

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan besarnya intensitas curah hujan, sebagai dasar perhitungan debit rencana pada suatu daerah yang direncanakan. Hal ini berguna untuk menentukan ukuran dan besaran hidroliknya, sehingga diharapkan dapat menghasilkan rancangan yang mampu memenuhi kebutuhan debit rencana (debit maksimum).

2.1.1 Hujan Kawasan (Daerah Tangkapan Air = DTA)

Data curah hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja. Sehingga untuk kawasan yang luas alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut. Diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di sekitar kawasan tersebut.

Terdapat tiga macam cara untuk menghitung hujan rata-rata kawasan, yaitu:

1. Metode Rata-Rata Aritmatik (Aljabar)

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

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2.1)$$

dimana:

P = Curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan

n = Banyaknya pos penakar hujan

2. Metode Poligon Thiessen

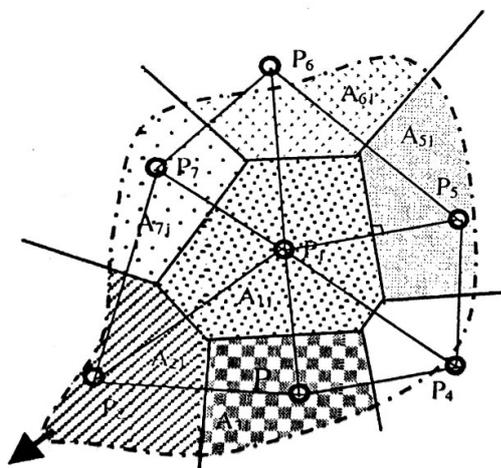
Metode ini dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat (Gambar 2.1). Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan pos lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat. Hujan rata-rata dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + P_3A_3 + \dots + P_nA_n}{A} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{A} \quad (2.2)$$

dimana:

P = Curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan (mm)

A = Luas area poligon (km²)



Gambar 2.1 Metode Poligon Thiessen

Sumber: Suripin (2004)

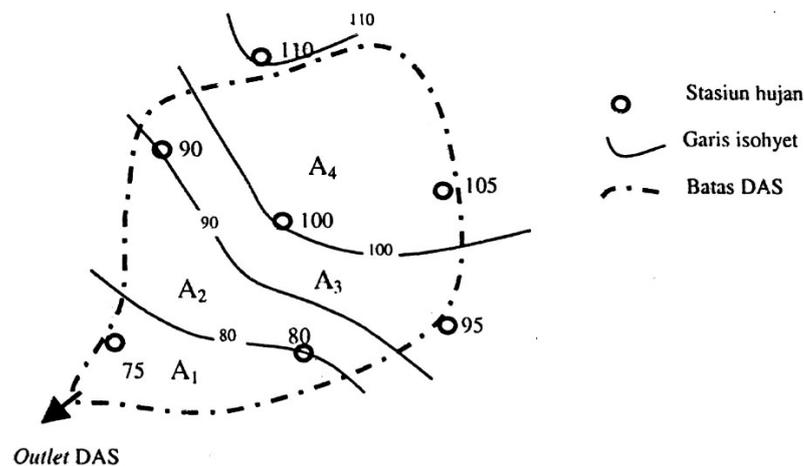
3. Metode Isohyet

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

$$P = \frac{A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

atau

$$P = \frac{\sum \left[A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \quad (2.4)$$



Gambar 2.2 Metode Isohyet

Sumber: Suripin (2004)

2.1.2 Analisis Frekuensi Hujan

Analisis frekuensi data hidrologi berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan (Suripin 2004). Analisis frekuensi didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Hasil yang diperoleh dari analisis frekuensi tergantung pada kualitas dan panjang data. Adapun distribusi yang dipakai dapat ditentukan setelah mengetahui karakteristik data yang ada, yaitu data curah hujan rata-rata maksimum. Semakin pendek data yang tersedia, maka semakin besar penyimpanan yang terjadi. Menurut (Soemarto 1987), dalam ilmu statistik ada empat jenis distribusi frekuensi yang paling lazim digunakan dalam analisis hidrologi, yaitu:

a. Distribusi Normal

Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss, secara sederhana persamaan distribusi normal dapat ditulis sebagai berikut (Suripin 2004):

$$X_T = X + K_T \cdot S \quad (2.5)$$

Dimana: K_T = Faktor frekuensi (variable reduksi Gauss), yang besarnya ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Variabel Reduksi Gauss

Peeriode 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	0,500	0
2,5	0,400	0,25
3,3	0,300	0,52
4	0,250	0,67
5	0,200	0,84
10	0,100	1,28
20	0,050	1,64
50	0,020	2,05
100	0,010	2,33
200	0,005	2,58
500	0,002	2,88
1000	0,001	3,09

Sumber: Suripin (2004)

b. Metode Log Normal

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ini adalah sebagai berikut (Suripin 2004):

$$Y_T = Y + K_T \cdot S \quad (2.6)$$

dimana: Y_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahun.

Y = Nilai rata-rata hitungan sampel.

c. Metode Log-Pearson III

Langkah-langkah penggunaan distribusi Log-Pearson III adalah sebagai berikut (Suripin 2004):

1. Harga rata-rata

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

2. Simpangan baku (standar deviasi)

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.8)$$

3. Koefisien kemencengan (*Coefficient of Skewness*)

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)(S_i)^3} \quad (2.9)$$

dimana: n = Jumlah tahun

S_i = Standar deviasi

G = Koefisien kemencengan

Setelah perhitungan di atas, akan dilakukan perhitungan logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus (Suripin 2004):

$$\text{Log}X_T = \text{Log}X + K \cdot S_i \quad (2.10)$$

Dimana: X_T = Curah hujan rencangan kala ulang T tahun

X = Rata-rata hitungan data hujan

K = Variabel standar untuk x yang besarnya tergantung koefisien kemencengan (berdasarkan tabel 2 nilai K untuk distribusi Log-Pearson III)

S_i = Standar deviasi

Nilai K pada distribusi Log-Pearson II dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Nilai k Untuk Distribusi Log-Pearson III

Koef G	Interval Kejadian (<i>Recurrence Interval</i>), Tahun (<i>Periode Ulang</i>)							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Presentase Peluang Terlampaui (<i>Percent Chance of Being Exceedet</i>)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,369	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	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,449
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,132	0,705	1,336	1,993	2,453	2,891
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
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	1,680	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	0,831	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	1,959	0,980	1,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	1,888	0,900	1,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	1,823	0,830	0,832
-2,6	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	1,764	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	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber: Suripin (2004:43)

d. Metode Gumbel

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode Gumbel adalah sebagai berikut (Soemarto 1987):

$$X_t = X + \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} \cdot S_x \quad (2.11)$$

dimana: X_t = Curah hujan rencana dalam periode ulang T tahun (mm/hari)

X = Curah hujan rata-rata hasil pengamatan (mm/hari)

Y_T = *Reduced variabel*, parameter Gumbel untuk periode T tahun (Tabel 5)

Y_n = *Reduced mean*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n) (Tabel 3)

S_n = *Reduced standar deviasi*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n) (Tabel 4)

S_x = Standar deviasi

Tabel 2.3 *Reduced Mean* (Y_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	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	0,5540	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5563	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	0,5589	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,8898	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 2.4 *Reduced Standart Deviasi* (S_n)

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	1,0628	1,0754	0,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,226	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	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1,1747	1,1759	1,177	1,1782	1,1803	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1898	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,973	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2044	1,2044	1,2046	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 Variate* (Y_T)

Periode Ulang	Reduce Variate
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	9,92121

Sumber: Suripin (2004)

Perhitungan tinggi hujan dapat menggunakan salah satu metode di atas, yang akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan dimensi sumur resapan. Analisis frekuensi dengan cara statistik berdasarkan data dari pencatatan berkala pada stasiun hujan yang juga didasarkan pada sifat-sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh kemungkinan besaran hujan pada periode ulang tertentu. Sifat data yang tersedia sangat menentukan jenis analisis yang dilakukan.

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data, berikut merupakan parameter-parameter statistik yang digunakan (Suripin 2004):

1. Harga Rata-Rata

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2.12)$$

(Soewarno 1995:29)

2. Standar Deviasi

$$S_i = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (2.13)$$

(Soewarno 1995:29)

3. Koefisien Skewness (Koefisien Kemencengan)

Koefisien kemencengan merupakan suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisasi dari suatu bentuk distribusi.

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S_i)^3} \quad (2.14)$$

(Soewarno 1995:29)

4. Koefisien Kurtosis

Pengukuran kurtosis bertujuan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \quad (2.15)$$

(Soewarno 1995:29)

Untuk menentukan distribusi yang akan digunakan didasarkan pada hasil uji kesesuaiannya terhadap ciri-ciri statistik masing-masing. Kesalahan dalam pemilihan jenis distribusi akan menyebabkan terjadinya kesalahan perkiraan, baik *over estimate* ataupun *under estimate* yang dimana keduanya sangat tidak diharapkan dalam suatu perhitungan. Karakteristik distribusi frekuensi dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.6 Karakteristik Distribusi Frekuensi (Suripin 2004)

No	Jenis Distribusi Frekuensi	Syarat Distribusi
1	Distribusi Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
2	Distribusi 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	Distribusi Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Distribusi Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

2.1.3 Analisis Periode Kala Ulang Curah Hujan

Dalam menganalisis intensitas curah hujan, maka harus menghitung periode kala ulang (*return period*) curah hujan terlebih dahulu. Kala ulang (*return period*) merupakan waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui (Suripin 2004). Periode ulang yang digunakan dalam perencanaan sumur resapan tergantung dari umur rencana bangunan serta luasan dan keadaan daerah tangkapa hujan yang akan dikeringkan.

Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus (Suripin 2004):

$$\text{Log}X_T = \text{Log}X + K \cdot S_i \quad (2.16)$$

dimana: X_T = Curah hujan rencangan kala ulang T tahun

X = Rata-rata hitungan data hujan

K = Variabel standar untuk x yang besarnya tergantung koefisien kemencengan (berdasarkan tabel 2 nilai K untuk distribusi Log-Pearson III)

S_i = Standar deviasi

2.1.4 Uji Kecocokan

Uji kecocokan atau uji probabilitas pada distribusi dimaksudkan untuk menentukan apakah distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Soewarno 1995). Ada dua parameter yang sering digunakan, yaitu:

1. Uji *Chi-Square*

Pengujian pada metode *Chi-Square* didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai *Chi-Square* (X^2) dengan nilai *Chi-Square* Kritis (X^2_{cr}). Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode *Chi-Square* adalah sebagai berikut (Soewarno 1995):

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.17)$$

dengan: Xh^2 = parameter *Chi-Square* terhitung

G = Jumlah sub kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

Parameter Xh^2 merupakan variabel acak dengan nilai yang sama atau lebih besar dari nilai chi kuadrat (X^2) dimana dapat dilihat pada tabel 6.

Prosedur uji chi kuadrat adalah sebagai berikut:

- 1) Urutkan data pengamatan (dari data yang terbesar ke data yang terkecil atau sebaliknya).
- 2) Kelompokkan data menjadi G sub grup, setiap grup minimal terdiri dari 4 data pengamatan.
- 3) Jumlahkan data pengamatan sebesar O, tiap-tiap sub grup.
- 4) Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
- 5) Tiap-tiap sub grup hitung nilai:
 $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
- 6) Jumlahkan seluruh G sub grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi Kuadrat.
- 7) Menentukan derajat kebebasan $dk = G - P - 1$ (untuk distribusi normal dan binomial $P = 2$, dan untuk distribusi Poisson $P = 1$).

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut:

- Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
- Apabila peluang berada diantara 1% - 5% maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

Tabel 2.7 Nilai Kritis untuk Distribusi *Chi-Square*

DK	α Derajat Kepercayaan							
	0,9950	0,9900	0,9750	0,9500	0,0500	0,0250	0,0100	0,0050
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,143	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	41,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,642	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	46,963	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	48,278	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	49,558	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber: Soewarno (1995)

2. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov* sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Berikut merupakan langkah-langkahnya:

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

X_1	$P'(X_1)$
X_2	$P'(X_2)$
X_m	$P'(X_m)$
X_n	$P'(X_n)$

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

X_1	$P'(X_1)$
X_2	$P'(X_2)$
X_m	$P'(X_m)$
X_n	$P'(X_n)$

- 3) Dari kedua peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
- 4) Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan harga D_0 (lihat pada Tabel 2.7).

Apabila D lebih kecil dari D_0 , maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima. Apabila D lebih besar dari D_0 , maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 2.8 Nilai Kritis D_0 Uji *Smirnov-Kolmogorov*

N	Derajat Kepercayaan (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

N	Derajat Kepercayaan (α)			
	0,20	0,10	0,05	0,01
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)

2.1.5 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus *Mononobe* (Suripin 2004):

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.18)$$

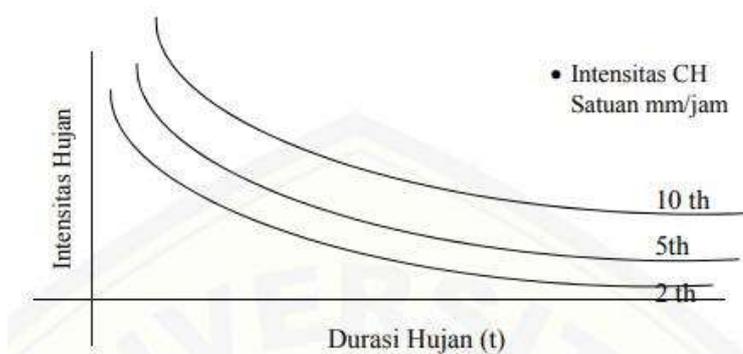
dimana: I_t = Intensitas hujan untuk lama hujan t (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

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

Menentukan lengkung intensitas curah hujan adalah grafik yang menyatakan hubungan antara curah hujan (I) dengan durasi hujan (t), hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk lengkung intensitas curah hujan kala ulang tertentu.

Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung, maka intensitasnya cenderung makin tinggi dan besar, periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya (Suripin, 2004:66) seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik Lengkung Intensitas Curah Hujan

Sumber: Zaelany (2016)

Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF = *Intensity-Duration-Frequency Curve*). Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Kemudian, berdasarkan data hujan jangka pendek tersebut lengkung IDF dapat dibuat dengan salah satu dari beberapa persamaan berikut (Suripin 2004):

1. Rumus Talbot (1881)

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

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (2.19)$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang tergantung pada lamanya hujan terjadi pada DAS

2. Rumus Sherman (1905)

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

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.20)$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

n = Konstanta

3. Rumus Ishiguro (1953)

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \quad (2.21)$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi

4. Rumus Mononobe

Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data curah hujan harian. Parameter ini digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.22)$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

2.1.6 Analisis Debit Limpasan

Dalam perencanaan drainase, bagian air hujan yang menjadi perhatian adalah aliran permukaan (*surface runoff*), sedangkan untuk pengendalian banjir tidak hanya aliran permukaan, tetapi limpasan (*runoff*). Limpasan merupakan gabungan antara aliran permukaan, aliran-aliran yang tertunda pada cekungan-cekungan, dan aliran bawah permukaan (*subsurface flow*).

Metode rasional merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan laju aliran puncak (debit banjir), metode ini mudah dan simpel penggunaannya namun terbatas untuk DAS yang berukuran kecil yaitu kurang dari 300 ha. Bentuk persamaan metode Rasional adalah sebagai berikut:

$$Q_p = 0,002778 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.23)$$

dimana:

Q_p = Laju aliran permukaan (debit) puncak (m³/s)

C = Koefisien aliran permukaan (*runoff*)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas permukaan (ha)

Tabel 2.9 Koefisien Limpasan untuk Metode Rasional

Deskripsi Lahan/Karakter Permukaan	Koefisien Aliran, C
Business	
Perkotaan	0,7 – 0,95
Pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Rumah Tunggal	0,30 – 0,50
Multiunit, terpisah	0,40 – 0,60
Multiunit, tergabung	0,60 – 0,75
Perkampungan	0,25 – 0,40
Apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Ringan	0,50 – 0,80
Berat	0,60 – 0,90

Sumber: Suripin (2004)

Deskripsi Lahan/Karakter Permukaan	Koefisien Aliran, C
Perkerasan	
Aspal dan Beton	0,7 – 0,95
Batu Bata, paving	0,50 – 0,70
Atap	0,75 – 0,95
Halaman, tanah berpasir	
Datar 2%	0,05 – 0,10
Rata-rata, 2 – 7%	0,10 – 0,15
Curam, 7%	0,15 – 0,20
Halaman, tanah berat	
Datar 2%	0,13 – 0,17
Rata-rata, 2 – 7%	0,18 – 0,22
Curam, 7%	0,25 – 0,35
Halaman kereta api	0,10 – 0,35
Taman tempat bermain	0,20 – 0,35
Taman, perkuburan	0,10 – 0,25

Deskripsi Lahan/Karakter Permukaan	Koefisien Aliran, C
Hutan	
Datar	0,10 – 0,40
Bergelombang, 5 - 10%	0,25 – 0,50
Berbukit, 10 – 30%	0,30 – 0,60

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 2.10 Koefisien Aliran untuk Metode Rasional

$$\text{Koefisien aliran } C = C_t + C_s + C_v$$

Topografi, C_t		Tanah, C_s		Vegetasi, C_v	
Datar (<1%)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10%)	0,08	Lempung berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10-20%)	0,16	Lempung dan lanau	0,16	Padang rumput	0,21
Pegunungan (>20%)	0,26	Lapisan batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 2.9 dan 2.10 menggambarkan nilai C untuk penggunaan lahan yang seragam, dimana kondisi ini sangat jarang dijumpai untuk lahan yang relative luas. Jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka C yang dipakai adalah koefisien DAS yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.24)$$

dimana:

A_i = Luas lahan dengan jenis penutup tanah i

C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

n = Jumlah jenis penutup lahans

2.2 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika digunakan untuk menentukan kapaistas saluran dengan memperhatikan sifat-sifat hidrolika yang terjadi pada saluran drainase tersebut. Sifat-sifat tersebut meliputi jenis aliran (*steady* atau *unsteady*), angka kekasaran (*manning*) dan sifat alirannya (kritis, sub-kritis, dan super kritis).

2.2.1 Kapasitas Saluran

Perhitungan kapasitas saluran dilakukan untuk mengetahui besarnya debit pada suatu saluran drainase. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk perhitungan kapasitas saluran drainase:

$$Q = V \times A \quad (2.25)$$

$$A = b \times h \quad (2.26)$$

$$P = b + 2h \quad (2.27)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.28)$$

$$V = \frac{1}{n} \times (R)^{\frac{2}{3}} \times (S)^{\frac{1}{2}} \quad (2.29)$$

dimana:

Q = Debit rencana (m³/detik)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

A = Luas penampang basah (m²)

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Kedalaman air (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

P = Keliling penampang basah (m)

n = Koefisien kekasaran

S = Kemiringan dasar saluran ($\Delta H/L$)

Tabel 2.11 Koefisien Kekasaran Manning (n) Sesuai Kondisi Saluran

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
I	Saluran Buatan				
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah, yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,023	0,030	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
II	Saluran Alam				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9	Seperti no. 8 tapi ada tumbuhan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10	Melengkung, bersih, berlubang, dan berdinging, pasir	0,033	0,035	0,040	0,045
11	Seperti no. 10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12	Seperti no. 10, berbatu dan ada tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13	Seperti no. 11, Sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14	Aliran pelan, banyak tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
III	Saluran Batuan, Beton atau Batu Kali				
16	Saluran pasangan batu, tanpa finishing	0,025	0,030	0,033	0,035
17	Seperti no. 16, tapi dengan finishing	0,017	0,020	0,025	0,030
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pracetak dengana acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum

2.2.2 EPA SWMM 5.1

Environmental Protection Agency Storm Water Management Model 5.1 (EPA SWMM 5.1) adalah pemodelan yang digunakan untuk merencanakan, menganalisis, dan mendesain suatu model yang berhubungan dengan limpasan air hujan dan sistem drainase perkotaan. SWMM merupakan model simulasi dinamis hubungan antara curah hujan dan limpasan (*rainfall-runoff*). Model ini juga digunakan untuk mensimulasikan kejadian hujan tunggal atau berkelanjutan dalam waktu lama, baik berupa volume limpasan maupun kualitas air, terutama pada suatu daerah perkotaan ((Environmental Protection Agency 2015).

Fungsi dari program SWMM ini diantaranya sebagai perencanaan dimensi sebuah jaringan pembuang untuk pengendalian banjir serta perencanaan daerah penahan sementara untuk pengendalian banjir. Parameter pada *EPA SWMM 5.1* meliputi (Environmental Protection Agency 2015):

1. Pengukur Hujan (*Rain Gage*)

Rain gage digunakan untuk menampilkan input data ke sistem. Rain gage menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih daerah tangkapan air pada suatu wilayah.

2. Daerah Tangkapan Air (*Subcatchment*)

Subcatchment merupakan unit hidrologi dari tanah dimana topografi dan elemen sistem drainase menunjukkan permukaan limpasan pada satu titik pembuangan. Data yang diperlukan diantaranya *rain gage, outlet, area, width, % impervious, % slope, N-imperv, N-perv*, serta infiltrasinya.

3. *Junction*

Junction merupakan titik yang menghubungkan antar saluran atau menjadi tanda pembeda untuk jenis saluran karena dimensi yang berbeda. Data yang diperlukan diantaranya elevasi dan kedalaman maksimum.

4. Pembuang (*Outfall*)

Outfall adalah titik akhir dari sistem drainase yang biasanya ditetapkan di akhir batas hilir dengan menginputkan data elevasi dan saluran pembuang.

5. *Flow Divider*

Flow divider merupakan simpul sistem drainase yang mengalihkan aliran ke dalam saluran yang telah ditentukan. Sebuah divider tidak boleh memiliki lebih dari 2 saluran pada outletnya.

6. Unit Penyimpanan (*Storage units*)

Storage adalah penyedia volume tampungan yang berfungsi untuk menampung air dalam kapasitas kecil maupun besar tergantung dari kebutuhan.

7. Saluran (*Conduit*)

Conduit merupakan saluran yang mengalirkan air dari suatu *node* ke *node* lain. Bentuk penampang saluran tergantung pada saluran yang ada atau saluran yang akan direncanakan.

8. Pompa (*Pumps*)

Pumps merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air ke tempat yang lebih tinggi. Kurva pompa menggambarkan hubungan antara laju aliran pompa dengan kondisi di titik masuk dan keluarnya.

9. *Flow Regulators*

Regulators merupakan struktur atau perangkat yang digunakan untuk mengontrol dan mengalihkan aliran dalam suatu sistem.

2.2.3 Pompa Sentrifugal

Pompa adalah alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain melalui media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Prinsip pompa adalah dengan membuat perbedaan tekanan antara bagian hisap (*suction*) dan bagian keluar (*discharge*).

Pompa sentrifugal merupakan pompa yang mempunyai elemen utama berupa motor penggerak dengan sudu impeller yang berputar dengan kecepatan tinggi. Prinsip kerja dari pompa sentrifugal yaitu mengubah energi mekanis alat penggerak menjadi energi kinetis fluida (kecepatan), kemudian fluida diarahkan ke saluran buang dengan memakai tekanan (energi kinetis sebagian fluida diubah menjadi energi tekanan) dengan menggunakan impeller yang berputar di dalam *casing*. *Casing* tersebut dihubungkan dengan saluran hisap (*suction*) dan saluran tekan

(*discharge*), untuk menjaga agar di dalam *casing* selalu terisi dengan cairan, sehingga saluran hisap harus dilengkapi dengan katup dan saringan.

2.2.3.1 Total Head Pompa

Total head merupakan kemampuan tekanan maksimum pada titik kerja pompa, sehingga pompa tersebut mampu mengalirkan air/fluida dari satu tempat ke tempat lainnya. Beberapa parameter yang diperlukan untuk menentukan total head pompa, diantaranya head statis pompa, perbedaan head tekanan, dan berbagai kerugian head di pipa. Berikut adalah perhitungan head total pompa (Sularso dan Tahara 2000):

$$H = h_a + \Delta h_p + h_L + \frac{V^2}{2g} \quad (2.30)$$

dimana:

H = Head total pompa (m)

h_a = Head statis total (m)

Δh_p = Perbedaan head tekanan pada kedua permukaan air (m)
($\Delta h_p = h_{p1} - h_{p2}$)

V = Kecepatan rata-rata di dalam pipa (m/s)

$\frac{V^2}{2g}$ = Head kecepatan keluar (m)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

2.2.3.2 Head Kerugian

Head kerugian (merupakan head untuk mengatasi kerugian-kerugian) terdiri atas head kerugian gesek di dalam pipa, head kerugian pada belokan, dan head kerugian pada katup. Berikut adalah perhitungannya (Sularso dan Tahara 2000):

1. Head kerugian gesek untuk pipa lurus

Perhitungan kehilangan energi dapat menggunakan rumus Hazen William seperti di bawah ini:

$$h_f = \frac{10,666 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \times L \quad (2.31)$$

dimana:

hf = Head kerugian panjang pipa (m)

Q = Kapasitas aliran (m³/s)

C = Koefisien Hazen William

D = Piameter pipa yang direncanakan (m)

Tabel 2.12 Koefisien Hazen William

Jenis Pipa	C
<i>Asbestos Cement</i>	140
<i>Brass tube</i>	130
<i>Cast iron tube</i>	100
<i>Concrete tube</i>	110
<i>Copper tube</i>	130
<i>Corrugated Steel tube</i>	60
<i>Galvanized tubing</i>	120
<i>Glass tube</i>	130
<i>Lead piping</i>	130
<i>Plastic pipe</i>	140
<i>PVC pipe</i>	150
<i>General smooth pipe</i>	140
<i>Steel pipe</i>	120
<i>Steel riveted pipe</i>	100
<i>Tar coated cast iron tube</i>	100
<i>Tin tubing</i>	130
<i>Wood stave</i>	100

2. Head kerugian akibat belokan

$$hf = f \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.32)$$

$$f = \left[0,131 + 1,847 \times \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \quad (2.33)$$

dimana:

hf = Kerugian akibat belokan (m)

- f = Koefisien kerugian
 V = Kecepatan rata-rata di dalam pipa (m/s)
 g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
 D = Diameter pipa (m)
 R = Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)
 θ = Sudut belokan (derajat)

3. Head kerugian akibat katup dan saringan

$$hf = f \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.34)$$

dimana:

- hf = Kerugian akibat katup dan saringan (m)
 f = Koefisien kerugian
 V = Kecepatan rata-rata di dalam pipa (m/s)
 g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

2.2.3.3 Daya Pompa

Daya pompa merupakan besarnya energi persatuan waktu atau kecepatan melakukan kerja yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa dalam mengalirkan fluida. Daya dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

$$P = \frac{\rho \times g \times H \times Q}{\mu} \quad (2.35)$$

dimana:

- P = Daya pompa (kW atau watt)
 ρ = Berat jenis fluida (1000 kg/m³)
 g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
 H = Total head pompa (m)
 Q = Kapasitas aliran (m³/s)
 μ = Efisiensi pompa (80%)

2.3 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah untuk meloloskan atau melewatkan air. Permeabilitas tanah juga merupakan suatu kesatuan yang meliputi infiltrasi tanah dan bermanfaat sebagai permudahan dalam pengolahan tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi dapat menaikkan laju infiltrasi sehingga menurunkan laju limpasan.

2.3.1 Metode Uji Permeabilitas

Penentuan nilai koefisien permeabilitas (k) suatu sampel tanah dengan sumur uji yaitu dengan cara menggali sumur dengan diameter tertentu pada lokasi penelitian yang sudah dianggap mewakili kondisi tanah pada lokasi studi. Adapun dengan *constant head test* dan *falling head test* pada laboratorium dengan mengambil sampel tanah pada lokasi penelitian. Adapun Rumus perhitungan koefisien permeabilitas tanah adalah sebagai berikut:

1. Metode Sumur Uji

Metode sumur uji merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam melaksanakan uji permeabilitas. Pengujian sumur uji dilakukan dengan membuat lubang sumur sedalam 1 m dengan 1 m. Selanjutnya dimasukkan air yang berasal dari sumber air terdekat, lalu dihitung penurunannya sehingga didapat nilai koefisien permeabilitasnya. Koefisien permeabilitas (k) dalam metode sumur uji menggunakan rumus seperti di bawah ini:

$$K = \frac{Q}{2\pi H^3} \left[H \log e \left\{ \left(\frac{H}{r} \right) + \sqrt{1 + \left(\frac{H}{r} \right)^2} \right\} - \sqrt{r^2 + H^2} + r \right] \quad (2.36)$$

dimana:

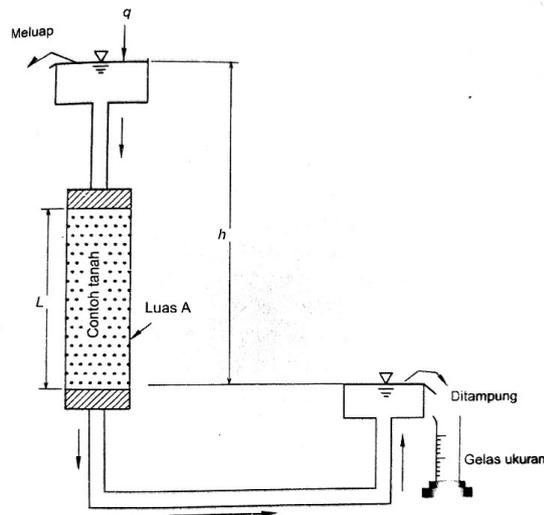
K = Koefisien permeabilitas (m/s)

Q = Debit konstan, air yang dituangkan ke dalam sumur uji (m^3/s)

H = Kedalaman air dalam sumur pengujian (m)

2. *Constant-Head Test*

Pengujian ini cocok untuk jenis tanah granular. Prinsip pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.4. Tanah benda uji diletakkan di dalam silinder. Pada gambar tersebut tinggi energi hilang adalah h . Aliran lewat tanah diatur, banyaknya air yang keluar ditampung di dalam gelas ukur, waktu pengumpulan air dicatat.



Gambar 2.4 Prinsip Uji Permeabilitas *Constant-Head*

Sumber: Hardiyatno (2012)

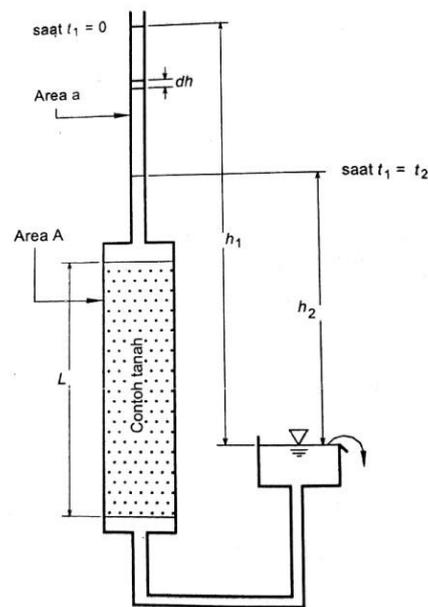
$$K = \frac{Q \cdot L}{h \cdot A \cdot t} \quad (2.37)$$

Dimana:

- K = Koefisien permeabilitas tanah (m/det)
- Q = Volume air dalam gelas ukur (m³)
- L = Panjang benda uji atau Panjang pengaliran (m)
- h = Jarak permukaan air dalam corong dengan air keluar sel (m)
- A = Luas penampang benda uji (m²)
- t = Waktu pengaliran (det)

3. *Falling-Head Test*

Uji permeabilitas dengan tinggi energi turun (*falling-head*) lebih cocok untuk tanah berbutir halus. Prinsip pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.5. Tanah benda uji dimasukkan di dalam tabung, pipa pengukur didirikan di atas benda uji. Air dituangkan lewat pipa pengukur dan dibiarkan mengalir lewat benda uji. Ketinggian air pada awal pengujian (h_1) pada saat waktu $t_1 = 0$. Pada waktu tertentu (t_2) setelah pengujian berlangsung maka air menjadi h_2 .



Gambar 2.5 Prinsip Uji Permeabilitas *Falling-Head*

Sumber: Hardiyatno (2012)

$$K = 2,303 \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (2.38)$$

dimana:

K = Koefisien permeabilitas tanah pa temperature 20°C (cm /detik)

a = Luas penampang pipa (cm²)

L = Panjang sampel tanah

A = Luas penampang sampel (cm²)

t = Interval penurunan h1 ke h2 (detik)

h₁ = Ketinggian mula-mula air pada interval waktu tertentu (cm)

h₂ = Ketinggian akhir pada interval waktu tertentu (cm)

Hasil uji koefisien permeabilitas tanah terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Permeabilitas tanah sedang (geluh/lanau 2 - 6,5 cm/jam)
2. Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus 6,5 - 12,5 cm/jam)
3. Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar > 12,5 cm/jam)

2.3.2 Infiltrasi

Infiltrasi merupakan aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Di dalam tanah air mengalir dalam arah lateral, sebagai aliran antara (*interflow*) menuju mata air, danau, atau secara vertikal yang dikenal dengan perlokasi menuju air tanah. Gerak air di dalam tanah melalui pori-pori tanah dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya kapiler (Triatmodjo 2008).

Besar laju infiltrasi tergantung pada kandungan air dalam tanah. Terjadinya infiltrasi bermula ketika air jatuh pada permukaan tanah kering, permukaan tanah tersebut menjadi basah sedangkan bagian bawahnya relatif kering maka dengan demikian terjadilah gaya kapiler dan terjadi perbedaan antar gaya kapiler permukaan atas dengan bawahnya. Laju infiltrasi mempunyai klasifikasi tertentu dalam penentuan besarnya laju infiltrasi. Untuk menentukan klas infiltrasi, dipakai klasifikasi menurut *US Soil Conservation*.

Tabel 2.13 Klasifikasi Laju Infiltrasi (*US Soil Conservation*)

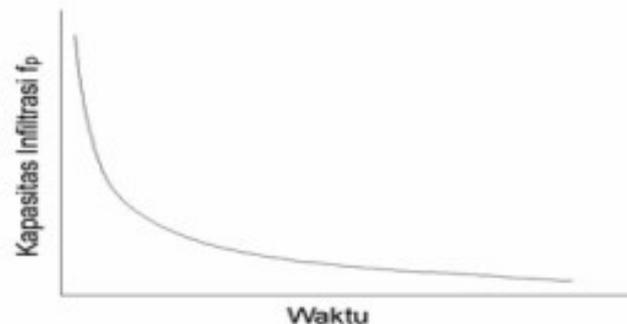
Klas	Klasifikasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
0	Sangat Lambat	< 1
1	Lambat	1 – 5
2	Agak Lambat	5 – 20
3	Sedang	20 – 63
4	Agak Cepat	63 – 127
5	Cepat	127 – 254
6	Sangat Cepat	> 254

2.3.2.1 Kapasitas Infiltrasi

Laju infiltrasi aktual (f_{ac}) merupakan laju air berpenetrasi ke permukaan tanah pada setiap waktu dengan gaya-gaya kombinasi gravitasi, viskositas, dan kapilaritas. Laju maksimum presipitasi dapat diserap oleh tanah pada kondisi tertentu disebut kapasitas infiltrasi (Seyhan). Setiap permukaan air tanah mempunyai daya serap yang kemampuannya berbeda-beda dilihat dari kondisi tanah dan lapisan penutup permukaannya.

Kapasitas infiltrasi dinotasikan sebagai f . Faktor yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi adalah ketinggian lapisan air di atas permukaan tanah, jenis

tanah, kelembaban tanah, keadaan permukaan tanah, dan penutup tanah. Berikut adalah gambar kurva kapasitas infiltrasi:



Gambar 2.6 Kurva Kapasitas Infiltrasi

Sumber: Aidatul. F (2015)

2.3.2.2 Infiltrasi Metode Horton

Pengujian infiltrasi tanah dilakukan dengan metode Horton, menurut Horton kapasitas infiltrasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstan. Ia menyatakan pandangan bahwa penurunan kapasitas infiltrasi lebih dikontrol oleh faktor yang beroperasi di permukaan tanah disbanding dengan proses aliran di dalam tanah. Faktor yang mempengaruhi penurunan laju infiltrasi adalah tutupan lahan, penutupan retakan tanah oleh koloid tanah dan pembentukan kerak tanah, penghancuran struktur permukaan lahan dan pengangkatan partikel halus di permukaan tanah oleh tetesan air hujan. Model metode Horton dapat dinyatakan spada persamaan di bawah ini:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (2.39)$$

dimana:

f = Laju infiltrasi (cm/jam) atau (mm/jam)

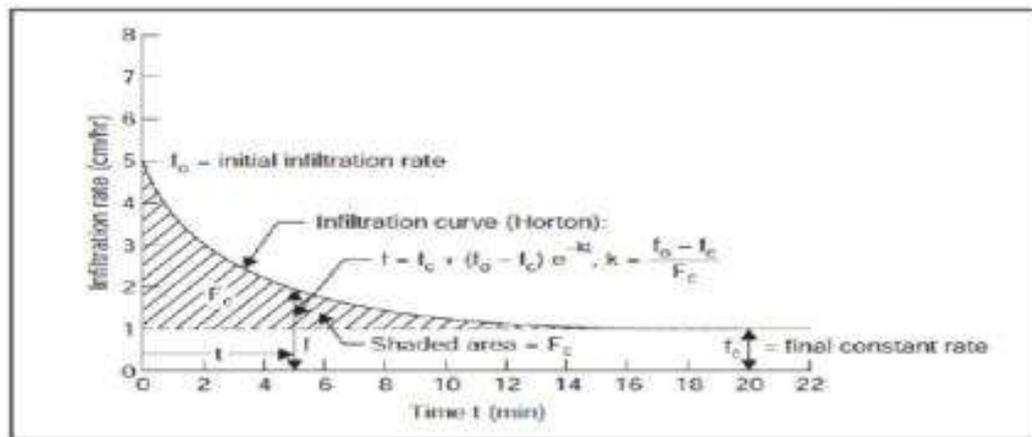
f_0 = Laju infiltrasi awal (cm/jam) atau (mm/jam)

f_c = Laju infiltrasi akhir (cm/jam) atau (mm/jam)

e = Bilangan dasar logaritma Naperian (2,718)

t = Waktu yang dihitung dari mulainya hujan (jam)

k = Konstanta untuk jenis tanah $\left(k = \frac{f_0 - f_c}{f_c}\right)$

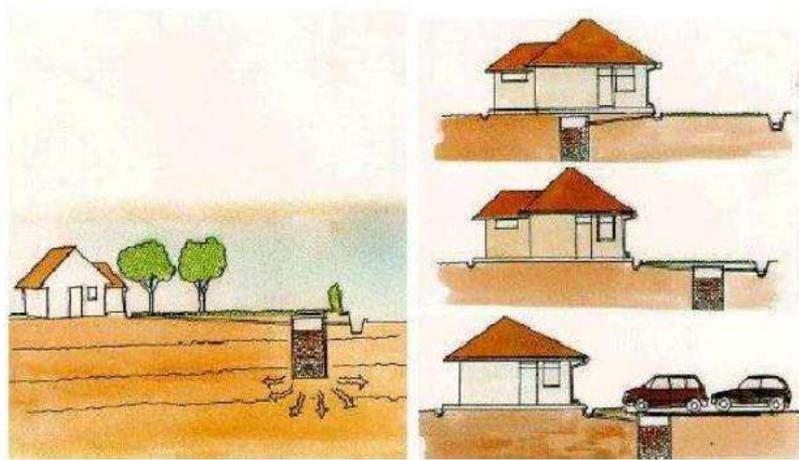


Gambar 2.7 Kurva Infiltrasi menurut Horton

Jumlah air yang terinfiltrasi pada suatu periode tergantung pada laju infiltrasi dan fungsi waktu. Apabila laju infiltrasi pada suatu saat adalah $f(t)$, maka infiltrasi kumulatif atau jumlah air yang terinfiltrasi adalah $F(t)$. Dari Gambar 2.7 menunjukkan bahwa jumlah air yang terinfiltrasi $F(t)$ merupakan integral dari laju infiltrasi. Laju infiltrasi merupakan turunan dari infiltrasi kumulatif $F(t)$. Dengan kata lain, laju infiltrasi $f(t)$ sama dengan kemiringan kurva $F(t)$ pada waktu (t) dengan satuan mm/jam.

2.4 Sumur Resapan

Sumur resapan adalah skema lubang atau sumur di permukaan tanah yang dibuat untuk menampung air hujan sehingga dapat meresap ke dalam tanah (Kusnaedi 2011). Sumur resapan merupakan kebalikan dari sumur air minum. Sumur resapan adalah lubang yang berfungsi untuk memasukkan air ke dalam tanah, sedangkan sumur air minum berfungsi untuk mengangkat air tanah ke permukaan. Dengan demikian, konstruksi dan kedalamannya juga berbeda. Sumur resapan digali sampai kedalaman di atas permukaan air tanah, sedangkan sumur air minum digali lebih dalam atau di bawah permukaan air tanah (Kusnaedi 2011).



Gambar 2.8 Sumur Resapan

Sumber: Pradani (2019)

Sumur resapan merupakan salah satu teknik konservasi air berupa bangunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk sumur gali dengan kedalaman tertentu yang berfungsi sebagai tempat menampung air hujan yang jatuh dari sebuah atap bangunan atau daerah kedap air dan akan meresapkannya ke dalam tanah. Beberapa manfaat sumur resapan adalah sebagai berikut:s

1. Mengurangi limpasan (*runoff*) sehingga dapat mencegah atau mengurangi terjadinya banjir dan genangan air.
2. Mempertahankan dan meningkatkan tinggi permukaan air tanah.
3. Mengurangi erosi dan sedimentasi.
4. Mengurangi / menahan intrusi air laut untuk daerah yang berdekatan dengan kawasan pantai.
5. Mencegah penurunan tanah (*land subsidence*).
6. Mengurangi konsentrasi pencemaran air tanah.

Metode yang digunakan dalam perencanaan sumur resapan adalah metode yang dikemukakan oleh Sunjoto (1988), yaitu volume dan efisiensi sumur resapan dapat dihitung berdasarkan keseimbangan air yang masuk ke dalam tanah dan air yang meresap ke dalam tanah. Perhitungan dimensi sumur resapan dengan tampang lingkaran adalah sebagai berikut:

$$H = \frac{Q}{FK} \left[1 - e^{\left(\frac{-FKT}{\pi R^2} \right)} \right] \quad (2.40)$$

dimana:

H	= Tinggi muka air dalam sumur (m)
Q	= Debit air masuk (m^3/s)
F	= Faktor geometrik (m)
K	= Koefisien permeabilitas tanah (m/s)
T	= Waktu pengaliran (s)
R	= Jari-jari sumur (m)

2.4.1 Prinsip Kerja Sumur Resapan

Prinsip kerja dari sumur resapan adalah untuk menyalurkan dan menampung air hujan ke dalam lubang agar air memiliki waktu tinggal di permukaan tanah lebih lama, sehingga perlahan-lahan air akan meresap ke dalam tanah. Tujuan utama dari sumur resapan adalah untuk meningkatkan masuknya air ke dalam akuifer tanah sebagai air resapan. Dengan demikian, lebih banyak air yang akan masuk ke dalam tanah dan sedikit limpasan (*runoff*). (Muliawati 2015)

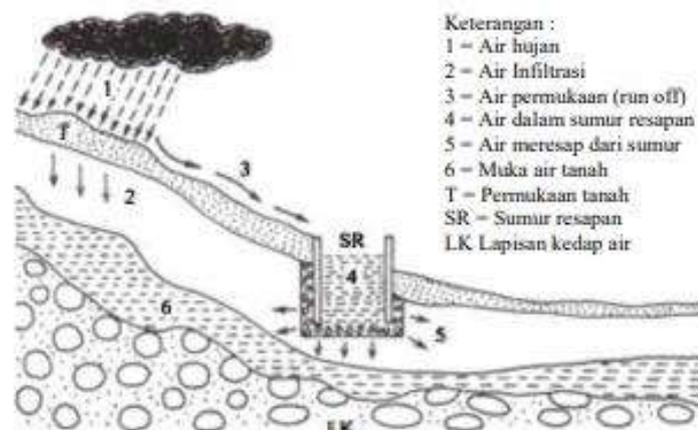
Di dalam bawah tanah, air yang merembes ini akan meresap ke dalam lapisan tanah yang disebut lapisan tak jenuh dimana dalam berbagai jenis tanah, lapisan ini masih dapat menyerap air. Dari lapisan itu, air akan menembus ke dalam permukaan tanah (*watertable*) dimana di bawahnya terdapat air tanah yang terperangkap pada lapisan akuifer. Dengan demikian, masuknya air hujan ke dalam tanah akan membuat imbuhan air tanah yang akan meningkatkan jumlah air tanah pada lapisan akuifer, sebagai media yang berhubungan langsung dengan lapisan tanah.

Sistem kerja dari sumur resapan sebenarnya mengandalkan kemampuan tanah untuk menyerap air. Sehingga perencanaan dimensi sumur resapan harus berdasarkan sifat fisik tanahnya khususnya berdasarkan kemampuan daya rembes tanahnya. Dengan prinsip kerja sumur ini, sehingga jika ingin membuat sumur resapan pada sebuah pekarangan, maka harus menyalurkan air hujan yang jatuh pada tanah ke dalam sumur resapan termasuk air hujan yang jatuh dari atap rumah yang kemudian mengalir ke talang air. Dari talang air lalu disalurkan ke sumur resapan menggunakan pipa (biasanya menggunakan pipa paralon).

Air hujan yang turun langsung ke tanah, airnya bisa disalurkan ke dalam sumur resapan dengan membuat parit atau selokan kecil di sekitar area sumur resapan yang dibuat dengan kemiringan tertentu. Sehingga nantinya air yang masuk

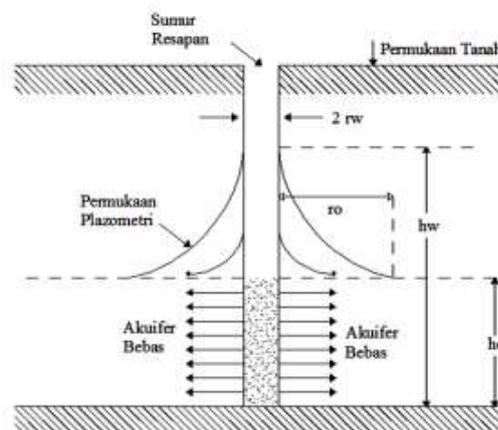
pada parit atau selokan bisa mengalir ke dalam sumur resapan. Untuk membuang kelebihan air yang masuk ke sumur resapan, bisa membuat pipa pembuangan yang nantinya berfungsi untuk mengalirkan kelebihan air pada sumur resapan ke saluran pembuangan drainase.

Semakin banyak air yang mengalir ke dalam tanah, maka akan semakin banyak air tanah yang tersimpan di bawah permukaan tanah. Air tersebut dapat dimanfaatkan kembali melalui sumur-sumur atau mata air. Jumlah limpasan air akan menurun dengan adanya sumur resapan, bahaya banjir pun bisa dihindari karena terkumpulnya air permukaan yang berlebihan di suatu tempat dapat dihindari. Sumur resapan juga dapat menurunkan jumlah limpasan air yang akan menurunkan tingkat erosi tanah.



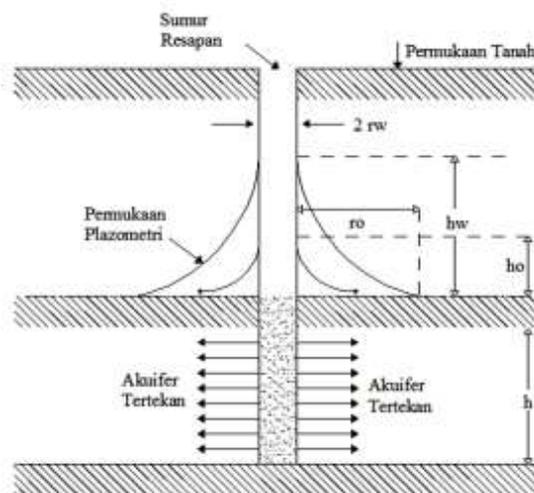
Gambar 2.9 Prinsip Kerja Sumur Resapan

Sumber: (Yassir Arafat (2008) dalam Ismoyo 2019)



Gambar 2.10 Proses Masuknya Air ke Dalam Akuifer Bebas

Sumber: (Desmawan (2012) dalam Ismoyo 2019)



Gambar 2.11 Proses Masuknya Air ke Dalam Akiifer Tertekan

Sumber: (Desmawan (2012) dalam Ismoyo 2019)

Dari gambar 2.6 berlaku persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{\pi \cdot K (hw^2 - ho^2)}{\ln(ro/rw)} \quad (2.41)$$

Dan untuk gambar 2.7 berlaku persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{\pi \cdot K (hw - ho)}{\ln(ro/rw)} \quad (2.42)$$

dimana:

Q = Debit aliran

K = Koefisien permeabilitas tanah

rw = Jari-jari sumuran

ro = Jari-jari pengaruh aliran

ho = Tinggi muka air tanah

hw = Tinggi muka air setelah imbuan

2.4.2 Persyaratan Umum dan Teknis Sumur Resapan Air Hujan

Persyaratan umum sumur resapan yang harus dipenuhi berdasarkan SNI 03-2453-2002 adalah sebagai berikut:

1. Sumur resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar.
2. Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah air hujan yang tidak tercemar.

3. Penempatan sumur resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan di sekitarnya.
4. Harus memperhatikan peraturan daerah setempat.
5. Hal-hal yang tidak emenuhi ketentuan ini harus disetujui Instansi yang berwenang.

Persyaratan teknis sumur resapan yang harus dipenuhi berdasarkan SNI 03-2453-2002 adalah sebagai berikut:

1. Kedalaman air tanah minimal 1,50 m pada musim hujan.
2. Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah $\geq 2,0$ cm/jam, dengan klasifikasi sebagai berikut:
 - a. Permeabilitas tanah sedang (geluh kelanauan, 2,0 - 3,6 cm/jam atau 0,48 – 0,864 m³/m²/hari).
 - b. Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus, 3,6 - 36 cm/jam atau 0,864 – 8,64 m³/m²/hari).
 - c. Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar, lebih besar dari 36 cm/jam atau 0,864 – 8,64 m³/m²/hari).
3. Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan, dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.14 Jarak Minimum Sumur Resapan Air Hujan Terhadap Bangunan

No	Jenis Bangunan	Jarak Minimum dari Sumur Resapan Air Hujan (m)
1	Sumur resapan air hujan / sumur air bersih	3
2	Pondasi bangunan	1
3	Bidang resapan / sumur resapan tangki septik	5

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2002)

2.4.3 Metode Perencanaan Sumur Resapan

Metode yang digunakan dalam perencanaan dimensi sumur resapan air hujan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Metode Sunjoto (1988)

Secara teoritis, volume dan efisiensi sumur resapan dapat dihitung berdasarkan keseimbangan air yang masuk ke dalam sumur dan air yang meresap ke dalam tanah (Sunjoto 1988) dan dapat dituliskan sebagai berikut:

- a. Sumur dengan tampang lingkaran

$$H = \frac{Q}{FK} \left[1 - e^{\left(\frac{-FKT}{\pi R^2}\right)} \right] \quad (2.43)$$

- b. Sumur dengan tampang *rectangular*

$$H = \frac{Q}{fK} \left[1 - e^{\left(\frac{-fKT}{bB}\right)} \right] \quad (2.44)$$

dimana:

H = Tinggi muka air dalam sumur (m)

Q = Debit air masuk (m³/s)

F = Faktor geometrik (m)

f = Faktor geometrik tampang rectangular (m)

K = Koefisien permeabilitas tanah (m/s)

T = Waktu pengaliran (s)

R = Jari-jari sumur (m)

Sunjoto membangun sebuah formula dengan asas (Sunjoto 2011):

- 1) Debit air yang masuk ke dalam sumur resapan diasumsikan konstan sama dengan Q. Hal ini sesuai dengan keadaan fisik yaitu dalam suatu durasi hujan akan ada debit dari atap yang masuk ke dalam sumur resapan.
- 2) Debit keluar (meresap) adalah sama dengan faktor geometrik kali koefisien permeabilitas dan ketinggian air dalam sumur. Faktor geometrik pada berbagai keadaan dapat dilihat pada gambar 2.13, dan secara umum dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q_0 = F \cdot K \cdot H \quad (2.45)$$

dimana:

Q₀ = Debit banjir yang ditampung oleh sumur resapan (m³/det)

L = Tinggi sumur resapan yang masuk ke dalam tanah (m)

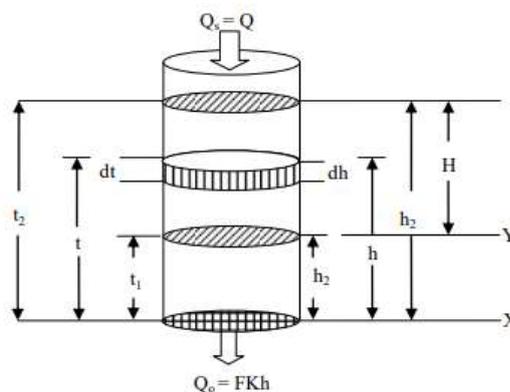
K = Koefisien permeabilitas tanah (m/det)

H = Tinggi muka air (m)

F = Faktor geometrik (m)

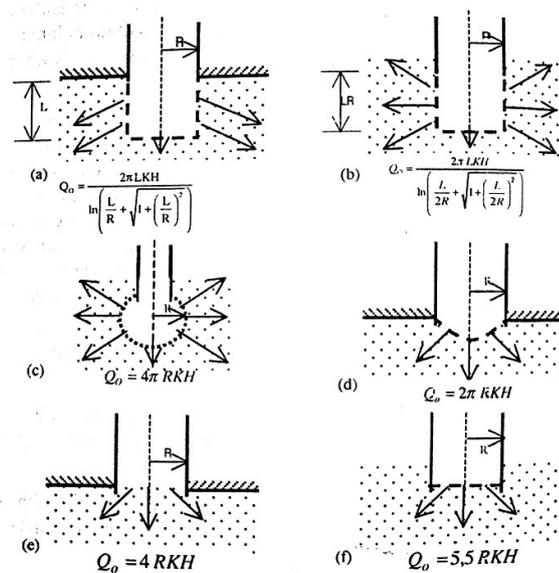
R = Jari-jari sumur rencana (m)

- 3) Formula *unsteady flow condition* ini menjadi sama dengan formula Forchheimer (1930) bedanya adalah yang terakhir merupakan *steady flow condition*. Apabila waktu tak terhingga, maka formula Sunjoto akan sama dengan *steady flow condition* dan formulanya akan sama persis seperti formula Forchheimer (1930).



Gambar 2.12 Skema Aliran Dalam Sumur

Sumber: Sunjoto (2011)



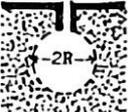
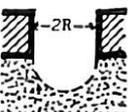
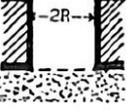
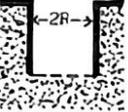
Gambar 2.13 Debit Resapan Pada Sumur dengan Berbagai Kondisi

Sumber: Suripin (2004)

Kedalaman efektif sumur resapan dihitung dari tinggi muka air tanah apabila dasar sumur berada di bawah permukaan muka air tanah tersebut, dan diukur dari dasar sumur bila muka air tanah berada di bawah dasar sumur. Sebaiknya dasar sumur berada pada lapisan tanah dengan permeabilitas tinggi.

Untuk menentukan nilai faktor geometrik dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.15 Nilai Faktor Geometrik

No.	Case	Shape factor, F (m)	References
1		$4 \pi R$	Samsioe (1931)* Dachler (1936)* Aravin (1965)
2		$2 \pi R$	Samsioe (1931)* Dachler (1936)* Aravin (1965)
3		$4 R$	Forchheimer (1930)* Dachler (1936)* Aravin (1965)
4		$5.5 R$ $2 \pi R$	Harza (1935)* Taylor (1948)* Hvorslev (1951)* Sunjoto (1989)

Sumber: Sunjoto (2011)

2. Metode PU

Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Departemen Pekerjaan (1990) telah Menyusun standar tata cara perencanaan teknis sumur resapan air hujan untuk lahan pekarangan yang dituangkan dalam SK SNI T-06-1990 F. Tidak jauh berbeda dengan apa yang dikemukakan oleh Sunjoto, metode PU menyatakan bahwa dimensi atau jumlah sumur resapan air hujan yang diperlukan pada suatu lahan pekarangan ditentukan oleh curah hujan maksimum, permeabilitas tanah dan luas bidang tanah, yang dapat dirumuskan dalam:

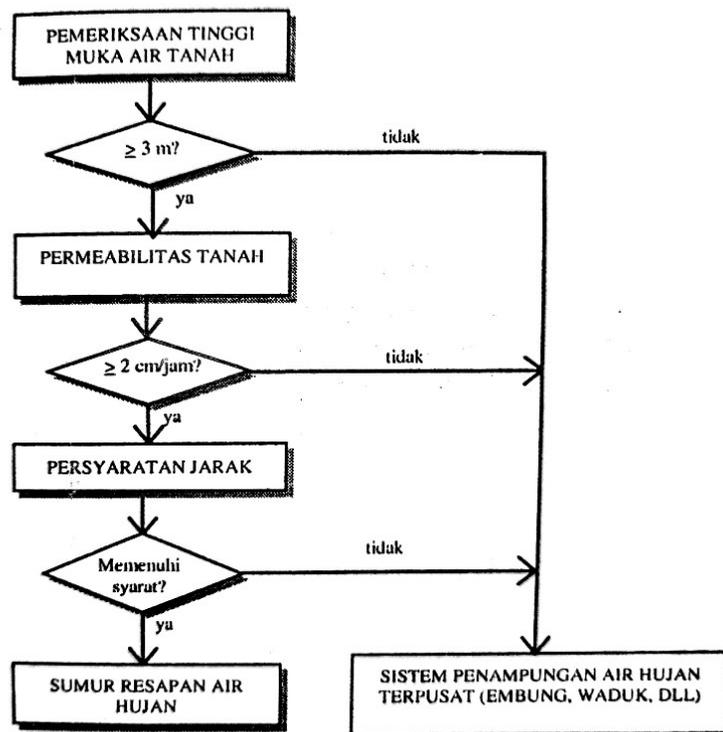
$$H = \frac{D \cdot I \cdot A_t - D \cdot K \cdot A_s}{A_s + D \cdot K \cdot P} \quad (2.46)$$

dimana:

D = Durasi hujan (jam)

- I = Intensitas hujan (m/jam)
- A = Luas tadah hujan (m^2), dapat berupa atap rumah atau permukaan tanah yang diperkeras
- K = Permeabilitas tanah (m/jam)
- P = Keliling penampang sumur (m)
- A = Luas penampang sumur (m^2)
- H = Kedalaman sumur (m)

Perencanaan sumur resapan berdasarkan standar PU mengikuti tahapan sebagaimana dilukiskan dalam bagan alir berikut:



Gambar 2.14 Bagan Alir Pembuatan Sumur Resapan Air Hujan (Metode PU)

Sumber: Suripin (2004:30)

Perhitungan sumur resapan air hujan sesuai dengan SNI 03-2453-2002, terbagi atas:

1. Volume Andil Banjir

Volume andil banjir merupakan volume air hujan yang jatuh ke bidang tanah kemudian akan dilimpaskan ke sumur resapan air hujan. Rumus yang digunakan adalah:

$$V_{ab} = 0,855 \cdot C_{tadahan} \cdot A_{tadahan} \cdot R \quad (2.47)$$

dimana:

V_{ab} = Volume banjir yang akan ditampung sumur resapan (m^3)

$C_{tadahan}$ = Koefisien limpasan dari bidang tadah (tanpa satuan)

$A_{tadahan}$ = Luas bidang tadah (m^2)

R = Tinggi hujan harian rata-rata ($L/m^2/hari$)

2. Volume Air Hujan yang Meresap

Untuk menghitung jumlah volume air hujan yang meresap ke dalam tanah adalah sebagai berikut:

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{R} \cdot A_{total} \cdot K \quad (2.48)$$

dimana:

V_{rsp} = Volume air hujan yang meresap (m^3)

t_e = Durasi hujan efektif (jam) = $0,9 R^{0,92}/60$ (jam)

R = Tinggi hujan harian rata-rata ($L/m^2/hari$)

A_{total} = Luas dinding sumur + Luas alas sumur (m^2)

K = Koefisien permeabilitas tanah (m/hari)

(Untuk dinding sumur yang kedap, nilai $K_v = K_h$, untuk dinding tidak kedap diambil $K_{rata-rata}$)

$$K_{rata-rata} = \frac{K_v A_h + K_h A_v}{A_{total}} \quad (2.49)$$

dimana

$K_{rata-rata}$ = Koefisien permeabilitas tanah rata-rata (m/hari)

- K_v = Koefisien permeabilitas tanah pada dinding sumur (m/hari)
 = 2. K_h
- K_h = Koefisien permeabilitas tanah pada alas sumur (m/hari)
- A_h = Luas alas sumur dengan penampang lingkaran = $\frac{1}{4} \cdot \mu \cdot D^2$ (m²)
 = Luas alas sumur dengan penampang segiempat = $P \cdot L$ (m²)
- A_v = Luas dinding sumur dengan penampang lingkaran = $\mu \cdot D \cdot H$ (m²)
 = Luas dinding sumur dengan penampang segiempat = $2 \cdot P \cdot L$ (m²)

3. Volume Penampungan (Storasi) Air Hujan

Rumus untuk menghitung volume penampungan air hujan adalah sebagai berikut:

$$V_{storasi} = V_{ab} - V_{rsp} \quad (2.50)$$

4. Penentuan Jumlah Sumur Resapan

Penentuan jumlah sumur resapan sesuai dengan SNI 03-2453-2002, dalam menentukan jumlah sumur resapan air hujan, terlebih dahulu menghitung H_{total} sebagai berikut:

$$H_{total} = \frac{V_{ab} - V_{rsp}}{A_h} \quad (2.51)$$

$$n = \frac{H_{total}}{H_{rencana}} \quad (2.52)$$

dimana:

n = Jumlah sumur resapan air hujan (buah)

H_{total} = Kedalaman total sumur resapan air hujan (m)

$H_{rencana}$ = Kedalaman yang direncanakan < kedalaman air tanah (m)

2.4.4 Efektivitas Sumur Resapan

Efektivitas sumur resapan merupakan angka presentase perbandingan antara debit sumur resapan dengan debit limpasan sebelum ada sumur resapan yang menunjukkan tingkat efektivitas dari pembangunan sumur resapan terhadap limpasan air yang ada pada suatu kawasan.

$$E = \frac{Q_s}{Q} \times 100\% \quad (2.53)$$

dimana:

E = Efektivitas

Q_s = Debit sumur resapan ($m^3/detik$)

Q = Debit limpasan sebelum ada sumur resapan ($m^3/detik$)

2.4.5 Konstruksi Sumur Resapan

Sumur resapan dibuat untuk menampung dan meresapkan debit air hujan yang telah diperhitungkan, sehingga untuk keliling dinding sumur dapat diberi pelindung berupa pasangan batu bata, batu kosong, atau beton maupun tanpa diberi pelindung, dan untuk penutup sumurnya menggunakan plat beton agar aman. Dalam menentukan dimensi sumur resapan agar mampu menampung air hujan sebelum diserapkan dalam tanah, ada beberapa hal yang harus diperhitungkan diantaranya adalah:

1. Lama hujan dominan
Data lama hujan atau durasi yang diperhitungkan sangat mempengaruhi kapasitas sumur resapan.
2. Intensitas hujan
Setelah diketahui durasi hujan, maka akan dihitung intensitas hujannya dengan melakukan analisis frekuensi guna mendapatkan grafik intensitas-durasi-frekuensi (IDF).
3. Selang waktu hujan
Agar dimensi sumur resapan mampu untuk menampung air hujan yang terjadi berurutan, maka selang waktu hujan harus dipertimbangkan juga.
4. Kondisi air tanah
Berdasarkan SNI 03-2453-2002 syarat teknis untuk sumur resapan adalah tinggi muka air tanah minimal 1,5 m, sehingga untuk lahan yang memiliki air tanah dangkal, maka pembuatan sumur resapan menjadi tidak efektif dan tidak akan berfungsi dengan baik.
5. Koefisien permeabilitas tanah
Angka koefisien permeabilitas tanah mempengaruhi kecepatan tanah dalam meresapkan air. Tanah yang memiliki koefisien permeabilitas tinggi akan

memiliki kapasitas rembesan yang besar, sehingga waktu yang diperlukan untuk mengosongkan sumur lebih cepat.

6. Tata guna lahan

Tata guna lahan berpengaruh dalam presentase air yang meresap ke dalam tanah dengan aliran permukaan. Pada lahan yang banyak tertutup oleh beton, maka air hujan yang mengalir pada permukaan tanah menjadi lebih besar dibandingkan dengan air yang meresap ke dalam tanah. Sehingga untuk lahan padat penduduk harus dibuat lebih banyak sumur dan lebih besar volumenya.

7. Ketersediaan bahan

Perencanaan sumur resapan harus mempertimbangkan ketersediaan bahan-bahan yang ada di sekitar lokasi yang mudah didapat agar realisasi pembangunannya terlaksana dengan baik.

8. Kondisi sosial ekonomi masyarakat

Perencanaan sumur resapan harus mempertimbangkan kondisi sosial ekonomi masyarakat, misalnya pada kondisi masyarakat menengah ke atas, biaya pembuatan sumur resapan dapat dibebankan pada masyarakat, sedangkan untuk kondisi masyarakat menengah ke bawah ataupun untuk fasilitas umum dan ruang publik maka biaya pembangunannya dari pemerintah setempat.

2.4.6 Rencana Anggaran Biaya

Konstruksi sumur resapan membutuhkan sumber daya yang sesuai agar implementasi kegiatan tersebut dapat tercapai, sehingga membutuhkan uang untuk merealisasikannya. Rencana anggaran biaya atau RAB merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan, alat, dan upah, serta biaya lainnya yang berhubungan dengan pelaksanaan kegiatan konstruksi.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi dalam rencana anggaran biaya yaitu:

1. Produktivitas tenaga pekerja
2. Ketersediaan bahan
3. Kondisi cuaca tempat pelaksanaan proyek
4. Jenis kontrak proyek

5. Permasalahan pada kualitas yang ingin dicapai
6. Sistem pengendalian
7. Kemampuan manajemen

Langkah-langkah pekerjaan yang harus dilakukan dalam pembuatan rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut:

1. Penentuan *Work Breakdown Structure*

Work Breakdown Structure (WBS) merupakan sebuah hirarki dari susunan komponen proyek atau total lingkup proyek yang dipecah dengan mengelompokkan menjadi lebih kecil dan menggambarkan suatu *deliverable* proyek yang dilaksanakan. WBS berguna untuk memecahkan tiap proses pekerjaan menjadi lebih detail, yang dimaksudkan agar proses perencanaan proyek memiliki tingkat yang lebih baik. WBS juga bertujuan untuk:

- a. Mengidentifikasi aktivitas pekerjaan
- b. Mengidentifikasi lama pekerjaan dapat diselesaikan
- c. Mengidentifikasi biaya
- d. Mengidentifikasi resource yang dibutuhkan
- e. Mengidentifikasi penanggung jawab
- f. Memudahkan pengontrolan dan waktu monitoring

2. Perhitungan Volume

Volume pekerjaan dihitung untuk mendapatkan besaran biaya yang diperlukan dalam melakukan sebuah pekerjaan untuk mengetahui berapa besar volume yang diperlukan untuk biaya yang akan dipakai dalam RAB.

3. *Bill of Quantity*

Bill of Quantity (BoQ) merupakan daftar rincian kebutuhan bahan pekerjaan yang disusun secara sistematis menurut kelompok/bagian pekerjaan yang disertai dengan keterangan mengenai volume dan satuan setiap jenis pekerjaan.

4. Analisa Harga Satuan

Analisa harga satuan pekerjaan merupakan perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu (Kementrian PUPR 2022). Analisa harga satuan bertujuan untuk

mengetahui harga satuan suatu pekerjaan di dalam volume tertentu. Penentuan harga satuan pekerjaan diperoleh dari daftar harga yang dikeluarkan Pemda setempat, daftar harga dari instansi tertentu, jurnal-jurnal harga bahan dan upah, Bappenas, atau survei harga pada lokasi proyek.

Penentuan harga satuan dibutuhkan pula koefisien analisa, yang merupakan angka yang menunjukkan jumlah kebutuhan bahan atau tenaga kerja dalam satuan tertentu. Berikut adalah Langkah-langkah dalam melakukan analisa harga satuan pekerjaan:

- a. Koefisien dapat ditentukan melalui Permen PU No. 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
 - b. Menentukan harga satuan
 - c. Mengalihkan koefisien dengan harga satuan
 - d. Menjumlahkan hasil kali koefisien dengan harga satuan untuk mendapatkan nilai harga satuan pokok kegiatan (HSPK) untuk setiap item pekerjaan.
5. Rencana Anggaran Biaya dan Rekapitulasi

Rekapitulasi rencana anggaran biaya berguna untuk mengetahui detail perhitungan biaya yang didapat, dan untuk mengetahui penjumlahan dari seluruh total jumlah harga dari setiap item pekerjaan. Rekapitulasi anggaran biaya juga memuat PPN atau pajak pendapatan negara sebesar 11%.