

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Hidrologi

Analisa hidrologi digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan sehingga mendapatkan debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu. Tujuan menentukan kala ulang rencana agar bisa menentukan bangunan drainase yang efisien (Yani, 2011).

2.1.1 Analisis Frekuensi

Dalam sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa (ekstrim), seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa ekstrim kejadiannya sangat langka. Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi yaitu, berhubungan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Ferkuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Kala ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik di mana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Pengertian ini bukan berarti bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala-ulang tersebut. Misalnya, hujan dengan kala ulang 10 tahun, tidak berarti akan terjadi sekali dalam 10 tahun akan tetapi ada kemungkinan dalam jangka waktu 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan. Ada kemungkinan selama kurun waktu 10- tahun terjadi hujan 10- tahunan lebih dari satu kali, atau tidak terjadi sama sekali.

Dalam statistik, dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi, yaitu :

- 1) Distribusi Normal,
- 2) Distribusi Log-Normal,
- 3) Distribusi Ej Gumbel, dan
- 4) Distribusi Log-Pearson III.

Dalam analisis frekuensi data hidrologi baik data hujan maupun data debit sungai terbukti bahwa sangat jarang dijumpai seri data yang sesuai dengan distribusi normal. Sebaliknya, sebagian besar data hidrologi sesuai dengan dua distribusi lainnya.

Masing-masing distribusi memiliki sifat-sifat tersendiri sehingga data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing distribusi tersebut. Pemilihan distribusi yang tidak tepat dapat mengundang kesalahan perkiraan yang kemungkinan cukup besar, baik *over estimated* maupun *under estimated* yang keduanya

tidak diinginkan. Dengan demikian, jelas bahwa pengambilan salah satu distribusi secara sembarang untuk pengujian tanpa analisis terlebih dahulu sangat tidak dianjurkan, meskipun dalam praktek harus diakui bahwa besar kemungkinan distribusi didominasi oleh distribusi tertentu. Dikhawatirkan cara ini akan dianggap sebagai cara rutin, karena jelas mengandung resiko penyimpangan yang tidak dikehendaki.

Untuk memahami fenomena acak, seperti debit sungai, menuntut kecocokan fungsi probabilitas tertentu pada nilai-nilai observasi yang ada. Analisis probabilitas ini berguna untuk menganalisis pengulangan suatu kejadian dengan tujuan menyimpulkan sifat-sifat populasi dengan menggunakan urutan pengamatan hidrologi. Dari berbagai penelitian, dapat dikatakan bahwa tidak pernah diperoleh suatu distribusi teoritis yang dapat digunakan bagi semua jenis aliran sungai. Hal ini disebabkan setiap aliran sungai mempunyai karakteristik statistik yang berbeda pada ruang dan waktu yang berbeda.

Bergantung dari jenis analisis yang dibutuhkan (analisis debit rata-rata, debit kering, debit banjir), jenis distribusi frekuensi yang banyak digunakan :

- 1) Analisis debit banjir
 - a) Distribusi ekstrim tipe I (Ej Gumbel Type I)
 - b) Distribusi ekstrim tipe II (Frechet)
 - c) Distribusi Log-Person Type III
 - d) Distribusi Log-Normal.
- 2) Analisis debit bulanan atau tahunan
 - a) Distribusi Log-Normal
 - b) Distribusi Normal
 - c) Distribusi Gamma.
- 3) Analisis debit kering
 - a) Distribusi ekstrim tipe III (Weibull atau Ej Gumbel Type III)
 - b) Distribusi Log-Pearson Type III
 - c) Distribusi Log-Normal.

Distribusi statistik umumnya dapat dinyatakan dengan memanfaatkan sampel yang jumlahnya ribuan. Pada aliran sungai, sampel-sampel semacam itu tidak pernah diperoleh dan tidak memungkinkan untuk memastikan bahwa suatu distribusi tertentu dapat digunakan untuk memastikan puncak-puncak banjirnya. Banyak distribusi yang dapat digunakan. Meskipun dilakukan penelitian, tidak ada distribusi banjir yang benar-benar sesuai dengan distribusi tertentu. Setidak-tidaknya secara intuitif, dapat dikatakan bahwa tidak ada alasan suatu distribusi tunggal yang dapat digunakan untuk semua aliran

sungai di seluruh dunia. Log-Pearson Type III telah dipakai oleh Badan Federal AS untuk analisis banjir. Distribusi Eij Gumbel direkomendasikan untuk digunakan di Inggris.

2.1.1.1 Distribusi Normal

Distribusi normal atau dikenal sebagai distribusi merupakan distribusi probabilitas yang paling sering digunakan. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi *Gauss*. Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, serta debit rata-rata tahunan. Rumus yang digunakan dalam perhitungan :

$$X_T = \bar{X} + K_T Sd \dots \dots \dots (2.1)$$

Jadi,

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{Sd} \dots \dots \dots (2.2)$$

Di mana :

- X_T = curah hujan rencana (mm)
- $\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm)
- Sd = standar deviasi data hujan maksimum tahunan (mm)
- 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).

Tabel 2.1 Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	K_T
1,001	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,010	0,990	-2,33
1,050	0,950	-1,64
1,110	0,900	-1,28
1,250	0,800	-0,84
1,330	0,750	-0,67
1,430	0,700	-0,52
1,670	0,600	-0,25
2,000	0,500	0
2,500	0,400	0,25
3,330	0,300	0,52
4,000	0,250	0,67

5,000	0,200	0,84
10,000	0,100	1,28
20,000	0,050	1,64
50,000	0,020	2,05
100,000	0,010	2,33
200,000	0,005	2,58
500,000	0,002	2,88
1000,000	0,001	3,09

(Sumber : Bonnier, 1980)

2.1.1.2 Distribusi Log-Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari Distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Jika variabel acak $Y = \text{Log } X$ terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log-Normal. Dengan demikian dapat dinyatakan dengan persamaan matematik sebagai berikut :

$$Y_T = \bar{Y} + K_T Sd \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Jadi,

$$K_T = \frac{Y_T - \bar{Y}}{Sd} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan,

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log \frac{X_i}{\bar{X}})^2}{n-1}}$$

Di mana :

Y_T	= perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahun
$\bar{Y}$	= curah hujan maksimum rata-rata (mm)
Sd	= standar deviasi data hujan maksimum tahunan (mm)
K_T	= faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (Tabel 2.01).

2.1.1.3 Distribusi Ej Gumbel

Distribusi Tipe I *Ej Gumbel* atau Distribusi Extrim Type I umumnya digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir. Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K Sd \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \text{curah hujan maksimum rata-rata (mm);} \\ Sd &= \text{standar deviasi (mm).} \end{aligned}$$

Faktor frekuensi K untuk nilai-nilai ekstrim Gumbel ditulis dengan rumus berikut ini :

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Y_n &= \text{reduced mean yang tergantung jumlah sampel/data (n)} \\ S_n &= \text{reduced standard deviation yang juga tergantung jumlah sampel/data (n)} \\ Tr &= \text{fungsi waktu balik (tahun)} \\ Y_{Tr} &= \text{reduced variate yang dapat dihitung dengan persamaan :} \end{aligned}$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left\{ \frac{-Tr - 1}{Tr} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Nilai-nilai Y_{Tr} , Y_n dan S_n masing-masing dapat ditentukan berdasarkan pada Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.2 Reduced Variate, Y_{Tr}

Periode ulang, T_r (tahun)	Reduced variate, Y_{Tr}
2	0.3668
5	1.5004
10	2.2510
20	2.9709
25	3.1993
50	3.9028
75	4.3117
100	4.6012
200	5.2969
250	5.5206
500	6.2149
1000	6.9087
5000	8.5188
10000	9.2121

(Sumber : Suripin, 2004; Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan)

Tabel 2.3 Reduced Mean, Y_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495 2	0.499 6	0.503 5	0.507	0.51	0.512 8	0.515 7	0.518 1	0.520 2	0.522
20	0.523 6	0.525 2	0.526 8	0.528 3	0.529 6	0.530 9	0.532	0.533 2	0.534 3	0.535 3
30	0.536 2	0.537 1	0.538	0.538 8	0.839 6	0.540 3	0.541	0.541 8	0.542 4	0.543 6
40	0.543 6	0.544 2	0.544 8	0.545 3	0.545 8	0.546 3	0.546 8	0.547 3	0.547 7	0.548 1
50	0.548 5	0.548 9	0.549 3	0.549 7	0.550 1	0.550 4	0.550 8	0.5511	0.551 5	0.551 8

60	0.552 1	0.552 4	0.552 7	0.553	0.553 3	0.553 5	0.553 8	0.554	0.554 3	0.554 5
70	0.554 8	0.555	0.555 2	0.555 5	0.555 7	0.555 9	0.556 1	0.556 3	0.556 5	0.556 7
80	0.556 9	0.557	0.557 2	0.557 4	0.557 6	0.557 8	0.558	0.558 1	0.558 3	0.558 5
90	0.558 6	0.558 7	0.558 9	0.559 1	0.559 2	0.559 3	0.559 5	0.559 6	0.559 8	0.559 9
100	0.560	0.560 2	0.560 3	0.560 4	0.560 6	0.560 7	0.560 8	0.560 9	0.561	0.5611

(Sumber : Suripin, 2004; Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan)

Tabel 2.4 Reduced Standard Deviation, Sn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.949 6	0.967 6	0.983 3	0.997 1	1.009 5	1.020 6	1.031 6	1.0411	1.049 3	1.056 5
20	1.062 8	1.069 6	1.075 4	1.0811	1.086 4	1.091 5	1.096 1	1.100 4	1.104 7	1.108
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.122 6	1.125 5	1.128 5	1.131 3	1.133 9	1.136 3	1.138 8
40	1.141 3	1.143 6	1.145 8	1.148	1.149 9	1.151 9	1.153 8	1.155 7	1.157 4	1.159
50	1.160 7	1.162 3	1.163 8	1.165 8	1.166 7	1.168 1	1.169 6	1.170 8	1.172 1	1.173 4
60	1.174 7	1.175 9	1.177	1.178 2	1.179 3	1.180 3	1.181 4	1.182 4	1.183 4	1.184 4
70	1.185 4	1.186 3	1.187 3	1.188 1	1.189	1.189 8	1.190 6	1.191 5	1.192 3	1.193
80	1.193 8	1.194 5	1.195 3	1.195 9	1.196 7	1.197 3	1.198	1.198 7	1.199 4	1.200 1
90	1.200 7	1.201 3	1.202	1.202 6	1.203 2	1.203 8	1.204 4	1.204 9	1.205 5	1.206
100	1.206 5	1.206 9	1.207 3	1.207 7	1.208 1	1.208 4	1.208 7	1.209	1.209 3	1.209 6

(Sumber : Suripin, 2004; Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan)

2.1.1.4 Distribusi Log-Pearson Tipe III

Distribusi Log-Pearson III adalah salah satu dari kumpulan yang diusulkan oleh Pearson (Pearson, 1930). Cara yang dianjurkan dalam pemakaian distribusi Log-Pearson adalah dengan mengkonversi rangkaian datanya menjadi bentuk logaritmik dan melakukan perhitungan. Distribusi Log-Pearson Type III atau Distribusi Extrim Type III

digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- 1) Mengubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi $\log(X_1), \log(X_2), \log(X_3), \dots, \log(X_n)$.
- 2) Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\log'(X) = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \dots\dots\dots(2.9)$$

Di mana :

$\log'(X)$ = curah hujan rata-rata logaritmik (mm)
 n = jumlah data
 X_i = nilai curah hujan tiap-tiap tahun (mm).

- 3) Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$S_{\log(X)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log(X_i) - \log'(X))^2}{n-2}}$$

- 4) Menghitung koefisien skewness (Cs) dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log(X_i) - \log'(X))^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots(2.11)$$

- 5) Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T-tahun dengan rumus :

$$\log X_T = \log(X) + G S \log(X) \dots \dots \dots (2.12)$$

Di mana :

$\log X_T$ = logaritma curah hujan dalam periode ulang T-tahun (mm)

$\log(X)$ = curah hujan rata-rata logaritmik (mm)

G = faktor frekuensi sebaran Log-Pearson Type III

(Tabel 2.5)

n = jumlah data

C_s = koefisien kemencengan.

Tabel 2.5 Nilai G untuk Distribusi Log-Pearson Type III

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Persentase peluang terlampaui (<i>percent chance of being exceeded</i>)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,360	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,761	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,751	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,995	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,097	1,000

-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber : Soewarno, 1995)

Untuk menentukan jenis sebaran yang akan digunakan, maka parameter statistik data curah hujan wilayah diperiksa terhadap beberapa jenis sebaran sebagai berikut :

Tabel 2.6 Persyaratan Parameter Statistik untuk Setiap Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan yang harus dipenuhi
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Ej Gumbel	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$
4	Log Pearson Type III	Jika semua tidak memenuhi syarat di atas

(Sumber : Kamiana, I Made, 2011)

2.1.2 Uji Keselarasan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis uji keselarasan, yaitu *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*. Pada tes ini yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

2.1.2.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji sebaran ini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi-distribusi yang memenuhi syarat untuk dijadikan dasar dalam menentukan debit air rencana dengan periode ulang tertentu.

Adapun prosedur pengujian Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya.
2. Hitung jumlah kelas yang ada yaitu $K = 1 + 3,3 \ln (n)$.

3. Dalam pembagian kelas disarankan agar dalam masing-masing kelas terdapat minimal tiga buah data pengamatan.
4. Tentukan derajat kebebasan (DK) = K – P – 1 (nilai P = 2 untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi Person dan Ej Gumbel nilai P = 1).
5. Hitung jumlah data (n).
6. Nilai Ef = jumlah data (n)/jumlah kelas (K).
7. Tentukan nilai Of untuk masing-masing kelas.
8. Jumlah G sub-grup untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat.

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \dots\dots\dots (2.13)$$

Di mana :

X^2 = harga Chi-Kuadrat
 G = jumlah sub-kelompok
 Of = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama
 Ef = frekuensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

9. Didapat nilai X^2 , harus < X^2 Critical yang didapat dari Tabel 2.7

Tabel 2.7 Nilai Kritis untuk Distribusi *Chi Square* (Uji Satu Sisi)

DK	Derajat kepercayaan, α							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,00003 93	0,0001 57	0,0009 82	0,0039 3	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,59 7
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,34 5	12,83 8
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,14 3	13,27 7	14,86 0
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07 0	12,83 2	15,08 6	16,75 0
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,59 2	14,44 9	16,81 2	18,54 8
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,06 7	16,01 3	18,47 5	20,27 8
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,50 7	17,53 5	20,09 0	21,95 5
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,91 9	19,02 3	21,66 6	23,58 9
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,30	20,48	23,20	25,18

					7	3	9	8
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,67 5	21,92 0	24,72 5	26,75 7
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,02 6	23,33 7	26,21 7	28,30 0
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,36 2	24,73 6	27,68 8	29,81 9
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,68 5	26,11 9	29,14 1	31,31 9
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,99 6	27,48 8	30,57 8	32,80 1
16	5,142	2,812	6,908	7,962	26,29 6	28,84 5	32,00 0	34,26 7
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,58 7	30,19 1	33,40 9	35,71 8
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,86 9	31,52 6	34,80 5	37,15 6
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,14 4	32,85 2	36,19 1	38,58 2
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41 0	34,17 0	37,56 6	39,99 7
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,67 1	35,47 9	38,93 2	41,40 1
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,92 4	36,78 1	40,28 9	42,79 6
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,17 2	38,07 6	41,63 8	44,18 1
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,41 5	39,36 4	41,98 0	45,55 8
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,65 2	40,64 6	44,13 4	46,92 8
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,88 5	41,92 3	45,64 2	48,29 0
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,11 3	43,19 4	46,96 3	49,64 5
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,33 7	44,46 1	48,27 8	50,99 3
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,55 7	45,72 2	49,58 8	52,33 6
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,77 3	46,97 9	50,89 2	53,67 2

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- 1) Apabila peluang lebih besar dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- 2) Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- 3) Apabila peluang antara 1 – 5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, maka perlu penambahan data.

2.1.2.2 Uji Smirnov – Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non-parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Pengujian kecocokan sebaran dengan cara ini dinilai lebih sederhana dibanding dengan pengujian dengan cara Chi-Kuadrat. Dengan membandingkan kemungkinan (probability) untuk setiap variat, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan didapat perbedaan (Δ) tertentu (Soewarno, 1995).

Prosedur uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* adalah sebagai berikut :

- 1) Urutkan data (dari besar kekecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Di mana :

P = peluang (%)
m = nomor urut data
n = jumlah data.

$$X_1 \rightarrow P X_1$$

$$X_2 \rightarrow P X_2$$

$$X_n \rightarrow P X_n$$

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

$$X_1 \rightarrow P' X_1$$

$$X_2 \rightarrow P' X_2$$

$$X_n \rightarrow P' X_n$$

Peluang teoritis dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2.8 Nilai Peluang Teoritis – Wilayah Luas di Bawah Kurva Normal

t	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
-3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007
-3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
-2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2,7	0,0036	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0668	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9278	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9696	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

(Sumber : Soewarno, 1995)

- 3) Dari kedua nilai peluang tersebut ditentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P'(X_m) - P(X_m)] \dots\dots\dots (2.15)$$

- 4) Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorof test*), tentukan harga D_0 (Tabel 2.8).

Tabel 2.9 : Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov – Kolmogorov

N	α			
	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	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$n > 50$	$1,07/n^{0,5}$	$1,22/n^{0,5}$	$1,36/n^{0,5}$	$1,63/n^{0,5}$

(Sumber : Suripin, 2004)

- 5) Apabila nilai D lebih kecil dari nilai D_0 maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, tetapi apabila nilai D lebih besar dari nilai D_0 , maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan distribusi tidak dapat diterima.

2.1.3 Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi pada suatu daerah tertentu pada periode ulang tertentu, yang dipakai sebagai dasar perhitungan dalam perencanaan suatu dimensi bangunan air.

Menentukan curah hujan rerata harian maksimum daerah dilakukan berdasarkan pengamatan beberapa stasiun pencatat hujan. Pada penelitian ini hanya satu stasiun yang digunakan, maka data curah hujan diuji terlebih dahulu dengan uji konsistensi data.

Data yang diperoleh dari alat pencatat bisa jadi tidak pangkah karena: alat pernah rusak, alat pernah pindah tempat, lokasi alat terganggu, atau terdapat data tidak

sah. Uji konsistensi dapat dilakukan dengan lengkung massa ganda (double mass curve) untuk stasiun hujan ≥ 3 (tiga), dan untuk individual stasiun (stand alone station) dengan cara RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums), Sri Harto (2000). Bila yang didapat lebih kecil dari nilai kritik untuk tahun dan confidence level yang sesuai, maka data dinyatakan panggah. Uji kepanggahan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan $k = 1, 2, 3, \dots, n$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

Y_i = data hujan ke- i

$\bar{Y}$ = data hujan rerata - i

D_y = deviasi standar

n = jumlah data

Untuk uji kepanggahan digunakan cara statistik:

Q = maks S_k^{**} , $0 \leq k \leq n$, atau

R = Maksimum S_k^{**} -minimum S_k^{**} , dengan $0 \leq k \leq n$

Nilai kritik Q dan R ditunjukkan dalam Tabel berikut :

Tabel 2.10 : Tabel Nilai Kritik Q dan R

n	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
8	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

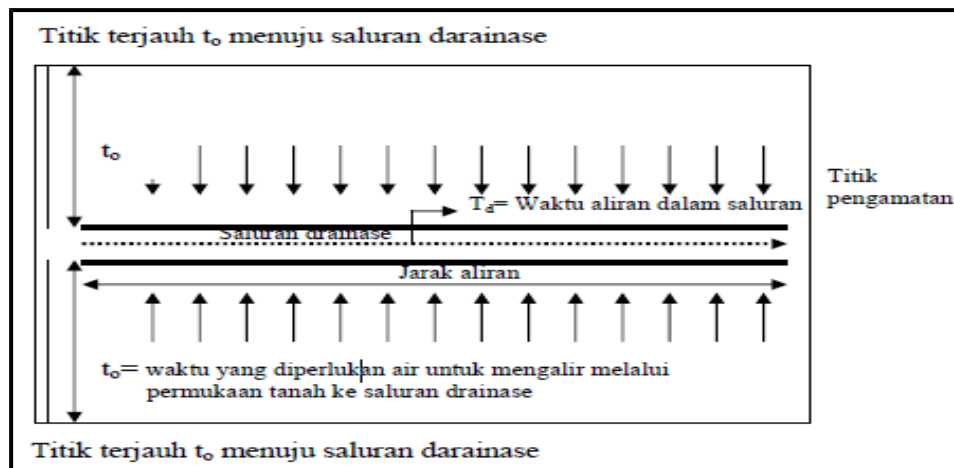
(Sumber : *azanurfauzi, 2010*)

2.1.4 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi dapat didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan air hujan yang jatuh dititik terjauh dari suatu daerah aliran untuk mencapai titik tinjau (*outlet*). Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir suatu saluran. Waktu konsentrasi dibagi atas 2 bagian :

- Inlet time* (t_o) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
- Conduit time* (t_d) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir.

Gambar 2.1 Lintasan aliran waktu inlet time (t_o) dan conduit time (t_d)



(Sumber : CD Soemarto, 1999)

Sehingga waktu konsentrasi dapat dihitung dengan (Suripin, 2004):

$$t_c = t_o + t_d \dots \dots \dots (2.19)$$

Dengan :

$$t_o = \frac{2}{3} \times 3,28 \times L_o \times \frac{nd}{\sqrt{S}} i^{0,167} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$t_d = \frac{L}{60v} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

S = Kemiringan saluran,

L = panjang saluran (m),

Lo = jarak dari titik terjauh ke fasilitas drainase (m),

V = kecepatan rata-rata didalam saluran (m/det) berdasarkan tabel 2.9

nd = Koefisien hambatan berdasarkan tabel 2.8

Tabel 2.11 Kemiringan Saluran Memanjang (S) Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Material	Kemiringan Saluran (S) (%)
1	Tanah Asli	0 - 5
2	Kerikil	5 - 7,5
3	Pasangan	7,5

(Sumber : Petunjuk desain drainase permukaan jalan No. 008/T/BNKT/1990, BINA MARGA)

Tabel 2.12 Koefisien Manning

Bahan	Nd
Besi tulang 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 : Tata Cara Perencanaan Sistem Drainase Perkotaan, Nomor 12/Prt/M/2014)

Tabel 2.13 Kecepatan Aliran Air yang Diizinkan

Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Air Yang Diizinkan (m/detik)
Pasir Halus	0,45
Lempung Kepasiran	0,5
Lanau Alluvial	0,6
Kerikil Halus	0,75
Lempung Kokoh	0,75
Lempung Padat	1,1
Kerikil Kasar	1,3

Batu-Batu Besar	1,5
Pasangan Batu	1,5
Beton	1,5
Beton Bertulang	1,5

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Sistem Drainase Perkotaan, Nomor 12/Prt/M/2014)

2.1.5 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah besarnya hujan per satuan waktu tertentu. Perhitungan intensitas hujan (I) menggunakan rumus Mononobe (Suripin, 2003:68).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{0,667} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)
R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
t_c = waktu konsentrasi (jam)

2.1.6 Debit Rencana

2.1.6.1 Metode Rasional

Dengan dasar pemikiran bahwa apabila air hujan jatuh dengan jumlah per satuan waktu yang tetap pada suatu permukaan kedap air, maka laju limpasan dari permukaan tanah akan sama dengan laju curah hujan. Untuk menghitung debit banjir di kawasan stadion dengan luas kurang dari 150 ha maka dipakai Metode Rasional, yaitu :

$$Q = \frac{1}{3,6} C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

Q = debit banjir (m³/detik)
C = koefisien pengaliran
I = intensitas hujan untuk periode ulang tertentu (mm/jam)
A = area yang akan dipatiskan (km²)

2.1.6.2 Waktu Konsentrasi (t_c)

Waktu konsentrasi (t_c) adalah lamanya air yang mengalir sepanjang saluran dari hulu saluran sampai di hilir saluran.

$$t_c = t_o + t_f \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana :

t_o = waktu yang dibutuhkan untuk mengalir di permukaan untuk mencapai inlet (overland flow time, inlet time).
t_f = waktu yang diperlukan untuk mengalir di sepanjang saluran

a. Perumusan untuk menghitung t_o:

Rumus Kerby (1959)

$$t_o = 1,44 \times \left[n d \frac{1}{\sqrt{5}} \right]^{0,467} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana :

I = jarak titik terjauh ke inlet (m)

n_d = koefisien setara koefisien kekasaran $L_{saluran}$

s = kemiringan medan

b. Perhitungan t_f :

$$t_f = \frac{L_{saluran}}{V_{saluran}} \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana :

t_f = waktu konsentrasi di saluran (menit)

$L_{saluran}$ = panjang saluran (m)

$V_{saluran}$ = kecepatan aliran di saluran (m/dt)

2.2 Analisis Tanah

Analisis tanah atau pengujian tanah adalah aktivitas menganalisa sampel tanah untuk mengetahui kondisi dan karakteristik tanah, seperti nutrien, kontaminasi, komposisi, keasaman, dan sebagainya.

2.2.1 Porositas Tanah

Porositas adalah proporsi ruang pori tanah (ruang kosong) yang terdapat dalam suatu volume tanah yang dapat ditempati oleh air dan udara , sehingga merupakan indikator kondisi drainase dan aerasi tanah. Tanah yang poros berarti tanah yang cukup mempunyai ruang pori untuk pergerakan air dan udara masuk dan keluar tanah yang secara leluasa , sebaliknya jika tanah tidak porous (Hakim ,1996)

Tanah tersusun dari butiran tanah atau partikel lainnya dan rongga-rongga atau pori di antara partikel butiran tanah. Rongga-rongga terisi sebagian atau seluruhnya dengan air atau zat cair lainnya. Rongga-rongga tanah yang tidak terisi oleh air atau zat cair akan terisi oleh udara atau bentuk lain dari gas. Sifat-sifat mekanis penting tanah, seperti kekuatan (*strength*) dan pemampatan (*compressibility*), secara langsung berhubungan dengan atau paling tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor dasar seperti rapat masa (*density*), berat volume (*unit weight*), angka pori (*void ratio*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Porositas tanah adalah kemampuan tanah dalam menyerap air berkaitannya dengan tingkat kepadatan tanah. Semakin padat tanah berarti semakin sulit untuk menyerap air, maka porositas tanah semakin kecil. Sebaliknya semakin mudah tanah menyerap air maka tanah tersebut memiliki porositas yang besar.

Tanah yang porositasnya baik adalah tanah yang porositasnya besar karena perakaran tanaman mudah untuk menembus tanah dalam mencari bahan organik. Selain itu tanah tersebut mampu menahan air hujan sehingga tanaman tidak selalu kekurangan air. Tetapi jika porositasnya terlalu tinggi, juga tidak baik, karena air yang diterima tanah langsung turun ke lapisan berikutnya. Tanah seperti ini kalau musim kemarau cepat membentuk pecahan yang berupa celah besar di tanah.

Pori-pori tanah terbagi menurut besar kecilnya ruangan atau rongga antar partikel tanah, pori terbagi menjadi tiga kelompok yaitu : (1) pori makro atau pori besar ; (2) pori meso atau pori sedang ; dan (3) pori mikro atau pori kecil.

Pori tanah jika dalam keadaan basah seluruhnya akan terisi oleh air, baik pori mikro, pori meso ataupun pori makro. Sebaliknya pada keadaan kering, pori makro dan sebagian pori meso terisi udara. Tanah yang strukturnya gembur atau remah dengan tindakan pengolahan tanah yang intensif dan bertekstur lempung, umumnya mempunyai porositas yang besar. Porositas perlu diketahui karena merupakan gambaran aerasi dan drainase tanah (Foth, 1994).

Pori tanah adalah ruang antara butiran padat tanah yang pada umumnya pori kasar ditempati udara dan pori kecil ditempati air, kecuali bila tanah kurang. Porositas tanah adalah persentase volume tanah yang ditempati butiran padat. (Pairunan, dkk, 1985).

Faktor porositas tanah dikendalikan oleh tekstur tanah, struktur, dan kandungan bahan organik. Pada KU dengan porositas tanah tinggi terlihat adanya kandungan unsur pasir dalam tekstur tanah (KU II, III, V, VI, dan VIII). Pada tanah berpasir, porositas tanah didominasi oleh pori makro yang berfungsi sebagai lalu lintas air sehingga infiltrasi meningkat. Sedangkan pada tanah berlempung, pori mikro lebih berperan dan daya hantar air-nya rendah sehingga infiltrasi menurun (Soepardi, 1983 *dalam* Hidayah *et al.*, 2001).

Bahan organik dan liat bagi agregat tanah berfungsi sebagai pengikat untuk kemandapan agregat tanah. Aktivitas akar tanaman menambah jumlah pori-pori tanah sehingga perkolasi semakin membaik. Selain itu, melalui retakan-retakan yang terbentuk oleh aktivitas akar tanam-an secara tidak langsung melalui ikatan mekanis atau biologis dan kimia oleh humus dapat memantapkan agregat tanah, akibatnya laju infiltrasi menjadi meningkat (Hairiah, 1996 *dalam* Hidayah *et al.*, 2001). Semakin tinggi kandungan bahan organik dalam tanah, kondisi fisik tanah menjadi lebih baik bagi laju penurunan air ke dalam tanah.

Kenaikan kapasitas infiltrasi tanah tersebut disebabkan kenaikan kandungan bahan organik tanah yang meningkatkan porositas tanah sehingga lebih memantapkan struktur dan tekstur tanah serta perkembangan biota tanah permukaan. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya perbaikan sifat fisik tanah termasuk peningkatan kapasitas infiltrasinya.

Porositas dibagi 2 berdasarkan asal usulnya :

1. Original (*Primary*) Porosity

Porositas yang terbentuk ketika proses pengendapan batuan (deposisi) tanpa ada faktor lain. Pada umumnya terjadi pada porositas antar butiran pada batupasir, antar Kristal pada batukapur, atau porositas oolitic pada batukapur.

2. Induced (*Secondary*) Porosity

Porositas yang terbentuk setelah proses deposisi batuan karena beberapa proses geologi yang terjadi pada batuan tersebut, seperti proses intrusi, fault, retakan, dan sebagainya. Proses tersebut akan mengakibatkan lapisan yang sebelumnya non-porosity/permeabelitas menjadi lapisan berporositas. Contohnya retakan pada shale dan batukapur, dan vugs atau lubang-lubang akibat pelarutan pada batukapur. Batuan yang berporositas original lebih seragam dalam karakteristik batuan daripada porositas induced.

Porositas berdasarkan kualitas :

1. Intergranuler : Pori-pori terdapat di antara butir.
2. Interkristalin : Pori-pori terdapat di antara kristal. – Celah dan rekah : Pori- pori terdapat di antara celah/rekahan.
3. Pin-point porosity : Pori-pori merupakan bintik-bintik terpisah-pisah, tanpa terlihat bersambungan.
4. Tight : Butir-butir berdekatan dan kompak sehingga pori-pori kecil sekali dan hampir tidak ada porositas.
5. Dense : Batuan sangat kecil sehingga hampir tidak ada porositas.
6. Vugular : Rongga-rongga besar yang berdiameter beberapa mili dan kelihatan sekali bentuk bentuknya tidak beraturan, sehingga porositas besar.
7. Cavernous : Rongga-rongga besar sekali yang merupakan gua-gua, sehingga porositasnya besar.

Porositas berdasarkan kuantitas :

1. (0% – 5 %) dapat diabaikan (negligible)
2. (5% – 10%) buruk (poor)
3. (10%- 15%) cukup baik (fair)
4. (15%- 20%) baik (good)

Rumus porositas sendiri yaitu :

$$BD = \text{Porositas} = 1 - \frac{PD}{2,65} \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

2.2.2 Koefisien Permeabilitas Tanah

Koefisien permeabilitas tanah (k) digunakan untuk mengetahui besarnya rembesan pada permasalahan bendungan, saluran irigasi, tanggul tanah, sumur resapan dan lainnya. Dengan mengkomparasi nilai koefisien permeabilitas antara data lapangan dengan nilai kisaran yang diberikan literatur, maka diharapkan hasilnya dapat digunakan untuk memprediksi nilai awal koefisien permeabilitas.

Permeabilitas tanah memiliki lapisan atas dan bawah. Lapisan atas berkisar antara lambat sampai agak cepat (0,20 - 9,46 cm jam⁻¹), sedangkan di lapisan bawah tergolong agak lambat sampai sedang (1,10 -3,62 cm jam⁻¹). (N.Suharta dan B. H Prasetyo.2008)

Permeabilitas menyatakan kemampuan media poros (tanah) untuk meloloskan zat cair (air hujan) baik secara lateral maupun vertikal (cm/jam). (Dede Rohmat.2009)

Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas

1. Tekstur
Pasir : permeabilitas tinggi
Liat : permeabilitas rendah
2. Porositas
Semakin besar pori, permeabilitas tinggi. Dan apabila semakin kecil pori maka permeabilitas rendah.
3. Struktur
Remah : permeabilitas rendah
Gumpal : permeabilitas sedang
4. Bobot jenis dan bobot isi
Apabila bobot jenis dan bobot isi tinggi maka permeabilitas rendah
Apabila bobot jenis dan bobot isi rendah maka permeabilitas tinggi
5. Viskositas (kekentalan cairan)
Apabila viskositas tinggi maka permeabilitas rendah
Apabila viskositas rendah maka permeabilitas tinggi
6. Gravitasi
Karena air mengalir menuju arah gravitasi

2.2.3 Laju Infiltrasi Tanah

Laju infiltrasi (F_a) adalah laju infiltrasi yang sesungguhnya terjadi yang dipengaruhi oleh intensitas hujan dan kapasitas infiltrasi.

Kapasitas infiltrasi suatu tanah dipengaruhi oleh sifat-sifat fisiknya dan derajat kemampatannya, kandungan air dan permeabilitas lapisan bawah permukaan, nisbi air, dan iklim mikro tanah. Air yang berinfiltrasi pada suatu tanah hutan karena pengaruh gravitasi dan daya tarik kapiler atau disebabkan juga oleh tekanan dari pukulan air hujan pada permukaan tanah

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi antara lain :

1. Jenis permukaan tanah
2. Cara pengolahan lahan
3. Kepadatan tanah
4. Sifat dan jenis tanaman

2.3 Analisis Hidrolika

2.3.1 Pengertian Drainase

Drainase atau pengatusan adalah pembuangan massa air secara alami atau buatan dari permukaan atau bawah permukaan dari suatu tempat. Pembuangan ini dapat dilakukan dengan mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Irigasi dan

drainase merupakan bagian penting dalam penataan sistem penyediaan air di bidang pertanian maupun tata ruang.

Dalam lingkup rekayasa sipil, drainase dibatasi sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal sesuai dengan kepentingan. Dalam tata ruang, drainase berperan penting untuk mengatur pasokan air demi pencegahan banjir.

2.3.2 Sistem Drainase Permukaan

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

2.3.2.1 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (*run-off coefficient*) adalah perbandingan antara jumlah air hujan yang mengalir atau melimpas di atas permukaan tanah (*surface run-off*) dengan jumlah air hujan yang jatuh dari atmosfer (hujan total yang terjadi). Besaran ini dipengaruhi oleh tata guna lahan, kemiringan lahan, jenis dan kondisi tanah. Pemilihan koefisien pengaliran harus memperhitungkan kemungkinan adanya perubahan tata guna lahan di kemudian hari.

Tabel 2.14 Koefisien Limpasan untuk Metode Rasional

No	Jenis Daerah	Koefisien C
1.	Daerah perdagangan	
	▪ Perkotaan (<i>down town</i>)	0,70 – 0,90
	▪ Pinggiran	0,50 – 0,70
2.	Permukiman	
	▪ Perumahan satu keluarga	0,30 – 0,50
	▪ Perumahan berkelompok, terpisah-pisah	0,40 – 0,60
	▪ Perumahan berkelompok, bersambungan	0,60 – 0,75
	▪ Suburban	0,25 – 0,40
	▪ Daerah apartemen	0,50 – 0,70
3	Industri	
	▪ Daerah industri ringan	0,50 – 0,80
	▪ Daerah industri berat	0,60 – 0,90
4.	Taman, pekuburan	0,10 – 0,25
5	Tempat bermain	0,20 – 0,35
6	Daerah stasiun kereta api	0,20 – 0,40
7	Daerah belum diperbaiki	0,10 – 0,30
8	Jalan	0,70 – 0,95
9	Bata	
	▪ Jalan, hamparan	0,75 – 0,85
	▪ Atap	0,75 – 0,95

(Sumber : Suripin ,2004)

Ada beberapa metode untuk memperkirakan laju aliran puncak (debit banjir). Metode yang dipakai di suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Secara umum, metode yang umum dipakai adalah metode rasional (Suripin, 2004). Metode rasional yang umum dipakai untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak adalah metode Rasional USSCS (1973). Penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS ukuran kecil yaitu kurang dari 300 ha (Goldman et.al, 1986) Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf.

2.3.2.2 Kecepatan Aliran Yang Diijinkan

Penentuan kecepatan aliran di mana saluran yang direncanakan didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar tetap self cleansing dan kecepatan maksimum yang diperbolehkan agar tetap aman.

- Kecepatan maksimum yang diperbolehkan adalah 3,0 m³/detik merupakan kecepatan aliran terbesar yang tidak mengakibatkan penggerusan pada lahan saluran.
- Kecepatan minimum yang diperbolehkan 0,6 m³/detik, yaitu kecepatan aliran terendah di mana tidak terjadi pengendapan pada saluran (tercapainya self cleansing) dan tidak mendorong pertumbuhan tanaman air dan gang-gang.

Tabel 2.15 Kecepatan Aliran Air yang Diizinkan

Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Air Yang Diizinkan (m/detik)
Pasir Halus	0,45
Lempung Kepasiran	0,5
Lanau Alluvial	0,6
Kerikil Halus	0,75
Lempung Kokoh	0,75
Lempung Padat	1,1
Kerikil Kasar	1,3
Batu-Batu Besar	1,5
Pasangan Batu	1,5
Beton	1,5
Beton Bertulang	1,5

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Sistem Drainase Perkotaan, Nomor 12/Prt/M/2014

2.3.2.3 Kemiringan Saluran

Kemiringan saluran adalah kemiringan dasar saluran dan kemiringan dinding saluran. Kemiringan dasar saluran maksimum yang diizinkan ada;ah 0,005-0,0075 tergantung pada bahan yang digunakan. Sedangkan kemiringan dasar minimum yang diperbolehkan adalah 0,001 kemiringan yang lebih curam dari 0,005 untuk tanah padat akan menyebabkan penggerusan (erosi).

Kemiringan dasar saluran direncanakan sedemikian rupa, sehingga dapat memberikan pengaliran secara gravitasi dengan batas kecepatan minimum tidak terjadi pengendapan-pengendapan, dan kecepatan maksimum tidak boleh terjadi kerusakan pada dasar maupun pada dinding salurannya, dengan arti bahwa daya aliran dapat membersihkan endapan sendiri (self cleansing velocity).

2.3.2.4 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan atau freeboard adalah jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air pada kondisi debit rencana. Tinggi Jagaan atau freeboard pada saluran drainase berfungsi untuk mencegah gelombang atau kenaikan muka air yang melimpah ke tepi saluran. Pada umumnya semakin besar debit yang diangkut, semakin besar pula tinggi jagaan atau freeboard yang harus disediakan.

Tinggi Jagaan untuk saluran drainase yang disarankan untuk diambil dinyatakan dalam Tabel berikut:

Tabel 2.16 Tinggi Jagaan

Debit (m ³ /detik)	Tanggul (m)	Pasangan (m)
< 0,5	0,40	0,20
0,5 - 1,5	0,50	0,20
1,5 - 5,0	0,60	0,25
5,0 - 10,0	0,75	0,30
10,0 - 15,0	0,85	0,40
> 15,0	1,00	0,50

Untuk menentukan tinggi jagaan atau freeboard saluran drainase selain dengan menggunakan tabel di atas dapat juga dengan pendekatan menggunakan formula atau rumus seperti di bawah ini:

$$f = \sqrt{\frac{h}{2}} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana :

f = Tinggi Jagaan atau freeboard saluran drainase

h = Tinggi muka air

Menurut SNI 03-3424-1994 : 24 besarnya tinggi jagaan bervariasi mulai dari 20 cm sampai 1,5 meter.

2.3.2.5 Perencanaan Dimensi Saluran

Zat cair dapat diangkut dari suatu tempat lain melalui bangunan pembawa alamiah

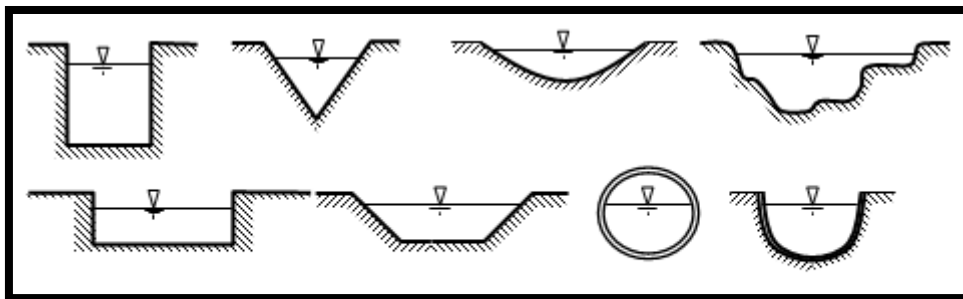
maupun buatan manusia. Bangunan pembawa ini dapat terbuka maupun tertutup bagian atasnya. Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka bagian atasnya disebut saluran terbuka (*open channels*).

Pada sistem pengaliran melalui saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas di mana permukaan bebas ini dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung, saluran terbuka umumnya digunakan pada lahan yang masih memungkinkan (luas), lalu lintas pejalan kakinya relatif jarang, beban kiri dan kanan saluran relatif ringan. Pada sistem pengaliran melalui saluran tertutup seluruh pipa diisi dengan air sehingga tidak terdapat permukaan yang bebas, oleh karena itu permukaan tidak secara langsung dipengaruhi oleh tekanan udara luar, saluran tertutup umumnya digunakan pada daerah yang lahannya terbatas (pasar, pertokoan), daerah yang lalu lintas pejalan kakinya relatif padat, lahan yang dipakai untuk lapangan parkir.

Berdasarkan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasarnya saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi :

- a. Saluran prismatic, yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya tetap. Contoh : saluran drainase, saluran irigasi.
- b. Saluran non prismatic, yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya berubah-ubah. Contoh : sungai

Aliran pada saluran terbuka terdiri dari saluran alam, seperti sungai – sungai kecil di daerah hulu hingga sungai besar di muara, dan saluran buatan, seperti saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk supply air minum, dan saluran banjir. Saluran buatan dapat berbentuk segitiga, trapesium, segi empat, bulat, setengah lingkaran, dan bentuk tersusun (Gambar 2.7)



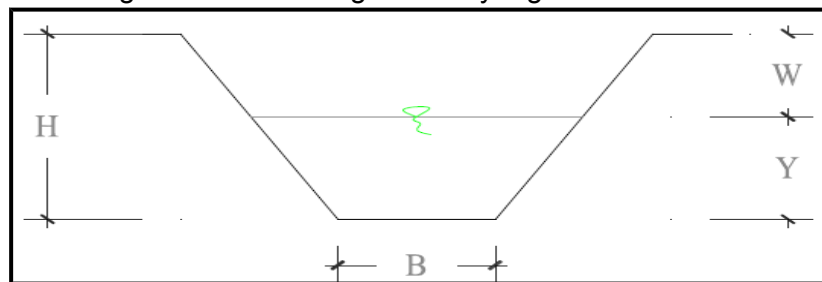
Gambar 2.2 Bentuk-bentuk Profil Saluran

Sumber : Suripin, 2003:121, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*

Bentuk–bentuk saluran drainase tidak jauh beda dengan saluran irigasi pada umumnya. Dalam perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis, sebaliknya dimensi yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai. Adapun bentuk – bentuk saluran antara lain :

a. Trapesium

Pada umumnya saluran ini terbuat dari tanah akan tetapi tidak menutup kemungkinan dibuat dari pasangan batu dan beton. Saluran ini memerlukan cukup ruang. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar.

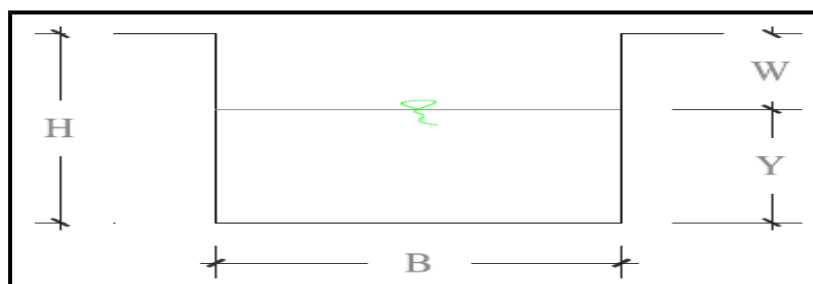


Gambar 2.3 Penampang Trapesium

Sumber : Suripin, 2003, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan

b. Persegi

Saluran ini terbuat dari pasangan batu dan beton. Bentuk saluran ini tidak memerlukan banyak ruang dan areal. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar.

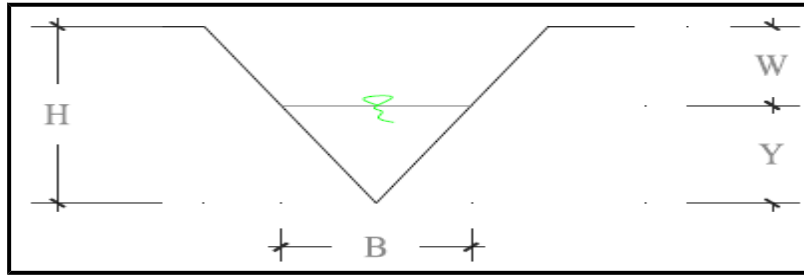


Gambar 2.4 Penampang Persegi

Sumber : Suripin, 2003, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan

c. Segitiga

Saluran ini sangat jarang digunakan tetapi mungkin digunakan dalam kondisi tertentu.

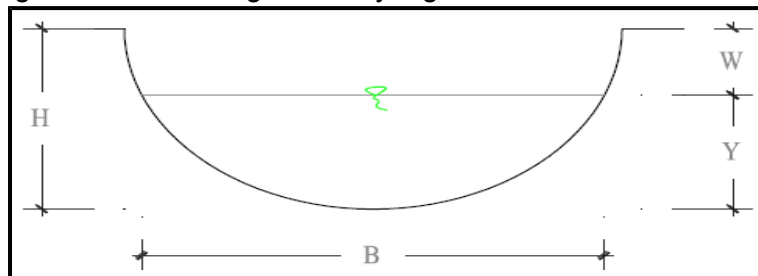


Gambar 2.5 Penampang Segitiga

Sumber : Suripin, 2003, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*

d. Setengah Lingkaran

Saluran ini terbuat dari pasangan batu atau dari beton dengan cetakan yang telah tersedia. Berfungsi untuk menampung dan meyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar.

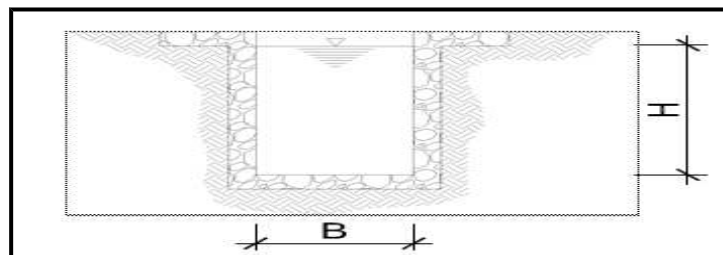


Gambar 2.6 Penampang Setengah Lingkaran

Sumber : Suripin, 2003, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*

Beberapa bentuk saluran melintang yang sering digunakan adalah sebagai berikut; (Bambang Triadmojo, 2003).

1. Saluran Penampang Persegi



Gambar 2.7 Saluran Penampang Persegi

Luas penampang basah : $A = B.H$

Keliling Basah (P) :

$$P = B + 2H \dots\dots\dots(2.29)$$

$$P = \frac{A}{H} + 2H \dots\dots\dots$$

(2.39)

Syarat penampang ekonomis, $dp/dh = 0$.

$$\frac{-A}{P^2} + 2 = 0 \dots\dots\dots$$

(2.31)

$$A = 2H^2$$

$$B = 2H$$

Jari-jari hidraulik (R) :

$$R = \frac{A}{P} = \frac{BH}{B+2H} = \frac{2H^2}{4H} \dots\dots\dots$$

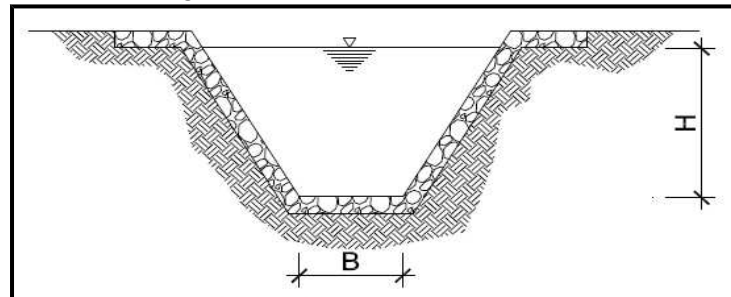
(2.32)

Radius Hidraulik :

$$R = \frac{H}{2} \dots\dots\dots$$

(2.33)

2. Saluran Penampang Trapesium



Gambar 2.8 Saluran Penampang Trapesium

Luas penampang basah (A) :

$$A = \left(\frac{2B + 2mH}{2} \right) H \dots\dots\dots(2.34)$$

$$A = (B + mH) H \dots\dots\dots(2.35)$$

Keliling basah (P) :

$$P = B + 2\sqrt{(m \cdot H)^2 + H^2} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$P = B + 2\sqrt{(m)^2 + 1} \dots\dots\dots(2.37)$$

Atau :

$$P = \frac{A}{H} - mH + 2H\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$P = \frac{A}{H} - mH + H\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots(2.39)$$

Syarat penampang ekonomis (Pmin), apabila dp/dh = 0,

$$\frac{-A}{H^2} + 2\sqrt{m^2 + 1} - m = 0 \dots\dots\dots(2.40)$$

$$\frac{A}{H^2} = 2\sqrt{m^2 + 1} - m \dots\dots\dots(2.41)$$

$$B = 2H(\sqrt{m^2 + 1} - m) \dots\dots\dots(2.42)$$

Jari-jari hidraulis (R):

$$R = \frac{A}{P} = \frac{2(B + mH)H}{B + 2H(m^2 + 1)^{1/2}} \dots\dots\dots(2.43)$$

Radius Hidraulik :

$$R = \frac{H}{2} \dots\dots\dots(2.44)$$

Perhitungan dimensi saluran ini erat kaitannya dengan perhitungan debit dan waktu konsentrasi. Dalam merencanakan saluran berdasarkan hasil perencanaan menurut data-data yang telah diperoleh baik literatur maupun observasi. Disini merencanakan saluran terbuka Tipe saluran terbuka dipilih karena kondisi lahan di lokasi ini masih memungkinkan untuk dibangun tanpa harus memakan badan atau bahu jalan. Perhitungan dimensi saluran didasarkan pada debit harus ditampung oleh saluran eksisting (Qe dalam m3/det) lebih besar atau sama dengan debit rencana yang diakibatkan oleh hujan rencana (Qt dalam m3/det). Kondisi demikian dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$Q_e \geq Q_t \dots\dots\dots(2.45)$$

Debit yang mampu ditampung oleh saluran (Qe) dapat diperoleh dengan rumus seperti dibawah ini :

$$Q_e = A_s \cdot V \dots\dots\dots(2.46)$$

Dimana :

As = luas penampang saluran (m2)

V = kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran (m/det)

Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran dapat dihitung dengan menggunakan

rumus manning sebagai berikut ;

Perhitungan dimensi saluran didasarkan pada debit harus ditampung oleh saluran (Q_s dalam m³/det) lebih besar atau sama dengan debit rencana yang diakibatkan oleh hujan rencana (Q_T dalam m³/det). Kondisi demikian dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Q_s \geq Q_r \dots\dots\dots(2.47)$$

Debit yang mampu ditampung oleh saluran (Q_s) dapat diperoleh dengan rumus seperti di bawah ini :

$$Q = A_s \cdot V \dots\dots\dots(2.48)$$

Di mana:

A_s = luas penampang saluran (m²)

V = Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran (m/det)

Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran dapat dihitung dengan menggunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.49)$$

$$R = \frac{A_s}{P} \dots\dots\dots(2.50)$$

Di mana:

V = Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran (m/det)

N = Koefisien kekasaran Manning

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

A_s = Luas penampang saluran (m²)

P = Keliling basah saluran (m)

2.3.3 Drainase Bawah Permukaan

Drainase bawah permukaan bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media dibawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak memperbolehkan adanya saluran di permukaan tanah.

Faktor-faktor yang diperhatikan dalam perencanaan drainase bawah permukaan adalah (Prodjopangarso, 1987) :

1. Perencanaan struktur dan permeabilitas tanah
2. Perencanaan Geotekstil
3. Laju infiltrasi
4. Jarak pipa (drain spacing)
5. Diameter pipa
6. Debit maksimum yang dilayani tiap pipa

Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri air dalam keadaan penuh. Adapun manfaat dari aliran dalam pipa :

1. Pipa bertekanan lebih disukai untuk pelayanan penyediaan air minum
2. Pipa bertekanan bisa mengambil jalur yang lebih pendek
3. Pipa bertekanan dapat dipergunakan untuk menghindari kehilangan air akibat rembesan dan penguapan yang dapat terjadi pada saluran terbuka

Persamaan energy antara penampang A dan B

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_l \dots\dots\dots(2.51)$$

Dimana :

Z_A = Energi potensial

$\frac{P_A}{\gamma}$ = Energi tekanan

$\frac{V_A^2}{2g}$ = Energi kinetik

Z_B = Energi potensial

$\frac{P_B}{\gamma}$ = Energi tekanan

$\frac{V_B^2}{2g}$ = Energi kinetik

h_l = Kehilangan energy

Kehilangan tekanan akibat gesekan pipa

Persamaan *Darcy – Weisbach*

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.52)$$

Dimana :

h_f = kehilangan tekanan akibat gesekan pipa

L = panjang karakteristik pipa

D = diameter pipa

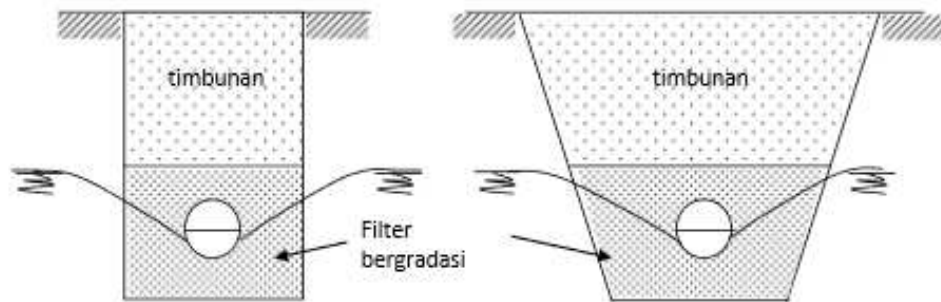
V = kecepatan aliran

G = gravitasi

2.3.3.1 Pipa Drain

Pipa dari tembikar/gerabah yang dibuat berlubang-lubang dengan sambungan yang tidak kedap air. Pipa plastic berkerut-kerut yang dibuat lubang-lubang kecil di sekelilingnya atau dibuat celah-celah panjang.

Diameter pipa berkisar 0.10 – 0.30 meter, dan ditempatkan dalam alur/ parit yang digali dalam tanah sekitar 100 – 120 cm dari permukaan tanah. Suatu penampang melintang subdrain ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Penampang melintang subdrain
(Sumber: Hasmar, 2012, *Drainasi Terapan*)

No	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
1	Pipa Besi Tanpa lapisan	0,012 - 0,015
1.1	Dengan lapisan semen	0,012 - 0,013
1.2	Pipa Berlapis gelas	0,011 - 0,017
2	Pipa Asbestos Semen	0,010 - 0,015
3	Saluran Pasangan batu bata	0,012 - 0,017
4	Pipa Beton	0,012 - 0,016
5	Pipa baja Spiral & Pipa Kelingan	0,013 - 0,017
6	Pipa Plastik halus (PVC)	0,002 - 0,012
7	Pipa Tanah Liat (Vitrified clay)	0,011 - 0,015

Tabel 2.17 Koefisien kekasaran pipa
(Sumber: Hasmar, 2012, *Drainasi Terapan*)

Alur galian bias dibuat dengan penampang persegi empat atau dengan penampang trapezium.

Macam-macam pipa drain :

1. Pipa Galvanized Iron Pipe atau GIP

Pipa GIP maupun lebih terkenal dengan sebutan pipa besi galvanis, yang pada umumnya dipakai untuk melakukan instalasi air bersih yang bersuhu dingin saja, sebab sangat tidak disarankan untuk saluran pipa air bersuhu panas.

Gambar 2.10 Pipa GIP

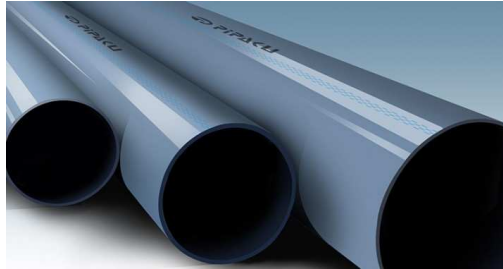


(Sumber : Yuwono, Sudirman. 2018. *Pipa Air, Pengertian Pipa*)

2. Pipa Poly Vinyl Chloride atau PVC

Pipa PVC merupakan pipa yang dibuat dari penggabungan bahan vinyl plastik. Penggabungan tersebut menciptakan pipa yang ringan, kuat, tidak berkarat serta akan tahan lama. Tipe pipa seperti ini lebih pas dipakai pada instalasi air bersuhu dingin saja.

Gambar 2.11 Pipa PVC



(Sumber : Yuwono, Sudirman. 2018. *Pipa Air, Pengertian Pipa*)

3. Pipa High-Density Poly Ethylene atau HDPE

Pipa HDPE merupakan pipa yang dibuat dari material poly-ethylene dimana material tersebut mempunyai kepadatan yang tinggi sehingga tipe pipa seperti ini mampu menahan tekanan yang amat tinggi. Adapun dari karakteristik pipa ini yaitu kuat, lentur maupun fleksibel serta tahan akan bahan kimia.

Gambar 2.12 Pipa HDPE



(Sumber : Yuwono, Sudirman. 2018. *Pipa Air, Pengertian Pipa*)

4. Pipa Baja atau Steel Pipe

Tipe pipa baja dapat dipakai sebagai jalur pipa bagi pasokan energi, contohnya : untuk saluran air, gas, minyak serta bermacam-macam cairan yang begitu mudah terbakar lainnya.

Gambar 2.13 Pipa Baja



(Sumber : Yuwono, Sudirman. 2018. *Pipa Air, Pengertian Pipa*)

5. Pipa Tembaga

Pipa tembaga adalah tipe pipa yang kuat serta tahan lama, pada umumnya pipa tipe ini lebih banyak dipakai untuk instalasi air bersuhu panas.

Gambar 2.14 Pipa Tembaga



(Sumber : Yuwono, Sudirman. 2018. *Pipa Air, Pengertian Pipa*)

6. Pipa Beton

Jenis pipa beton yang dipakai berupa beton precast, yang pada umumnya banyak dipakai sebagai saluran drainase. Pipa tipe ini terbagi menjadi 2 jenis, yaitu light duty serta heavy duty.

Gambar 2.15 Pipa Beton



(Sumber : Yuwono, Sudirman. 2018. *Pipa Air, Pengertian Pipa*)

Pemasangan pipa drain :

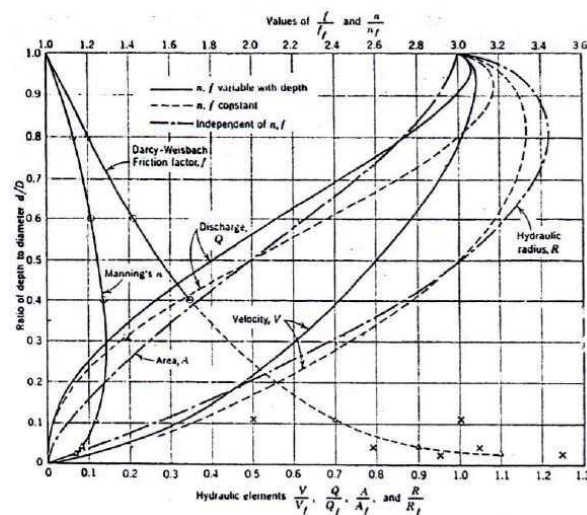
1. Pipa yang berlobang-lobang atau dengan celah-celah pada satu bagian sisinya ditempatkan pada posisi permukaan air tanah yang ingin diturunkan.
2. Pipa ditempatkan dan ditutup dengan lapangan filter bergradasi paling sedikit 30 cm diatas sis atas pipa.

3. Kemudian baru ditimbun dengan menggunakan lapisan filter yang agak lebih halus diameter butirnya. Dan terakhir bagian atau ditutup dengan tanah bekas galian sampai rata dengan bagian atas permukaan tanah. Filter bergradasi terdiri dari campuran pasir dan kerikil dengan gradasi terbuka dengan formasi makin dekat dengan pipa gradasinya makin kasar.

2.3.3.2 Diameter Pipa Drain

Diameter pipa drain dapat dihitung dengan menggunakan grafik elemen hidrolis saluran penampang lingkaran/pipa. Grafik tersebut dapat digunakan untuk menghitung parameter hidrolis

Gambar 2.16 Elemen Hidrolis Saluran Penampang Lingkaran Pipa



(Sumber: Danu, Elevanda, Mahendra Andiek, 2013, *Perencanaan Ulang Sistem Drainase Subsurface*)

Besarnya diameter pipa bisa dihitung juga dengan menggunakan rumus Manning sebagai berikut :

$$Q = A \times V \quad (2.53)$$

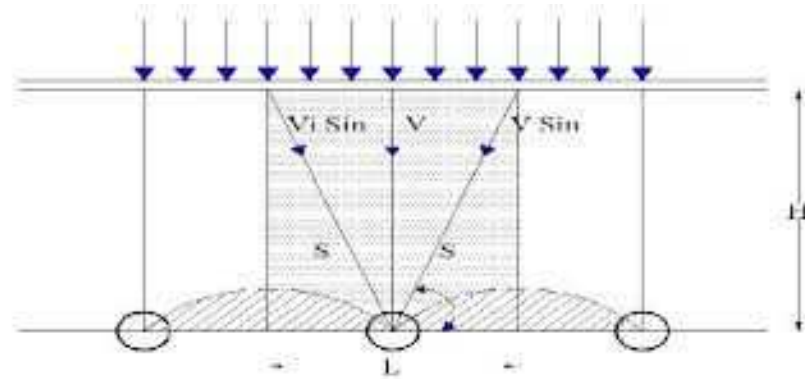
$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.54)$$

dimana :

- Q = kapasitas saluran (m³/dt)
- A = Luas penampang (m²)
- V = Kecepatan aliran rata-rata (m/dtk)
- N = koefisien kekasaran Manning
- R = Jari –jari hidrolis (m)
- S = Kemiringan dasar saluran

Harga koefisien Manning (n) ditetapkan berdasarkan pada bahan yang membentuk tubuh saluran. Dalam hal ini saluran berupa pipa PVC dengan harga n berkisar antara 0,009 –0,012

2.3.3.3 Kapasitas Pipa Drain



Gambar 2.17 Sket Definisi Penentuan Pipa

(Sumber: Danu, Elevanda, Mahendra Andiek, 2013, *Perencanaan Ulang Sistem Drainase Subsurface*)

Kapasitas pipa drain dihitung untuk mengetahui debit aliran pada ujung hilir pipa, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = q.L.P \quad (2.55)$$

Dimana ;

Q : Debit yang dialirkan

q : Kemampuan sistem drain

L: Jarak pipa drain

P : Panjang pipa drain

2.3.3.4 Jarak Pipa Drain

Hukum Darcy adalah persamaan yang mendefinisikan kemampuan suatu fluida mengalir melalui media berpori seperti batu. Hal ini bergantung pada prinsip bahwa jumlah aliran antara dua titik adalah berbanding lurus dengan perbedaan tekanan antara titik-titik dan kemampuan media melalui yang mengalir untuk menghambat arus.

Dalam format modern, menggunakan konvensi tanda tertentu, hukum Darcy biasanya ditulis sebagai:

$$Q_y = K.y. \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana :

Q_y = debit yang melewati penampang y . per unit panjang.

K = konduktivitas hidrolik

Pemasangan pipa sub surface drain di area lapangan stadion, dipasang di bawah lapisan tanah timbunan. Untuk menentukan jarak pemasangan pipa drain dapat dihitung dengan menggunakan rumus dupuit :

$$L = 2 \sqrt{\frac{K}{v} (b^2 - a^2)} \dots\dots\dots (2.57)$$

Dimana ;

L : Jarak pipa drain

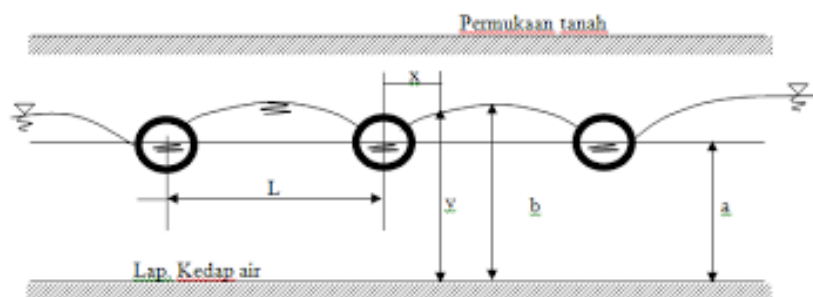
K : Koefisien permeabilitas

v : Laju infiltrasi

b : Ketinggian air tanah dari lapisan kedap air

a : Ketinggian air dalam pipa dari lapisan kedap air

Gambar 2.18 Sket Definisi Penentuan Jarak Pipa Drain



(Sumber: Danu, Elevanda, Mahendra Andiek, 2013, Perencanaan Ulang Sistem Drainase Subsurface)

2.4 Lapangan Sepak Bola Standar FIFA

2.4.1 Ukuran Lapangan Sepak Bola

Lapangan standar internasional pastinya memiliki ukuran yang sedikit lebih luas dibandingkan dengan lapangan skala nasional hal ini dikarenakan permainan skala ini jauh lebih dibuat menantang dengan ukuran lapangan yang luas. Kriteria ukuran lapangan sepakbola adalah sebagai berikut :

- Ukuran panjang lapangan yang memenuhi kriteria yaitu 100 m hingga 110m dengan lebar antara 64 m hingga 75 m
- Ukuran gawang atau kotak kiper yaitu tinggi 2,44 m dan lebar 7,32m

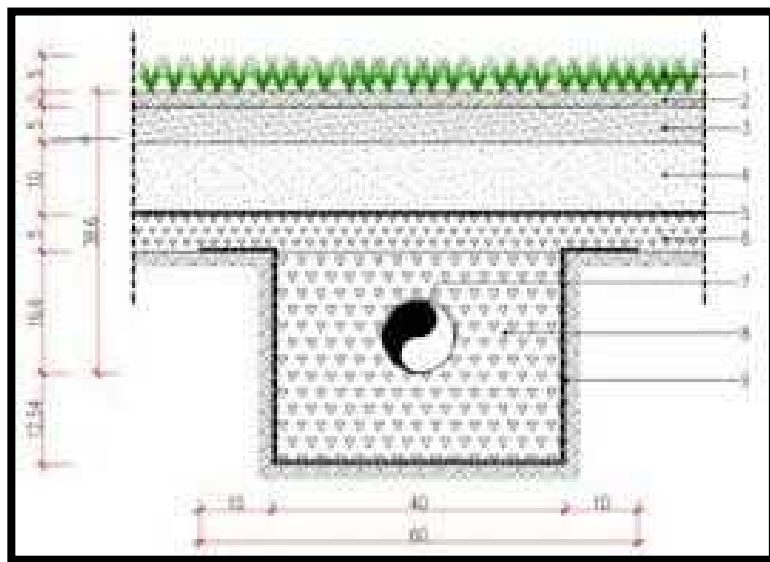
- Ukuran kotak pinalti sama dengan lapangan standar nasional

2.4.2 Spesifikasi Bahan

2.4.2.1 Sistem Drainase Bawah Permukaan

Dalam perencanaan sistem drainase bawah permukaan (Subdrain) lapangan sepak bola, ada beberapa lapisan bahan yang digunakan. Berikut gambar detail perencanaan subdrain lapangan sepak bola :

Gambar 2.19 Detail perencanaan sistem drainase bawah permukaan (Subdrain)



(Sumber : Detail Engineering Design (DED))

Dimana :

1. Muka rumput (Lapangan sepak bola)
2. Media Tanam (Tanah)
3. Pasir urug halus (Pasir halus)
4. Pasir urug kasar (Pasir kasar)
5. Geo Textile Nonwoven F 150
6. Stenslag 1/1 (Kerikil)
7. PVC AW Ø 4" (Pipa Perforated, Posisi Lubang diatas), lubang Ø 1 cm pada ½ keliling pipa.

8. Stenlag 2/3 (Kerikil kasar)

9. Geo Textile Nonwoven F 60

Diketahui dalam spesifikasi teknis pekerjaan lapangan, bahwa pipa drain yang di gunakan adalah pipa PVC tipe AW sesuai gambar rencana merk wavin, maspion, pralon atau produk yang setara. Berikut standard pipa PVC AW untuk merk produk wavin :

Tabel 17 Standard Pipa PVC Kelas AW Merk Wavin

Diameter		Tebal Dinding (mm)	Panjang (m)	Sistem Penyambungan	Kode Produk
inch	mm				
1/2	22	1,50	4	SC	210022001
3/4	26	1,80	4	SC	210026001
1	32	2,00	4	SC	210032001
1 1/4	42	2,30	4	SC	210042001
1 1/2	48	2,30	4	SC	210048001
2	60	2,30	4	SC	210060001
2 1/2	76	2,60	4	SC	210076001
3	89	3,10	4	SC	210089001
4	114	4,10	4	SC	210114001
5	140	5,40	4	SC	210140001
6	165	6,40	4	SC	210165001
8	216	8,30	4	SC	210216001
10	267	10,30	4	SC	210267001
12	318	12,20	4	SC	210318001

Sumber : Katalog Standard Wavin,2007.

Di dunia sepak bola, rumput *Zoysia matrella* dijadikan FIFA sebagai standarisasi rumput stadion sepak bola bertaraf internasional. FIFA sebagai induk tertinggi sepak bola dunia tentu bukan tanpa alasan menjadikan *Zoysia martella* sebagai ratunya rumput.

Sejumlah aspek pendukung membuat FIFA merekomendasikan rumput tersebut. Stadion-stadion terkemuka di dunia diketahui menggunakan rumput jenis ini.

Zoysia matrella atau yang lazim dikenal sebagai rumput Manila, berasal dari keluarga *Poaceae*. Jenis rumput ini tumbuh dan berkembang di wilayah Asia.

Dikutip dari beberapa jurnal ilmiah botani, rumput *Zoysia matrella* memiliki ciri daun yang rucing, warna hijau pekat, dan rigiditas yang rapat. Dilengkapi akar yang kuat membuat rumput jenis ini aman ketika bersentuhan langsung dengan sepul sepatu sepak bola.

Zoysia matrella biasanya ditanam menggunakan media pasir dan juga memiliki tingkat elistisitas yang sangat baik. Dengan demikian, aliran bola sempurna menggelinding tanpa mengurangi kecepatannya karena tekstur akarnya sangat kuat.

Zoysia matrella bisa dibilang rumput manja karena harus disiram sekali setiap hari plus diberi pupuk. Rumput tersebut juga minimal harus dipangkas per dua pekan dan dianjurkan hanya dipakai untuk pertandingan sepak bola.

Perawatan yang tak bisa dibilang sederhana itu sebanding dengan harga rumput. Di pasaran, rumput *Zoysia matrella* dibanderol dengan harga Rp 90.000 per meter persegi.

2.4.2.2 Sistem Drainase Permukaan

Dalam perencanaan sistem drainase permukaan lapangan sepak bola, biasanya terbuat dari pasangan batu dan beton dengan bentuk penampang persegi. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar dari permukaan lapangan sepak bola yang meresap kedalam daerah resapan, masuk kedalam pipa subdrain dan dialirkan ke drainase permukaan tersebut yang berada pada pinggir lapangan sepak bola.

Pasangan batu adalah susunan batu yang diantaranya diisi dengan bahan adukan semen atau mortar sebagai bahan pengikatnya. Untuk batu yang digunakan tidak ada persyaratan khusus, entah itu batu kali, batu belah atau batu gunung, maupun batuan jenis lainnya asalkan batu tersebut tergolong batuan keras, maka batu tersebut dapat digunakan. Selain batu, bahan yang digunakan adalah adukan semen atau mortar yang terbuat dari campuran pasir, semen dan air secukupnya. Berdasarkan persyaratan adukan semen untuk pasangan harus mempunyai kuat tekan paling sedikit 50 kg/cm² (5 Mpa).