BAB 2
STUDI LITERATUR

2.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi yaitu penjelasan tentang pengolahan data-data hidrologi yang tersedia sehingga didapat debit perencanaan yang diperlukan. Data hidrologi sangat penting dalam merencanakan saluran drainase. Data hidrologi salah satunya adalah data curah hujan untuk menganalisis jumlah debit yang ada, data kemudian diurutkan menurut fungsi waktu sehingga merupakan data deret berkala. Data deret berkala tersebut kemudian dilakukan pengetesan/pengujian tentang konsitensi dan kesamaan jenis (*Soewarno, 1995:23*). Untuk melakukan perencanaan drainase diperlukan penggunaan metode yang tepat karena Ketidaksesuaian dalam penggunaan metode dapat mengakibatkan hasil perhitungan menjadi tidak tepat digunakan pada kondisi yang sesungguhnya terjadi. Analisis hidrologi merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh dalam suatu perencanaan hal ini diperlukan untuk dapat mengatasi aliran permukaan yang terjadi agar tidak mengakibatkan terjadinya genangan.

2.1.1 Curah Hujan Regional

Jika di dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata – rata untuk mendapatkan nilai curah hujan areal. Ada 3 macam cara 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, C.D, 1995)

2.1.1.1 Metode Rerata Aljabar

Tinggi rata – rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata – rata pada pengukuran hujan di stasiun curah hujan yang menjadi daerah tangkapan.

$$R = \frac{1}{n}\, x\, (R_A + R_B + R_C + \cdots + R_n) \qquad \ldots (2.1)$$

Dengan :

R = Tinggi curah hujan rata-rata

R_A, R_B,…., Rn = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,…….,n

N = Banyaknya pos penakar

2.1.1.2 Metode poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang *(weighted average),* masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara 2 buah pos penakar.

$$R = \frac{R_A.A_A + R_B.A_B + R_C.A_C + \cdots + R_N.A_N}{A_A + A_B + A_C + \cdots + A_n} \quad \ldots (2.2)$$

Dengan :

A = Luas areal

R = Tinggi curah hujan rata-rata areal

R_A, R_B, R_N = Tinggi curah hujan di pos 1,2, ……..,n

A_A, A_B, A_N = Luas daerah pengaruh pos 1,2, ……. n

2.1.1.3 Metode isohyet

Dengan cara ini, harus menggambar terlebih dulu kontur tinggi hujan yang sama (isohyet).

$$R = \frac{A_A\left(\frac{R_{A+}R_B}{2}\right) + A_B\left(\frac{R_{B+}R_C}{2}\right) + \cdots + A_{n-1}\left(\frac{P_{n-1+}P_n}{2}\right)}{A_A + A_B + \cdots + A_{n-1}} \quad \ldots (2.3)$$

Dengan :

A = Luas areal

R = Tinggi hujan rata-rata areal

R_A, R_B, R_n = Tinggi curah hujan di pos 1,2, ……, n

A_A, A, A_n = Luas daerah pengaruh pos 1,2, ……, n

2.1.2 Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan merupakan besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada suatu daerah tertentu dengan periode ulang tertentu yang dipakai sebagai dasar perhitungan dan perencanaan suatu dimensi bangunan air. Terdapat beberapa teknik dalam melakukan analisis frekuensi curah hujan yang digunakan dalam pengolahan data hidrologi, namun yang banyak digunakan adalah *Log Pearson Tipe III* dengan pertimbangan, bahwa metode ini lebih luwes dan dapat dipakai untuk semua macam sebaran data.

2.1.3 Periode Ulang dan Analisis Frekuensi

Periode ulang adalah perkiraan waktu dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Besarnya debit hujan untuk fasilitas drainase tergantung pada interval kejadian atau periode ulang yang dipakai. Dengan memilih debit dengan periode ulang yang panjang dan berarti debit hujan besar, kemungkinan terjadinya resiko kerusakan menjadi menurun, namun biaya konstruksi untuk menampung debit yang besar meningkat. Sebaliknya debit dengan periode ulang yang terlalu kecil dapat menurunkan biaya konstruksi, tetapi meningkatkan resiko kerusakan akibat banjir. Sedangkan frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi, antara lain :

2.1.3.1 Distribusi Normal

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

$$X_T = \bar{X} + K_T \, x \, s \qquad \ldots (2.4)$$

Dimana :

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

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata dari data hujan (X) mm

S = standar deviasi dari data hujan (X) mm.

K_T = faktor Frekuensi, nilainya bergantung dari T. Nilai K_T bisi dilihat pada table dibawah ini

Tabel 2.1 Nilai KT Untuk Distribusi Normal

No	Periode Ulang	Peluang	K_T	No	Periode Ulang	Peluang	K_T
1	1.001	0.999	-3.05	12	3.330	0.300	0.52
2	1.005	0.995	-2.58	13	4	0.250	0.67
3	1.010	0.990	-2.33	14	5	2.000	0.84
4	1.050	0.950	-1.64	15	10	0.100	1.28
5	1.110	0.900	-1.28	16	20	0.500	1.64
6	1.250	0.800	-0.84	17	50	0.020	2.05
7	1.330	0.750	-0.67	18	100	0.010	2.33
8	1.430	0.700	-0.52	19	200	0.005	2.58
9	1.670	0.600	-0.25	20	500	0.002	2.88
10	2.000	0.500	0.00	21	1000	0.001	3.09
11	2.500	0.400	0.25				

(Sumber : Bonnier, 1980 dalam Suripin, 2004)

2.1.3.2 Distribusi Log Normal

Jika variabel acak Y = log X terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. Persamaan distribusi log normal dapat ditulis dengan :

$$Y_T = \bar{Y} + K_T \, x \, s \quad \text{... (2.5)}$$

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

$Y_T = \log x$

$\bar{Y}$ =: Nilai rata-rata dari data hujan (mm)

S = Standar deviasi dari data hujan (mm)

K_T = Faktor Frekuensi, nilainya bergantung dari T. Nilai K_T bisi dilihat pada tabel 2.1

2.1.3.3 Distibusi Log-Person III

Persamaan distribusi Log-Person III hampir sama dengan persamaan distribusi Log Normal, yaitu sama-sama mengkonversi ke dalam bentuk logaritma.

$$Y_T = \bar{Y} + K_T \, x \, s \quad \text{... (2.6)}$$

Dimana besarnya nilai KT tergantung dari koefisien kemencengan G. Tabel 2.2 memperlihatkan harga KT untuk berbagai nilai kemencengan G. Jika nilai G sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi Log Normal.

Tabel 2.2 Nilai Kt Untuk Distribusi Log-Pearson III

Koef. G	Interval Kejadian (Periode ulang)							
	1.0101	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Presentasi Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
0.0	-2.326	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.051	2.326
-0.2	-2.472	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.68	1.945	2.178
-0.4	-2.615	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029
-0.6	-2.755	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880
-0.8	-2.891	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-1.0	-3.022	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.2	-2.149	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449
-1.4	-2.271	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318
-1.6	-2.388	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.8	-3.499	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087
-2.0	-3.605	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990
-2.2	-3.705	-0.574	0.33	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905
-2.4	-3.800	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832
-2.6	-3.889	-0.490	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769
-2.8	-3.973	-0.469	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714
-3.0	-7.051	-0.420	0.369	0.636	0.66	0.666	0.666	0.667

Koef. G	Interval Kejadian (Periode ulang)							
	1.0101	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Presentasi Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3.0	-0.667	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051
2.8	-0.714	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973
2.6	-0.769	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	2.889
2.4	-0.832	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800
2.2	-0.905	-0.752	-0.33	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705
2.0	-0.990	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.892	3.605
1.8	-1.087	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499
1.6	-1.197	-0.817	-0.254	0.675	1.329	1.163	2.780	3.388
1.4	-1.318	-0.832	-0.225	0.700	1.337	2.128	2.706	3.271
1.2	-1.449	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149
1.0	-1.588	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022
0.8	-1.733	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891
0.6	-1.880	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755
0.4	-2.029	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615
0.2	-2.178	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472

(Sumber : Suripin, 2004)

2.1.3.4 Distribusi Gumbel

Bentuk dari persamaan distribusi Gumbel dapat ditulis sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K\ x\ s \qquad \text{... (2.7)}$$

Besarnya faktor frekuensi dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \qquad \text{... (2.8)}$$

Dimana :

X_T = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang Tr tahun (mm)

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata data hujan (X)

S = Standar deviasi dari data hujan (X)

K = Faktor frekuensi Gumbel

Y_{tr} =*Reduced variated*

S_n = *Reduced standard deviasi*

Y_n = *Reduced Mean*

Besarnya nilai Sn, Yn, dan Ytr dapat dilihita pada table dibawah ini :

Tabel 2.3 *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	0.5268	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5471	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	0.5600	0.5603	0.5604	0.5606	0.5607	0.5608	0.5609	0.5610	0.5611

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 2.4 *Reduced standard deviasi* (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	1.148	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.159
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	1.189	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 2.5 *Reduced variated* (Y_{Tr})

Periode Ulang Tr (tahun)	*Reduced Variate* Ytr	Periode Ulang Tr (tahun)	*Reduced Variate* Ytr
2	0.3668	100	4.6012
5	1.5004	200	5.2969
10	2.251	250	5.5206
20	2.9709	500	6.2149
25	3.1993	1000	6.9087
50	3.9028	5000	8.5188
75	4.3117	10000	9.2121

(Sumber : Suripin, 2004)

Sebelum menganalisis data hujan dengan salah satu distribusi di atas, perlu pendekatan dengan parameter-parameter statistik untuk menentukan distribusi yang tepat digunakan, parameter-parameter tersebut meliputi :

$$Rata - rata\ (\bar{X}) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi \qquad \ldots (2.9)$$

$$Simpangan\ Baku\ (S) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi - \bar{X})^2}{n-1}} \qquad \ldots (2.10)$$

$$koefisien\ Variasi\ (Cv) = \frac{S}{\bar{X}} \qquad \ldots (2.11)$$

$$Koefisien\ skewness\ (Cs) = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(Xi - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)\,.S^3} \qquad \ldots (2.12)$$

$$Koefisien\ ketajaman\ (Ck) = \frac{n^2 \sum_{i=1}^{n} (Xi - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3).S^4} \quad \ldots (2.13)$$

Tabel 2.6 Karakteristik Distribusi Frekuensi

Jenis distribusi frekuensi	Syarat distribusi
Distribusi Normal	Cs = 0 dan Ck = 3
Distribusi Log Normal	Cs >0 dan Ck >3
Distribusi Gumbel	Cs = 1,139 dan Ck =5,402
Distribusi Log-Person III	Cs antara 0 – 0,9

(Sumber : Suripin, 2004)

2.1.4 Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Menurut Suripin (2004,57) diperlukan penguji parameter untuk menguji kecocokan (*the godness of fittest test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

2.1.4.1 Uji Chi – Square

Menurut Kusnan (2010:24) *Uji chi-square* dipergunakan untuk mengetahui berapa jauh interdepensi antara satu variable atau lebih dengan variable lainnya dan kesesuaian antara frekuensi observasi (pengamatan) pada variable tertentu dengan frekuensi yang diperoleh berdasarkan terapan. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^{G} \frac{(Oi - Ei)^2}{Ei} \quad \ldots (2.14)$$

Dengan :

X_h^2 = Parameter Chi-kuadrat terhitung

G = Jumlah sub kelompok

Oi = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

Ei = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

2.1.4.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut juga uji kecocokan non parametik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
   X1 = P(X1)
   X2 = P(X2)
   X3 = P(X3) dan seterusnya.
2. Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil pengambaran data (persamaan distribusinya).
   X1 = P'(X1)
   X2 = P'(X2)
   X3 = P'(X3) dan seterusnya.
3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
   $D_{maksimum} = P(X_n) - P'(X_n)$ …(2.15)
4. Berdasarkan Tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan harga Do.

Tabel 2.7 Nilai kritis Do untuk uji Smirnov-Kolmogorov

n	Nilai kritis Smirnov-Kolmogorov (a)			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
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	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
n>50	$\frac{1.07}{n^{0.5}}$	$\frac{1.22}{n^{0.5}}$	$\frac{1.36}{n^{0.5}}$	$\frac{1.63}{n^{0.5}}$

(Sumber : Bonnier, 1980 dalam Suripin, 2004)

Apabila nilai D maksimum lebih kecil dari Do, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima. Apabila D maksimum lebih besar dari Do, maka secara teoritis pula distribusi yang digunakan tidak dapat diterima.

2.1.5 Debit Air Hujan

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. Data debit dan curah hujan pada DAS merupakan informasi hidrologi yang penting untuk mengetahui dampak yang terjadi pada DAS tersebut, pada penulisan skripsi ini analisis debit banjir menggunakan metode hidrograf satuan sintetik US SCS dengan pemodelan menggunakan HEC-HMS adapun persamaan dari metode SCS adalah sebagai berikut :

$$Qp = C\ \frac{A}{T_p} \qquad (2.16)$$

Tabel 2.8 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)

2.1.6 Koefisien Pengaliran

Koefisien Pengaliran adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir disuatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah air hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan pengaruh pemanfaatan lahan dan aliran sungai. Koefisien pengaliran pada suatu daerah dipengaruhi oleh faktor-faktor penting (*Subarkah, 1980:51*). Nilai koefisien pengaliran bergantung dari jenis tanah, jenis vegetasi, karakteristik tata guna lahan dan konstruksi yang ada di permukaan tanah seperti jalan aspal, atap bangunan dan

lain-lain, yang menyebabkan air hujan tidak dapat sampai secara langsung ke permukaan tanah sehingga tidak dapat berinfiltrasi, maka akan menghasilkan limpasan permukaan hampir 100%. Koefisien pengaliran dapat ditentukan berdasarkan curah hujan (Wesli, 2008).

Tabel 2.9 Nilai CN Dengan Metode SCS

Cover Description		Curve Numbers for Hydrologic Soil Group:			
Cover Type and Hydrologic Condition	Average Percent Impervious Area[2]	A	B	C	D
Fully developed urban areas (vegetation established)					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.)[3]:					
Poor condition (grass cover less than 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50 to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover greater than 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curves and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only)[4]		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-in. sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
$\frac{1}{8}$ ac. or less (town houses)	65	77	85	90	92
$\frac{1}{4}$ ac.	38	61	75	83	87
$\frac{1}{3}$ ac.	30	57	72	81	86
$\frac{1}{2}$ ac.	25	54	70	80	85
1 ac.	20	51	68	79	84
2 ac.	12	46	65	77	82
Developing urban areas					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)[5]		77	86	91	94
Idle lands (curve numbers (CNs) are determined using cover types similar to those in Table 5-2(c)).					

2.1.7 Intensitas Hujan

Intensitas Hujan Rancangan adalah Tinggi hujan yang jatuh pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi, dan dihitung sesuai periode ulang banjir. Untuk mendapatkan Intensitas Hujan selama waktu konsentrasi digunakan rumus *Mononobe* (*Subarkah, 1980:20*). Intensitas hujan biasanya dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek misalnya 5 menit, 30 menit, 60 menit dan berjam-jam. Apabila yang tersedia hanya data hujan harian ini, maka intensitas hujan dapat diestimasi dengan menggunakan rumus Mononobe seperti berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \quad \text{... (2.17)}$$

Dimana

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm/jam)

T_c = Waktu (jam)

2.1.8 Waktu Konsentrasi

Waktu Konsentrasi adalah waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir dari suatu titik yang paling jauh ke suatu titik tertentu yang ditinjau pada suatu daerah pengaliran. Untuk menghitung Waktu Konsentrasi dipakai persamaan Kirpich (*Subarkah, 1980:50*). Waktu konsentrasi besarnya sangat bervariasi dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini :

- Luas daerah pengaliran.
- Panjang saluran drainase.
- Kemiringan dasar saluran.
- Debit dan kecepatan aliran.

Berikut ini merupakan persamaan untuk mencari waktu konsentrasi dengan menggunakan metode SCS

$$tl = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86CN)^{0.7}}{14.104CN^{0.7}\gamma^{0.5}} \quad \ldots 2.18$$

Tl = Waktu Konsentrasi (jam)

L = Panjang saluran (m)

CN = Koefisien pengaliran/nilai CN

γ = Kemiringan lahan (m)

2.2 Analisis Hidrolika

Banyaknya debit air hujan yang ada dalam suatu kawasan harus segera di alirkan agar tidak menimbulkan genangan air. Untuk dapat mengalirkannya diperlukan saluran yang dapat menampung dan mengalirkan air tesebut ke tempat penampungan. Penampungan tersebut dapat berupa sungai atau kolam retensi. Kapasitas pengaliran dari saluran tergantung pada bentuk, kemiringan dan kekasaran saluran. Sehingga penentuan kapasitas tamping harus berdasarkan atas besarnya debit air hujan.

2.2.1 Penampang Saluran Ekonomis

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu, Dalam perencanaan dimensi saluran harus diusahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu besar berarti tidak ekonomis, sebaliknya dimensi yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai.

2.2.1.1 Penampang Persegi

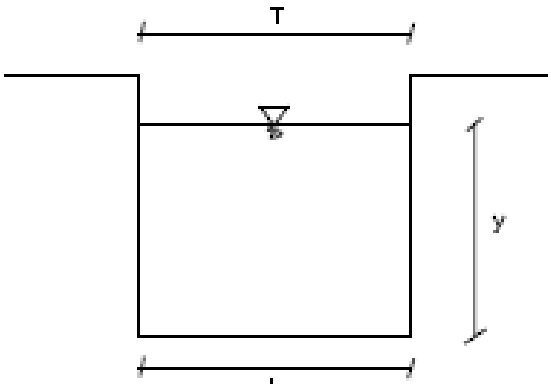
Dalam perencanaan saluran di lapangan dipakai saluran persegi dimana hubungan antara debit rencana dengan dimensi tampang ditentukan berdasarkan rumus Manning, yaitu :

Luas (A) $= b.h$ ... (2.19)

Keliling Basah (P) $= b + 2h$ ... (2.20)

Jari-Jari Hidrolik (R) $= \frac{A}{P}$ ... (2.21)

Lebar Puncak (T) $= b$ ... (2.22)



Gambar 2.1 Penampang Persegi

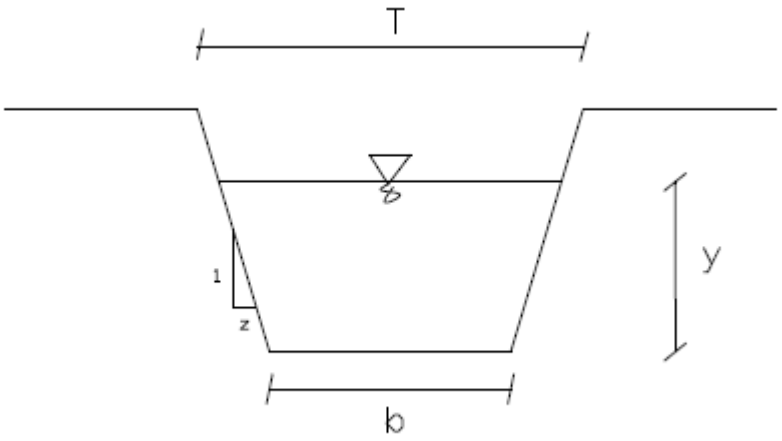
2.2.1.2 Penampang Trapesium

Luas (A) $= (b + zy).y$ ... (2.23)

Keliling Basah (P) $= B + 2y\sqrt{1 + z^2}$ ... (2.24)

Jari-Jari Hidrolik (R) $= \frac{A}{P}$ ... (2.25)

Lebar Puncak (T) $= b + 2zy$ ... (2.26)



Gambar 2.2 Penampang Trapesium

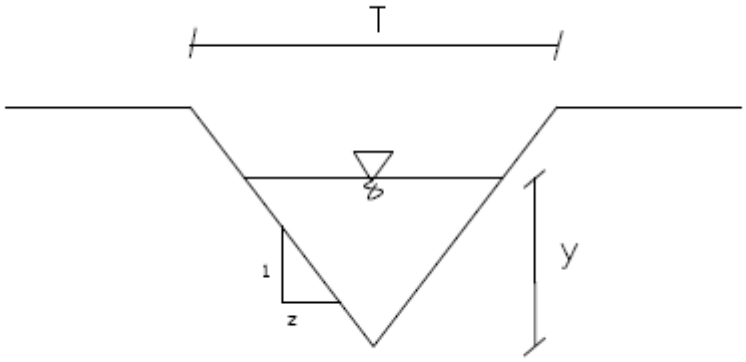
2.2.1.3 Penampang Segitiga

Luas (A) $= Zy^2$ ... (2.27)

Keliling Basah (P) $= 2y\sqrt{1 + z^2}$ ... (2.28)

Jari-Jari Hidrolik (R) $= \frac{A}{P}$ ... (2.29)

Lebar Puncak (T) $= 2zy$ ... (2.30)



Gambar 2.3 Penampang Segitiga

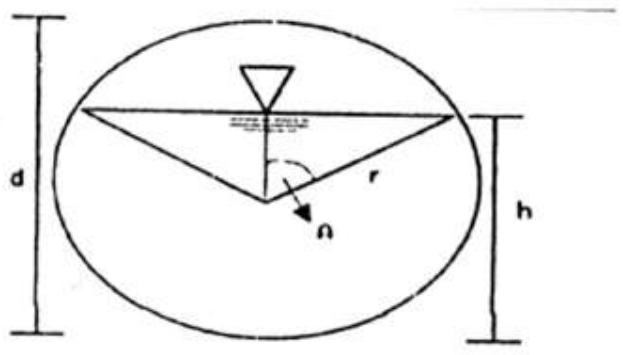
2.2.1.4 Penampang Lingkaran

Luas (A) $= \frac{1}{8}(\theta - sin\theta)D^2$ ... (2.31)

Keliling Basah (P) $= 1/2\ x\ \theta$ x D …(2.32)

Jari-Jari Hidrolik (R) $= \frac{1}{2}\left(1 - \frac{sin\theta}{\theta}\right)\ x\ D$ ... (2.33)

Lebar Puncak (T) $= 2\sqrt{y\ (D - y)}$ ... (2.34)



Gambar 2.4 Penampang Lingkaran

2.2.2 Prosedur Desain

Untuk mencari nilai kecepatan aliran dapat menggunakan rumus manning yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n}\ x\ R^{2/3}\ x\ S^{1/2} \quad \text{... (2.35)}$$

Dengan :

R = Jari-jari hidraulik

I = kemiringan saluran

n = Koefisen manning

Untuk nilai manning dan kecepatan izin yang di persyaratkan sesuai dengan bahan nya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.10 Koefisien 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	0,025
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 : B. Triatmodjo, 1993)

Tabel 2.11 Desain Saluran Berdasarkan Kecepatan Izin

No	Jenis Bahan	Vizin (m/det)
1	Pasir Halus	0.45
2	Lempung Kepasiran	0.5
3	Lahan Aluvial	0.6
4	Kerikil Halus	0.75
5	Lempung Kokoh	1.1
6	Lempung Padat	1.2
7	Batu – batu Besar	1.5
8	Pasangan Bata	1.5
9	Beton	1.5

(Sumber : Tata cara perencanaan drainase permukaan jalan, SNI 03-3424-1994)

Tabel 2.12 Kemiringan Dinding Saluran Sesuai Bahan

No	Bahan Saluran	Kemiringan (m)
1	Batuan / Cadas	~0
2	Tanah Lumpur	0.25
3	Lempung Keras / Tanah	0.5 – 1.0
4	Tanah dengan Pasangan	1
5	Batu	1.5
6	Lempung	2
7	Tanah Berpasir Lepas Lumpur Berpasir	3

(Sumber : Tata cara perencanaan drainase permukaan jalan, SNI 03-3424-1994)

2.3 Pengertian Drainase

Drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalirkan air. Dalam bidang teknik pegairan, drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air dari suatu kawasa/lahan, sehingga fungsi kawasan/lahan tidak tergangu (*Suripin, 2003 :7– 8).*

Drainase perkotaan mencakup pengelolaan pengaliran air limpasan (*run off)* yang berasal dari hujan yang jatuh pada daerah perkotaan kedalam sistem pembuang/drainase alamiah seperti sungai, danau, dan laut. Konsep drainase tersebut sebuah paradigma lama yaitu mengalirkan kelebihan air (utamanya air hujan) ke badan air terdekat. Air kelebihan secepatnya dialirkan ke saluran drainase, kemudian ke sungai dan akhirnya ke laut, sehinggga tidak menimbulkan genangan atau banjir. Sistem drainase semacam ini adalah drainase yang lahir sebelum pola pikir komprehensif berkembang.

Dengan perkembangan berfikir komprehensif maka diperlukan perubahan konsep drainase menuju ke drainase ramah lingkungan atau eko-drainase (paradigma baru). Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya untuk mengelola air kelebihan (air hujan) dengan berbagai metode diantaranya dengan menampung melalui bak tandon air untuk langsung bisa digunakan, menampung dalam tampungan buatan atau badan air alamiah, meresapkan dan mengalirkan ke sungai terdekat.

Dengan konsep drainase ramah lingkungan tersebut, maka kelebihan air hujan tidak secepatnya dibuang ke sungai terdekat, namun air hujan tersebut dapat disimpan di berbagai lokasi di wilayah yang bersangkutan dengan berbagai macam cara, sehingga dapat langsung dimanfaatkan atau dimanfaatkan pada musim berikutnya, dapat digunakan untuk mengisi/konservasi air tanah, dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas ekosistem dan lingkungan, dan dapat digunakan sebagai sarana untuk mengurangi genangan dan banjir yang ada.

Dengan drainase ramah lingkungan, maka kemungkinan banjir/genangan di lokasi yang bersangkutan, banjir di hilir serta kekeringan di hulu dapat dikurangi. Hal ini karena sebagian besar kelebihan air hujan ditahan atau diresapkan baik bagian hulu, tengah maupun hilir. Demikian juga Longsor di bagian hulu akan berkurang karena fluktuasi pergerakan tanah tidak ekstrim dan perubahan iklim yang ada di daerah tengah dan hulu dan beberapa daerah hilir tidak terjadi dengan tersedianya air yang cukup (*Permen Pu no.12 Tahun 2014)*

2.4 Peran Drainase

Sistem Drainase diperlukan unutk melakukan tindakan teknis dalam mengendalikan:

a. Kelebihan Air

Sistem drainase dapat mengendalikan terhadap kemungkinan adanya banjir, genangan air pada lahan produktif, erosi tanah serta kerusakan dan gangguan fisik, kimia dan biologi pada tanah produktif.

b. Elevasi Badan Air Permukaan

Adanya arus limpasan air hujan menuju badan air penerima maka akan timbul kemungkinan naiknya elevasi badan air permukaan. Selain itu, dampak lain

yang dapat menggangu adalah kemungkinan terjadinya air balik (*back water*) dan kerusakan terhadap badan air permukaan yang disebabkan oleh melimpahnya air permukaan.

c. Elevasi Permukaan Air Tanah Pada Lahan Produktif

Bila ada air hujan tanpa adanya saluran drainase, maka yang akan terjadi adalah menggenangnya jalan tanah dan lain sebagainya tanpa terkendali. Jadi kegunaan drainase secara umum adalah sebagai alat pematusan daerah dari kelebihan air permukaan dan air tanah. Apabila tidak adanya pematusan atau pengendali dan pengontrol, maka kiriman air hujan akan masuk secara tidak terkendali ke dalam badan penerima. Selain fungsi utama dari drainase adalah sebagai pemelihara dan pengendali sumber air yaitu untuk memelihara elevasi air baik air tanah maupun air permukaan.

2.5 Fungsi Drainase

a. Mengeringkan bagian wilayah kota yang permukaan lahannya rendah dari genangan sehingga tidak menimbulkan dampak negatif berupa kerusakan infrastruktur kota dan harta benda milik masyarakat.
b. Mengalirkan kelebihan air permukaan ke badan air terdekat secepatnya agar tidak membanjiri/menggenangi kota yang dapat merusak selain harta benda masyarakat juga infrastruktur perkotaan.
c. Mengendalikan sebagian air permukaan akibat hujan yang dapat dimanfaatkan untuk persediaan air dan kehidupan akuatik.
d. Meresapkan air permukaan untuk menjaga kelestarian air tanah.

2.6 Jenis-Jenis dan Pola Drainase

Berikut ini merupakan jenis-jenis dan berbagai pola sistem drainase yang ada

2.6.1 Jenis-Jenis Drainase

A. Menurut cara terbentuknya

1. Drainase alamiah (*natural drainage*)

   Terbentuk secara alami, tidak ada unsur campur tangan manusia serta tidak terdapat bangunan-bangunan pelimpah, pasangan batu/beton, gorong-gorong dan lain-lain.
2. Drainase buatan (*artificial drainage*)

Dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, kecepatan resapan air dalam tanah dan dimensi saluran serta memerlukan bangunan-bangunan khusus seperti selokan pasangan batu/beton, gorong-gorong, pipa-pipa dan sebagainya.

B. Menurut letak saluran

1. Drainase muka tanah (*surface drainage*)

   Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan.

2. Drainase bawah tanah (*sub surface drainage*)

   Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan itu antara lain: tuntutan artistic, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak memperbolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepakbola, lapangan terbang, taman dan lain-lain.

C. Menurut fungsi

1. *Single Purpose*

   Saluran berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan saja, misalnya air hujan atau jenis air buangan lain seperti limbah domestik, air limbah industri dan lain-lain.

2. *Multi-Purpose*

   Saluran berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian.

D. Menurut konstruksi

1. Saluran Terbuka

   Saluran untuk air hujan yang terletak di area yang cukup luas. Juga untuk saluran air non hujan yang tidak mengganggu kesehatan lingkungan.

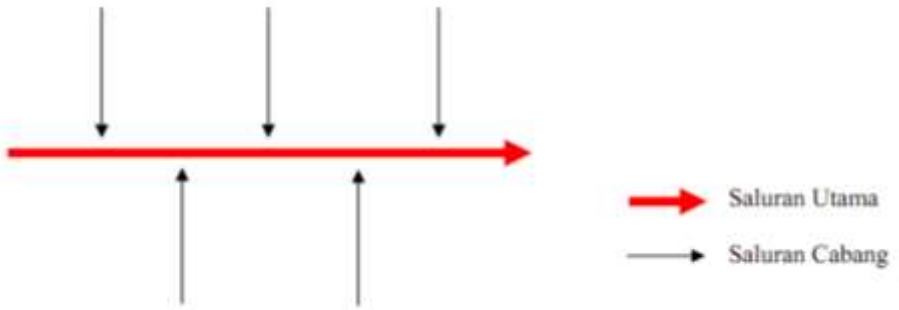
2. Saluran Tertutup

   Saluran air untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Juga untuk saluran dalam kota.

2.6.2 Pola-Pola Drainase

A. Siku

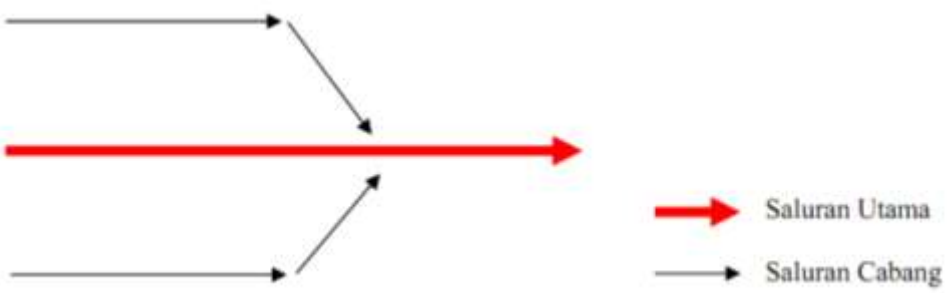
Dibuat pada daerah yang memiliki topografi sedikit lebih tinggi daripada sungai. Sungai sebagai saluran pembuang akhir berada di tengah kota.



Gambar 2. 5 Jaringan Drainase Siku

B. Paralel

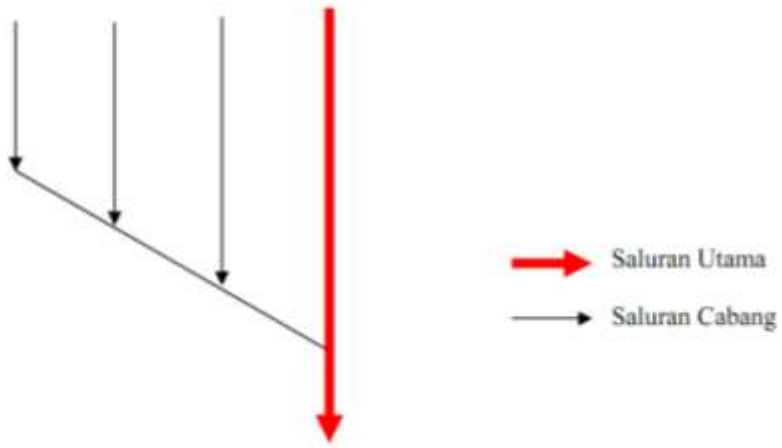
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri.



Gambar 2. 6 Jaringan Drainase Paralel

C. Grid Iron

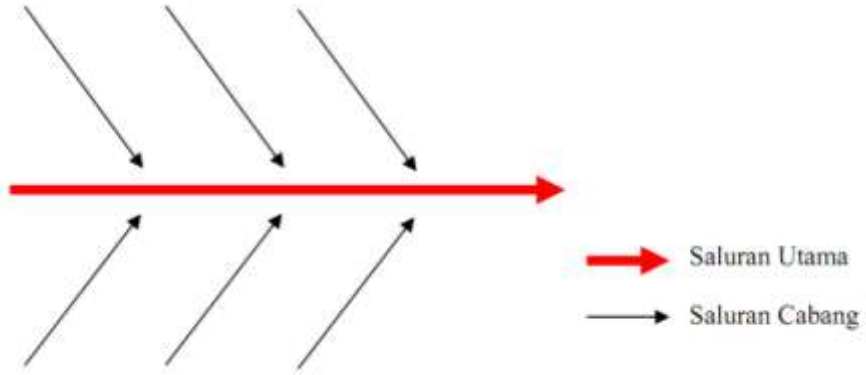
Untuk daerah dimana sungainya terleteak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2. 7 Jaringan Drainase Grid Iron

D. Alamiah

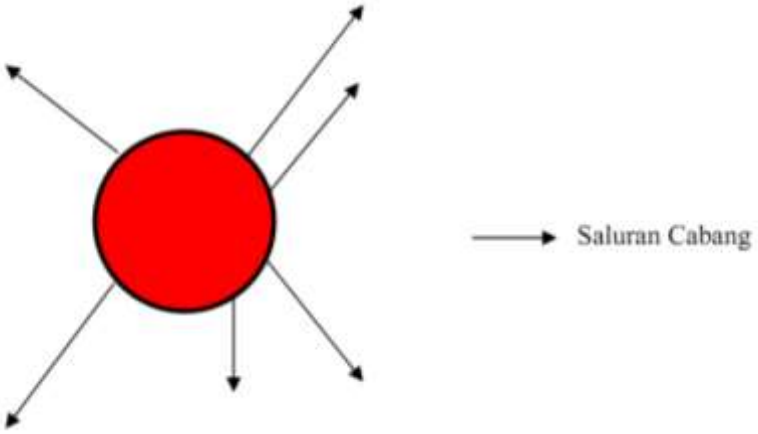
Sama seperti pola siku, hanya sungai pada pola alamiah lebih besar.



Gambar 2. 8 Jaringan Drainase Alamiah

E. Radial

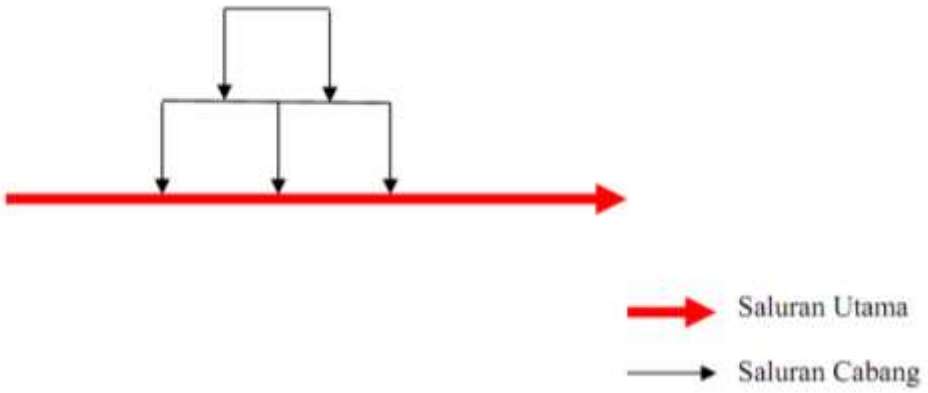
Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.



Gambar 2. 9 Jaringan Drainase Radial

F. Jaring-jaring

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



Gambar 2. 10 Jaringan Drainase Jaring-jaring

2.7 Sistem Jaringan Drainase

Berikut ini adalah penjelasan jenis-jenis sistem drainase :

2.7.1 Sistem Drainase Mayor

Sistem drainase mayor yaitu sistem saluran yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Pada umumnya sistem drainase mayor ini disebut juga sebagai sistem saluran pembuangan utama *(major system*) atau drainase primer. Sistem jaringan ini menampung aliran yang berskala besar dan luas seperti saluran drainase primer, kanal-kanal dan sungai-sungai.

Perencanaan drainase mayor ini umumnya dipakai dengan periode ulang antara 5-10 tahun dan pengukuran topografi yang detail diperlukan dalam perencanaan sistem drainase ini.

2.7.2 Sistem Drainase Mikro

Sistem drainase mikro yaitu sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Secara keseluruhan yang termasuk dalam sistem drainase mikro adalah saluran di sepanjang sisi jalan, saluran atau selokan air hujan di sekitar bangunan, gorong-gorong, saluran drainase kota dan lain sebagainya dimana debit yang dapat ditampungnya tidak terlalu besar.

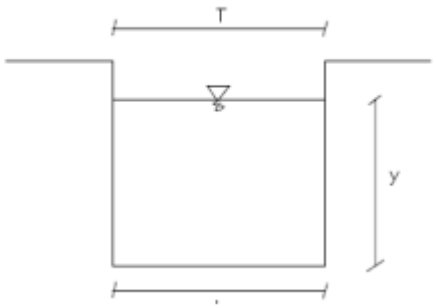
(*Allafa: 2008*)

2.8 Bentuk Penampang Saluran Drainase

Dalam perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu besar berarti kurang ekonomis, sebaliknya dimensi yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai. Adapun bentuk saluran antara lain :

1. **Persegi Panjang**

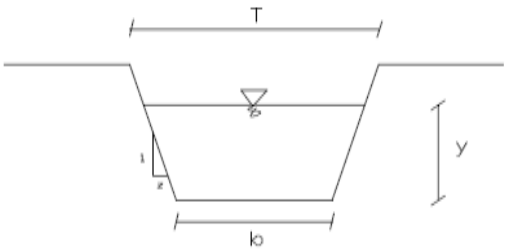
   Saluran Drainase berbentuk empat psersegi panjang tidak banyak membutuhkan ruang. Sebagai konsekuensi dari saluran bentuk ini saluran harus terbentuk dari pasangan batu ataupun coran beton.



Gambar 2. 11 Bentuk Penampang Persegi Panjang

2. Trapesium

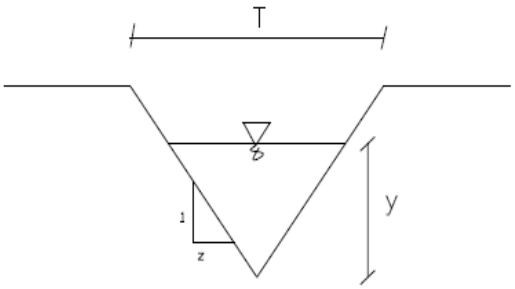
Pada umumnya saluran terbuat dari tanah akan tetapi tidak menutup kemungkinan dibuat dari pasangan batu dan coran beton. Saluran ini memerlukan cukup ruang. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan, air rumah tangga maupun air irigasi dengan debit yang besar.



Gambar 2. 12 Bentuk Penampang Trapesium

3. Segitiga

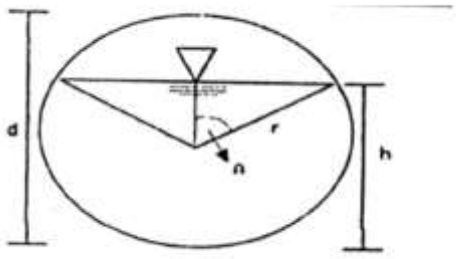
Bentuk saluran segitiga umumnya diterapkan pada saluran awal yang sangat kecil.



Gambar 2. 13 Bentuk Penampang Segitiga

4. Lingkaran

Biasanya digunakan untuk gorong – gorong dimana saluran nya tertanam di dalam tanah.



Gambar 2. 14 Penampang Bentuk Lingkaran

2.9 Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang terangkut oleh aliran dari bagian hulu akibat dari erosi. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Sedimen dapat berada di berbagai lokasi dalam aliran, tergantung pada keseimbangan antara kecepatan ke atas pada partikel (gaya tarik dan gaya angkat) dan kecepatan pengendapan partikel *(Asdak dalam Arta O.B dkk : 2007).* Sedangkan menurut *Van Rijn (dalam Gary W. Brunner, 2010)* aliran air akan membawa hanyut bahan-bahan sedimen, yang menurut mekanisme pengangkutannya dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu muatan dasar *(bed load)* dan muatan melayang *(suspended load).* Endapan sedimen tersebut apabila semakin lama semakin terakumulasi jumlahnya yang dapat mengakibatkan pendangkalan pada saluran yang berdampak terhadap bekurangnya kapasitas saluran tersebut, banyaknya angkutan bahan endapan tergantung dari besarnya erosi yang terjadi, semakin banyak bahan sedimen yang terangkut menunjukkan makin besar tingkat erosi tanah yang terjadi dalam daerah aliran sungai yang bersangkutan.

2.9.1 Proses Sedimentasi

Dalam proses terjaadinya sedimentasi yaitu proses terkumpulya butir-butir tanah yang terjadi karena kecepatan aliran air yang mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan *(setting velocity)*. Proses sedimentasi dapat terjadi pada lahan-lahan pertanian maupun disepanjang dasar sungai, waduk, muara dan lain sebagainya. Beberapa akibat yang ditimbulkan oleh sedimentasi seperti :

a. Di saluran, akibat terjadinya pengendapan disungai mengakibatkan terhentinya operasi saluran tersebut dan mengakibatkan laju air dan kapas

penampang semakin berkurang, tentu akan dipelukan biaya yang cukup besar untuk pengerukan sedimen tersebut.

b. Di waduk, pengendapan sedimen akan mengurangi volume efektif waduk yang berdampak terhadap berkurangnya umur rencana waduk.
c. Di bendung, mengakibatkan pintu air sulit untuk dioperasikan, menganggu aliran air yang melewati bendung/pintu air.
d. Di sungai, pengendapan sedimen di dasar sungai mengakibtkan naiknya dasar sungai dan naikya tinggi muka air sungai tersebut.

Menurut *bennet, 1939 (Yunianto,994)* berdasarkan proses terjadinya erosi dan sedimentasi maka proses sedimentasi dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. Proses sedimentasi secara geologis, yaitu proses erosi tanah dan sedimentasi yang berjalan secara normal atau berlangsung secara geologi artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas-batas yang diperkenankan.
b. Proses sedimentasi dipercepat, yaitu proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu yang cepat, bersifat merusak atau merugikan dan menggangu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan, seperti cara mengolah tanah yang salah dapat menyebabkan erosi dan sedimentasi yang tinggi.

2.9.2 Faktor Penyebab Sedimentasi

Sedimentasi adalah terbawanya material hasil dari pengikisan dan pelapukan oleh air, angin, atau gletser ke suatu wilayah yang kemudian diendapkan, semua endapan tersebut akan menjadi sedimen, hasil proses sedimentasi diakibatkan oleh beberapa faktor, menurut *Langbeion (Kironto, 2003)* faktor yang mempengaruhi terjadinya sedimentasi yaitu :

a. Iklim
b. Tanah
c. Topografi
d. Tanaman
e. Macam penggunaan lahan
f. Kegiatan manusia
g. Karakteristik hidrolika sungai

h. Karakteristik penampang sedimen
i. Kegiatan gunung berapi

2.9.3 Jenis-Jenis Angkutan Sedimen

Berdasarkan pergerakan partikel sedimen yang berada di sungai, saluran, bendungan, irigasi dan lain sebagainya maka angkutan sedimen dapat digolongkan menjadi 3 bagian tergantung pada kecepatan aliran sungai, adapun ketiga macam angkutan sedimen tersebut adalah sebagai berikut :

1. Angkutan Sedimen Dasar *(Bed Load Transport*)

   Proses angkutan ini terjadi pada suatu kondisi kecepatan aliran yang relatif rendah yang mampu menggerakkan butiran yang semula dalam keadaan diam akan menggelinding dan meluncur di sepanjang dasar saluran.

2. Angkutan Sedimen Loncat *(Saltation Load Transport)*

   Pada kecepatan aliran yang lebih tinggi, butiran-butiran sedimen akan membuat loncatan-loncatan pendek meninggalkan dasar sungai, karena gaya dorong yang bekerja terhadap butiran makin besar, kemudian butiran tersebut kembali ke dasar sungai atau melanjutkan gerakannya dengan membuat loncatan-loncatan yang lebih jauh.

3. Angkutan Sedimen Layang *(Suspended Load Transport)*

   Jika kecepatan aliran lebih besar lagi maka gerakan loncatan tersebut akan sering terjadi sehingga apabila butiran tersebut oleh arus utama atau oleh gerakan aliran turbulen kearah permukaan maka butiran akan tetap bergerak ke dalam arus aliran air untuk selang waktu tertertu yang dapat diamati, bahan *suspended load* terjadi dari pasir halus yang bergerak akibat turbulensi aliran, debit, dan kecepatan aliran. Semakin besar debit maka semakin besar juga angkutan suspended load.

4. *Wash Load Movement*, dimana bahan *wash load* berasal dari pelapukan lapisan permukaan tanah yang menjadi lepas berupa debu-debu halus selama musim kering, debu halus ini selanjutnya dibawa masuk ke sungai baik oleh angina maupun oleh air hujan yang turun pertama pada musim hujan, sehingga jumlah sedimen pada awal musim hujan lebih banyak dibandingkan dengan keadaan yang lain.

2.9.4 Butiran Sedimen

Sedimen cenderung untuk didominasi oleh satu atau beberapa jenis partikel, akan tetapi mereka tetap terdiri dari ukuran yang berbeda-beda *(Hutabarat dan Evants, 1985)*, ukuran butiran sedimen diwakili oleh diameternya. Bentuk butiran akan mempengaruhi kecepatan endap partikel, ukuran kelas angka standar berdasarkan pada skala klasifikasi *American Geophysical Union (AGU)* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.13 Klasifikasi Material Sedimen Berdasarkan American Geophysical Union (AGU)

No.	Sedimen material	Grain Diameter Range (mm)	Geometric Median Diameter (mm)
1	Clay	0.002 – 0.004	0.003
2	Very Fine Silt	0.004 – 0.008	0.006
3	Fine Silt	0.008 – 0.016	0.011
4	Medium Silt	0.016 – 0.032	0.023
5	Coarse Silt	0.032 – 0.0625	0.045
6	Very Fine Sand	0.0625 – 0.125	0.088
7	Fine Sand	0.125 – 0.250	0.177
8	Medium Sand	0.250 – 0.5	0.354
9	Coarse Sand	0.5 – 1.0	0.707
10	Very Coarse Sand	1 – 2	1.41
11	Very Fine Gravel	2 – 4	2.83

2.9.5 Kerapatan Massa

Sedimen umumnya berasal dari peristiwa pelapukan batuan, rapat massa butiran sedimen umumnya tidak banyak berbeda, maka rapat massa dianggap bernilai ρs = 2500 kg/m^3 untuk lempung ρs = 2500-2700 kg/m^3

2.9.6 Konsentrasi Sedimen Melayang

Konsentrsi sedimen melayang merupakan perbandingan jumlah sedimen yang terkandung dalam air, konsentrasi ditentukan dengan rumus :

$$C = \frac{Ws}{Vas}\ x\ 10^6 \qquad \ldots 2.36$$

Dengan :

C = Konsentrasi sedimen (mg/lt)

Ws = Berat sedimen kering (gr)

Vas = Volume air sampel (ml)

2.9.7 Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ada dan yang telah dikembangkan sebelumnya, untuk memilih metode mana yang akan digunakan dalam penelitian dapat menggunakan pedoman awal dengan melihat tabel kisaran jangkauan parameter angkutan sedimen menurut *Gary W. Bruner (2010).*

Tabel 2.14 Kisaran Jangkauan Parameter Angkutan Sedimen

Metode	Diameter (mm)	diameter median (mm)	specific gravity	Kecepatan (fps)	Kedalaman (ft)	gradien energi	lebar saluran (ft)
Ackers-White	0,04-7,00	-	1,0-2,7	0,07-7,1	0,01-1,4	0,00006-0,037	0,23-4
Engelund-Hansen	-	0,19-0,93	-	0,65-6,34	0,19-1,33	0,000055-0,019	-
Laursen (Copeland)	-	0,011-29	-	0,068-9,4	0,03-54	0,0000021-0,025	0,25-3640
Meyer-Peter Muller	0,4-29	-	1,25-4,0	1,2-9,4	0,03-3,9	0,0004-0,02	0,5-6,6
Toffaleti	0,062-4,0	0,095-0,91	-	0,7-7,8	0,07-56,7	0,000002-0,019	0,8-3640
Yang	0,15-1,7	-	-	0,04-50	0,04-50	0,000043-0,029	0,44-1750

Sumber :Gary W. Bruner 2010

Tabel diatas merupakan pedoman awal untuk menentukan metode apa yang akan digunakan untuk analisis dengan menyesuaikan ukuran diameter, berat jenis, kecepatan, kedalaman, gradient energi, lebar saluran yang telah didapatkan pada saat pengambilan dan analisis sampel sedimentasi. Terdapat berbagai metoda perhitungan angkutan sedimen yang dikembangkan berdasarkan kondisi yang berbeda-beda, perbedaan ini akan mendapatkan hasil yang berbeda juga antara satu dengan lainnya. Berikut ini adalah berbagai macam metode untuk perhitungan angkutan sedimen.

1. Ackers-White.
2. Englund-Hansen.
3. Laursen.
4. Toffaleti.
5. Meyer-Peter-Muller.
6. Yang.

2.9.7.1 Ackers-White

Persamaan Ackers-White dikembangkan berdasarkan dimensi partikel, mobilitas dan transport sedimen. Persamaan ini menggunakan parameter yang tidak berdimensi, parameter tersebut digunakan untuk membedakan antara ukuran sedimen halus, transisi dan kasar. Pada kondisi tertentu, sedimen halus berupa lempung yang ukurannya <0.04 mm dan sedimen kasar berupa pasir yang ukurannya >2.5 mm. Rumus umum angkutan sedimen dengan metode Ackers-White adalah sebagai berikut *(Gary W. Brunner, 2010)*

$$x = \frac{G_{gr} \,.\, s \,.\, d_s}{D.\left(\frac{U_*}{V}\right)^2} \quad \text{... (2.37)}$$

$$G_{gr} = C.\left(\frac{F_{gr}}{A} - 1\right) \quad \text{... (2.38)}$$

Dengan :

X = Konsentrasi sedimen (ppm)

G_{gr} = Parameter angkutan sedimen

S = *Specific gravity sedimen*

D = Kedalaman efektif (m)

d_s = Diameter partikel rata-rata (m)

$U*$ = Kecepatan geser (m/s)

V = Kecepatan aliran rata-rata untuk saluran (m/s)

n = Eksponen transisi tergantung ukuran sedimen

c = Koefisien fungsi angkutan sedimen

F_{gr} = Parameter mobilitas sedimen

A = Parameter mobilitas sedimen kritis

2.9.7.2 Englund-Hansen

Persamaan Englund-Hansen berdasarkan data saluran dengan ukuran sedimen antara 0.19-0.93 mm. Rumus umum Englund-Hansen sebagai berikut :

$$g_s = 0.05\ x\ \gamma_s\ x\ V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g\ \left(\frac{\gamma s}{\gamma} - 1\right)}}^{\left[\frac{\tau 0}{(\gamma s - \gamma)\ d50}\right]^{\frac{3}{2}}} \quad \text{... (2.39)}$$

Dimana :

g_s = Konsentrasi sedimen (ton/s)

γ = Berat jenis air (ton/m^3)

γ_s = Berat jenis butiran (ton/m^3)

V = Rata-rata kecepatan saluran (m^2/s)

τ_0 = Tegangan dasar saluran rata-rata (ton/m^2)

d_{50} = ukuran butiran 50% (m)

2.9.7.3 Laursen

Metode ini berasal dari kombinasi analisis kualitatif, percobaan asli. Transportasi sedimen berdasarkan karakteristik hidrolik kecepatan rata-rata saluran, kedalaman aliran, gradient energi, dan pada karakteristik gradasi sedimen dan kecepatan jatuh. Kisaran penerapan diameter partikel rata-rata adalah 0.11-29 mm, adapun persamaan rumus dari *Lauersen* digunakan sebagai berikut :

$$C_m = 0.01.\gamma.\left(\frac{d_s}{D}\right)^{7/6}\left(\frac{\tau_0}{\tau_c}-1\right) f\left(\frac{U_*}{\omega}\right) \quad \ldots(2.40)$$

Dimana :

Cm = Konsentrasi sedimen (ton/m3)

G = Berat jenis air (ton/m3)

d_s = Diameter partikel rata-rata (m)

D = kedalaman efektif aliran (m)

τ_0 = Tegangan geser butiran dasar (ton/m2)

τc = Tegangan geser dasar maksimun (ton/m2)

$f\left(\frac{U_*}{\omega}\right)$ = Perbandingan rasio kecepatan geser sampai kecepatan jatuh sesuai definisi dari Lauren.

2.9.7.4 Toffaleti

Metode Toffaleti adalah hasil modifikasi dari fungsi sedimen total Einsten yang memecahkan sedimen melayang menjadi zona vertical, transportasi sedimen dihitung secara independen untuk setiap zona, zona atas, zona tengah, zona bawah dan zona dasar lalu dijumlahkan sehingga menjadi angkutan sedimen total. Metode ini dikembangkan dengan menggunakan data lengkap dari data saluran dan data lapangan, metode ini dapat menganilisis diameter partikel rata-rata serendah 0.095 mm, adapun persamaan umum untuk fungsi Toffaleti untuk ukuran butiran diwakili oleh :

$$gssL = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{1+nv-0.765z} - (2dm)^{1+nv-0.756z}}{1+nv-0.765z} \quad \ldots(2.41)$$

$$gssM = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{0.244z}\left[\left(\frac{R}{2.5}\right)^{1+nv-z} - \left(\frac{R}{11.24}\right)^{1+nv-z}\right]}{1+nv-z} \quad \ldots(2.42)$$

$$gssU = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{0.244z}\left(\frac{R}{2.5}\right)^{0.5z}\left[R^{1+nv-1.5z} - \left(\frac{R}{2.5}\right)^{1+nv-1.5z}\right]}{1+nv-1.5\,z} \quad \ldots(2.43)$$

$$gsb = M\,(2dm)^{1+nv-0.756z} \quad \ldots(2.44)$$

$$M = 43.2\,CL\,(1+nv)\,VR^{0.756-nv} \quad \ldots(2.45)$$

Gs = gssL + gssM + gssU +gsb …(2.46)

Dimana :

gssL = Angkutan sedimen melayang di zona bawah (ton/hari/ft)

gssM = Angkutan sedimen melayang di zona tengah (ton/hari/ft)

gssU = Angkutan sedimen melayang di zona atas (ton/hari/ft)

gsb = Angkutan sedimen dasar (ton/hari/ft)

gs = Angkutan sedimen total (ton/hari/ft)

M = Parameter konsentrasi sedimen

CL = Konsentrasi sedimen di zona bawah (ppm)

R = jari-jari hidrolis (ft)

dm = Diameter rata-rata butiran (ft)

z = Koefisien hubungan antara sedimen dan karakteristik hidrolis

nv = koefisien suhu

2.9.7.5 Meyer-Peter-Muller

Persamaan Meyer-Peter-Muller didasarkan pada data eksperimen telah diuji secara luas dan digunakan untuk sungai dengan sedimen yang relatif kasar. Tingkat angkutan sebanding dengan perbedaan antara tegangan geser rata-rata yang bekerja pada butiran dan tegangan geser kritis, persamaan angkutan umum untuk fungsi Meyer-Peter-Muller adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{kr}{kr'}\right)^{3/2} \gamma DS = 0.047\,(\gamma s - \gamma)dm + 0.25\left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3}\left(\frac{\gamma s - \gamma}{\gamma s}\right)^{2/3} gs^{2/3} \quad \ldots (2.47)$$

Dimana :

gs = Satuan angkutan sedimen (ton/s/m)

Kr = Koefisien kekasaran

Kr' = Koefisien kekasaran berdasarkan butiran

γ = Berat jenis air (ton/m^3)

γs = Berat jenis sedimen (ton/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

dm = Diameter partikel rata-rata (m)

R = Radius hidrolik (m)

S = Energi gradient

2.9.7.6 Yang

Berikut ini merupakan persamaan konsentrasi sedimen dengan ukuran butiran kurang dari 2 mm dengan metode yang.

$$\log Ct = \left[5.435 - 0.286.log\left(\frac{\omega.d_{si}}{v}\right) - 0.457.log\left(\frac{u*}{\omega}\right) + \left(1.799 - 0.409.log\left(\frac{\omega.d_{si}}{V}\right) - 0.314.log\left(\frac{u*}{\omega}\right)\right).\log\left(\frac{V.s}{\omega} - \frac{Vcr.s}{\omega}\right)\right] \quad \ldots (2.48)$$

Untuk butiran yang lebih dari 2 mm bisa dihitung dengan rumus :

$$\log Ct = \left[6.681 - 0.633.log\left(\frac{\omega.d_{si}}{v}\right) - 4.816.log\left(\frac{u*}{\omega}\right) + \left(2.784 - 0.305.log\left(\frac{\omega.d_{si}}{V}\right) - 0.282.log\left(\frac{u*}{\omega}\right)\right).\log\left(\frac{V.s}{\omega} - \frac{Vcr.s}{\omega}\right)\right] \quad \ldots (2.49)$$

Dimana :

Ct = Konsentrasi sedimen (ppm)

ω = Kecepatan endap (m/s)

dm = Diameter butiran (m)

v = Viskositas kinematik (m^2/s)

ux = Kecepatan geser (m/s)

S = Rapat masa butir

V = Kecepatan aliran (m/s)

Vcr = Kecepatan kritis (m/s)

2.10 Tata Cara Pengambilan Sampel Sedimen

Besarnya angkutan sedimen pada suatu sungai merupakan salah satu komponen informasi hidrologi selain banjir, kekeringan dan potensi sumber daya air. Data angkutan sedimen merupakan data yang sangat dibutuhkan dalam perencanaan, ada beberapa parameter yang mempengaruhi angkutan sedimen dalam suatu sungai antara lain vegetasi penutup, penggunaan lahan, jenis tanah/batuan, kemiringan lahan, dan intensitas hujan yang mempengaruhi besarnya debit, berikut ini adalah tata cara pengambilan sampel sedimen yang mengacu pada SNI 3414:2008.

2.10.1 Peralatan dan Sarana Penunjang

Adapun peralatan dan saran penunjang untuk pengsmbilan sampel sedimen antara lain :

- Satu unit Current Meter
- Satu unit alat pengambilan muatan sedimen melayang jenis US DH-48
- Tongkat penggantung
- Satu buah alat ukur waktu
- Satu unit alat ukur lebar sungai
- Baju pelampung
- Botol contoh air tembus pandang, dengan volume 350-450 ml
- Grafif (waktu durasi) pengambilan.

2.10.2 Lokasi

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam lokasi pengambilan contoh adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan contoh muatan sedimen melayang harus dipilih pada lokasi yang tidak terpengaruh adanya bangunan air atau arus balik.
2. Lokasi pengambilan contoh muatan sedimen melayang dipilih dengan memperhatikan ketentuan sebagai berikut :
    - Pengukuran muatan sedimen melayang dilakukan pada lokasi pengukuran debit.
    - Dasar sungai merata.
    - Penampang melintang harus tegak lurus arah aliran.

2.10.3 Data Pengukuran

Data yang diperlukan untuk pengambilan muatan sedimen melayang berupa data aktual pengukuran yang dilakukan segera sebelum pengambilan contoh muatan sedimen ini dilaksanakan, data tersebut terdiri dari :

- Pengukuran penampang melintang.
- Pengukuran debit.
- Tinggi muka air yang berkaitan dengan pengukuran debit.

2.10.4 Cara Pengambilan Contoh

Pengambilan muatan sedimen melayang dilakukan segera setelah pengukuran debit selesai dilakukan, dengan tahapan sebagai berikut :

1. Tahap persiapan pengambilan contoh, sebagai berikut.
    a. Tentukan lokasi pengambilan.
    b. Siapkan data dan hasil pengukuran penampang melintang.
    c. Siapkan data dan hasil pengukuran debit.
    d. Siapkan, periksa dan rakit alat pengambilan contoh.
    e. Siapkan formulir pengambilan contoh.
    f. Isi formulir pengambilan contoh.
    g. Tentukan jumlah titik pengambilan disuatu penampang melintang.
2. Tahap pengambilan contoh, sebagai berikut.
    a. Hitung besar debit pada setiap sub penampang melintang.
    b. Hitung debit tengah dari setiap sub penmpang melintang.
    c. Tentukan lokasi pengambilan dengan cara mencari titik pada kartu pengukuran dengan besaran debit yang paling dekat dengan besar debit pada penampang tengah melintang saluran.
    d. Tentukan jarak lokasi titik pengambilan dari sisi sungai.
    e. Tentukan lama waktu pengambilan sesuai dengan diameter lubang alat *(nozzle)* pengambil yang digunakan.
    f. Lakukan pengambilan contoh muatan sedimen melayang.
    g. Masukkan contoh muatan sedimen melayang ke dalam botol yang telah disediakan.
    h. Botol tersebut diberi label.

i. Siapkan contoh muatan sedimen laying untuk dianalisis di laboratorium.

2.11 Pengenalan HEC-RAS

HEC-RAS adalah sebuah sistem *software* yang didesain untuk melakukan berbagai analisis hidrolika. HEC-RAS mampu menampilkan perhitungan penampang muka air 1 dimensi untuk aliran dalam saluran alami atau buatan. HEC-RAS juga mampu memperhitungkan penampang muka air aliran subkritis, superkritis, dan campuran *(mixed flow)*. Sistem ini mengandung 3 komponen analisis hidrolik satu dimensi yaitu, perhitungan penampang muka aliran tetap *(study flow)*, aliran tidak tetap *(unsteady flow)*, dan pehitungan transportasi sedimen. Ketiga komponen akan menggunakan tampilan data geometri dan perhitungan geometri dan hidrolika. Terdapat beberapa langkah penting dalam membuat model hidrolika dengan menggunakan HEC-RAS yaitu :

1. Memulai proyek baru.
2. Memasukkan geometri data.
3. Memasukkan data aliran dan kondisi batas.
4. Melakukan perhitungan dan hidrolika.
5. Menampilkan dan mencetak hasil.

Sedangkan data-data yang diperlukan dalam analisis penampang sungai dengan bantuan HEC-RAS adalah :

1. Penampang memanjang sungai.
2. Potongan melintang sungai.
3. Data debit sungai.
4. Angka manning penampang sungai.
5. Ukuran butiran sedimen.

2.12 Pengenalan HEC-HMS

Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk mensimulasikan proses hujan-aliran/limpasan (rainfall-runoff), HEC-HMS dapat diterapkan secara luas untuk berbagai permasalahan diantaranya adalah ketersediaan air dan banjir di perkotaan maupun DAS alami. Hidrograf yang dihasilkan dari program ini dapat digunakan untuk studi ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, pengaruh

urbanisasi, perancangan pelimpah bendungan, mitigasi dampak banjir dan lain-lain. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan dalam menggunakan HEC-HMS 3.5 :

1. Membuat project baru.
2. Memasukkan data yang dibutuhkan model DAS dan meteorologi.
3. Mendefinisikan karakteristik fisik dengan membangun dan mengedit model DAS sesuai dengan lokasi studi.
4. Memilih metode yang sesuai untuk perhitungan hujan dan evapotranspirasi.
5. Mendefinisikan *control specification* untuk periode dan tahapan waktu simulasi.
6. Menggabungkan komponen model DAS, meteorologi, dan *control specification* untuk membuat suatu simulasi.
7. Mengakses dan melihat hasil simulasi dan mengedit kembali model DAS, meteorologi, dan *control specification* bila diperlukan.

2.13 Referensi Jurnal

Penulis mendapatkan berbagai studi literatur dalam penyusunan skripsi ini, berikut ini merupakan beberapa jurnal yang dijadikan sebagai referensi penelitian :

Tabel 2. 15 Jurnal Referensi

No	Judul	Masalah	Metode	Cara Penyelesaian
1	Kajian Kapasitas Sungai Logawa Dalam Menampung Debit Banjir Menggunakan Program HEC-RAS	Untuk memprediksi atau peringatan dini kepad penduduk di sepanjang aliran sungai sampai ke hilir sehingga dampak kerugian dari bencana bisa dikendalikan	Metode yang digunakan dalam analisis ini yaitu menggunakan program HEC-RAS, dan menggunakan metode disribusi log normal untuk debit sungai yang dipakai.	Tidak memberikan solusi penyelesaian karena dari hasil analisis kapasitas sungai masih mampu menampung debit banjir
2	Analisis Penanggulangan Banjir pada Sistem Drainase Di Jalan Semarang Kecamatan Bubutan Kota Surabaya-Jawa Timur	Pada jalan semarang sering didapati genangan bahkan banjir ketika musim penghujan, karena kondisi sistem drainase eksisting tidak berfungsi secara maksimal	Metode analisis yang dipakai meliputi analisis hidrologi yang bertujuan menghitung debit rancangan dengan menggunakan metode rasional dan analisis hidrolika untuk menghitung kapasitas debit saluran	Kapasitas penampang sudah tidak cukup menampung debit banjir sehingga cara penyelesaian nya perlu dilakukan normalisasi pada saluran hulu sampai ke hilir

3	Evaluasi Kapasitas Tampung Maksimu Sungai Dan Saluran Drainase Terhadap Banjir Maksimum	DAS Way Kuala Garuntang merupakan salah satu DAS di Kota Bandar Lampung yng arah alirannya melalui kawasan perkotaan sehingga kejadian banjir sangat mengganggu dan merugikan	Metode yang digunakan yaitu analisis hidrologi dan hidrolika	Berdasarkan evaluasi sungai-sungai yang ada di DAS Way Kuala Garuntang masih mampu menampung debit rencana, umumnya banjir terjadi di saluran drainase yaitu kapasitas tampung yang tidak memadai perlu diadakan penelitian lanjut untuk mengetahui dimensi dan tingkat kemiringan sepanjang saluran
4	Perancangan Ulang Dimensi Saluran Drainase Di Perumahan Jihad Indah Persada 2 Kecamatan Koto Tangah Padang	Saluran drainase bentuk persegi dengan dimensi 0.3 x 0.4 m tidak mampu menampung volume air, dan kurangnya resapan air diakibatkan halaman yang dilapisi beton	Menggunakan metode perhitungan analisis hidrologi dan analisis hidrolika	Setelah dilakukan analisis maka didapatkan saluran yang lebih optimal yaitu menggunakan saluran berbentuk trapesium, selain itu membuat sumur resapan di daerah perumahan tersebut
5	Studi Angkutan Sedimen Sudetan Pelangwot-Sedayu Lawas Sungai Bengawan Solo	Terjadi sedimentasi yang terdapat pada aliran sungai Bengawan Solo menyebabkan kapasitas sungai bagian hilir berkurang	Simulasi menggunakan program HEC-RAS	Membuat kantong sedimen untuk mengendalikan sedimen pada dasar saluran dan pemeliharaan kantong sedimen setiap 3 bulan sekali

6	Kajian Penanganan Sedimentasi Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang	Upaya penanganan banjir Kota semarang dengan memprediksi pola sebaran dan besarnya volume sedimen di sungai Banjir Kanal Barat	Pemodelan Menggunakan HEC-RAS	dilakukan upaya pengerukan untuk mengendalikan sedimentasi di sungai tersebut
7	Pengendalian Transpor Sedimen Sungai Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Di Kota Gorontalo	Banjir yang terjadi di Kota Gorontalo disebabkan oleh erosi dan sedimentasi sehingga perlu dilakukan analisis laju sedimentasi	metode yang digunakan menerapkan metode USLE untuk analisis erosi dan metode MUSLE untuk analisis sedimentasi	membangun chech dam sebagai usaha untuk mengendalikan laju sedimen yang terjadi