drainase.

3. Manfaat bagi Masyarakat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berperan sebagai sumber informasi atau media untuk meningkatkan kesadaran masyarakat dalam merawat saluran drainase yang berada di kawasan tempat tinggalnya.

1.5. Batasan dan Lingkup Penelitian

Adapun batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan rata – rata selama 20 tahun, yaitu dari tahun 2002 s/d 2021.
2. Menghitung curah hujan.
3. Pengujian konsistensi data curah hujan menggunakan Metode *Double Mass Analysis* dan Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Portial Sums*).
4. Uji pemilihan distribusi Cs, Ck, Cv sebelum menentukan curah hujan rancangan.
5. Curah hujan rancangan dalam studi ini dianalisis menggunakan metode distribusi Normal, Log Normal, E.J. Gumbel, Log Pearson Type III.
6. Uji kesesuaian distribusi frekuensi dengan metode *Smirnov Kolmogorof* dan Chi-Square.
7. Debit banjir rencana disesuaikan dengan metode rasional.
8. Menghitung kapasitas eksisting saluran drainase dan menentukan profil muka air saluran dengan Program HEC-RAS.
9. Penelitian ini tidak menghitung sedimentasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Drainase

Drainase merupakan serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal (Suripin, 2004).

Dalam melakukan perencanaan sistem drainase perkotaan perlu memperhatikan beberapa aspek, yaitu: (SNI 02-2406-1991)

- a. Sistem drainase terdiri atas saluran primer, sekunder, dan tersier;
- b. Berdasarkan sistem penyalurannya, drainase perkotaan direncanakan terpisah dengan saluran pembuangan air limbah; dan
- c. Saluran drainase dapat direncanakan terbuka dan tertutup dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan tanah, pembiayaan, operasi dan pemeliharaan.

2.2. Drainase Perkotaan

Drainase Perkotaan adalah ilmu drainase yang khusus mengkaji kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan fisik dan lingkungan sosial budaya yang ada di kawasan kota tersebut. Drainase perkotaan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air di wilayah perkotaan yang meliputi kawasan permukiman, industri dan perdagangan, sekolah, rumah sakit, lapangan olahraga, lapangan parkir, instalasi militer, instalasi listrik, telekomunikasi, pelabuhan udara, pelabuhan laut atau sungai serta fasilitas umum lainnya yang merupakan bagian dari sarana kota (Wesli, 2008).

2.2.1. Konsep Drainase

Secara garis besar, konsep drainase terbagi menjadi dua, yaitu;
(Kementerian Pekerjaan Umum, 2012)

a. Drainase Konvensional

Merupakan konsep drainase yang dulu dipakai di Indonesia yaitu mengalirkan kelebihan air (air hujan) secepatnya ke badan air terdekat, sehingga tidak menimbulkan genangan.

b. Drainase Berwawasan Lingkungan

Didefinisikan sebagai upaya untuk mengelola kelebihan air dengan berbagai metode di antaranya dengan menampung, meresapkan dan mengalirkan air ke sungai terdekat tanpa menambah beban pada sungai yang bersangkutan serta senantiasa memelihara sistem tersebut sehingga berdaya guna secara berkelanjutan.

2.2.2. Fungsi Saluran Drainase

Menurut Hardjosuprpto (1998), sistem drainase berfungsi untuk:

1. Mengeringkan daerah becek dan genangan air,
2. Mengendalikan akumulasi limpasan air hujan yang berlebihan dan memanfaatkan sebesar – besarnya untuk imbuhan air tanah;
3. Mengendalikan erosi, kerusakan jalan, dan kerusakan infrastruktur; dan
4. Mengelola kualitas air.

2.2.3. Jenis – Jenis Saluran Drainase

a. Saluran Primer

Saluran Primer adalah saluran yang menerima masukan aliran dari saluran –

saluran sekunder. Saluran primer relatif besar, sebab letak saluran paling hilir.

Aliran dari saluran primer langsung dialirkan ke badan air.

b. Saluran Sekunder

Saluran terbuka atau tertutup yang berfungsi menerima aliran air dari saluran – saluran tersier dan meneruskan aliran ke saluran primer.

c. Saluran Tersier

Saluran drainase yang menerima aliran air langsung dari saluran – saluran pembuangan rumah – rumah. Umumnya saluran tersier ini adalah saluran kiri kanan jalan perumahan.

2.3. Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari tentang terjadinya, pergerakan dan distribusi air di bumi, baik di atas maupun di bawah permukaan bumi, tentang sifat fisik, kimia air serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya dengan kehidupan (Linsley, 1996).

Pada perkembangannya, hidrologi banyak dipelajari khususnya dibidang teknik sipil, salah satunya digunakan dalam memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air, baik itu mata air, sungai, maupun danau guna dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan), irigasi, pembangkit listrik. tenaga air, perikanan, peternakan dan lain sebagainya (Triatmodjo, 2008).

2.4. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan salah satu bagian dari keseluruhan rangkaian dalam perencanaan bangunan air seperti sistem drainase, gorong-

gorong, tanggul penahan banjir dan sebagainya. Di dalam hidrologi, salah satu aspek analisis yang diharapkan dihasilkan untuk menunjang perancangan bangunan-bangunan air adalah penetapan variabel-variabel rancangan, baik hujan, banjir, maupun unsur hidrologi lainnya (Fakhli, 2014).

Analisis hidrologi diawali dengan menganalisis hujan dan debit rencana yang digunakan sebagai Qdesain bangunan air. Dari data curah hujan harian maksimum tahunan dan data karakteristik DAS (Daerah Aliran Sungai) dianalisis menjadi hujan rancangan dan unit hidrograf Nakayasu menjadi debit rancangan. Aspek hidrologi yang perlu dikaji yaitu:

2.4.1. Curah Hujan

Curah Hujan adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir. Unsur hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air hujan setinggi satu milimeter atau tertampung air hujan sebanyak satu liter (BMKG Wilayah III Denpasar, 2017).

Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai pada waktu yang sama. 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 curah hujan area dan dinyatakan dalam mm (Sosrodarsono, 2003).

2.4.2. Uji Konsistensi Data

Uji Konsistensi Data Hujan merupakan suatu seri yang bisa terjadi *Nonhomogenites* data dan ketidaksamaan (*Inconsistency*) data. Faktor yang menyebabkan data menjadi tidak homogen dan tidak konsisten meliputi:

1. Perubahan mendadak pada sistem hidrologis, misalnya karena adanya pembangunan gedung atau tumbuhnya pohon, gempa bumi dan sebagainya.
2. Pemindahan alat ukur.
3. Perubahan cara pengukuran, misalnya penggantian alat dengan jenis dan spesifikasi alat baru atau metode yang berbeda.

Data tidak homogen maupun data tidak konsisten menyebabkan hasil analisis tidak teliti. Oleh karena itu sebelum data tersebut dipakai untuk analisis, terlebih dahulu harus dilakukan uji konsistensi data. Uji konsistensi data sudah meliputi uji homogenitas data karena data yang konsisten juga berarti data tersebut adalah homogen (Sri Harto, 1993).

Metode yang digunakan untuk pengujian data yaitu dengan Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) dan Metode *Double Mass Analysis*.

1. Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) adalah pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri yaitu pengujian dengan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan terhadap nilai reratanya (Sri Harto, 1993). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$So^* = 0$$

$$Sk^* = \sum_{i=1}^K (yi - \bar{y}) \text{ dengan } k = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(2.1)$$

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{Dy} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^K (yi - \bar{y})}{n} = \frac{\sum_{i=1}^K (Sk^*)^2}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

Yi = Data hujan ke-i,

Y = Data hujan rerata-i,

Dy = simpangan rata-rata

n = Jumlah data Nilai statistic Q

Nilai Statistik Q dan R:

Q = maks $|Sk^{**}|$ dengan $0 \leq k \leq n$

R = maks Sk^{**} - min Sk^{**} dengan $0 \leq k \leq n$

Dengan melihat nilai statistik dapat dicari nilai $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$. Hasil yang dapat dibandingkan dengan nilai $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$. Sebagai syarat $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$ dihitung lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten. Syarat nilai $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$ dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 2.1. $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$

n	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,1	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
∞	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

(Sumber : Sri Harto, 1993).

2. Metode *Double Mass Analysis*

Metode *Double Mass Analysis* secara umum menggambarkan besaran hujan secara kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran kumulatif rata – rata stasiun referensi di sekitarnya. Ketidakkonsistenan data ditunjukkan oleh penyimpangan garis terhadap garis lurusanya. Persamaan yang dipakai adalah:

$$X_t = \sum_{n=1}^{i=1} R.A_t$$

$$Y_t = \sum_{n=1}^{i=1} R_i$$

Dengan:

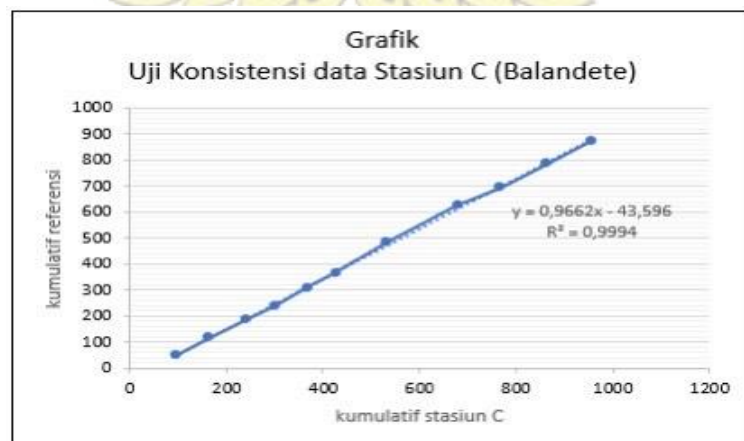
X_t = Kumulatif hujan stasiun A pada tahun t

Y_t = Kumulatif hujan stasiun referensi pada tahun ke t

R_i = Rata – rata curah hujan tahunan stasiun referensi pada tahun ke t

$R.A_t$ = Curah hujan tahunan di stasiun A

DMC_t = Titik koordinat *kurve* di lengkung massa ganda tahun ke t



Gambar 2.1. Grafik Metode *Double Mass Analysis*

(Sumber : *Gencivil*, 2020)

Keselarasan model regresi dapat diterangkan dengan menggunakan nilai R^2 . Semakin besar nilai tersebut maka model semakin baik. Jika nilai mendekati

1 maka model regresi semakin baik. Nilai R^2 mempunyai karakteristik antara lain selalu positif, nilai R^2 maksimum sebesar 1. Jika R^2 sebesar 1 mempunyai arti kesesuaian yang sempurna, maknanya seluruh variasi dalam variabel Y dapat diterangkan oleh model regresi. Sebaliknya jika R^2 sama dengan 0 maka tidak ada hubungan linier antara X dan Y.

2.4.3. Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Ada 3 (Tiga) macam cara dalam menentukan tinggi curah hujan rerata pada wilayah tertentu dari angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat yaitu sebagai berikut:

1. Metode Rerata Aljabar

Tinggi rata – rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata – rata hitung pengukuran hujan di stasiun curah hujan di dalam *catchment* area tersebut:

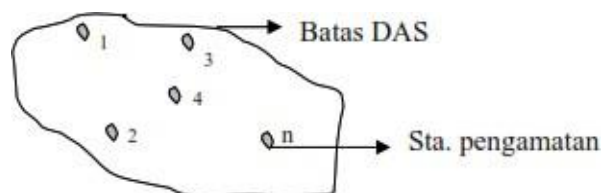
$$R = \frac{1}{n} \times (RA + RB + RC + \dots + Rn) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

R = Tinggi curah hujan rata-rata

RA, RB, ..., Rn = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, ..., n

n = Banyaknya pos penakar



Gambar 2.2. Sketsa Stasiun Curah Hujan Cara Rata – Rata Aljabar

(Sumber: Sri Harto, 1993)

2. Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitar. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili stasiun tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun (Triatmodjo, 2013).

Adapun rumus metode *Polygon Thiessen*, sebagai berikut:

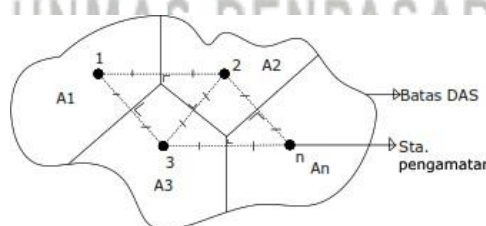
$$R = \frac{R_A \cdot A_A + R_B \cdot A_B + R_C \cdot A_C + \dots + R_n \cdot A_n}{A_A + A_B + A_C + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.5)$$

A = luas areal

R = tinggi curah hujan rata-rata areal

$R_A, R_B, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan di pos 1, 2,, n

$A_A, A_B, \dots, A_n$ = luas daerah pengaruh pos 1, 2,, n



Gambar 2.3. Pembagian Daerah dengan Cara Polygon Thiessen

(Sumber: Sri Harto, 1993)

3. Cara *Isohyet*

Dengan cara ini, kita harus menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*) (Sri Harto, 1993).

$$R = \frac{A_A \left(\frac{R_A + R_B}{2} \right) + A_B \left(\frac{R_B + R_C}{2} \right) + A_{n-1} \left(\frac{R_{n-1} + R_n}{2} \right)}{A_A + A_B + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.6)$$

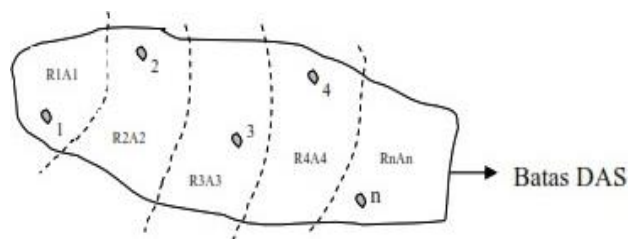
Dengan:

A = luas areal

R = tinggi curah hujan rata-rata area

$R_A, R_B, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan di pos 1,2, ,n

$A_A, A_B, \dots, A_n$ = luas daerah pengaruh pos 1,2, ,n



Gambar 2.4. Pembagian Daerah Cara Garis Isohyet

(Sumber: *Sri Harto, 1993*).

2.4.4. Uji Pemilihan Distribusi

Uji pemilihan distribusi dilakukan berdasarkan syarat pengujian tagihan data untuk menggunakan analisis frekuensi. Pemilihan metode perhitungan hujan rencana ditetapkan berdasarkan parameter dasar statistiknya. Perhitungan parameter dasar statistik (Sri Harto, 1993):

1. Nilai Rata – rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan:

$\bar{X}$ = Nilai rata–rata

X_i = Nilai Varian ke i

n = Jumlah data

2. *Standard Deviasi (Sd)*

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum X_i - \bar{X}}{n-1}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

Sd = Standar Deviasi

$\bar{X}$ = Tinggi hujan rata – rata selama n tahun (mm)

X_i = Tinggi hujan (mm)

n = Jumalh tahun pencatatan data hujan

3. *Koefisien Skewness (Cs)*

$$Cs = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{Sd^3} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

Cs = koefisien *skewness*

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = nilai rata – rata varian

n = jumlah data

Sd = standar deviasi

4. *Koefisien Kurtosis (Ck)*

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan:

Ck = koefisien kurtosis

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = nilai rata – rata varian

n = jumlah data

Sd = standar deviasi

5. Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan:

Cv = koefisien variasi

Sd = standar deviasi

$\bar{X}$ = nilai rata – rata varian

Syarat pengujian yang dipakai pada pengujian pemilihan distribusi adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993).

Tabel 2.2. Pengujian Pemilihan Distribusi

No	Sebaran	Syarat
1	Distribusi Normal	$Cs = 0$
2	Distribusi Log Normal	$Cv = \frac{Ck}{3}$
3	Distribusi Log-Pearson Type III	$Ck = 1,50 Cs^2 + 3$
4	Distribusi Gumbel	$Cs = 1,1395$ $Ck = 5,4002$
5	Bila tidak ada yang memenuhi syarat digunakan sebaran Log-Person type III	

(Sumber: Sri Harto. 1993)

2.5. Analisis Curah Hujan Rencana

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi yang tertentu atau hujan dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Metode analisis hujan rancangan tersebut pemilihannya sangat tergantung dari kesesuaian parameter statistik dari data yang bersangkutan atau dipilih berdasarkan pertimbangan teknis lainnya. Untuk menganalisis probabilitas hujan (Curah Hujan Rencana) dan probabilitas banjir (Debit Banjir Rencana) biasanya dipakai beberapa macam distribusi (Soemarto, 1999), yaitu :

1. Distribusi Normal

Persamaannya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_T = \bar{X} + K_T Sd \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan:

X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode T - tahunan

$\bar{X}$ = nilai rata – rata hitung varian

Sd = standard deviasi nilai varian

K_T = faktor frekuensi

2. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal digunakan apabila nilai – nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. Dalam hal ini, fungsi dentitas probabilitas (*PDF*) diperoleh dengan melakukan transformasi, yang dalam hal ini digunakan persamaan trasformasi berikut:

$$y = \ln x \text{ atau } y = \log x$$

parameter dari distribusi log normal adalah rerata dan deviasi standar dari y yaitu

3. Distribusi Log-Pearson Type III

Distribusi *Log-Pearson Type III* merupakan perkembangan fungsi probabilitas yang dilakukan oleh Pearson. Dengan menggunakan persamaan di bawah ini maka dapat dihitung besarnya curah hujan rencana sesuai dengan kala ulangnya. Metode yang dianjurkan dalam pemakaian distribusi *Log-Pearson Type III* adalah dengan mengkonversikan dengan rangkaian datanya menjadi bentuk logaritmik.

Nilai rerata :

$$\overline{\text{Log } X} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Log } X}{n} \dots\dots\dots(2.13)$$

Atau dengan cara :

$$\sigma \log x = \frac{\sum (\log x)^2 - (\sum \log x)^2}{n-1}$$

$$Cs = \frac{n^2 \sum (\log x)^3 - 3n \sum (\log x)^2 + 2 \sum (\log x)^3}{n(n-1)(n-2)(\sigma \log x)^3} \dots\dots\dots(2.14)$$

Standard Deviasi (Sd):

$$Sd \log x = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\log X - \overline{\log x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Koefisien *Skewnes* (Cs):

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(\sigma \log x)^3} \dots\dots\dots(2.16)$$

Nilai X bagi setiap tingkat probabilitas dihitung dari persamaan :

$$\text{Log } X_T = \log x + k \sigma \log x$$

4. Distribusi Gumbel

Metode E.J. Gumbel dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + \bar{K} \cdot S_d \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan :

X_T = Variate yang diekplorasi, yaitu besarnya curah hujan rancangan
untuk periode ulang T tahun

$\bar{X}$ = Harga rerata dari data

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

S_d = Standard deviasi

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

K = Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang
(*re periode*) dan tipe distribusi frekuensi.

Untuk menghitung faktor frekuensi E.J. Gumbel digunakan rumus :

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan :

Y_t = *Redeuced variate* sebagai fungsi periode ulang

Y_t (th) = $-\ln(-\ln(T-1)/T)$

Y_n = *Redeuced mean* sebagai fungsi dari banyaknya data n

S_n = *Redeuced standard deviasi* sebagai fungsi dari banyaknya data n

Dengan mensubstitusikan ketiga persamaan di atas diperoleh :

$$X_T = \bar{X} + \frac{S_d}{S_n} (Y_t - Y_n) \dots \dots \dots (2.19)$$

Jika :

$$\frac{1}{a} = \frac{S_d}{S_n}$$

$$b = -(S_d/S_n) \cdot Y_n$$

Persamaan di atas menjadi:

$$X_T = b + 1/a \cdot Y_t \dots \dots \dots (2.20)$$

Tabel 2.3. Nilai *Reduced Mean* (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5520
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2. 4. Nilai *Reduced Standard* (Sn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2066
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.5. Nilai *Reduced Variate* (Yt)

Periode ulang, Tr (tahun)	<i>Reduced variate</i> , Y _{Tr}	Periode ulang, Tr (tahun)	<i>Reduced variate</i> , Y _{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,251	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

(Sumber : Suripin, 2004)

2.5.1. Pemeriksaan Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Terdapat dua metode pemeriksaan kesesuaian yang lazim dipakai yaitu metode *Chi-Square Test* (X^2 test) dan metode *Smirnov-Kolmogorof*. Hasil perhitungan dari kedua metode tersebut akan menentukan apakah distribusi yang

digunakan dalam analisis sesuai, menurut ketentuan yang harus dipenuhi (Sri Harto, 1983).

1. Metode *Chi Square*

Metode ini hanya cocok digunakan untuk memeriksa data pengamatan yang banyak. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X^2 = \sum \frac{(E_f - O_f)^2}{E_f} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dengan:

X^2 = Harga *Chi Square*

E_f = Frekuensi (banyaknya pengamatan yang diharapkan, sesuai pembagian kelasnya)

O_f = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

Nilai X^2 yang terdapat ini harus lebih kecil dari nilai X^2 Cr (*Chi-kuadrat kritis*) yang didapat dari tabel, untuk suatu derajat nyata tertentu (*level of significan*), yang sering diambil sebesar 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan :

$$DK = k - (P + 1)$$

Dengan:

DK = Derajat kebebasan (*number of degree of freedom*)

K = Banyaknya kelas (grup)

P = Banyaknya keterikatan (*constrain*) atau sama dengan parameter, yang untuk distribusi *Chi Square* = 2

Berikut adalah tabel dari DK (Derajat Kebebasan).

Tabel 2.6. Tabel DK (Derajat Kebebasan)

Derajat Kebebasan	Koefisien signifikan			
	a = 0.95	a = 0.90	a = 0.10	a = 0.05
1		0,02	2,71	3,84
2	0,1	0,21	4,61	5,99
3	0,35	0,58	6,25	7,81
4	0,71	1,06	7,78	9,49
5	1,15	1,61	9,24	11,07
6	1,64	2,2	10,64	12,59
7	2,17	2,83	12,02	14,07
8	2,73	3,49	13,36	15,51
9	3,33	4,17	14,68	16,92
10	3,94	4,87	15,99	18,31
12	5,23	6,3	18,55	21,03
14	6,57	7,79	21,06	23,68
16	7,26	9,31	23,54	26,3
18	9,39	10,86	25,99	28,87
20	10,85	12,44	28,41	31,41
25	14,61	16,47	34,38	37,65
30	18,49	20,6	40,26	43,77
40	26,51	29,05	51,8	55,76
50	34,76	37,69	63,17	67,5
60	43,19	46,46	74,4	79,08
70	51,74	55,33	85,53	90,53
80	60,39	64,28	96,58	101,88
90	69,13	73,29	107,56	113,14
100	77,93	82,36	118,5	124,34

(Sumber: Shahin, 1976)

Urutan pemeriksaan kesesuaian distribusi adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan dari kecil ke besar atau sebaliknya.
2. Kelompokkan data pengamatan menjadi beberapa “k” kelas interval.
3. Catat frekuensi data pengamatan pada setiap interval (O_f)
4. Hitung frekuensi kejadian yang diharapkan, sesuai pembagian kelasnya (E_f).
5. Hitung nilai X^2
6. Tetapkan nilai derajat kebebasan (DK)

7. Tetapkan tingkat kepercayaan
8. Cari X^2 kritis pada tabel harga kritis *Chi-Square*
9. Bandingkan X^2 hitungan dengan X^2 kritis, bila X^2 hitungan $< X^2$ kritis, berarti metode distribusi yang diperiksa dapat diterima.

2. Metode *Smirnov Kolmogorof*

Uji *Smirnov Kolmogorof* digunakan untuk pengujian kecocokan distribusi dapat dilakukan lebih sederhana dengan membandingkan probabilitas untuk semua varian, dari distribusi empiris dan teoritisnya akan terdapat perbedaan (α) tertentu (Sri Harto, 1983). Berdasarkan persamaan *Smirnov Kolmogorof* :

$$\alpha = P\{ \max |P(X) - P(X_i)| \} \Delta_{cr}$$

Apabila nilai Δ max yang terbaca pada kertas kemungkinan (Δ cr yang didapat dari tabel Δ kritis untuk Tes *Smirnov Kolmogorof*). Untuk derajat nyata (*level of significance*) dan banyaknya varian yang tertentu, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi hanya karena kesalahan – kesalahan yang terjadi secara kebetulan (*bye chance*). Urutan test ini adalah sebagai berikut :

1. Susun data curah hujan harian rerata tiap tahun dari kecil ke besar atau sebaliknya.
2. Hitung probabilitas untuk masing – masing data hujan dengan persamaan *Weibull* sebagai berikut :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.22)$$

Dengan:

P = Probabilitas (%).

m = Nomor urut data dari seri data yang telah disusun.

n = Banyak data.

3. Gambarkan (*plot*) distribusi empiris maupun distribusi teoritis pada probabilitas yang sesuai.
4. Kemudian cari harga mutlak perbedaan maksimum antara distribusi (P empiris) dengan distribusi teoritis (P teoritis).
5. Δ Maks = maksimum | P teoritis – P empiris |.
6. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov Kolmogorof test*) tentukan nilai Δ kritis.
7. Apabila Δ Maks $\leq$ Δ kritis, maka distribusi teoritisnya dapat diterima dan bila terjadi sebaliknya maka distribusi teoritisnya tidak dapat diterima.

Tabel 2.7. Nilai Delta Kritis (Δ_{cr}) untuk Uji *Smirnov – Kolmogorof*

α n	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,67
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$n > 50$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

(Sumber : *Shahin*, 1976).

2.5.2. Intensitas Hujan

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

Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periodenya makin tinggi pula

intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) (Suryono Sosrodarsono, 1986) digunakan rumus pendekatan Mononobe sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan :

I = intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} = hujan harian rencana (mm)

T = lamanya hujan

Untuk mendapatkan persamaan lengkung IDF dipakai cara kuadrat terkecil (*lest square*) dari tiga jenis metode yang umum dipakai yaitu : Metode Talbot, Metode Sherman dan Metode Ishiguro :

1. Metode Talbot (1881)

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan :

$$a = \frac{[It][I^2] - [I^2t][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][It] - N[I^2t]}{N[I^2] - [I][I]}$$

2. Metode Sherman (1905)

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan :

$$\text{Log } a = \frac{[\text{log } I][(\text{log } t)^2] - [\text{log } t \text{ log } I][\text{log } t]}{N[\text{log } t^2] - [\text{log } t][\text{log } t]}$$

3. Metode Ishiguro (1953)

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \dots \dots \dots (2.26)$$

Dengan :

$$a = \frac{[I\sqrt{t}][I^2] - [I^2\sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][I\sqrt{t}] - N[I^2\sqrt{t}]}{N[I^2] - [I][I]}$$

Besarnya deviasi rata – rata dari ketiga jenis rumus harus dihitung untuk mengetahui metode (jenis rumus) yang memberikan hasil yang optimum sebagai rumus persamaan kurva lengkung IDF.

2.6. Analisis Debit Banjir Rancangan

Menurut Departemen PU (1986), angka periode ulang yang digunakan untuk bangunan air atau sungai adalah :

1. Tubuh bendungan	: 1000	th
2. Pelimpah bendungan	: 100	th
3. Cover DAM pada bendungan	: 20	th
4. Bendung sungai besar sekali	: 100	th
5. Bendung sungai sedang	: 50	th
6. Bendung sungai kecil	: 25	th
7. Tanggul sungai besar/ daerah penting	: 25	th
8. Tanggul sungai kecil/ daerah tidak penting	: 10	th
9. Jembatan jalan penting	: 25	th
10. Jembatan jalan tidak penting	: 10	th
11. Drainase perkotaan	: 5	th

Banjir rancangan adalah debit maksimum di sungai atau saluran dengan periode ulang yang sudah ditentukan. Banjir yang terjadi dapat dialirkan tanpa membahayakan stabilitas bangunan. Analisis curah hujan rancangan dari data curah hujan harian maksimum dapat dihitung besarnya debit banjir rancangan dengan kala ulang 5, 10, 25, 50. Analisis debit banjir rancangan dibedakan antara banjir di sungai dan banjir pada saluran drainase.

Berdasarkan alternatif jaringan drainase terpilih dilakukan perhitungan debit banjir rencana. Untuk saluran sekunder digunakan intensitas hujan dengan periode ulang 5 tahun, sedangkan untuk saluran tersier menggunakan periode ulang 2 tahun. Perhitungan kapasitas saluran tersebut dilakukan dengan memperhatikan koefisien kekasaran manning, bentuk penampang saluran, prinsip saluran terbuka yang didasarkan pada skema sistem jaringan. Parameter yang menentukan dalam perhitungan debit adalah sebagai berikut:

1. Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran merupakan daerah cakupan hujan yang terjadi di dalam daerah pengaliran. Penentuan daerah pengaliran sangat tergantung dari kontur permukaan.

2. Intensitas Hujan

Intensitas hujan yaitu ketinggian curah hujan yang terjadi persatuan waktu, dimana air tersebut terkonsentrasi.

3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variable yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut.

2.6.1. Analisis Koefisien *Run – Off*

Koefisien pengaliran dari suatu bidang tanah/suatu daerah tergantung dari tata guna tanah, kepadatan penduduk, struktur geologi tanah. Besarnya koefisien pengaliran rata – rata suatu daerah dapat dihitung sebagai berikut:

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \dots \dots \dots (2.27)$$

Keterangan:

C = koefisien pengaliran

A = luas wilayah pengaliran

Sedangkan penentuan koefisien Run-Off campuran untuk kawasan dapat dengan menggunakan persamaan:

$$C_n = C_0 + N(1 - C_0)$$

Dengan:

C_n = Koef. *Run off* saat ini

C₀ = Koef. *Run off* awal; untuk daerah studi diambil = 0,05

N = presentase lahan yang tidak tertutup bangunan

2.6.2. Limpasan

Limpasan adalah apabila intensitas yang jatuh di suatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan pada permukaan tanah. Atau limpasan permukaan terjadi ketika laju hujan lebih besar daripada laju infiltrasi dan persamaan limpasan selalu dikembangkan berdasarkan pada kondisi tersebut (Asdak, 2010).

Setelah cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir (melimpas) di atas permukaan tanah. Faktor yang menyebabkan limpasan dan genangan air hujan dipengaruhi lima hal yaitu intensitas curah hujan, jenis tutupan

lahan, kemiringan lereng, jenis tanah dan kerapatan aliran.

Beberapa variabel yang ditinjau dalam analisis banjir adalah volume banjir, debit puncak, tinggi genangan, lama genangan dan kecepatan aliran. Komponen limpasan terdiri dari:

a. Aliran Permukaan

Aliran Permukaan (*surface flow*) adalah bagian dari air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan tanah. Aliran permukaan disebut juga aliran langsung (*direct runoff*). Aliran permukaan dapat terkonsentrasi menuju sungai dalam waktu singkat, sehingga aliran permukaan merupakan penyebab utama terjadinya banjir.

b. Aliran Antara

Aliran antara (*interflow*) adalah aliran dalam arah lateral yang terjadi di bawah permukaan tanah. Aliran antara terdiri dari gerakan air dan lensa tanah secara lateral menuju elevasi yang lebih rendah.

c. Aliran Air Tanah

Aliran air tanah adalah aliran yang terjadi di bawah permukaan air tanah ke elevasi yang lebih rendah yang akhirnya menuju sungai atau langsung ke laut.

2.6.3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut (Soemarto, 1987). Kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Keadaan hujan
2. Luas dan bentuk daerah
3. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
4. Daya infiltrasi dan perlokasi tanah
5. Kebasahan tanah
6. Suhu udara dan angin serta evaporasi dan
7. Tata guna tanah

Koefisien pengaliran yang disajikan pada tabel sebagai berikut, didasarkan dengan suatu pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor fisik.

Tabel 2.8. Angka Koefisien Pengaliran

Kondisi DAS	Koef. Pengaliran (C)
Pegunungan curam	0,75 - 0,90
Pegunungan tersier	0,70 - 0,80
Tanah berelief berat dan berhutan kayu	0,50 - 0,75
Dataran pertanian	0,45 - 0,60
Dataran sawah irigasi	0,70 - 0,80
Sungai di pegunungan	0,75 - 0,85
Sungai di dataran rendah	0,45 - 0,75
Sungai besar yang sebagian alirannya berada di dataran rendah	0,50 - 0,75

(Sumber : Soemarto, 1987).

Kemudian Dr. Kawakami menyusun sebuah rumus yang mengemukakan bahwa untuk sungai tertentu koefisien itu tidak tetap, tetapi berbeda – beda tergantung curah hujan.

$$f = 1 - R'/Rt = 1 - f^1 \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan:

f = koefisien pengaliran

- f^l = laju kehilangan = t / R^S
 R_t = jumlah curah hujan (mm)
 R' = kehilangan curah hujan
 t, s = tetapan

2.6.4. Metode Rasional

Metode rasional digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan pada daerah tangkapan aliran (DTA) kecil. Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun terbatas untuk DTA dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Suripin, 2004).

Metode ini digunakan untuk daerah aliran sungai kecil (sekitar 1000 sampai 5000 hektar) dan diasumsikan bahwa curah hujan turun dengan intensitas konstan dan seragam di semua cekungan (A. Majidi, 2012).

Rumus ini banyak digunakan untuk sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit dan merupakan rumus tertua yang dan paling populer di antara rumus empiris lainnya.

Bentuk umum rumus rasional ini adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,002778 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan:

Q = Debit puncak ($m^3/detik$)

F = Koefisien satuan luas, jika luas lahan dalam Ha maka $F = 0,00278$, jika luas lahan are maka $F = 1$

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah (hektar)

2.6.5. Hidrograf Satuan Nakayasu

Penggunaan metode Hidrograf Satuan Sinetik Nakayasu, diperlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya seperti:

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*).
2. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time log*).
3. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hidrograph*).
4. Luas daerah aliran.
5. Panjang aliran sungai utama terpanjang (*lengh of the longest channel*).
6. Koefisien pengaliran.

Menurut (Soemarto, 1987) persamaan umum hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut dan dikoreksi untuk nilai waktu puncak banjir dikalikan 0,75 dan debit puncak banjir dikalikan 1,2 untuk penyesuaian dengan kondisi di Indonesia. Rumus dari hidrograf satuan Nakayasu adalah:

$$Qp = \frac{1,2 \times A \times Ro}{3,6 \times (0,3T_p + T_{3,0})} \dots \dots \dots (2.30)$$

Dengan:

Qp = Debit puncak banjir (m^3 / det)

Ro = Hujan satuan (mm)

Tp = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak.

$Tp = Tg + 0,8 Tr$

$Tg = 0,21 \times L^{0,7} \rightarrow L < 15 \text{ km}$

$$T_g = 0,4 + 0,058 \times L \rightarrow L < 15 \text{ km}$$

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g$$

Dengan:

L = Panjang alur sungai (km)

T_g = Waktu konsentrasi (jam)

T_r = Satuan waktu hujan diambil 1 jam

α = Untuk daerah pengaliran biasa diambil nilai 2

Persamaan satuan hidrograf adalah:

1. Pada waktu naik:

$$- 0 \leq t \leq T_p$$

$$Qt = Q_{maks} \times \left[\frac{t}{T_p} \right]^{2,4} \dots\dots\dots (2.31)$$

2. Pada kurva turun:

$$- 0 \leq \tau \leq (T_p + T_{0,3})$$

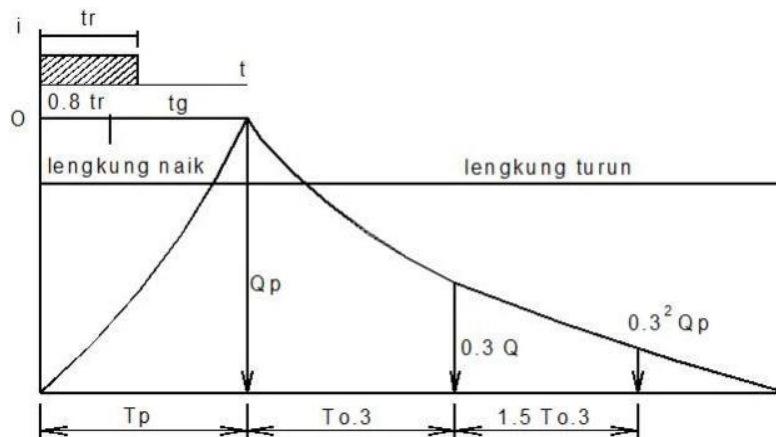
$$Qt = Q_p \times 0,3^{\left(\frac{t-T_p}{T_{0,3}} \right)} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$- (T_p + T_{0,3} \leq (T_p + T_{0,3} + T_{0,3}))$$

$$Qt = Q_p \times 0,3^{\left(\frac{t-T_p+T_{0,3}}{1,5T_{0,3}} \right)} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$- (T_p + T_{0,3} \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}))$$

$$Qt = Q_p \times 0,3^{(t-)} \dots\dots\dots (2.34)$$



Gambar 2.5. Hidrograf Satuan Nakayasu

(Sumber: Soemarto, 1987)

2.7. Dimensi Saluran

Dimensi saluran adalah suatu tempat lain melalui bangunan pembawa alamiah maupun buatan manusia. Bangunan pembawa ini dapat terbuka maupun tertutup bagian atasnya. Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka bagian atasnya disebut saluran terbuka (*open channels*). Pada sistem pengaliran melalui saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (*free surface*) di mana permukaan bebas ini dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung, saluran terbuka umumnya digunakan pada lahan yang masih memungkinkan (luas), lalu lintas pejalan kakinya relatif jarang, beban kiri dan kanan saluran relatif ringan. Pada sistem pengaliran melalui saluran tertutup (pipa flow) seluruh pipa diisi dengan air sehingga tidak terdapat permukaan yang bebas, oleh karena itu permukaan tidak secara langsung dipengaruhi oleh tekanan udara luar, saluran tertutup umumnya digunakan pada daerah yang lahannya terbatas (pasar, pertokoan), daerah yang lalu lintas pejalan kakinya relatif padat, lahan yang dipakai untuk lapangan parkir (Suripin, 2004).

Berdasarkan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasarnya saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi: - Saluran prismaatik (*prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya tetap. Contoh: saluran drainase, saluran irigasi. - Saluran non prismaatik (*non prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya berubah. Aliran pada saluran terbuka terdiri dari saluran alam (*natural channel*), seperti: sungai kecil di daerah hulu (pegunungan) hingga sungai besar dimuara, dan saluran buatan (*artificial channel*), seperti saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk *supply* air minum, dan saluran banjir. Saluran buatan dapat berbentuk segitiga, trapesium.

2.7.1. Penampang Saluran

Penampang hidrolik terbaik adalah penampang yang mempunyai keliling basah terkecil pada luas penampang tertentu yang akan memberikan aliran yang maksimum atau penampang saluran yang memberikan luas penampang aliran (penampang basah) terkecil pada debit aliran tertentu dimana bentuk penampang saluran akan dapat berpengaruh terhadap besarnya debit aliran yang dapat diangkut atau dialirkan oleh saluran (Suripin, 2004).

Disamping untuk meningkatkan kapasitas saluran, bentuk penampang saluran juga dapat disesuaikan dengan fungsi saluran tersebut dibuat. Adapun bentuk saluran yang dikaitkan dengan fungsi saluran adalah sebagai berikut:

1. Bentuk penampang persegi panjang apabila dilihat pada bagian dinding saluran

dapat digunakan sebagai dinding penahan serta ruang untuk saluran sangat terbatas.

2. Bentuk penampang lingkaran atau parabola, walaupun pembuatannya relatif agak sulit tetapi apabila dilihat dari fungsi saluran cukup efektif untuk mengalirkan bahan endapan, serta adanya fluktuasi debit aliran atau untuk mengalirkan air limbah.
3. Bentuk penampang tersusun dibuat apabila lahan terbatas untuk saluran atau fungsi saluran mengalirkan air limbah dan air hujan (tercampur). Penampang tersusun dapat dibuat kombinasi antara empat persegi panjang dengan setengah lingkaran atau persegi panjang dengan segitiga dibagian bawah dan sebagainya.

Pemilihan bentuk penampang saluran dalam praktek harus dilakukan sedemikian rupa sehingga sedapat mungkin dipenuhi aspek ekonomis penampang saluran dalam arti kata dengan luas penampang tertentu mampu mengalirkan debit air sebanyak-banyaknya (maksimum), selain juga melihat fungsi saluran, misalnya apabila saluran untuk mengalirkan endapan (Chow, 1959).

2.7.2. Kekasaran Dinding Saluran

Seorang insinyur Irlandia bernama Robert Manning (1889) mengemukakan sebuah rumus kecepatan yaitu sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dengan:

R = Jari – jari hidrolik (m)

V = Kecepatan aliran (m/dt)

I = Kemiringan memanjang dasar saluran

n = Koefisien kekasaran menurut manning yang besarnya tergantung dari bahan dinding yang dipakai.

Apabila bentuk rumus Manning diubah menjaadi rumus Chezy maka besarnya C adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dengan:

C = Koefisien *Chezy*

R = Jari – jari hidrolis (m)

n = Koefisien kekasaran menurut manning

Menurut Chow (1989), faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran Manning antara lain:

Kekasaran permukaan, yang ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Secara umum dikatakan bahwa butiran halus menyebabkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi. Tumbuhan yang juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.

Ketidakteraturan saluran, yang mencakup pula ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran. Secara umum perubahan lambat laun dan teratur dari penampang ukuran dan bentuk tidak terlalu mempengaruhi nilai n , tetapi perubahan atau peralihan dari penampang kecil ke besar memerlukan penggunaan nilai n yang besar.

Trase Saluran, dimana kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, sedangkan

kelengkungan yang tajam dengan belokan yang patah akan memperbesar nilai n . Pengendapan dan penggerusan. Secara umum pengendapan dapat mengubah saluran yang sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan dan memperkecil n , sedangkan penggerusan dapat berakibat sebaliknya dan memperbesar n . Namun efek utama dari pengendapan akan tergantung dari sifat alamiah bahan yang diendapkan. Hambatan, berupa balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya yang cenderung memperbesar nilai n .

Nilai yang berupa koefisien atau angka (jari–jari) kekasaran dinding akan sangat berpengaruh pada besarnya kecepatan aliran dan akan berpengaruh terhadap besarnya debit aliran. Semakin kasar dinding akan semakin besar nilai kekasaran dinding dan menghasilkan debit aliran yang semakin kecil dan juga sebaliknya semakin halus dinding akan menghasilkan debit aliran yang semakin tinggi.

2.7.3. Kapasitas Saluran

Perhitungan hidraulika digunakan untuk menganalisa dimensi penampang berdasarkan kapasitas maksimum saluran. Penentuan dimensi saluran baik yang ada (eksisting) atau yang direncanakan, berdasarkan debit maksimum yang akan dialirkan (Suripin, 2004).

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q_{sal} = A \cdot V$$

Dengan:

$$Q_{sal} = \text{Debit banjir rancangan (m}^3/\text{dt)}$$

$$A = \text{Luas penampang (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{Kecepatan rata - rata}$$

Dengan

$$A = B \cdot h$$

$$P = B + 2h$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Dengan:

B = Lebar dasar saluran (m)

P = Keliling basah saluran (m)

h = Tinggi muka air (m)

R = Jari – jari hidraulik (m)

Tabel 2. 9. Tinggi Jagaan untuk Saluran Pasangan

No	Debit (M ³ /dt)	Tinggi Jagaan (m)
1	< 0,5	0,15
2	0,5 - 1,5	0,20
3	1,5 - 5,0	0,25
4	5 - 10,0	0,30
5	10 - 5	0,40
6	> 15	0,50

(Sumber : *Standar Perencanaan, KP – 0,3 ,1986*)

2.7.4. Pemodelan HEC – RAS

Menurut Istiarto (2014), HEC-RAS merupakan aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System* (RAS), *software* ini dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institut for Water Resources* (IWR). HEC-RAS merupakan *software* satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one- dimensional flow model*), HEC-RAS memiliki empat komponen analisa hidraulika satu dimensi untuk :

- hitungan profil muka air aliran permanen,
- simulasi aliran tak permanen,

- c. hitung transport sedimen,
- d. hitungan kualitas air.

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut menggunakan data geometri yang sama, hitungan hidraulika yang sama. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan, Istiarto (2014).

1. Graphical User Interface

Interface berfungsi sebagai penghubung antara pemakai dan HEC-RAS. *Graphical interface* dibuat untuk memudahkan pemakai HEC-RAS dengan tetap mempertahankan efisiensi. Melalui *graphical interface* ini, dimungkinkan untuk melakukan hal-hal berikut ini dengan mudah:

- a. Manajemen file
- b. Input dan edit data
- c. Melakukan analisis hidraulik
- d. Menampilkan data masukan dan hasil analisis dalam bentuk tabel dan grafik
- e. Penyusunan laporan
- f. Mengakses *on-line help*

2. Analisa Hidraulik

Berdasarkan karakter sungai, maka analisa akan dilakukan untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah lambat laun, program mampu memodelkan jaringan sungai. Aliran yang dapat dimodelkan adalah aliran sub-kritis, super-kritis, maupun gabungan dari kedua aliran tersebut. Selain itu, *software*

ini mampu mensimulasikan aliran tak permanen satu dimensi pada sungai yang memiliki alur kompleks.

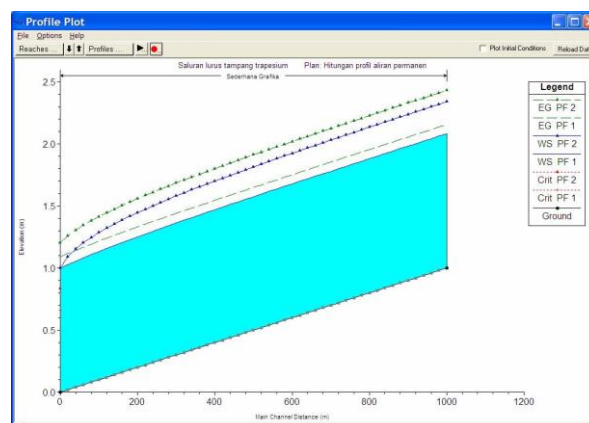
3. Manajemen dan Penyimpanan Data

Data masukan dari pengguna HEC-RAS disimpan ke dalam file dan dikelompokkan menjadi : *plan*, *geometry*, *steady flow*, *unsteady flow*, *project* dan *sediment* data. Hasil dari program akan disimpan ke dalam *binary file*.

4. Grafik dan Pelaporan

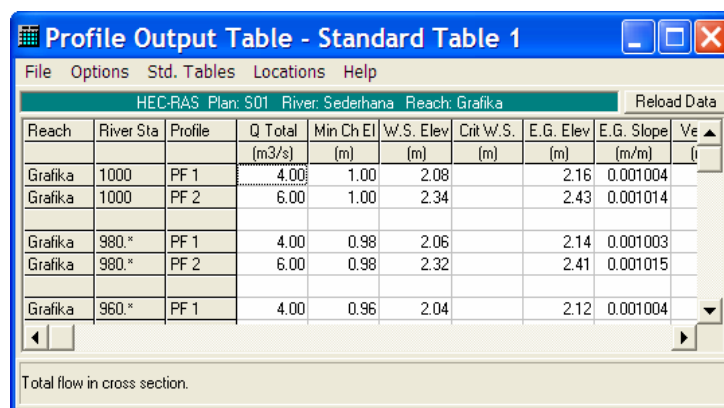
Software ini menyediakan pola fitur plot 3D beberapa tampang lintang sekaligus. Hasil dari program dapat ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel. Grafik dan tabel tersebut dapat ditampilkan di layar, dicetak, atau disalin ke *clipboard* untuk dimasukkan ke dalam program aplikasi lain. Fasilitas ini dapat berupa pencetakan data masukan dan keluaran hasil pada *printer* atau *plotter*. HEC-RAS menampilkan hasil hitungan dalam bentuk grafik atau tabel.

Presentasi dalam bentuk grafik dipakai untuk menampilkan tampang lintang di suatu *River Reach*, tampang panjang (profil muka air sepanjang alur), kurva ukur debit, gambar perspektif alur, atau hidrograf.



Gambar 2.6. Hasil Perhitungan Profil Muka Air (Contoh)
(Sumber : Isiarito, 2014)

Sedangkan untuk presentasi dalam bentuk tabel dipakai untuk menampilkan hasil rinci berupa angka (nilai) variabel di lokasi/titik tertentu atau di sepanjang alur. Pada setiap layar tampilan hasil hitungan/simulasi disediakan menu *Options*. Menggunakan menu ini untuk mengatur tampilan. Pengguna dapat memilih plan, parameter, variabel, ruas sungai yang ditampilkan.



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vc (m/s)
Grafika	1000	PF 1	4.00	1.00	2.08		2.16	0.001004	
Grafika	1000	PF 2	6.00	1.00	2.34		2.43	0.001014	
Grafika	980.*	PF 1	4.00	0.98	2.06		2.14	0.001003	
Grafika	980.*	PF 2	6.00	0.98	2.32		2.41	0.001015	
Grafika	960.*	PF 1	4.00	0.96	2.04		2.12	0.001004	

Total flow in cross section.

Gambar 2.7. Tabel Hasil Hitungan di Seluruh Alur Saluran (Contoh)
(Sumber : *Isiarto, 2014*)

