

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Drainase

Drainase merupakan sebuah sistem yang dibuat untuk menangani persoalan kelebihan air yang berada di atas permukaan tanah maupun air yang berada dibawah permukaan tanah. Kelebihan air dapat disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi atau akibat durasi hujan yang lama (Wesli, dalam jurnal Hendy Apriyanza 2018). Saluran drainase dapat dibedakan menjadi dua yaitu drainase alamiah dan drainase buatan. Drainase alamiah adalah sistem drainase yang terbentuk secara alami dan tidak ada unsur campuran tangan manusia, sedangkan drainase buatan adalah sistem drainase yang dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan dan dimensi saluran.

Saluran drainase menurut letaknya terdiri dari saluran drainase permukaan tanah yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan, dan saluran drainase di bawah permukaan tanah yaitu saluran drainase yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan melalui media bawah permukaan tanah (pipa-pipa). Saluran drainase menurut konstruksinya dapat dibedakan atas saluran terbuka dan saluran tertutup, sedangkan jaringan saluran drainase terdiri dari saluran drainase primer, saluran drainase sekunder, dan saluran tersier.

Saluran drainase harus memiliki saluran pembuangan yang sesuai dengan kondisi lahan dan lingkungannya. Perencanaan sistem drainase suatu kawasan, harus memperhatikan pola jaringan drainase yang diperhatikan dengan mempertimbangkan topografi dan tataguna lahan kawasan tersebut.

2.2 Debit Limpasan

2.2.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (Suripin, 2004). Fenomena hidrologi sebagai mana telah dijelaskan di bagian sebelumnya adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi. Fenomena hidrologi seperti besarnya curah hujan, temperature, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air, akan selalu berubah menurut waktu. Untuk suatu tujuan tertentu data-data hidrologi dapat dikumpulkan, dihitung, disajikan, dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu.

Hujan merupakan komponen yang amat penting dalam analisis hidrologi pada perancangan debit untuk menentukan dimensi saluran drainase. Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan sangat luas tidak bisa diwakili satu titik pos pengukuran. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa pos pengukuran hujan yang ada disekitar kawasan tersebut. Ada 3 macam cara yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan : (a) rata-rata aljabar, (b) poligon *thiessen* dan (c) *isohyet*.

a. Metode Rerata Aritmatik

Metode rerata aritmatik adalah metode paling sederhana untuk menghitung hujan rerata di suatu daerah. Tinggi hujan terukur di beberapa stasiun dalam waktu bersamaan dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan

dengan topografi rata, alat penakar tersebar merata dan harga curah hujan masing-masing tidak berbeda jauh dengan harga curah hujan rata-rata. Metode kurang akurat bila digunakan untuk menghitung hujan di suatu daerah dengan variasi hujan di tiap stasiun cukup besar.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2.1)$$

Keterangan :

P : hujan rerata kawasan

n : jumlah stasiun

b. Metode Poligon Thiessen

Metode poligon Thiessen merupakan metode yang memperhitungkan bobot dari masing-masing alat pengukur hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Dalam suatu luasan di suatu DAS (Daerah Aliran Sungai) dianggap bahwa hujan di tempat tersebut sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat di suatu titik mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan, bila penyebaran stasiun hujan di suatu daerah yang ditinjau tidak merata. Langkah-langkah yang dilakukan untuk membentuk poligon Thiessen adalah sebagai berikut:

- 1) Stasiun hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang letaknya berdekatan.
- 2) Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang tidak terlalu berbeda.

- 3) Garis berat dibuat pada sisi-sisi segitiga dengan membuat garis tegak lurus tepat di tengah-tengah sisi-sisi segitiga tersebut.
- 4) Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS menjadi batas poligon.
- 5) Luas tiap poligon diukur dan dikalikan dengan tinggi hujan di stasiun yang berada di dalam poligon.
- 6) Jumlah dari perkalian antara luas poligon dan tinggi hujan dibagi dengan total luas daerah yang ditinjau.

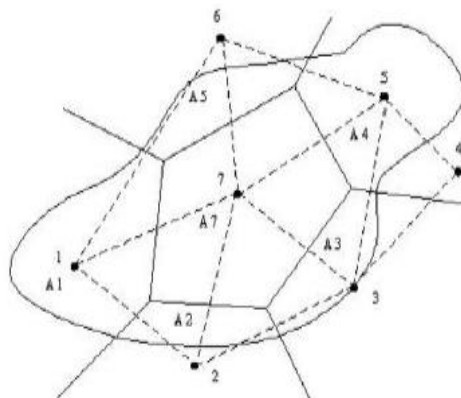
$$\bar{p} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\bar{p}$: hujan rerata kawasan

P_n : hujan di stasiun 1, 2, ..., n

A_n : luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 2.1 Metode Thiessen
Sumber: Suripin, 2004

c. Isohyet

Metode ini adalah garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi hujan yang sama. Metode isohyet memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap tiap pos penakar hujan. Pada metode isohyet, dianggap bahwa data hujan pada suatu luasan di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan garis isohyet adalah sebagai berikut.

- 1) Lokasi stasiun hujan dan tinggi hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau.
- 2) Dari nilai tinggi hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi sesuai pertambahan nilai yang ditetapkan.
- 3) Kurva dibuat menghubungkan titik-titik interpolasi yang memiliki tinggi hujan yang sama.
- 4) Luas daerah antara dua garis isohyet yang berurutan diukur dan dikalikan dengan nilai tinggi hujan rerata dari nilai kedua garis isohyet.
- 5) Jumlah perhitungan dari langkah 4 untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau untuk mendapatkan tinggi hujan rerata di daerah tersebut.

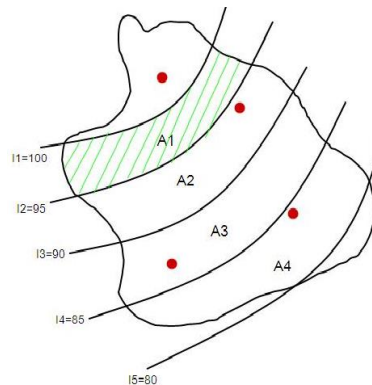
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + A_3 \frac{I_3 + I_4}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

Dengan :

$\bar{P}$ = curah hujan rata-rata

I_n = curah hujan pada masing – masing stasiun

A_n = luas areal dari titik I



Gambar 2.2 Metode Isohyet
Sumber: Suripin, 2004

2.2.1.1 Perbaikan Data

Pengukuran curah hujan sering mengalami masalah. Seperti tidak tercatatnya data hujan karena rusaknya alat atau kesalahan pengamat. Maupun karena adanya perubahan kondisi di lokasi pencatatan selama suatu periode pencatatan. Data hujan yang hilang di suatu stasiun dapat diisi dengan nilai perkiraan berdasar data dari stasiun-stasiun di sekitarnya.

a. Metode Perbandingan Normal (*Normal Ratio Method*)

Data yang hilang diperkirakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left(\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right) \quad (2.4)$$

dimana:

P_x = hujan yang hilang di stasiun x

P_n = data hujan di stasiun sekitar pada periode yang sama

N_x = Hujan tahunan di stasiun x

N_n = hujan tahunan di stasiun sekitar x

n = jumlah stasiun sekitar x

b. *Reciprocal Method* (Kantor Cuaca Amerika)

Metode ini menggunakan data curah hujan referensi dengan mempertimbangkan jarak stasiun yang akan dilengkapi datanya dengan stasiun referensi tersebut, dengan persamaan (2.5) berikut.

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (2.5)$$

dimana:

P_x = hujan di stasiun x yang akan dilengkapi

P_i = Hujan di stasiun referensi yang akan dilengkapi

L_i = jarak stasiun referensi dengan data stasiun

2.2.1.2 Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa (*ekstrim*), seperti hujan lebat, banjir dan kekeringan. Besarnya peristiwa berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa kejadiannya sangat langka. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi

secara acak serta bersifat stokastik. Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos pengukuran hujan, baik manual maupun otomatis.

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu. Ada dua macam seri data yang dipergunakan dalam analisis frekuensi, yaitu:

a. Data maksimum tahunan

Data tiap tahun diambil hanya satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisis selanjutnya. Seri data seperti ini dikenal dengan seri data maksimum (*maximum anual series*). Jumlah data dalam seri akan sama dengan panjang data yang tersedia. Dalam cara ini, besaran data maksimum kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari besaran data maksimum dalam tahun yang lain tidak diperhitungkan pengaruhnya dalam analisis.

b. Seri parsial

Data dalam seri dapat ditetapkan suatu besaran tertentu sebagai batas bawah, selanjutnya semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil dan dijadikan bagian seri data untuk kemudian dianalisis seperti biasa. Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat, di mana semua besaran data yang cukup besar diambil, kemudian diurutkan dari besar ke kecil. Data yang diambil untuk analisis selanjutnya adalah sesuai dengan panjang data dan diambil dari besaran data yang paling

besar. Dalam hal ini dimungkinkan dalam satu tahun data yang diambil lebih dari satu data, sementara tahun yang lain tidak ada data yang di ambil.

Dalam analisis frekuensi, hasil yang diperoleh tergantung pada kualitas dan panjang data. Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi. Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi sebagai berikut.

a. Distribusi Normal

Distribusi normal disebut juga dengan Distribusi Gauss. Fungsi densitas peluang normal (PDF = *probability density function*) yang paling dikenal adalah bentuk belah ketupat dan dikenal sebagai distribusi normal. PDF distribusi normal dapat dituliskan dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut:

$$X_T = \mu + K_T \sigma \quad (2.6)$$

$$X_T = \bar{X} + K_T S \quad (2.7)$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \quad (2.8)$$

Keterangan :

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

$\bar{X}$ = nilai rata-rata hitung variat

S = deviasi standar nilai variat

K_T = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Tabel 2.1 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1	1.001	0.999	-3.050
2	1.005	0.995	-2.580
3	1.010	0.990	-2.330
4	1.050	0.950	-1.640
5	1.110	0.900	-1.280
6	1.250	0.800	-0.840
7	1.330	0.750	-0.670
8	1.430	0.700	-0.520
9	1.670	0.600	-0.250
10	2.000	0.500	0.000
11	2.500	0.400	0.250
12	3.330	0.300	0.520
13	4.000	0.250	0.670
14	5.000	0.200	0.840
15	10.000	0.100	1.280
16	20.000	0.050	1.620
17	50.000	0.020	2.050
18	100.000	0.010	2.330
19	200.000	0.005	2.580
20	500.000	0.002	2.880
21	1000.000	0.001	3.090

Sumber: Suripin, 2004

b. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. PDF (*probability density function*) untuk distribusi log normal dapat dituliskan dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut:

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \quad (2.9)$$

Keterangan:

Y_T : Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahunan

$\bar{Y}$: Nilai rata-rata hitung variat

S : Deviasi standar nilai variat

K_T : Faktor Frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang

$$\log X_T = \overline{\log x} + (K_T \times S_{\log x}) \quad (2.10)$$

$$\text{atau } Y_T = \bar{Y} + (K_T \times S_Y) \quad (2.11)$$

$$\text{atau } X_T = 10^{Y_T} \quad (2.12)$$

$$\bar{Y} = \overline{\log x} = \frac{1}{n} \times (\sum \log x) \quad (2.13)$$

$$S_y = S_{\log} \sqrt{\frac{\sum (\log x_i - \overline{\log x})^2}{(n-1)}} \quad (2.14)$$

$$C_s = \frac{n \times \sum (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(S_y)^2} \quad (2.15)$$

Dimana :

Y_T = hujan maksimum dimana periode ulang T tahun,

$\bar{Y}$ = curah hujan rata-rata dalam log x,

K_T = faktor frekuensi,

S_y = standard devisiasi,

C_s = koefisien skewnes.

c. Distribusi Log-Person III

Parameter yang di gunakan dalam Distribusi Log Person Type III adalah:

1. Rata-rata Logaritma

$$\overline{\log x} = \frac{1}{n} \times (\sum \log x) \quad (2.16)$$

2. Standar Devisiasi logaritma

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\log x_i - \log \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (2.17)$$

3. Koefisien Skewness

$$C_s = \frac{n \times \sum (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(s)^2} \quad (2.18)$$

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (2.19)$$

dimana K adalah variable standar (*standardized variable*) untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan atau skewness.

Tabel 2.2 Nilai K_T Metode Log Person Type III

No.	Koefisien Skewnes	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
1	3.0	-0.396	0.420	1.180	2.003	2.278	3.152	4.501
2	2.8	-0.384	0.460	1.210	2.009	2.275	3.114	3.973
3	2.6	-0.368	0.499	1.238	2.013	2.267	3.071	3.889
4	2.4	-0.351	0.537	1.262	2.011	2.256	3.023	3.800
5	2.2	-0.333	0.574	1.264	2.006	2.240	2.970	3.705
6	2.0	-0.307	0.609	1.302	1.996	2.219	2.912	3.605
7	1.8	-0.282	0.643	1.318	1.981	2.193	2.848	3.499
8	1.6	-0.254	0.675	1.329	1.962	2.163	2.780	3.388
9	1.4	-0.225	0.705	1.337	1.938	2.128	2.706	3.271
10	1.2	-0.195	0.732	1.340	1.910	2.087	2.626	3.149
11	1.0	-0.164	0.758	1.340	1.877	2.043	2.542	3.022
12	0.8	-0.132	0.780	1.336	1.839	1.993	2.453	2.891
13	0.6	-0.099	0.800	1.328	1.797	1.939	2.359	2.755
14	0.4	-0.066	0.816	1.317	1.750	1.880	2.261	2.615
15	0.2	-0.033	0.830	1.301	1.700	1.818	2.159	2.472
16	0.0	0.000	0.842	1.282	1.645	1.751	2.054	2.326
17	-0.2	0.033	0.850	1.258	1.586	1.680	1.945	2.178
18	-0.4	0.066	0.855	1.231	1.524	1.606	1.834	2.029
19	-0.6	0.099	0.857	1.200	1.458	1.528	1.720	1.880
20	-0.8	0.132	0.857	1.166	1.389	1.448	1.615	1.733
21	-1.0	0.164	0.852	1.128	1.317	1.366	1.492	1.588
22	-1.2	0.195	0.844	1.086	1.243	1.282	1.379	1.449
23	-1.4	0.225	0.832	1.041	1.168	1.198	1.270	1.318
24	-1.6	0.254	0.817	0.994	1.049	1.116	1.197	1.197
25	-1.8	0.282	0.799	0.945	1.019	1.035	1.069	1.087
26	-2.0	0.307	0.777	0.895	0.949	0.959	0.980	0.990
27	-2.2	0.333	0.725	0.884	0.882	0.888	0.900	0.905
28	-2.4	0.351	0.725	0.7950	0.819	0.823	0.830	0.832

29	-2.6	0.368	0.969	0.747	0.762	0.764	0.768	0.769
30	-2.8	0.384	0.384	0.666	0.702	0.711	0.712	0.714
31	-30	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.666	0.667

Sumber: Suripin 2004

d. Distribusi Gumbel

Metode distribusi Gumbel Type I ini disebut juga dengan metode distribusi ekstrim. Umumnya digunakan untuk analisa data maksimum. Persamaan yang digunakan pada metode distribusi Gumbel sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + (K_T \times S_x) \quad (2.20)$$

$$K_T = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (2.21)$$

$$Y_T = -1 \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2.22)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(X_i) - (X_a \sum X_i)}{(n-1)}} \quad (2.23)$$

$$X_T = \bar{X} \frac{Y_T - Y_n}{S_n} S \quad (2.24)$$

Dimana:

X_T = hujan maksimum dalam periode ulang T tahun,

Y_t = reduce mean,

Y_n = reduce mean,

S_n = reduce standard deviation,

S_x = standard deviation,

x_i = harga besaran pada pengamatan,

n = jumlah tahun pengamatan,

x_a = harga besaran rata rata.

Tabel 2.3 *Reduce Standard Deviation (Sn) Gumbel*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.949	0.937	0.988	0.997	1.009	1.020	1.103	1.041	1.049	1.036
20	1.062	1.069	1.073	1.081	1.086	1.091	1.096	1.100	1.104	1.108
30	1.112	1.113	1.119	1.122	1.125	1.128	1.131	1.133	1.136	1.138
40	1.141	1.143	1.145	1.148	1.149	1.157	1.153	1.155	1.137	1.139
50	1.160	1.162	1.163	1.163	1.166	1.168	1.169	1.170	1.172	1.173
60	1.174	1.175	1.177	1.177	1.179	1.180	1.184	1.182	1.183	1.184
70	1.185	1.186	1.186	1.187	1.189	1.190	1.196	1.191	1.192	1.193
80	1.194	1.194	1.195	1.195	1.197	1.197	1.198	1.199	1.199	1.200
90	1.201	1.201	1.202	1.202	1.203	1.204	1.204	1.205	1.205	1.206
100	1.207	1.207	1.207	1.208	1.208	1.208	1.209	1.209	1.209	1.210
1000	1.270									

Sumber: Suripin 2004

Tabel 2.4 *Return Periode as a fuction of Reduce Variate (Yt)*

Periode ulang	Reduce variate
2	0.3665
5	14.999
10	22.502
25	31.985
50	39.019
100	46.001
1000	69.000

Sumber: Suripin 2004

Tabel 2.5 *Reduce Mean (Yn) Gumbel*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495	0.499	0.503	0.507	0.51	0.51	0.513	0.52	0.522	0.522
20	0.523	0.523	0.526	0.528	0.53	0.53	0.532	0.533	0.535	0.535
30	0.536	0.537	0.538	0.538	0.54	0.54	0.541	0.541	0.543	0.543
40	0.543	0.544	0.544	0.545	0.546	0.546	0.546	0.547	0.548	0.548
50	0.546	0.549	0.549	0.549	0.55	0.5	0.55	0.551	0.551	0.551
60	0.532	0.552	0.552	0.553	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.554
70	0.534	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.556	0.556	0.556
80	0.536	0.557	0.557	0.557	0.557	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558
90	0.558	0.558	0.558	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559
100	0.56	0.5602	0.5603	0.5604	0.506	0.5607	0.5608	0.5609	0.561	0.5611
1000	0.575									

Sumber: Suripin 2004.

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien skewness (kecondongan atau kemencengan).

2.2.1.3 Uji Kecocokan Sebaran

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah chi-kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov (Suripin, 2004).

a. Uji Chi-Kuadrat

Uji kecocokan Chi-Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 , yang dapat dihitung dengan rumus berikut: (Suripin, 2004)

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.25)$$

χ_h^2 = harga Chi-Kuadrat terhitung

O_i = jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke-i

E_i = jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke-i

G = jumlah sub kelompok

Parameter χ_h^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai χ_h^2 sama atau lebih besar dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya (χ^2).

Dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.6 Nilai Kritis Untuk Distribusi Chi-Kuadrat

dk	α							
	derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.97	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0000393	0.000157	0.000982	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.21	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.07	12.832	15.086	16.75
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.69	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.94	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.388	29.819
14	4.075	4.66	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.448	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.625	7.015	8.231	9.39	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.114	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.26	9.591	10.851	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.26	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.52	11.524	13.12	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.16	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.92	41.113	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.733	46.979	50.892	53.672

Sumber : Soewarno 1995

Prosedur uji kecocokan Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
2. Kelompokkan data menjadi G sub-group, tiap-tiap sub-group minimal terdapat 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup.
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
5. Tiap-tiap sub-group hitung nilai :

$$(O_i - E_i)^2 \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

6. Jumlah seluruh G sub-group nilai $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung.
7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R=2$, untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai $R=1$, untuk distribusi Poisson) (Soewarno, 1995).

Derajat kebebasan yang digunakan pada perhitungan ini adalah dengan sebagai berikut :

$$dK = n - 3 \quad (2.26)$$

Dimana :

dk = derajat kebebasan

n = banyaknya data

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut :

1. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.

2. Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
 3. Apabila peluang lebih kecil dari 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu penambahan data.
- b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan ini sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Suripin, 2004). Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya masing-masing data tersebut :

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya) :

$$X_1 \rightarrow P'(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P'(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P'(X_n)$$

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_n) - P'(X_n)] \quad (2.27)$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov – Kolmogorov test), tentukan harga D_0 .

Tabel 2.7 Nilai Kritis D_0 untuk uji Smirnov-Kolmogorov

N	Level of Significance (a)			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
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	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.18	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N > 50	<u>1.07</u>	<u>1.14</u>	<u>1.22</u>	<u>1.36</u>
	$\sqrt{N}$	$\sqrt{N}$	$\sqrt{N}$	$\sqrt{N}$

Sumber: Suripin 2004.

2.2.1.4 Analisis 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 periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas - Durasi - Frekuensi (IDF = *Intensity - Duration - Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman untuk membentuk lengkung IDF. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Selanjutnya, berdasarkan data hujan jangka pendek tersebut lengkung IDF dapat dibuat dengan salah satu dari persamaan berikut :

a. Rumus Talbot

Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang terukur.

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (2.28)$$

Dimana:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

a & b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi

b. Rumus Sherman

Rumus ini mungkin cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.29)$$

Dimana:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

n = konstanta

c. Rumus ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t}+b} \quad (2.30)$$

Dimana :

I = itensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (mm)

a & b = konstanta

d. Rumus Mononobe

Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.31)$$

Dimana :

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

2.2.1.5 Waktu Konsentrasi

Lama hujan (*time of concentration*) t_c di sini dianggap lamanya hujan yang akan menyebabkan debit banjir dan t_c dihitung dengan rumus :

$$t_c = (0,87 \times L^2 / 1000 \times S)^{0,385} \quad (2.32)$$

Dimana :

t_c = Waktu Konsentrasi (jam)

L = Panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik di tinjau (km)

S = Kemiringan rata-rata daerah lintasan air.

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat t_o dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran t_d , sehingga

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.33)$$

di mana

$$t_o = \left[\frac{2}{3} \times 3.28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \quad (2.34)$$

dan

$$t_d = \frac{L_s}{60V} \quad (2.35)$$

Dimana

n = angka kekasaran Manning,

S = Kemiringan lahan

L = panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m),

L_s = panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m),

V = kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

2.2.1.6 Debit Rencana

Debit air hujan atau debit limpasan adalah apabila intensitas hujan yang jatuh di suatu Daerah Aliran Sungai melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan – cekungan pada permukaan tanah. Setelah cekungan – cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir diatas permukaan tanah. Debit air hujan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Rumus Debit Limpasan :

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.36)$$

Dimana :

Q = Debit aliran air limpasan (m³/detik)

C = Koefisien *run off* (berdasarkan standar baku)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (ha)

0,00278 = Konstanta

2.2.1.7 Koefisien Aliran Permukaan (C)

Koefisien C didefinisikan sebagai misbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor ini merupakan variabel yang paling menentukan hasil perhitungan debit banjir. Koefisien limpasan juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah. Laju infiltrasi menurun pada hujan yang terus menerus dan juga dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan air sebelumnya (Suripin, 2004). Harga C untuk berbagai tipe tanah dan penggunaan lahan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.8 Koefisien limpasan C

Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Business	
Perkotaan	0.70-0.95
Pinggiran	0.50-0.70
Perumahan	
Rumah tunggal	0.30-0.50
Multiunit, terpisah	0.40-0.60
Multiunit, tergabung	0.60-0.75
perkampungan	0.25-0.40
apartemen	0.50-0.70
Industri	
Ringan	0.50-0.80
Berat	0.60-0.90
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%	0.05-0.10
Rata-rata, 2-7%	0.18-0.22
Curam, 7%	0.25-0.35
Halaman kereta api	0.10-0.35
Taman tempai 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 dalam buku Suripin, 2004

Tabel 2.9 Koefisien *runoff* dan persentase kedap air

Tata guna lahan	Karakteristik	C	Im(%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0.90	100	
Industry	Bangunan Penuh	0.80	80	Berkurang untuk bangunan tidak penuh.
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha 30 rmh/ha 40 rmh/ha 60 rmh/ha	0.48 0.55 0.65 0.75	30 40 60 75	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
Permukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0.40	<20	CN=85 (Curve Number)
Taman	Daerah datar	0.30	0	
Pedesaan	Tanah berpasir		0	C = 0.20; CN = 60
	Tanah berat (heavy soil)		0	C = 0.35; CN = 75
	Daerah irigasi		0	C = 0.50; CN = 85

Sumber ; US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, June 1986

2.2.2 Analisis Hidraulika

2.2.2.1 Jenis Pengaliran

a. Saluran terbuka

Aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*) (Suripin, 2004). Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer. Saluran ini berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan atau air hujan yang terletak di daerah yang mempunyai luasan cukup, ataupun drainase air non-hujan yang tidak membahayakan kesehatan / mengganggu lingkungan. Contoh saluran terbuka antara lain : sungai, saluran irigasi, selokan, talud dan estuari. Persamaan bernoulli untuk aliran terbuka dalam saluran yaitu :

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (2.37)$$

Dimana :

h = ketinggian (m)

P = tekanan hidrostatik (N/m²)

ρ = rapat massa air (kg/m³)

V = kecepatan aliran (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

b. Saluran tertutup

Aliran saluran tertutup memungkinkan adanya permukaan bebas dan aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Saluran tertutup kemungkinan dapat terjadi aliran bebas maupun aliran tertekan pada saat yang berbeda. Saluran ini bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa). Hal ini dikarenakan tuntutan artistik atau tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang dan lain-lain. Saluran ini umumnya sering dipakai untuk aliran air kotor (air yang mengganggu kesehatan/lingkungan) atau untuk saluran yang terletak di tengah kota. Contoh saluran tertutup antara lain : terowongan, pipa, *aqueduct*, gorong-gorong dan siphon.

Persamaan bernoulli untuk aliran tertutup dalam saluran yaitu :

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (2.38)$$

Dimana :

h = ketinggian (m)

V = kecepatan aliran (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

Dalam aliran fluida pipa akan terjadi gesekan antara air dengan pipa. Besarnya gesekan ini tergantung pada viskositas dan kecepatan aliran. Untuk mengatasi gesekan didalam mekanika fluida diterapkan kehilangan energi (h_f). Hubungan kehilangan energi (h_f) dengan kecepatan aliran dan gaya kekentalan (viskositas) diberikan rumus Darcy-Weisbach sebagai berikut.

$$h_f = \frac{f l v^2}{2gd} \quad (2.39)$$

Dimana :

f = koefisien gesekan

l = panjang pipa (m)

v = kecepatan aliran (m/detik)

d = diameter pipa (m)

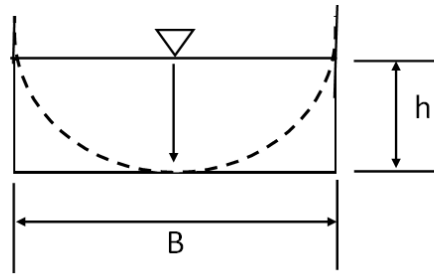
g = gaya gravitasi (m/detik)

Koefisien gesekan sangat bergantung pada viskositas cairan. Hal ini ditunjukkan f sebagai fungsi bilangan Reynold (N_{re}). Rumus Darcy-Weisbach berlaku untuk aliran laminar maupun turbulen.

2.2.2.2 Bentuk Saluran

Menurut Suripin (2004), penampang melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewatkan debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum. Menentukan dimensi penampang melintang saluran yang ekonomis untuk berbagai macam bentuk adalah sebagai berikut:

a. Penampang Berbentuk Persegi yang Ekonomis



Gambar 2.8 Saluran Bentuk Persegi
Sumber: Suripin, 2004

Penampang melintang saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar B dan kedalaman air h, maka

$$A = Bh \text{ atau } B = \frac{A}{h} \quad (2.40)$$

$$P = B + 2h \quad (2.41)$$

jika disubstitusikan maka,

$$P = \frac{A}{h} + 2h \quad (2.42)$$

dengan asumsi luas penampang, A adalah konstan, maka Persamaan (2.42) dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh harga P minimum.

$$\frac{\partial P}{\partial h} = -\frac{A}{h^2} + 2 = 0 \quad (2.43)$$

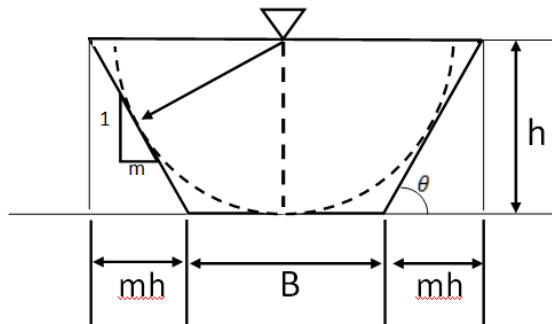
$$A = 2h^2 = Bh \text{ atau } B = 2h \text{ atau } h = \frac{B}{2} \quad (2.44)$$

jari-jari hidraulik,

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h} \text{ atau } R = \frac{2h^2}{2h+2h} = \frac{h}{2} \quad (2.45)$$

Maka dari itu, bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air.

b. Penampang Berbentuk Trapesium yang Ekonomis



Gambar 2.9 Saluran Bentuk Trapesium
Sumber: Suripin, 2004

Luas penampang melintang, A dan keliling basah, P, saluran dengan penampang melintang yang berbentuk trapezium dengan lebar dasar B, kedalaman aliran h, dan kemiringan dinding 1:m

$$A = (B+mh)h \quad (2.46)$$

$$P = B+2h\sqrt{m^2 + 1} \text{ atau } B = P-2h\sqrt{m^2 + 1} \quad (2.47)$$

Jika nilai B disubstitusikan pada A maka,

$$A = (P - 2h\sqrt{m^2 + 1})h + mh^2 \text{ atau } A = Ph - 2h^2\sqrt{m^2 + 1} + mh^2 \quad (2.48)$$

Asumsikan luas penampang A dan kemiringan dinding m, adalah konstan maka persamaan diatas dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh kondisi P minimum.

$$\frac{\partial A}{\partial h} = P - 4h\sqrt{m^2 + 1} + 2mh = 0 \quad (2.49)$$

$$\text{atau } P = 4\sqrt{m^2 + 1} - 2mh \quad (2.50)$$

dengan menganggap h konstan, mendiferensial persamaan (2.50) dan membuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{\partial P}{\partial m} = \frac{1}{2} \left(4h \frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} \right) - 2h = 0 \quad (2.51)$$

atau

$$\frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} = 1 \quad (2.52)$$

$$4m^2 = 1 + m^2; m = \sqrt{\frac{1}{3}} = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{3}}} \quad (2.53)$$

Nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (2.54) maka persamaan yang diperoleh adalah

$$P = \frac{8}{3}h\sqrt{3} - \frac{2}{3}h\sqrt{3} = 2h\sqrt{3} = 2h\sqrt{3} \quad (2.54)$$

Jika nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (2.55), maka persamaan yang diperoleh adalah

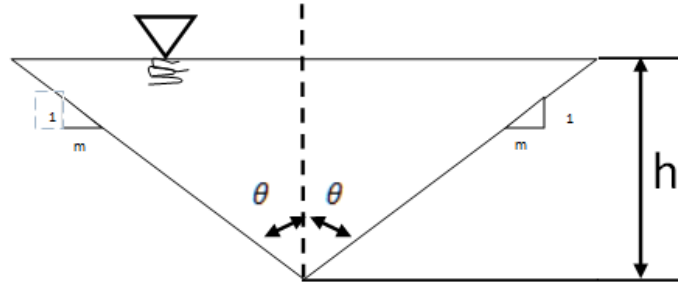
$$B = 2h\sqrt{3} - \frac{4}{3}h\sqrt{3} = \frac{2}{3}h\sqrt{3} \quad (2.55)$$

Selanjutnya, jika nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (2.56), maka diperoleh persamaan berikut:

$$A = \left(\frac{2}{3}h\sqrt{3} + \frac{1}{3}h\sqrt{3} \right) h = h^2\sqrt{3} \quad (2.56)$$

Jadi, penampang trapezium yang paling efisien adalah jika kemiringan dindingnya, $m = (1/\sqrt{3})$, atau $\theta = 60^\circ$. Trapezium yang berbentuk berupa setengah segienam beraturan (heksagonal).

c. Penampang Berbentuk Segitiga yang Ekonomis



Gambar 2.7 Saluran Bentuk Segitiga

Sumber: Suripin, 2004

Pada potongan melintang saluran yang berbentuk segitiga dengan kemiringan sisi terhadap garis vertikal, θ , dan kedalaman air, h , maka penampang basah = A_m dan keliling basah, P , dapat ditulis sebagai berikut :

$$A = h^2 \tan \theta \text{ atau} \quad (2.57)$$

$$h = \sqrt{\frac{A}{\tan \theta}} \quad (2.58)$$

$$P = (2h) \sec \theta \quad (2.59)$$

$$P = \frac{2\sqrt{A}}{\sqrt{\tan \theta}} (\sec \theta) \quad (2.60)$$

Pada luas penampang, A , konstan, dengan mendiferensialkan persamaan (2.63) terhadap θ dan dibuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{dP}{d\theta} = 2\sqrt{A} \left[\frac{\sec \theta \tan \theta}{\sqrt{\tan \theta}} - \frac{\sec^3 \theta}{2(\tan \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] = 0 \quad (2.61)$$

atau

$$\sec\theta(\tan^2\theta - \sec^2\theta) = 0 \quad (2.62)$$

karena $\sec\theta \neq 0$, maka

$$2\tan^2\theta - \sec^2\theta = 0 \quad (2.63)$$

atau

$$\sqrt{2\tan\theta} = \sec\theta \quad (2.64)$$

jadi, $\theta = 45^\circ$, atau $m = 1$

Dengan demikian, saluran berbentuk segitiga yang paling ekonomis adalah jika kemiringan dindingnya membentuk sudut 45° dengan garis vertikal.

2.2.2.3 Syarat Sistem Pengaliran

a. Syarat kecepatan

Kecepatan dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya tegangan geser di dasar saluran, dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas. Kecepatan aliran mempunyai tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga, hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan. Komponen kecepatan ini bervariasi terhadap kedalaman dari permukaan air. Kecepatan minimum yang diijinkan adalah kecepatan terkecil yang tidak menimbulkan pengendapan dan tidak merangsang tumbuhnya tanaman aquatic dan lumut. Pada umumnya, kecepatan sebesar 0,60 – 0,90 m/detik dapat digunakan dengan aman apabila prosentase lumpur yang ada di air cukup kecil. Kecepatan 0,75 m/detik

bisa mencegah tumbuhnya tumbuh-tumbuhan yang dapat memperkecil daya angkut saluran.

Penentuan kecepatan aliran air didalam saluran yang direncanakan didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar kontruksi saluran tetap aman. Persamaan Manning sebagai berikut.

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (2.65)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/detik)

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis

S = Kemiringan memanjang saluran

Tabel 2.10 koefisien kekasaran manning

Bahan	Koefisien Manning, n
Besi tuang dilapis	0.014
Kaca	0.010
Saluran beton	0.013
Bata dilapis mortar	0.015
Pasangan batu disemen	0.050
Saluran tanah bersih	0.022
Saluran tanah	0.030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0.040
Saluran pada galian batu padas	0.040

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 12/PRT/2014

b. Syarat Tekanan

Distribusi tekanan dalam penampang saluran tergantung pada kondisi aliran. Seperti kondisi aliran berikut.

1) Aliran statis

Aliran statis mempunyai komponen horizontal dan vertikal resultan gaya yang bekerja pada kolom air adalah nol karena air dalam kondisi stasioner.

Gaya tekan yang bekerja pada dasar kolom air dengan arah vertikal $= p \cdot \Delta A$. Berat air dalam kolom air bekerja vertikal ke bawah, karena resultan gaya vertikal sama dengan nol maka dapat ditulis :

$$p \cdot \Delta A = \rho \cdot g \cdot h \cdot \Delta A \quad (2.66)$$

atau

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.67)$$

Intensitas tekanan berbanding langsung dengan kedalaman air dari permukaan. Hubungan antara intensitas tekanan dan kedalaman adalah linier (garis lurus) apabila rapat massa air (ρ) adalah konstan.

2) Aliran horizontal paralel

Asumsi tidak ada percepatan ke arah aliran dan kecepatan aliran sejajar dengan dasar saluran dan seragam keseluruhan penampang saluran, sehingga garis aliran sejajar dasar saluran. Karena tidak ada percepatan ke arah aliran, maka resultan komponen gaya ke arah ini adalah nol. Resultan komponen gaya vertikal juga sama dengan nol, sehingga :

$$\rho \cdot g \cdot h \cdot \Delta A = p \cdot \Delta A \quad (2.68)$$

atau

$$p = \rho \cdot g \cdot h = \gamma \cdot h \quad (2.69)$$

3) Aliran permanen tidak seragam

Aliran ini terjadi misalnya pada tikungan dan terjunan, maka garis aliran tidak sejajar dasar saluran. Distribusi tekanan tidak hidrosatis karena ada percepatan dan perlambatan. Jika jari-jari kelengkungan (curvature) garis aliran $= r$ dan kecepatan aliran V , maka percepatan sentrifugal (a_c) adalah :

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad (2.70)$$

dan gaya sentrifugal (F_c) adalah :

$$F_c = \rho \cdot h_s \cdot \Delta A \cdot \frac{v^2}{r} \quad (2.71)$$

tinggi tekan yang bekerja pada dasar kolom air akibat percepatan sentrifugal adalah:

$$h_a = \frac{1}{g} h_s \frac{v^2}{r} \quad (2.72)$$

Tekanan akibat gaya sentrifugal bekerja searah dengan gaya berat air untuk lengkung konvek dan arahnya berlawanan untuk lengkung konkaf, sehingga total tinggi tekan yang bekerja pada dasar kolom air adalah:

$$h = h_s \left(1 \pm \frac{1}{g} \frac{v^2}{r} \right) \quad (2.73)$$

4) Syarat Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran arah memanjang dipengaruhi kondisi topografi serta tinggi tekanan yang diperlukan untuk adanya pengaliran sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Kemiringan dasar saluran maksimum yang diperbolehkan adalah 0,005 – 0,008 tergantung bahan saluran yang digunakan. Kemiringan yang lebih curam dari 0,002 bagi tanah lepas sampai dengan 0,005 untuk tanah padat akan menyebabkan erosi (penggerusan). Kemiringan dasar saluran yang ideal dapat diperoleh berdasarkan rumus Manning ($V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$).

5) Syarat *freeboard* (jagaan)

Freeboard atau jagaan dari suatu saluran adalah jarak vertikal dari puncak tanggul sampai permukaan air pada kondisi perencanaan. Jagaan direncanakan untuk dapat mencegah peluapan air akibat gelombang serta fluktuasi permukaan air, misalnya berupa gerakan-gerakan angin serta pasang surut. Jagaan tersebut direncanakan antara kurang dari 5 % sampai dengan 30 % lebih dari dalamnya aliran.

2.2.2.4 Kapasitas Saluran Drainase

Kapasitas saluran drainase dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = V.A \quad (2.74)$$

Keterangan:

Q = Debit aliran dalam saluran (m^3/det)

V = Kecepatan aliran dalam saluran (m/det)

A = Penampang basah saluran (m^2)

2.3 Pemodelan Drainase dengan Model EPA SWMM 5.1

EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*) adalah model yang digunakan untuk merencanakan, menganalisis dan mendesain suatu model yang berhubungan dengan limpasan air hujan dan sistem drainase pada area perkotaan.

Aplikasi model SWMM ini dapat digunakan untuk beberapa hal antara lain perencanaan dan dimensi jaringan pembuang untuk pengendalian banjir serta

perencanaan daerah penahan sementara untuk pengendalian banjir. Selain itu juga dapat digunakan untuk pemetaan daerah genangan banjir.

Program SWMM bersifat gratis (*public domain*) yang telah beredar sejak Juli 2009. Program SWMM tersedia di website resmi *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). Pemilihan *software* EPA SWMM dalam penelitian ini karena mampu mensimulasikan antara hidrologi dan hidrolika dalam sekali *running*. Sedangkan *software* yang setara hanya mampu mensimulasikan satu komponen saja, hidrologi atau hidrolika. Kemampuan *software* EPA SWMM yang lainnya adalah sebagai berikut:

- a. Tangkai jaringan dengan ukuran tidak terbatas,
- b. Menggunakan standar yang luas untuk menutup dan membuka saluran seperti halnya saluran alami,
- c. Model khusus seperti penyimpangan, pembagi aliran, pompa, bendungan,
- d. Penerapan air dan masukan arus eksternal berkualitas dari permukaan aliran, aliran bawah tanah,
- e. Penggunaan gelombang baik kinematik maupun arus gelombang yang penuh,
- f. Berbagai macam arus, seperti air yang tertahan karena pasang, pembalikan arus dan permukaan kolam,
- g. Menerapkan kendali dinamis untuk menirukan operasi pompa mulut yang membuka dan tingkatan puncak bendungan.

Software EPA SWMM dapat mensimulasikan limpasan yang terjadi dengan *input* data pada objek yang tersedia pada aplikasi EPA SWMM sebagai berikut (M. Rizal Zarkani, 2016):

a. *Rain gage*

SWMM menggunakan obyek *rain gage* untuk menampilkan input data ke sistem. *Rain gage* menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih *subcatchment* area pada studi wilayah (Manual EPA SWMM).

b. *Subcatchment*

Subcatchment adalah unit hidrologi dari tanah dimana topografi dan element sistem drainase menunjukan permukaan *runoff* pada satu titik pelepasan (Manual EPA SWMM). Data yang dimasukkan dalam *subcatchment* adalah sebagai berikut :

- 1) Rain gage (nama rain gage yang digunakan)
- 2) Outlet (nama node yang menerima *run off subcatchment*)
- 3) Area (luas *subcatchment*)
- 4) Width (panjang pengaliran)
- 5) % Slope (persentase kemiringan *subcatchment*)
- 6) % Imperv (persentase kedap air)
- 7) N-Imperv (nilai n manning untuk aliran permukaan di daerah *impervious*)
- 8) N-Perviousness (nilai n manning untuk aliran permukaan di daerah *perviousousness*).

Tabel 2.11 Nilai Koefisien kekasaran n

Tata Guna Lahan	n
Kedap air	0.02
Timbunan tanah	0.1
Tanaman pangan/tegalan dengan sedikit rumput pada tanah gundul yang kasar dan lunak	0.2
Padang Rumput	0.4
Tanah gundul yang kasar dengan runtunan dedaunan	0.6
Hutan dan sejumlah semak belukar	0.8

Sumber: Ponce, 1989 dalam Bambang Triadmodjo, 2009

9) % *Zero imperviousness* (persentase dari *impervious* area tanpa *depression storage*)

10) *Infiltration* (pilihan untuk metode perhitungan infiltrasi dan parameternya)

c. *Junction*

Junction dapat menampilkan pertemuan dari saluran permukaan alami, lubang got dari sistem pembuangan, atau pipa penghubung (Manual EPA SWMM).

d. *Outfall*

Outfall adalah titik terminal dari sistem drainase biasanya ditetapkan akhir dari batas hilir (Manual EPA SWMM).

e. *Flow divider*

Flow divider adalah sistem drainase dimana *inflow* dialihkan pada *conduit* tertentu. Sebuah *flow divider* dapat memiliki tidak lebih dari dua *conduit* pada satu sistemnya (Manual EPA SWMM).

f. *Storage units*

Storage units adalah penyediaan volume tampungan. Fasilitas tampungan dapat sekecil kolam atau sebesar danau. Volumetrik dari unit tampungan dibuat dari fungsi atau tabel dari area permukaan dan tinggi (Manual EPA SWMM).

g. *Conduit*

Conduit adalah saluran yang mengalirkan air. SWMM menggunakan rumus Manning untuk menyatakan hubungan antara debit (Q), luas penampang (A), jari-jari hidraulis (R), dan kemiringan (S).

h. *Pumps*

Pumps digunakan untuk menaikkan air atau meninggikan elevasi air.

Hidup dan mati pompa dapat diatur secara dinamik sepanjang pengaturan kontrol yang telah ditetapkan oleh pengguna. (Manual EPA SWMM)

i. *Flow regulators*

Flow regulators adalah struktur atau sarana yang digunakan untuk mengontrol atau mengalihkan aliran. (Manual EPA SWMM).

2.4 Penanganan Banjir Jalan KH. Zaenal Mustofa

2.4.1 Perencanaan Ulang Sistem Drainase

Dasar-dasar perencanaan ulang yang diterapkan merupakan rumus-rumus dan ketentuan-ketentuan yang umumnya dipakai dalam merencanakan sistem penyaluran air hujan. Pemakaian rumus-rumus serta ketentuan-ketentuan tersebut disesuaikan dengan kondisi local, berupa kondisi topografi, geologi, klimatologi, dan tata guna lahan. Dengan mempertimbangkan beberapa alternatif sistem yang meliputi segi teknis dan ekonomis. Alternatif terpilih merupakan hasil paling optimal dari berbagai kriteria yang ditetapkan.

Proses penanganan perencanaan drainase baru untuk kota sedang dan kota kecil harus melalui penyusunan, yaitu *outline plan*, rancangan terinci (*DED*), dan *implementation*. *Outline plan* paling sedikit memuat: inventarisasi kondisi awal sistem drainase, termasuk daerah genangan; kajian dan analisis drainase dan konservasi air; rencana sistem jaringan drainase perkotaan; skala prioritas dan tahapan genangan; perencanaan dasar; pembiayaan.

2.4.2 Fasilitas Penahan Air Hujan

a. Sumur Resapan Air Hujan

Fasilitas resapan air hujan adalah prasarana untuk menampung dan meresapkan air hujan ke dalam tanah. Fasilitas ini digunakan jika daerah stabil, jika jenuh air dan memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi dan pengisian air tanah tidak mengganggu stabilitas geologi.

b. Kolam Drainase Tampung air Sementara

Air yang masuk ke dalam kolam drainase tampung air sementara dibatasi hanya untuk dari samping jalan. Menampung air limpasan yang tidak dapat ditampung oleh gorong-gorong maupun saluran yang terpasang, sehingga debit puncak air banjir tidak menggenangi sampai dikasawan permukiman atau di sisi jalan.

