BAB II
LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Drainase

2.1.1 Definisi Drainase

Drainase yang berasal dari Bahasa Inggris, yaitu *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum, drainase dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu. (Suripin, 2004).

Drainase merupakan suatu sistem saluran yang digunakan untuk mengalihkan atau memindahkan kelebihan aliran air ke suatu kawasan atau tempat penampungan air. Kelebihan air ini dapat terjadi karena intensitas hujan yang tinggi atau durasi hujan yang lama. Selain untuk mengalirkan air drainase juga berfungsi sebagai pengontrol kualitas air tanah. Sistem drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal (Suripin, 2004).

Selain itu, drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah.

Sesuai dengan prinsip sebagai jalur pembuangan maka pada waktu hujan, air yang mengalir di permukaan diusahakan secepatnya dibuang agar tidak menimbulkan genangan yang dapat mengganggu aktivitas dan bahkan dapat menimbulkan kerugian *(R. J. Kodoatie, 2005)*

Adapun fungsi drainase menurut R. J. Kodoatie adalah:

a. Membebaskan suatu wilayah (terutama yang padat dari permukiman) dari genangan air, erosi, dan banjir.
b. Karena aliran lancar maka drainase juga berfungsi memperkecil resiko kesehatan lingkungan bebas dari malaria (nyamuk) dan penyakit lainnya.
c. Kegunaan tanah permukiman padat akan menjadi lebih baik karena terhindar dari kelembaban.
d. Dengan sistem yang baik tata guna lahan dapat dioptimalkan dan juga memperkecil kerusakan-kerusakan struktur tanah untuk jalan dan bangunan lainnya.

Bangunan dari sistem drainase pada umumnya terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan air penerima (*receiving waters*).

2.1.2 Jenis Drainase

Drainase dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu (Wesli, 2008) :

a) Menurut sejarah terbentuknya
   1) Drainase alamiah *(Natural Drainage)*
      Drainase alamiah adalah sistem drainase yang terbentuk secara alami dan tidak ada unsur campur tangan manusia.

   2) Drainase buatan *(Artificial Drainage)*
      Drainase alamiah adalah sistem drainase yang dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, dan dimensi saluran.

b) Menurut letak saluran
   1) Drainase permukaan tanah (*Surface Drainage*)
      Drainase permukaan tanah adalah saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open channel flow.*

2) Drainase bawah tanah (*Sub Surface Drainage*)

Drainase bawah tanah adalah saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan tersebut antara lain tuntutan artistik, tuntutan fungsi per permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman, dan lain-lain.

c) Menurut jenis konstruksi

1) Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah sistem saluran yang biasanya direncanakan hanya untuk menampung dan mengalirkan air hujan (sistem terpisah), namun kebanyakan sistem saluran ini berfungsi sebagai saluran campuran. Pada pinggiran kota, saluran terbuka ini biasanya tidak diberi lining (lapisan pelindung). Akan tetapi saluran terbuka di dalam kota harus diberi lining dengan beton, pasangan batu (masonry) ataupun dengan pasangan bata.

2) Saluran Tertutup

Saluran tertutup adalah saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Sistem ini cukup bagus digunakan di daerah perkotaan terutama dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi seperti kota Metropolitan dan kota-kota besar lainnya.

d) Menurut fungsi

1) Single Purpose

Single purpose adalah saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan saja.

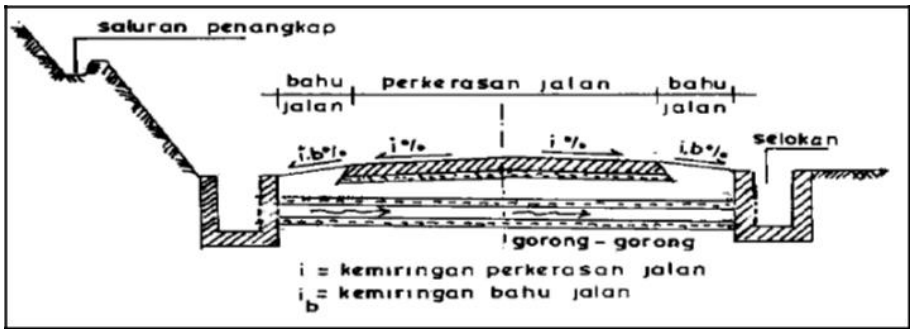
2) Multy Purpose

Multy purpose adalah saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian. (H.A Halim Hasmar.2011)

e) Menurut Tujuannya

1) Drainase Jalan Raya

Drainase jalan merupakan prasarana yang dapat bersifat alami ataupun buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun bawah tanah, biasanya menggunakan bantuan gaya gravitasi, yang terdiri atas saluran samping dan goronggorong ke badan air penerima atau tempat peresapan buatan (contoh: sumur resapan air hujan atau kolam drainase tampungan sementara) (Pedoman Perencanaan Drainase Jalan, 2006). Adapun sistem drainase permukaan jalan ditampilkan pada gambar 2.1 berikut.



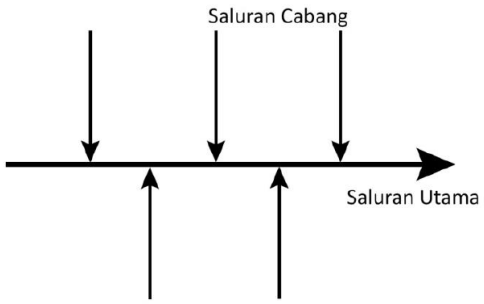
Gambar 2.1. Sistem Drainase Permukaan Jalan
(*Sumber:* Pedoman Perencanaan Drainase Jalan, 2006)

2.1.3 Pola Jaringan Drainase

Dalam perencanaan sistem drainase suatu kawasan harus memperhatikan pola jaringan drainasenya.Pola jaringan drainase pada suatu kawasan atau wilayah tergantung dari topografi daerah dan tata guna lahan kawasan tersebut. Adapun tipe atau jenis pola jaringan drainase sebagai berikut (Wesli, 2008):

1. Jaringan Drainase Siku

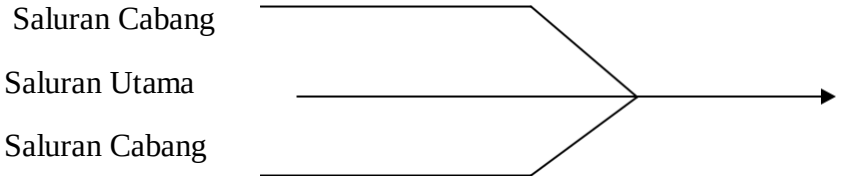
Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai pembuang akhir berada di tengah kota.



Gambar 2.2 Pola Jaringan Drainase Siku

2. Jaringan Drainase Paralel

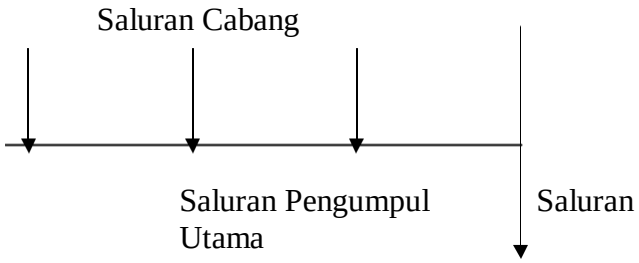
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan menyesuaikan.



Gambar 2.3 Pola Jaringan Drainase Paralel

3. Jaringan Drainase Grid Iron

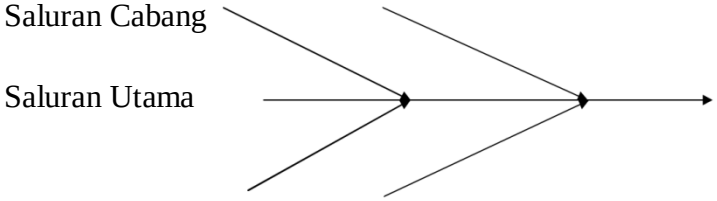
Untuk daerah dimana sungai terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2.4 Pola Jaringan Drainase Grid Iron

4. Jaringan Drainase Alamiah

Sama seperti pola siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar.

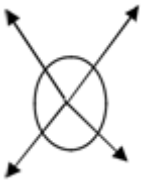


Saluran Cabang

Gambar 2.5 Pola Jaringan Drainase Alamiah

5. Jaringan Drainase Radial

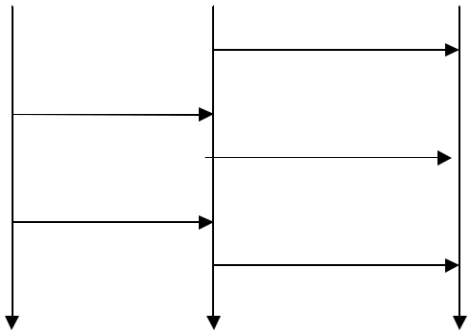
   Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.



Gambar 2.6 Pola Jaringan Drainase Radial

6. Jaringan Drainase Jaring-Jaring

   Mempunyai saluran-saluran pembuang yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.



Gambar 2.7 Pola Jaringan Drainase Jaring-Jaring

2.1.4. Perencanaan Saluran Drainase

Saluran drainase harus direncanakan untuk dapat melewatkan debit rencana dengan aman. Perencanaan teknis saluran drainase menurut Suripin mengikuti

tahapan-tahapan meliputi: menentukan debit rencana, menentukan jalur saluran, merencanakan profil memanjang saluran, merencanakan penampang melintang saluran, mengatur dan merencanakan bangunan-bangunan serta fasilitas sistem drainase.

2.2 Analisis Hidrologi

Untuk melakukan perencanaan drainase diperlukan penggunaan metode yang tepat. Ketidaksesuaian dalam penggunaan metode dapat mengakibatkan hasil perhitungan tidak tepat digunakan pada kondisi yang sebenarnya. Analisis hidrologi merupakan faktor yang paling berpengaruh untuk merencanakan besarnya sarana penampungan dan pengaliran. Hal ini diperlukan untuk dapat mengatasi aliran permukaan yang terjadi agar tidak mengakibatkan terjadinya genangan.

a. Hujan

Hujan adalah jatuhnya hidrometeor yang berupa partikel partikel air dengan diameter 0.5 mm atau lebih. Jika jatuhnya sampai ke tanah maka disebut maka jatuhan tersebut disebut Virga (Tjasyono, 2006). Hujan juga dapat didefinisikan dengan uap yang mengkondensasi dan jatuh ketanah dalam rangkaian proses hidrologi. Hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi uap air yang berasal dari awan yang terdapat di atmosfer. Bentuk presipitasi lainnya adalah salju dan es. Untuk dapat terjadinya hujan diperlukan titik-titik kondensasi, amoniak, debu dan asam belerang. Titik-titik kondensasi ini mempunyai sifat dapat mengambil uap air dari udara. Satuan curah hujan selalu dinyatakan dalam satuan millimeter atau inchi namun untuk di Indonesia satuan curah hujan yang digunakan adalah dalam satuan millimeter.

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan 1 milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Intensitas hujan

adalah banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu. Apabila dikatakan intensitasnya besar berarti hujan lebat dan kondisi ini sangat berbahaya karena berdampak dapat menimbulkan banjir, longsor dan efek negatif terhadap tanaman.

Analisis dan desain hidrologi tidak hanya memerlukan volume atau ketinggian hujan, tetapi juga distribusi hujan terhadap tempat dan waktu. Distribusi hujan terhadap waktu disebut *hitograph.* Dengan kata lain, hitograph adalah grafik intensitas hujan atau ketinggian hujan terhadap waktu. Kejadian hujan dapat dipisahkan menjadi dua grup, yaitu hujan actual dan hujan rencana. Kejadian hujan aktual adalah rangkaian data pengukuran di stasiun hujan selama periode tertentu. Hujan rencana adalah *hitograph* hujan yang mempunyai karakteristik terpilih. Hujan rencana bukan kejadian hujan yang diukur secara aktual dan kenyataannya, hujan yang identik dengan hujan rencana tidak pernah dan tidak akan pernah terjadi. Namun demikian, kebanyakan hujan reneana mempunyai karakteristik yang secara umum sama dengan karakteristik hujan yang terjadi pada masa lalu, Dengan demikian, menggambarkan karakteristik umum kejadian hujan yang diharapkan terjadi pada masa mendatang.

Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perencanaan hidrologi rneliputi :

1. Intensitas I, adalah laju hujan air persatuan waktu, rnisalnya mm/menit, mm/jam, atau mm/hari.
2. Lama waktu (durasi) t, adalah panjang waktu dimana hujan turun dalam menit atau jam.
3. Tinggi hujan d, adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan dan, dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm.
4. Frekuensi adalah frekuensi kejadian dan biasanya dinyatakan dengan kala ulang *(return period)* T, misalnya sekali dalam 2 tahun,
5. Luas adalah luas geografis daerah sebaran hujan.

2.2.1 Curah Hujan

Perhitungan debit hujan untuk saluran drainase di sebuah kawasan seperti contoh perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Dalam perencanaan saluran drainase menggunakan standar yang telah ditetapkan yaitu analisis yang digunakan, debit rencana, struktural saluran dan lain-lain. Adapun penentuan kriteria desain saluran hidrologi sistem perkotaan yang dilampirkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1. Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan

Luas DAS (ha)	Periode ulang (tahun)	Metode perhitungan debit hujan
< 10	2	Rasional
10 – 100	2 – 5	Rasional
101 – 500	5–20	Rasional
> 500	10-25	Hidrograf satuan

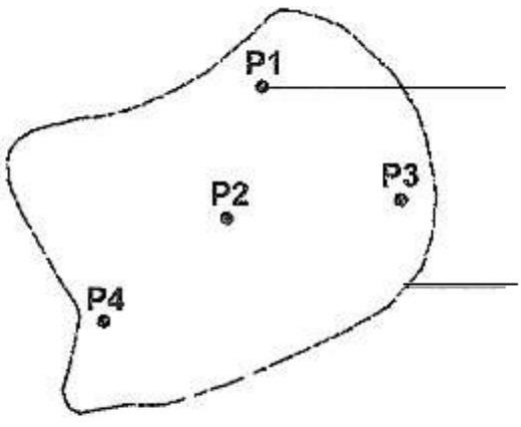
(Sumber: Suripin, 2004)

Ada 3 (tiga) macam metode yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada areal tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat. (Soemarto, CD. 1995)

Dalam penelitian ini penulis menggunakan beberapa data curah hujan. Data yang digunakan merupakan data curah hujan dari pos penakar hujan di sekitar kawasan Kampus ITERA yaitu dari berbagai stasiun penakar hujan yakni Stasiun Pahoman (PH 001), Stasiun Penakar Hujan Sukarame (PH 003), Stasiun Negara Ratu (PH 033), dan Stasiun Way Galih (PH 035) dengan periode 10 tahun dari Januari 2010 hingga Desember 2019.

Ada tiga metode yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata daerah, yaitu :

1. Metode Rata - Rata Aljabar



Batas DAS

Gambar 2.8 Metode rata - rata Aljabar
(Sumber:Suripin, 2004)

Merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata/ hampir merata, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Hujan kawasan diperoleh dari persamaan berikut :

$$R_{rata-rata} = \frac{(R_1 + R_2 + ..+ R_n)}{n} \quad (2.1)$$

Dimana:

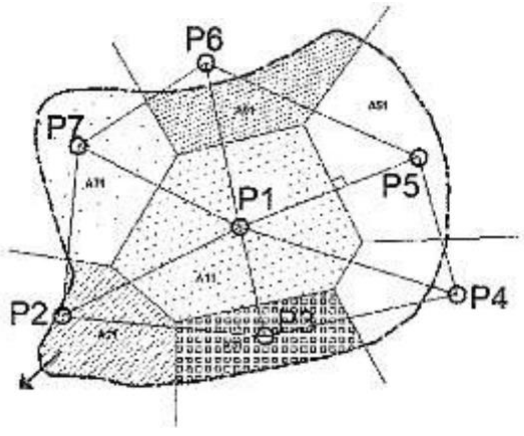
$R_{rata-rata}$ = Hujan rata-rata DAS/*catchment area* (mm)

R_1, R_2, Rn = Hujan yang tercatat di stasiun 1,2,n (mm)

n = Jumlah stasiun hujan

2. Metode Poligon Thiessen

Metode ini dikenal juga sebagai metode rata rata timbang *(weighted mean)*. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidak seragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat (Gambar 2.9). Diasumsikan bahwa fariasi hujan antara pos satu dengan yang lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat.



Gambar 2.9 Metode Poligon Thiessen
(Sumber:Suripin, 2004)

Hasil metode poligon Thiessen lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 - 5.000 km^2, dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya.

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS. Antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.
2. Tarik garis tegak lurus ditengah-tengah tiap gans penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya curah hujan pada pos tersebut dianggap representas hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
3. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS, A, dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.
4. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P = \frac{P1A1+P2A2+P3A3+\cdots+PnAn}{A1+A2+A3+\cdots+An} \quad (2.2)$$

Keterangan :

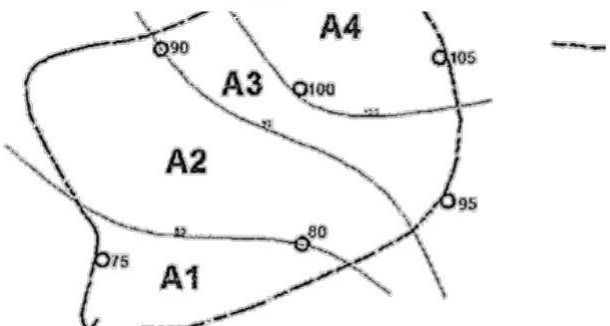
P = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

n = Jumlah pos penakar hujan

$PI,P2,...,P_n$ = Curah hujan yang tercatat pada pos 1,2,... ,n (mm)

$A_1, A_2,...,A_n$ = Luas daerah pada poligon 1,2,... ,n (km^2)

3. . Metode Isohiet



Gambar 2.10 Metode Isohiet
(Sumber:Suripin, 2004)

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Dengan kata lain, asumsi metode Thiessen yang secara membabi buta menganggap bahwa tiap-tiap pos penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi.

Metode Isohiet terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut :

1. Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
2. Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air yang sama. Interval Isohiet yang umum dipakai adalah 10 mm.
3. Hitung luas area antara dua garis Isohiet dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua Isohiet yang berdekatan

Tabel 2.2 Pemilihan Metode Curah Hujan

Faktor	Syarat – Syarat	Jenis Metoda
Jaring – 12arring pos penakar hujan dalam	Jumlah pos penakar hujan cukup	Metode Isohiet, Metode Thiessen, atau Metode Rerata Aljabar
	Jumlah penakar hujan	Metode Rerata Aljabar

DAS	terbatas	atau Metode Thiessen
	Pos penakar hujan tunggal	Metode Hujan titik
Luas DAS	DAS Besar (>5000km²)	Metode Isohiet
	DAS Sedang (500 s/d 5000 km²)	Metode Thiessen
	DAS Kecil (<500 km²)	Metode Rerata Aljabar
Topografi DAS	Pegunungan	Metode Rerata Aljabar
	Dataran	Metode Thiessen
	Berbukit dan tidak beraturan	Metode Isohiet

(Sumber:Suripin, 2004)

1.2.2 Frekuensi dan Probabilistik Hujan

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang di analisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik (Suripin, 2004). Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai debit curah hujan menurut Suripin adalah sebagai berikut:

1. Curah Hujan Maksimum

   Perhitungan curah hujan diambil dari rerata biasa atau disebut *arithmetic mean*. Curah hujan maksimum didapatkan dengan mengambil data paling maksimum dalam tahun tertentu, dalam penentuan curah hujan digunakan analisis frekuensi. Beberapa metode analisis frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi, antara lain:

   A. Distribusi Normal

      Distribusi Normal disebut pula Distribusi Gauss. Secara sederhana, persamaan distribusi normal dapat ditulis sebagai berikut

$$XT = X + KT \times S \tag{2.3}$$

      Dengan:

XT = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

X = Nilai rata-rata hitung variant

S = Deviasi standar nilai variant

KT = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang. Nilai KT didapat dari nilai reduksi Gauss yang ditampilkan dalam Tabel berikut.

Tabel 2.3. Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	K
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,010	0,990	-2,33
1,050	0,950	-1,64
1,110	0,900	-1,28
1,250	0,800	-0,84
1,330	0,750	-0,67
1,430	0,700	-0,52
1,670	0,600	-0,25
2,000	0,500	0
2,500	0,400	0,25
3,330	0,300	0,52
4,000	0,250	0,67
5,000	0,200	0,84
10,000	0,100	1,28
Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	K
20,000	0,050	1,64
50,000	0,020	2,05
100,000	0,010	2,33
200,000	0,005	2,58
500,000	0,002	2,88
1000,000	0,001	3,09

(Sumber : Bonnier, 1980)

B. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal menggunakan persamaan variabel acak Y = log X yang terdistribusi secara normal, sehingga X disebut Distribusi Log Normal. Adapun persamaan Distribusi Log Normal adalah:

$$YT = Y + KT \times S \quad (2.4)$$

Dengan:

Y*T* = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan Y*T* = Log X

Y = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

K*T* = `Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang tahun periode ulang. Nilai K*T* dapat dilihat pada Tabel 2.2 nilai variabel reduksi Gauss.

c. Distribusi Log-Person III

Pada persamaan Distribusi Log-Person III memliliki persamaan yang hampir sama dengan Distibusi Log Normal, yaitu sama-sama mengkonversikan ke dalam bentuk logaritma. Akan tetapi besarnya nilai K*T* tergantung dari kefisien kemencengan G. Berikut disajikan angka K*T* untuk berbagai nilai kemencengan G dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Nilai K*T* untuk Distribusi Log-Person III

Koef. G	Interval Kejadian (Periode Ulang)					
	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui					
	50	20	10	4	2	1
2	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.892	3.605
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.78	3.388
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271

1.2	-0.195	0.732	1.34	2.087	2.626	3.149
1	-0.164	0.758	1.34	2.043	2.542	3.022
0.8	-0.132	0.78	1.336	1.993	2.453	2.891
0.6	-0.099	0.8	1.328	1.939	2.359	2.755
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.88	2.261	2.615
0.2	-0.033	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472
0	0	0.842	1.282	1.751	2.051	2.326
-0.2	0.033	0.85	1.258	1.68	1.945	2.178
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029
-0.6	0.099	0.857	1.2	1.528	1.72	1.88
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.773
-1	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.27	1.318
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.8	0.282	0.799	0.045	1.035	1.069	1.087
-2	0.307	0.777	0.895	0.959	0.98	0.99

(Sumber: Suripin, 2004)

d. Metode Gumbel

Distribusi Gumbel dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$XTr = X + Sx \times (0{,}78\,y - 0{,}45) \tag{2.5}$$

Dengan:

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum(xi-x)}{(n-1)}} \tag{2.6}$$

$$Y = -(-Ln\left(\frac{T-1}{T}\right)) \tag{2.7}$$

Dimana:

XTr = Curah hujan dengan kala ulang Tr tahun (mm)

X = Curah hujan maksimum rerata

Sx = Simpangan baku

y = Perubahan reduksi

n = Jumlah data

xi = Data curah hujan (mm)

T = Kala ulang dalam tahun

Bentuk lain dari persamaan Gumbel adalah:

$$\mathrm{XTr} = \mathrm{X} + Sx \,.\mathrm{K} \qquad (2.8)$$

Dengan:

$$K = \frac{Yt - Yn}{Sn} \qquad (2.9)$$

Dimana:

K = Konstanta

$Y\ t$ = Reduksi sebagai dari fungsi probabilitas (Ireduced variete)

Yn = *Reduced mean*

Sn = *Reduced standard*

Tabel 2.5 *Reduced Mean, Yn*

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*	*0,5220*
20	*0,5236*	*0,5252*	*0,5268*	*0,5283*	*0,5296*	*0,5309*	*0,5320*	*0,5332*	*0,5343*	*0,5353*
30	0,5326	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	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
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 2.6 *Reduced Standard Deviation, 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	1,2060
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 2.7 *Reduced Variate,*Ytr

Periode Ulang Tr (Tahun)	Reduced Variate Ytr	PeriodeUlang Tr (Tahun)	Reduced Variate Ytr
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	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. Pengukuran Dispersi

Setelah mendapatkan curah hujan rata-rata dari beberapa stasiun yang berpengaruh di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisa secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran yang sesuai dengan sebaran curah hujan rata-rata yang ada. 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.

Besarnya dispersi dapat dilakukan pengukuran dispersi, yakni melalui perhitungan parametrik statistik untuk $(x_i - rt.x)$, $(x_i - x.rt)^2$, $(x_i - x.rt)^3$, $(x_i - x.rt)^4$ terlebih dahulu. Pengukuran dispersi ini digunakan untuk

analisa Distribusi Normal dan Gumbel dimana jika x_i adalah besarnya total hujan tahunan (mm) dan x.rt adalah rata-rata total hujan tahunan (mm). Sedangkan untuk pengukuran besarnya dispersi Logaritma dilakukan melauiperhitungan parametrik statistik untuk (Log x_i - Log x.rt), (Log x_i - Log x.rt)^2, (Log x_i- Log x.rt)^3, (Log x_i - Log x.rt)^4 terlebih dahulu. Pengukuran dispersi ini digunakan untuk menghitung analisa Distribusi Log Normal dan Log Pearson Type III.

Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi, adapun cara pengukuran dispersi Soewarno (1995), antara lain:

a. Deviasi Standard (S)

   Standar deviasi disebut juga simpangan baku. Seperti halnya varians, standar deviasi juga merupakan suatu ukuran dispersi (variasi). Standar deviasi merupakan ukuran dispersi yang paling banyak dipakai. Hal ini mungkin karena standar deviasi mempunyai satuan ukuran yang sama dengan satuan ukuran data asalnya.

   Persamaan Deviasi Standard menurut Soewarno (1995), yaitu:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(xi-x)^2}{n}} \qquad (2.10)$$

   Dimana:

   S = Deviasi standard,

   Xi = Nilai varian ke i

   X = Nilai rata-rata varian,

   n = Jumlah data.

b. Koefisien Skewness (Cs)

   Kemencengan (skewness) adalah suatu nilai yang menunjukan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi.

   Persamaan Koefisien Skewness (CS) menurut Soewarno (1995), yaitu:

$$Cs = \left[\frac{n\sum(logXi - logX)^3}{((n-1)(n-2)Sx^2)}\right] \quad (2.11)$$

Dimana:

CS = Koefisien skewness

Xi = Nilai varian ke i,

X = Nilai rata-rata varian,

n = Jumlah data.

S = Deviasi Standar

c. Pengukuran Kurtosis

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Menurut Soewarno (1995) Pengukuran kurtosis merupakan kepuncakan (*peakness*) distribusi. Biasanya hal ini dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai Ck = 3 dinamakan *mesokurtik*, Ck < 3 berpuncak tajam dinamakan *leptokurtik*, sedangkan Ck > 3berpuncak datar dinamakan *platikurtik*.

Persamaan Koefisien Kurtosis menurut Soewarno (1995), yaitu:

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)Sx^4}\sum_{i=1}^{n}(xi - x)^4 \quad (2.12)$$

Dimana:

Ck = Koefisien kurtosis

Xi = Nilai varian ke i,

X = Nilai rata-rata varian,

n = Jumlah data.

S = Deviasi Standar

d. Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.

Persamaan Koefisien Variasi (Cv) menurut Soewarno (1995), yaitu:

$$Cv = \frac{s}{x} \qquad (2.13)$$

Dimana:

Cv = Koefisien Variasi

X = Nilai rata-rata variasi

S = Deviasi Standar

Tabel 2.8 Karakteristik Distribusi Frekuensi

Jenis distribusi frekuensi	Syarat distribusi
Distribusi Normal	Cs = 0 dan Ck = 3
Distribusi Log Normal	Ck = 5.383
	Cs = 3Cv + Cv² = 3
Distribusi Gumbel	Cs ≤ 1,139 dan Ck ≤ 5,402
Distribusi Log Person III	Cs ≠ 0

(Sumber : Subarkah)

3. Uji Keselarasan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menetapkan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisa. Ada dua jenis keselarasan (*Goodness of Fit Test*), yaitu uji keselarasan *Chi Kuadrat* dan *Smirnov Kolmogorof*.

a. Uji Keselarasan *Chi Kuadrat*

Uji keselarasan distribusi ini digunakan pengujian Chi-kuadrat yang dimaksud untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisa. Pengujian Chi-Kuadrat digunakan untuk mengadakan pendekatan dari beberapa vaktor atau mengevaluasi frekuensi yang diselidiki atau frekuensi hasil observasi dengan frekuensi yang diharapkan dari sampel apakah dalam data tersebut terdapat hubungan atau perbedaan yang signifikan atau tidak.

Persamaan Chi-Kuadrat menurut Soewarno (1995), yaitu:

$$x^2 = \sum_{i=1}^{G} \frac{(Of-Ef)^2}{Ef} \quad (2.14)$$

Dimana:

X^2 = Nilai Chi-Kuadrat

G = Jumlah sub kelompok

O_f = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya

Adapun prosedur pengujian dengan menggunakan Metode Chi-kuadrat, yaitu:

1) Mengurutan data pengamatan (dari data yang terbesar ke data yang paling kecil atau sebaliknya);
2) Mengelompokkan data-data tersebut menjadi G sub-grup yang beranggotakan minimal 4 (empat) data pengamatan;
3) Menjumlahkan data sebesar O_f pada setiap sub-grup;
4) Menjumlahkan data-data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_f;
5) Menghitung nilai $(Of - Ef)^2$ dan $\frac{(Of-Ef)^2}{Ef}$ pada setiap sub-grup;
6) Menjumlahkan seluruh nilai G sub-grup nilai $\frac{(Of-Ef)^2}{Ef}$ digunakan untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat;
7) Terakhir menentukan derajat kebebasan dengan persamaan dk = G – R - 1 (nilai R = 2 untuk distribusi normal dan binomial, nilai R = 1 untuk distribusi *poisson* dan gumbel).

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut:

1) Jika hasil uji peluang ≥ 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima;
2) Jika hasil uji peluang berada di antara 1 - 5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan;
3) Jika hasil uji peluang ≤ 1%, maka persamaan yang digunakan tidak dapat diterima.

b. Uji Keselarasan *Smirnov Kolmogorov*

Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorov* adalah uji beda antara data yang di uji normalitasnya dengan data normal baku. Konsep Dasar dari uji normalitas yaitu membandingkan distribusi data (yang akan diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku. Kelebihan dari uji ini adalah sederhana dan tidak menimbulkan perbedaan persepsi di antara satu pengamat dengan pengamat yang lain, yang sering terjadi pada uji normalitas dengan menggunakan grafik.

Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorov* digunakan untuk mengetahui apakah distribusi nilai sampel yang diamati sesuai dengan distribusi teoritis tertentu (normal, *uniform*, *poisson*, eksponensial). Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorov* beranggapan bahwa distribusi variabel yang sedang di uji bersifat kontinu dan pengambilan sampel secara acak sederhana. Dengan demikian uji ini hanya dapat digunakan, bila variabel diukur paling sedikit dalam skala ordinal.

Langkah-langkah uji *Smirnov Kolmogorov* menurut C.D Soemarto (1999), sebagai berikut:

1) Menyusun nilai frekuensi dari setiap nilai teramati, berurutan dari nilai terkecil sampai nilai terbesar, kemudian menyusun frekuensi kumulatif dari nilai-nilai teramati;
2) Mengkonversi nilai frekuensi kumulatif ke dalam probabilitas, yaitu ke dalam fungsi distribusi frekuensi kumulatif [S(x)]. distribusi frekuensi yang teramati harus merupakan hasil pengukuran variabel paling sedikit dalam skala ordinal;
3) Menghitung nilai z untuk masing-masing nilai teramati di atas dengan rumus z= (xi–x)/s. kemudian, carilah probabilitas (luas area) kumulatif untuk setiap nilai teramati. Hasilnya ialah sebagai $Fo(x_i)$;
4) Menyusun Fs(x) berdampingan dengan Fo(x). hitung selisih *absolut* antara S(x) dan Fo(x) pada masing-masing nilai teramati;
5) Statistik uji *Kolmogorov Smirnov* merupakan selisih *absolut* terbesar $Fs(x_i)$ dan $Ft(x_i)$ yang juga disebut deviasi maksimum D;
6) Dengan mengacu pada distribusi pencuplikkan maka penguji dapat

mengetahui apakah perbedaan (yaitu nilai D maksimum teramati) terjadi hanya karena kebetulan. Dengan mengacu pada tabel D, dapat terlihat berapa probabilitas (dua sisi) kejadian untuk menemukan nilai-nilai teramati sebesar D, bila Ho benar. Jika probabilitas itu sama atau lebih kecil dari a, maka Ho ditolak.

2.2.3. Intensitas Curah Hujan

Menurut (Suripin, 2004) Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung, intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasya. Intensitas curah hujan dapat dihitung dengan beberapa rumus, salah satu rumus untuk mencari intensitas curah hujan adalah Rumus Mononobe.

Jika curah hujan yang ada adalah data curah hujan harian, maka untuk menghitung intensitas hujan dapat digunakan Metode Mononobe (Suripin, 2004). Adapun rumus Mononobe adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{Tc}\right)^{2/3} \quad (2.15)$$

I = intensitas hujan (mm/menit)

t = lamanya hujan (menit)

R_{24} = Curah hujan Maksimum harian (mm)

2.2.4. Koefisien Pengaliran (C)

Menurut (Suripin, 2004) Koefisien Pengaliran (C) didefinisikan antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor ini merupakan variabel yang paling menentukan hasil perhitungan debit banjir. Faktor utama yang mempengaruhi C adalah laju infiltrasi tanah atau proses perentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan. Koefisien limpasan juga bergantung pada sifat dan kondisi tanah.

Besarnya nilai koefisien aliran dapat dilihat pada Tabel 2.9 sebagai berikut.

Tabel 2.9. Harga Koefisien Aliran (C).

Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien aliran, C
Perkerasan	
Aspal dan Beton	0.70 - 0.95
Batu bata, paving	0.50 - 0.70
Atap	0.75 - 0.95
Halaman, tanah berpasir	
Datar 2 %	0.05 - 0.10
Rata - rata, 2 - 7 %	0.10 - 0.15
Curam, 7 %	0.15 - 0.20
Halaman, tanah berat	
Datar 2 %	0.13 - 0.17
Rata - rata, 2 - 7 %	0.18 - 0.22
Curam, 7 %	0.25 - 0.35
Halaman Kereta api	0.10 - 0.35
Taman tempat bermain	0.20 - 0.35
Taman, pekuburan	0.10 - 0.25
Hutan	
Datar 0 - 5%	0.10 - 0.40
bergelombang, 5 - 10%	0.25 - 0.50
berbukit, 10-30%	0.30 - 0.60

(Sumber : McGuen, 1989)

2.2.5. Waktu Konsentrasi (tc)

Menurut (Suripin, 2004), waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari tititk terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik control) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi depresi kecil terpenuhi. Waktu konsentrasi ini digunakan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk aliran permukaan mengalir dari titik terjauh dari daerah tangkapan hujan menuju saluran drainase yang direncanakan Komponen utama dari waktu konsentrasi adalah *inlet time* (to) dan *conduit time* (td).

Persamaan untuk menentukan waktu konsentrasi (Suripin, 2004) adalah sebagai berikut:

$$Tc = to + td \tag{2.16}$$

$$t = (\frac{2}{3}\ X\ 3{,}28\ X\ L\frac{n}{\sqrt{s}}) \quad (2.17)$$

$$td = \frac{Ls}{60v} \quad 2.18)$$

Dimana:

tc = Waktu konsentrasi (jam)

to = *Inlet time*, waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir di permukaan tanah dari titik terjauh ke saluran terdekat (menit).

td = *Conduit time*, Waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir di dalam saluran sampai ke tempat pengukuran (menit).

L = Jarak titik air jatuh terjauh ke fasilitas drainase (m)

Ls = Panjang saluran (m)

n = Angka kekasaran Manning.

s = Kemiringan saluran memanjang

V = Kecepatan air rata-rata pada saluran drainase (m/detik)

2.2.6. Debit Hujan

Debit air yang masuk ke dalam saluran drainase merupakan debit air hujan atau limpasan. Debit limpasan terjadi akibat intensitas hujan yang telah melebihi kapasitas infiltrasi. Air yang berlebih kemudian mengalir melalui cekungan-cekungan pada permukaan tanah dan terjadi genangan yang selanjutnya mengalir ke daerah yang lebih rendah melalui saluran drainase alam.

Perhitungan debit hujan atau limpasan dapat dihitung dengan menggunakan metode rasional (Sosdarsono, 1987), metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha.

$$Q = C \times I \times A \quad (2.19)$$

Dimana:

Q = Debit aliran air (m3/detik)

C = Koefisien pengaliran rata-rata dari $C1,2,C3$

I = Intensitas hujan (m/s)

A = Luasan daerah layanan ($m2$)

(Pedoman Perencanaan Drainase Jalan, 2006)

2.3. Analisis Hidrolika

2.3.1. Debit Saluran

Dalam perhitungan debit saluran, biasanya di gunakan persamaan kontinuitas. Adapun persamaan dapat di tulis sebagai berikut :

$$\mathrm{Q = V \text{ x } A} \quad (2.20)$$

Dimana :

Q = Debit aliran air (m

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luasan daerah aliran (m/s)

(pedoman perencanaan drainase jalan, 2006)

Perhitungan kecepatan aliran pada saluran dapat di hitung dengan menggunakan persamaan chezy yang kemudian di sempurnakan oleh manning sebagai berikut :

$$V = C\ x\sqrt{RS} \quad (2.21)$$

$$v = \frac{1}{n} x\ R^{\frac{2}{3}}\ x\ S^{\frac{1}{2}} \quad (2.22)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari jari hidrolis saluran

S = Kemiringan dasar saluran

C = Koefisien Chezy

n = Koefisien Manning

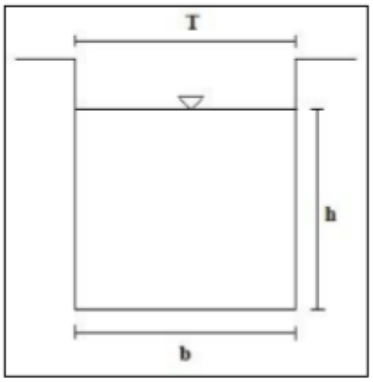
2.3.2 Penampang Saluran Drainase

Dalam perencanaan saluran harus di usahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai.

1. Kriteria Penampang Ekonomis

a. Persegi Panjang

Adapun bentuk penampang saluran dan persamaan untuk kriteria penampang pesegi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.11. Saluran Bentuk Persegi

Luas

$$A = b.h \tag{2.24}$$

Keliling basah

$$P = b + 2h \tag{2.25}$$

Jari-jari Hidrolik

$$R = \frac{bh}{b+2y} \tag{2.26}$$

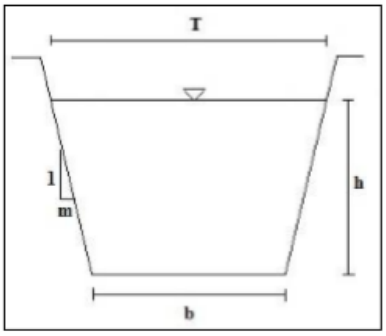
Lebar Puncak

$$T = b \tag{2.27}$$

Faktor Penampang

$$Z = (b.h)^{1.5} \tag{2.28}$$

b. Trapesium Adapun bentuk penampang saluran dan persamaan untuk kriteria penampang trapesium adalah sebagai berikut:



Gambar 2.12. Saluran Bentuk Trapesium

Luas

$$A = (b+m)h \quad (2.29)$$

Keliling basah

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m2} \quad (2.30)$$

Jari-jari Hidrolik

$$R = \frac{(b+m)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}} \quad (2.31)$$

Lebar Puncak

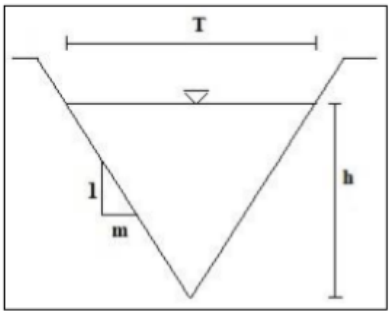
$$T = b+2mh \quad (2.32)$$

Faktor Penampang

$$Z = \frac{((b+2mh)h)^2}{\sqrt{b+2mh}} \quad (2.33)$$

c. Segitiga

Adapun bentuk penampang saluran dan persamaan untuk kriteria penampang segitiga adalah sebagai berikut



Gambar 2.13. Saluran Bentuk Segitiga

Luas

$$A = m.h \quad (2.34)$$

Keliling basah

$$P = 2h\sqrt{1 + m2} \quad (2.35)$$

Jari-jari Hidrolik

$$R = \frac{mh}{2\sqrt{1+ m^2}} \quad (2.36)$$

Lebar Puncak

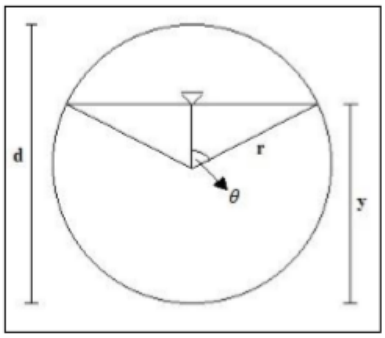
$$T = 2mh \quad (2.37)$$

Faktor Penampang

$$Z = \frac{\sqrt{2}}{2}\, m\, h^{2.5} \quad (2.38)$$

d. Lingkaran

Adapun bentuk penampang saluran dan persamaan untuk kriteria penampang lingkaran adalah sebagai berikut:



Gambar 2.14. Saluran Bentuk Lingkaran

Luas

$$A = \frac{1}{8}\,(\,0 - sin\theta)d^2 \quad (2.39)$$

Keliling basah

$$P = \frac{1}{2}\theta d \quad (2.40)$$

Jari-jari Hidrolik

$$R = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)d \quad (2.41)$$

Lebar Puncak

$$T = 2\sqrt{y\,(d - y)} \quad (2.42)$$

Faktor Penampang

$$Z = \frac{\sqrt{2\,(\theta - \sin\theta)^{1.5}}}{32\,(sin\frac{1}{2}\theta)^{0.5}}\ x\ d^{2.5} \qquad (2.43)$$

2.3.3. Syarat Batas Berdasarkan Jenis Material

Penentuan syarat batas kriteria saluran ditentukan berdasarkan jenis material yang digunakan. Nilai izin suatu material digunakan untuk menentukan ketetapan angka aman yang digunakan dalam perencanaan saluran. Nilai izin yang ditntukan untuk mendesain saluran adalah angka kekasaran manning (n), kemiringann memanjang saluran (Is), dan kecepatan izin (V).

Angka kekasaran manning berdasarkan jenis material saluran drainase rencana ditampilkan pada Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.10. Angka Kekasaran Manning (n)

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
	Saluran Buatan				
1	Saluran tanah lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7	Saluran lengkung dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
	Saluran Alam				
8	Bersih, lurus tidak berasir dan tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9	Seperti no.8 tapi ada timbunan kecil atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10	Melengkung, bersih berlubang, dan berdinding pasir	0,030	0,035	0,040	0,045
11	Seperti no 10 dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12	Seperti no 10 berbatu dan ada tumbuh tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
13	seperti no. 11 sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,055

14	Air pelan, banyak tumbuh tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15	Banyak tumbuh - tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
	Saluran Buatan, Beton, Batu Kali				
16	Saluran pasangan batu tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17	Seperti no. 16 tapi dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

(Sumber : Pedoman Perencanaan Jalan, 2006)

Kemiringan saluran ditentuan berdasarkan bahan yang digunakan. Hubungan antara bahan yang digunakan dengan kemiringan saluran arah memanjang dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.11. Kemiringan Saluran Memanjang Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Material	Kemiringan Saluran (%)
1	Tanah Asli	0 - 5
2	Kerikil	5 - 7.5
3	Pasangan	7.5

(Sumber : Pedoman Perencanaan Jalan, 2006)

Kemiringan memanjang saluran akan mempengaruhi besar kecepatan aliran yang melaju didalam saluran. Hubungan antara material yang digunakan dengan kecepatan saluran dapat dilihat pada Tabel 2.13

Tabel 2.12. Kecepatan Aliran yang Diizinkan Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Bahan	Kecepatan Aliran yang diizinkan (m/s)
1	Pasir Halus	0,45
2	Lempung Kepasiran	0,50
3	Lanau Aluvial	0,60
4	Kerikil Halus	0,75
5	Lempung Kokoh	0,75
6	Lempung Padat	1,10
7	Kerikil Kasar	1,20
8	Batu batu Besar	1,50
No	Jenis Bahan	Kecepatan Aliran yang diizinkan (m/s)
9	Pasangan Batu	1,50

10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

(Sumber : Pedoman Perencanaan Jalan, 2006)

2.4. Rencana Anggaran Biaya

2.4.1 Defini Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perkiraan biaya-biaya yang dibutuhkan untuk tiap paket pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi. Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan berdasarkan gambar rencana, spesifikasi pekerjaan yang telah ditentukan, upah tenaga kerja, serta harga bahan dan alat. Penjabaran komponen-komponen penyusun rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut:

1. Biaya Langsung
   a) Kebutuhan Tenaga Kerja (Upah)

      Kebutuhan tenaga kerja meliputi komponen pekerja yang diperlukan dalam suatu paket pekerjaan. Kebutuhan tenaga kerja dipengaruhi oleh beberapa hal seperti lama waktu kerja, keterampilan/*skill*, kondisi tempat kerja, dan lain-lain.

   b) Kebutuhan Material (Bahan)

      Kebutuhan material meliputi semua komponen pokok dan komponen penunjang yang digunakan dalam membuat material yang diperlukan pada pekerjaan konstruksi.

   c) Biaya Peralatan

      Peralatan yang digunakan dalam melakukan suatu pekerjaan konstruksi.

2. Biaya Tak Langsung
   a) Biaya Proyek

      Merupakan biaya yang berkaitan dengan keberlangsungan suatu proyek seperti surat izin, pajak, asuransi, dan sebagainya.

   b) Biaya Umum

      Meliputi biaya seperti gaji pekerja tetap, dokumentasi, dan lain-lain.

2.4.2 Analisis Harga Satuan

Analisis harga satuan terdiri dari harga satuan pekerjaan serta harga satuan bahan dan upah. Harga satuan bahan dan upah pada setiap daerah cenderung berbeda-beda, maka dalam menghitung dan menyusun RAB suatu proyek diperlukan pedoman harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di pasaran dan lokasi pekerjaan. Analisis harga satuan pekerjaan dan bahan dipengaruhi oleh nilai koefisien yang menunjukan nilai satuan bahan, nilai satuan alat, upah tenaga kerja atapun satuan pekerjaan.

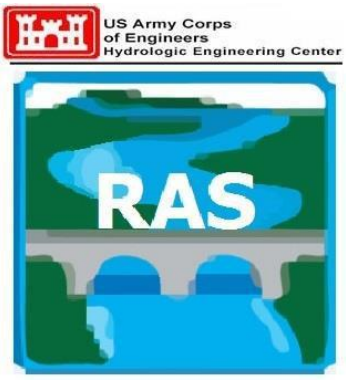
2.5 Aplikasi HEC-RAS

2.5.1. Program Aplikasi HEC-RAS

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*). HECRAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model).* HEC-RAS versi terbaru saat ini, versi 4.1, beredar sejak Januari 2010.

HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi:

1. Hitungan profil muka air aliran permanen,
2. Simulasi aliran tak permanen,
3. Hitungan transpor sedimen, dan
4. Hitungan kualitas air.



Gambar 2.15. Aplikasi HEC-RAS 2016
Sumber: Pencarian google

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah komponen-komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulika yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. (Istiarto, 2014)

2.5.2. Persamaan Aliran

Hitungan hidraulika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur dan kedalaman aliran di batas hilir. Hitungan hidraulika aliran di dalam HEC-RAS dilakukan dengan membagi aliran ke dalam dua kategori, yaitu aliran permanen dan aliran tak permanen. HEC-RAS menggunakan metode hitungan yang berbeda untuk masing-masing kategori aliran tersebut. (Istiarto, 2014). Persamaan aliran yang digunakan dalam perhitungan aliran hidrolika dalam HEC-RAS adalah sebagai berikut:

1. Persamaan Energi

   Untuk aliran permanen, HEC-RAS menghitung profil muka air di sepanjang alur urut dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. Muka air dihitung dengan memakai persamaan energi yang diselesaikan dengan metode yang dikenal sebagai standard step method. Persamaan energi antara dua tampang lintang dituliskan dalam bentuk berikut:

$$Y2 + Z2 + \frac{\propto 2V2^2}{2g} = Y1 + Z1 + \frac{\propto 1V1^2}{2g} + he \qquad (2.44)$$

   Arti variabel-variabel dalam persamaan di atas adalah:

   Y1, Y2 = kedalaman aliran,

   Z1, Z2 = elevasi dasar saluran,

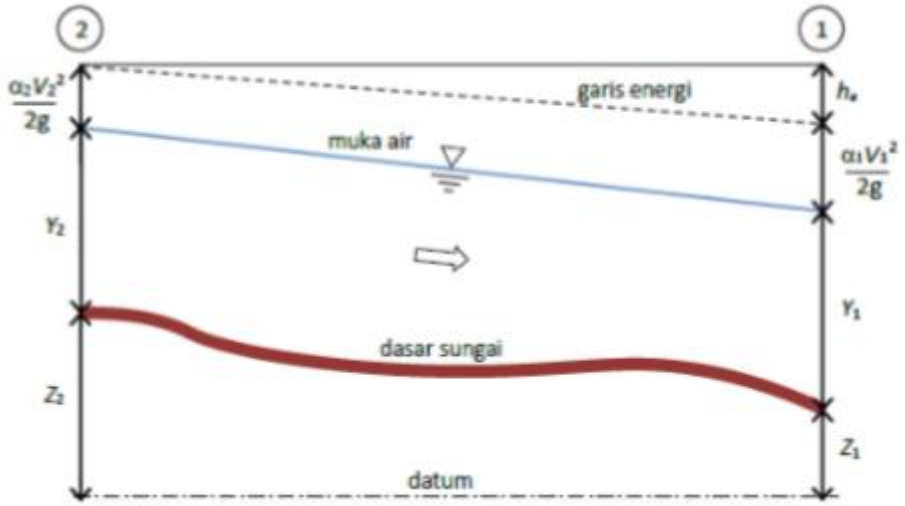
   V1, V2 = kecepatan rata-rata (debit dibagi luas tampang basah),

   α1, α2 = koefisien,

   g = percepatan gravitasi,

   he = kehilangan tinggi energi

Gambar 2.16 mengilustrasikan profil aliran yang menunjukkan komponen aliran sesuai dengan suku-suku pada persamaan energi. Dari diagram aliran pada gambar 2.16, tampak bahwa kedalaman aliran diukur ke arah vertikal. Hal ini membawa konsekuensi bahwa hitungan profil muka air dengan HEC-RAS hanya cocok untuk alur sungai yang memiliki kemiringan dasar kecil.



Gambar 2.16. Diagram Aliran Berubah Beraturan
(Sumber: Modul Pelatihaan HEC-RAS, 2014)

2. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi (he), di antara dua tampang lintang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan *(friction losses)* dan kehilangan energi karena perubahan tampang *(contraction or expansion losses).* Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$he = LSf + C\left|\frac{\propto 2V2^2}{2g} - \frac{\propto 1V1^2}{2g}\right| \qquad (2.45)$$

Dalam persamaan di atas,

L = Panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit,

$\bar{Sf}$ = *Representative friction slope* antar kedua tampang

C = Koefisien kehilangan energi akibat perubahan tampang (kontraksi atau ekspansi).

Panjang ruas sungai antar dua tampang yang diberi bobot sesuai dengan debit, L, dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{LlobQlob+LchQch+LrobQrob}{Qlob+Qch+Qrob} \quad (2.46)$$

Dalam persamaan tersebut

Llob, Lch, Lrob = Panjang ruas sungai di sisi kiri *(left overbank*), alur utama (main channel), dan sisi kanan *(right overbank*),

$\bar{Q}lob, \bar{c}h, \bar{r}ob$ = Debit yang mengalir melalui *left overbank*, *main channel*, dan *right overbank*.