

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Akhir akhir ini sering timbul permasalahan mengenai banjir di daerah perkotaan, masalah tersebut tidak lepas dari permasalahan tentang drainase. Drainase perkotaan adalah sistem drainase dalam wilayah administrasi kota dan daerah perkotaan (urban) yang berfungsi untuk mengendalikan atau mengeringkan kelebihan air permukaan di daerah permukiman yang berasal dari hujan lokal, sehingga tidak mengganggu masyarakat dan dapat memberikan manfaat bagi kehidupan hidup manusia.

Drainase pada daerah perkotaan harus mampu mengendalikan masalah masalah berkaitan dengan genangan yang menyebabkan banjir, bangunan drainase pengendali banjir harus bisa mengendalikan tinggi muka air agar tidak terjadi limpasan atau genangan yang menimbulkan kerugian.

Salah satu bentuk drainase untuk penanganan masalah masalah yang terkait dengan genangan dan banjir bisa dilakukan dengan membuat suatu sistem polder. Sistem Polder adalah sistem penanganan drainase perkotaan dengan cara mengisolasi daerah yang dilayani dari pengaruh limpasan air hujan / air laut serta limpasan dari prasarana lain (jalan, jalan kereta api), yang terdiri dari kolam penampung, sistem drainase serta perpompaan.

3.2 Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya serta hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup (Triatmodjo, 2008). Analisis hidrologi dimaksudkan untuk memperoleh besaran debit banjir rencana. Beberapa

kegiatan yang dilaksanakan dalam rangka analisis hidrologi, adalah penentuan debit banjir rencana dan penentuan kriteria perencanaan.

3.2.1 Hujan Harian Maksimum

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat. Perhitungan data hujan maksimum harus dilakukan secara benar yang diperlukan untuk analisis frekuensi. Menentukan curah hujan maksimum disuatu stasiun diperoleh dengan menentukan hujan harian maksimum pada setiap tahun yang ditinjau. Apabila dalam suatu wilayah terdapat lebih dari satu stasiun pengamatan hujan, maka perhitungan rata-rata tinggi curah hujan harian maksimum tahunan dapat ditentukan dengan beberapa metode yang umum digunakan, yaitu: Metode Rata-rata Aljabar, Metode Polygon Thiessen, dan Metode Isohyet.

1. Metode Rata-rata Aljabar

Metode Rata-rata Aljabar merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakaran hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya (Suripin, 2004). Hujan kawasan dengan menggunakan Metode Rata-rata Aljabar diperoleh dari persamaan berikut :

$$P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (3.1)$$

Dengan :

P_1, P_2, P_n = curah hujan yang tercatat di pos penakaran hujan

n = jumlah pos penakaran hujan

2. Metode Polygon Thiessen

Metode Polygon Thiessen memberikan prporisi luasan daerah pengaruh pos penakaran hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis

penghubung antara dua pos penakaran terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan yang lainnya adalah liner dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat (Surpin, 2004). Hujan kawasan dengan menggunakan Metode Polygon Thiessen diperoleh dari persamaan berikut:

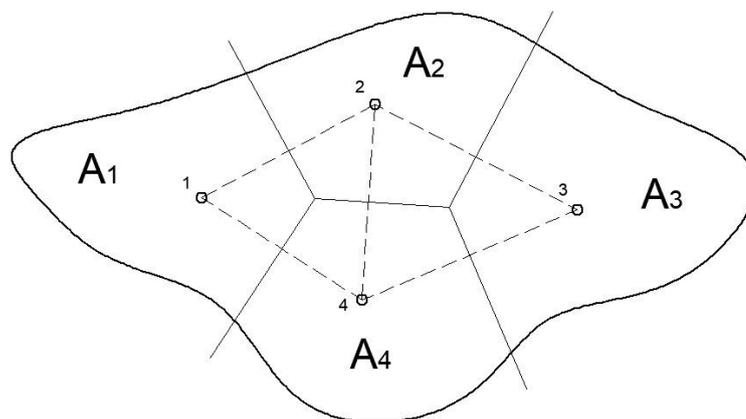
$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3.2)$$

Dengan :

P_1, P_2, P_n = curah hujan yang tercatat di pos penakaran hujan

n = jumlah pos penakaran hujan

A_1, A_2, A_n = luas areal polygon masing masing pos penakaran hujan



Gambar 3.1 Metode Polygon Thiessen

3. Metode Isohyet

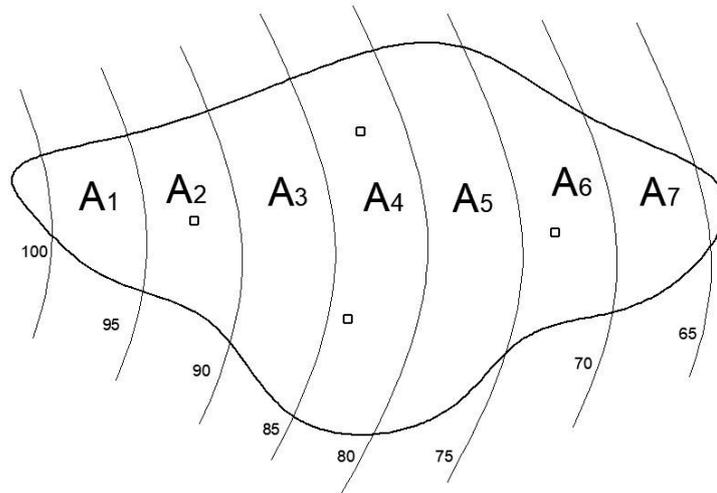
Metode Isohyet merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata hujan. Metode ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakaran hujan, metode ini menunjukkan tempat-tempat yang mempunyai kedalaman curah hujan yang sama. Hujan kawasan dengan menggunakan Metode Isohyet diperoleh dari persamaan berikut:

$$P = \frac{\sum \left[A \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \quad (3.3)$$

Dengan :

P_1, P_2 = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan

A = luas areal polygon masing masing pos penakar hujan



Gambar 3.2 Metode Isohyet

3.2.2 Distribusi Hujan

Salah satu langkah untuk mengolah data data hujan yaitu dengan melakukan analisis frekuensi. Dalam analisis frekuensi data hujan untuk menentukan nilai hujan rencana digunakan beberapa metode distribusi probabilitas yaitu : Metode Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III. Jenis distribusi probabilitas yang akan digunakan harus dicocokkan terlebih dahulu dengan mencocokkan parameter yang terdapat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persyaratan Parameter Statistik Suatu Distribusi

No	Distribusi	Parameter
1	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
2	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
3	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6 C_v^6 + 15 C_v^4 + 16 C_v^2 + 3$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai diatas

(Sumber: Kamiana, 2010)

Untuk menentukan distribusi yang akan digunakan maka digunakan rumus-rumus seperti berikut :

a. Koefisien kemencengan (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^i (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \quad (3.4)$$

b. Koefisien kurtosis (C_k)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^i (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S)^4} \quad (3.5)$$

c. Nilai rata-rata hujan (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^i X_i}{n} \quad (3.6)$$

d. Standar Deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (3.7)$$

Dengan :

C_s = koefisien kemencengan

C_k = koefisien kurtosis

\bar{X} = nilai rata-rata hujan dari data hujan (X)

S = standar deviasi

n = jumlah data

3.2.3 Curah Hujan Rencana

Hujan rencana (X_T) adalah hujan dengan periode ulang tertentu (T) yang diperkirakan akan terjadi di suatu daerah pengaliran (Kamiana, 2010). Perkiraan hujan rencana dilakukan dengan analisis frekuensi terhadap data curah hujan harian rata-rata maksimum tahunan, dengan lama pengamatan sekurang-kurangnya 10 tahun terakhir dari minimal 1(satu) stasiun pengamatan. Setelah menentukan jenis distribusi yang sesuai makalangkah selanjutnya adalah menghitung curah hujan rencana berdasarkan jenis distribusinya. Adapun cara perhitungan berdasarkan jenis distribusi hujan adalah sebagai berikut.

1. Distribusi Log Pearson III

Salah satu jenis distribusi perhitungan curah hujan rencana yang sering digunakan adalah Log Pearson III. Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi Log Pearson III dilakukan dengan menggunakan rumus rumus berikut :

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T S \text{ Log } X \quad (3.8)$$

$\text{Log } X_T$ = nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T.

$\overline{\text{Log } X}$ = nilai rata-rata hujan dalam skala logaritma.

S log X = standar deviasi dalam skala logaritma.

K_T = factor frekuensi

Untuk menentukan nilai factor frekuensi berdasarkan kala ulang dapat didapatkan pada Tabel 3.2 :

Tabel 3.2 Faktor Frekuensi K_T Distribusi Log Pearson III

Koef Penyimpangan (CS)	Peluang (%)								
	99.01	50	20	10	5	4	2	1	0.5
	Return Period : Tr (Tahun)								
	1.01	2	5	10	20	25	50	100	200
1.0	-1.5580	-0.1640	0.758	1.340	1.809	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.6800	-0.1480	0.769	1.339	1.792	2.018	2.498	2.997	3.401
0.8	-1.7730	-0.1320	0.780	1.336	1.774	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.8060	-0.1160	0.790	1.333	1.756	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.8800	-0.0990	0.800	1.328	1.735	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.9550	-0.0830	0.803	1.323	1.714	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.0290	-0.0660	0.816	1.317	1.692	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.1040	-0.0500	0.824	1.309	1.669	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.1780	-0.0330	0.830	1.301	1.646	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.2520	-0.0170	0.836	1.292	1.621	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	-2.3260	0.0000	0.842	1.282	1.595	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.01	-2.4000	0.0170	0.846	1.270	1.567	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.02	-2.4720	0.0330	0.850	1.258	1.539	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.03	-2.5440	0.0500	0.853	1.245	1.510	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.04	-2.6150	0.0660	0.855	1.231	1.481	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.05	-2.6860	0.0830	0.856	1.218	1.450	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.06	-2.7550	0.0990	0.857	1.200	1.419	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.07	-2.8240	0.1160	0.857	1.183	1.386	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.08	-2.8910	0.1320	0.856	1.166	1.354	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.09	-2.9570	0.1480	0.854	1.147	1.320	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	-3.0220	0.1640	0.852	1.128	1.287	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.0220	0.1800	0.848	1.107	1.252	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.1490	0.1950	0.844	1.086	1.217	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.2110	0.2100	0.838	1.064	1.181	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.2710	0.2250	0.832	1.041	1.146	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.3300	0.2400	0.825	1.018	1.106	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.3880	0.2540	0.817	0.994	1.075	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.4440	0.2680	0.808	0.970	1.040	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	-3.4990	0.2820	0.799	0.945	1.005	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.5530	0.2940	0.788	0.920	0.971	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	-3.6050	0.3070	0.777	0.895	0.938	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	-3.6560	0.3190	0.765	0.869	0.905	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.7050	0.3300	0.752	0.844	0.873	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.7530	0.3410	0.739	0.819	0.843	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.8000	0.3510	0.725	0.795	0.814	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.8450	0.3600	0.711	0.771	0.786	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.8890	0.3680	0.696	0.747	0.758	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.9320	0.3760	0.681	0.724	0.733	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.9730	0.3840	0.666	0.702	0.709	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.0130	0.3900	0.651	0.681	0.682	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.0510	0.3960	0.636	0.660	0.664	0.666	0.666	0.667	0.667

(Sumber: Kamiana, 2010)

2. Distribusi Gumbel

Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi Gumbel dilakukan dengan menggunakan rumus rumus berikut :

$$X_T = \bar{X} + S K \quad (3.9)$$

Dengan :

X_T = hujan rencana dengan periode ulang T.

\bar{X} = nilai rata-rata hujan dari data hujan (X).

S = standar deviasi dari data hujan (X)

K = factor frekuensi gumbel : $K = \frac{Y_t Y_n}{S_n}$ (3.10)

Y_t = *reduced variated* : $Y_t = -Ln - Ln \frac{T-1}{T}$ (3.11)

= nilai Y_t bisa ditentukan berdasarkan Tabel 3.3

S_n = *reduce standard deviation* yang bisa ditentukan berdasarkan

Tabel 3.4

Y_n = *reduce mean* yang bisa ditentukan berdasarkan Tabel 3.4

3. Distribusi Normal

Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi Normal dilakukan dengan menggunakan rumus rumus berikut :

$$X_T = \bar{X} + S K_T \quad (3.12)$$

Dengan :

X_T = hujan rencana dengan periode ulang T.

\bar{X} = nilai rata-rata hujan dari data hujan (X).

S = standar deviasi dari data hujan (X)

K_T = faktor frekuensi, nilainya bergantung T berdasarkan Tabel 3.5

Tabel 3.3 Nilai *Reduced Variated* (Y_t)

Periode Ulang T (Tahun)	Y_t
2	0.3065
5	1.4999
10	2.2504
20	2.9702
25	3.1255
50	3.9019
100	4.6001

(Sumber: Kamiana, 2010)

Tabel 3.4 *Reduced Standard Deviation* (S_n) dan *Reduced Mean* (Y_n)

n	S_n	Y_n	n	S_n	Y_n
10	0.9497	0.4952	60	1.1750	0.5521
15	1.0210	0.5128	70	1.1850	0.5548
20	1.0630	0.5236	80	1.1940	0.5567
25	1.0910	0.5390	90	1.2010	0.5586
30	1.1120	0.5362	100	1.2060	0.5600
35	1.1280	0.5403	200	1.2360	0.5672
40	1.1410	0.5436	500	1.2590	0.5724
45	1.1520	0.5463	1000	1.2690	0.5745
50	1.1610	0.5485			

(Sumber: Kamiana, 2010)

Tabel 3.5 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang T (Tahun)	K_T
1	1.001	-3.05
2	1.005	-2.58
3	1.010	-2.33
4	1.050	-1.64
5	1.110	-1.28
6	1.250	-0.84
7	1.330	-0.67
8	1.430	-0.52
9	1.670	-0.25
10	2.000	0
11	2.500	0.25
12	3.330	0.52
13	4.000	0.67

Lanjutan Tabel 3.5 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang T (Tahun)	K _T
14	5.000	0.84
15	10.000	1.28
16	20.000	1.64
17	50.000	2.05
18	100.000	2.33
19	200.000	2.58
20	500.000	2.88
21	1000.000	3.09

(Sumber: Kamiana, 2010)

4. Distribusi Log Normal

Dalam perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi Log Normal dilakukan dengan menggunakan rumus rumus berikut :

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T S \text{ Log } X \quad (3.13)$$

Dengan :

$\text{Log } X_T$ = nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T.

$\overline{\text{Log } X}$ = nilai rata-rata hujan dalam skala logaritma.

$S \text{ log } X$ = standar deviasi dalam skala logaritma.

K_T = faktor frekuensi, nilainya bergantung T berdasarkan Tabel 3.5

3.2.4 Uji Kecocokan Distribusi

Pengujian kecocokan distribusi dilakukan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Salah satu metode uji kecocokan distribusi yang sering di gunakan adalah Metode Chi-Kuadrat. Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan Metode Chi Kuadrat adalah sebagai berikut.

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \quad (3.14)$$

Dengan :

X^2 = parameter Chi Kuadrat terhitung.

E_f = frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.

O_f = frekuensi yang diamati pada kelas yang sama.

n = jumlah sub kelompok.

Adapun langkah langkah dalam melakukan pengujian kecocokan distribusi menggunakan Metode Chi-Kuadrat dilakukan dengan tahapan tahapan seperti berikut.

1. Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Menghitung jumlah kelas.
3. Menghitung derajat kebebasan (DK) dan X^2_{cr} .
4. Menghitung kelas distribusi.
5. Menghitung interval kelas.
6. Perhitungan nilai X^2 .
7. Bandingkan nilai X^2 terhadap X^2_{cr} dan jika $X^2 < X^2_{cr}$ maka distribusi dapat diterima.

Untuk menentukan nilai X^2_{cr} dapat diperoleh berdasarkan nilai Dk dan α yang ditentukan pada Tabel 3.6. Untuk nilai derajat kepercayaan pada Metode Uji Chi-Kuadrat biasa digunakan nilai 5% dan dalam perhitungan derajat kebebasan (DK) dapat digunakan rumus berikut.

$$D_K = K - (p + 1) \quad (3.15)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n \quad (3.16)$$

Dengan :

D_K = derajat kebebasan.

P = banyaknya parameter, untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

K = jumlah kelas distribusi.

n = banyak data.

Tabel 3.6 Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis (Xcr)

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
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	27,388	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	27,448	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	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	42,796
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	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,733	46,979	50,892	53,672

(Sumber: Kamiana, 2010)

3.2.5 Intensitas Hujan Rencana

Intensitas hujan atau intensitas hujan rencana dapat dikatakan sebagai ketinggian atau kederasan hujan per satuan waktu, biasanya dalam satuan mm/jam atau cm/jam (Kamiana, 2010).

Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe (Suripin, 2004). Perhitungan intensitas hujan dengan rumus Mononobe menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = \frac{X_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (3.17)$$

Dengan :

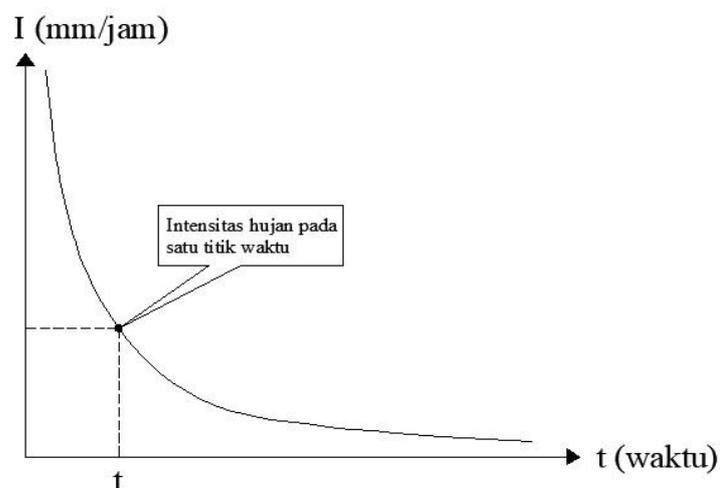
I = Intensitas hujan rencana (mm)

X_{24} = Tinggi hujan harian maksimum atau hujan rencana (mm)

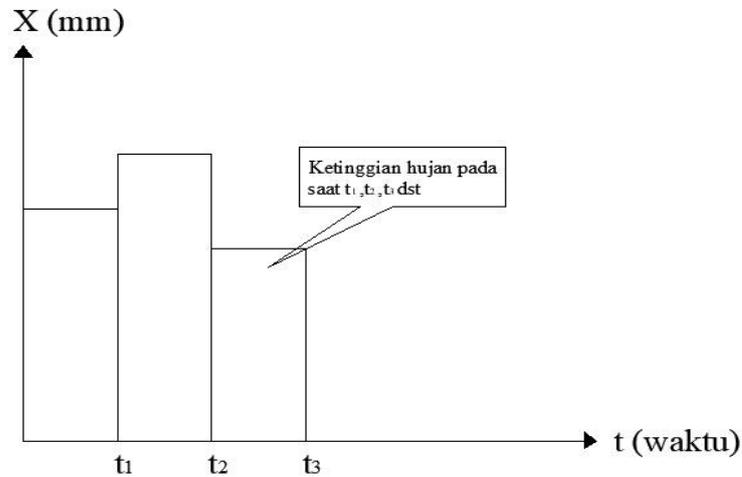
T = Durasi hujan atau waktu konsentrasi (Jam)

Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF). Sedangkan jika yang tersedia adalah data intensitas hujan maka hidrograf hujan dapat disusun dengan menggunakan Model (ABM) *Alternating Block Method* (Kamiana, 2010).

Model (ABM) *Alternating Block Method* menghasilkan hujan yang terjadi dalam n rangkaian interval waktu yang berurutan dengan durasi Δt selama waktu $T_d = n \Delta t$. Untuk periode ulang tertentu, intensitas hujan diperoleh dari kurva IDF pada setiap durasi waktu Δt , $2 \Delta t$, $3 \Delta t$, dst. Kedalaman hujan diperoleh dari perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktu tersebut. Perbedaan antara nilai kedalaman hujan yang berurutan merupakan pertambahan hujan dalam interval waktu Δt . Pertambahan hujan tersebut (blok-blok), diurutkan kembali dalam rangkaian waktu dengan intensitas hujan maksimum berada pada tengah tengah durasi hujan T_d dan blok-blok sisanya disusun dalam urutan menurun secara bolak balik pada kanan dan kiri dari blok tengah. Dengan demikian telah terbentuk *hyetograph* rencana (Triatmodjo, 2008).



Gambar 3.3 Kedalaman Hujan Rencana Satu Titik Waktu Curve IDF
(Sumber; Kamiana,2010)



Gambar 3.4 Hujan Rencana yang Terdistribusi Dalam Hujan Jam-jaman (Hietograf Hujan Rencana)
(Sumber; Kamiana,2010)

Adapun langkah perhitungan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Dilakukan analisis frekuensi dari data hujan harian yang ada dengan periode ulang yang dikehendaki untuk mendapatkan hujan rencana
2. Tentukan durasi hujan, misalnya, 5, 10, 15.....menit.
3. Hitung intensitas hujan jam-jaman dengan menggunakan persamaan Mononobe.
4. Plot hasil perhitungan pada grafik IDF (Intensity-Duration-Frequency) Mononobe.

3.2.6 Penentuan Debit

1. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) merupakan suatu cara untuk memperkirakan penggunaan konsep hidrograf satuan dalam suatu perencanaan yang tidak tersedia pengukuran-pengukuran langsung mengenai hidrograf banjir. Salah satu metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) yang ada yaitu metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu.

Dalam Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu persamaan persamaan dan rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Waktu kelambatan (time lag, t_g)

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ Km} \quad (3.18)$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ Km} \quad (3.19)$$

b. Durasi Hujan

$$t_r = (0,5 t_g) \sim (t_g) \quad (3.20)$$

c. Waktu puncak

$$t_g = t_g + 0,8 T_r \quad (3.21)$$

d. Waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak

$$t_{0,3} = \alpha t_g \quad (3.22)$$

e. Debit puncak hidrograf

$$Q_p = \frac{1}{3,6 (0,3 t_p + t_{0,3})} A R_0 \quad (3.23)$$

f. Bagian lengkung naik

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{t_p}\right)^{2,4} \quad \text{untuk } (0 < t < t_p) \quad (3.24)$$

g. Bagian lengkung naik

$$Q = Q_p 0,3^{(t - t_p)/(t_{0,3})} \quad \text{untuk } (t_p < t < t_{0,3}) \quad (3.25)$$

$$Q = Q_p 0,3^{(t - t_p + 0,5 t_{0,3})/(1,5 t_{0,3})} \quad \text{untuk } (t_{0,3} < t < 1,5 t_{0,3}) \quad (3.26)$$

$$Q = Q_p 0,3^{(t - t_p + 0,5 t_{0,3})/(2 t_{0,3})} \quad \text{untuk } (t > 1,5 t_{0,3}) \quad (3.27)$$

Dengan :

t_g = waktu kelambatan (jam)

$t_{0,3}$ = waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak (jam)

$1,5 t_{0,3}$ = waktu saat debit sama dengan $0,3^2$ kali debit puncak (jam)

α = koefisien, nilainya antara 1,5 ~ 3,0

t_p = waktu puncak (jam)

Q_p = debit puncak (m^3/det)

A = luas DAS (Km^2)

T_r = durasi hujan (jam)

R_0 = kedalaman hujan (mm)

2. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) SCS

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) *Soil Conservation Services* (SCS) adalah hidrograf satuan tak berdimensi, debit dinyatakan sebagai nisbah debit (q) terhadap debit puncak (q_p) dan waktu sebagai nisbah waktu (t) terhadap waktu puncak (T_p) (Kamiana,2010). Adapun rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan HSS SCS adalah sebagai berikut.

$$t_p = 0,6 \cdot T_c \quad (3.30)$$

$$T_p = 0,5 \cdot t_r + t_p \quad (3.31)$$

$$q_p = C \cdot A / T_p \quad (3.32)$$

Dengan :

t_r = Durasi hujan efektif (jam)

T_c = Waktu konsentrasi (jam)

q_p = debit puncak hidrograf satuan ($m^3/dt/cm$)

A = Luas Das (Km^2)

C = 2,08

Selanjutnya dalam metode HSS SCS terdapat sebuah hubungan antara nilai t/T_p dan q/q_p dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Nilai t/T_p dan q/q_p HSS SCS

t/T_p	q/q_p	t/T_p	q/q_p	t/T_p	q/q_p
0	0	1.1	0.98	2.8	0.098
0.1	0.015	1.2	0.92	3	0.075
0.2	0.075	1.3	0.84	3.5	0.036
0.3	0.16	1.4	0.75	4	0.018
0.4	0.28	1.5	0.66	4.5	0.009
0.5	0.43	1.6	0.56	5	0.004
0.6	0.6	1.8	0.42		
0.7	0.77	2	0.32		
0.8	0.89	2.2	0.24		
0.9	0.97	2.4	0.18		
1	1	2.6	0.13		

(Sumber; Kamiana,2010)

3.2.7 Waktu Konsentrasi

Setelah menentukan debit banjir puncak dengan menggunakan Metode Rasional selanjutnya dilakukan analisis waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik yang terjauh ke titik yang akan dihitung debitnya. Metode Kirpich merupakan metode yang biasa digunakan untuk menghitung waktu. Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai waktu konsentrasi berdasarkan Metode Kirpich adalah sebagai berikut.

$$t_c = \left(\frac{0,87 \cdot L^2}{1000 \cdot S} \right)^{0,385} \quad (3.33)$$

Dengan :

t = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang lintasan asir dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau (Km)

S = Kemiringan rata-rata daerah lintasan air.

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi 2 komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir dipermukaan lahan sampai saluran terdekat t_0 dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran t_d dimana rumus yang digunakan sebagai berikut.

$$t_c = t_0 + t_d \quad (3.34)$$

$$t_0 = \frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot L \cdot \frac{n}{\sqrt{S}} \quad (3.35)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60 V} \quad (3.36)$$

Dengan :

n = angka kekasaran permukaan lahan (dapat diperoleh pada Tabel 3.9).

S = kemiringan lahan.

L = panjang lintas aliran di atas permukaan lahan (m).

L_s = panjang lintas aliran di dalam saluran/sungai (m).

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

Tabel 3.9 Angka Kekasaran Permukaan Lahan

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

(Sumber: Kamiana, 2010)

3.2.8 Koefisien Limpasan Lahan

Dalam menghitung koefisien limpasan lahan dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$C = \text{Koefisien limpasan} = C = \frac{A_1 C_1 + A_2 C_2 + \dots + A_n C_n}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3.29)$$

C_i = Koefisien limpasan sub daerah pengaliran ke i.

A_i = Luas sub daerah pengaliran ke i.

n = Jumlah sub daerah pengaliran.

Untuk menentukan nilai koefisien limpasan (C) untuk setiap jenis lahan dapat diperoleh pada Tabel 3.7.

Tabel 3.10 Koefisien Pengaliran (C)

Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien Pengaliran (C)
Business :	
- Perkotaan	0,70 – 0,95
- Pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan :	
- Rumah Tinggal	0,30 – 0,50
- Multiunit, terpisah	0,40 – 0,60
- Multiunit, tergabung	0,60 – 0,75
- Perkampungan	0,25 – 0,40
- Apartemen	0,50 – 0,70
Industri :	
- Ringan	0,50 – 0,80
- Berat	0,60 – 0,90
Perkerasan :	
- Aspal dan Beton	0,70 – 0,95
- Batu bata, paving	0,50 – 0,70
Atap	0,75 – 0,95

Lanjutan Tabel 3.7 Koefisien Pengaliran (C) untuk Rumus Rasional

Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien Pengaliran (C)
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
Hutan :	
- Datar 0-5%	0,10 – 0,40
- Bergelombang 5-10%	0,25 – 0,50
- Berbukit 10-30%	0,30 – 0,60

(Sumber; Suripin,2004)

3.3 Polder

Sistem Polder adalah sistem penanganan drainase perkotaan dengan cara mengisolasi daerah yang dilayani dari pengaruh limpasan air hujan / air laut serta limpasan dari prasarana lain (jalan, jalan kereta api), yang terdiri dari kolam penampung, sistem drainase serta perpompaan. Polder mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Suripin, 2004):

1. Polder adalah daerah yang dibatasi dengan baik, dimana air yang berasal dari luar kawasan tidak boleh masuk, hanya air hujan (dan kadang-kadang air rembesan) pada kawasan itu sendiri yang dikumpulkan,
2. Dalam polder tidak ada aliran permukaan bebas seperti pada daerah tangkapan air alamiah, tetapi dilengkapi dengan bangunan pengendali pada pembuangnya (dengan penguras atau pompa) untuk mengendalikan aliran air keluar,
3. Muka air di dalam polder (air permukaan maupun air di bawah permukaan) tidak bergantung pada permukaan air di daerah sekitarnya dan dinilai berdasarkan elevasi lahannya, sifat-sifat tanah, iklim dan tanaman.

Dalam mendesain sebuah polder perlu dilakukan sebuah penelusuran aliran untuk memperoleh Volume tampungan. Penelusuran aliran dinyatakan dalam bentuk persamaan kontinuitas yang dapat diperlihatkan sebagai berikut.

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (3.45)$$

Dengan :

dS = perubahan tampungan (m^3)

dt = interval waktu penelusuran (detik)

I = aliran masuk (*inflow*) (m^3/det)

O = aliran keluar (*outflow*) (m^3/det)

Volume tampungan sebuah polder diperhitungkan berdasarkan debit masuk (*inflow*) dan debit yang akan dikeluarkan (*outflow*) berdasarkan interval waktu kejadian banjir yang terjadi. Setelah diperoleh besar volume tampungan polder maka selanjutnya dapat ditentukan dimensi dimensi kolam polder yang akan direncanakan. Adapun rumus untuk menentukan volume tampungan sebuah kolam polder dapat dilakukan sebagai berikut.

$$\frac{I_1+I_2}{2} - \frac{O_1+O_2}{2} = \frac{S_1-S_2}{\Delta t} \quad (3.46)$$

Dengan :

I_1, I_2 = aliran masuk pada waktu ke 1 dan ke 2

O_1, O_2 = aliran keluar pada waktu ke 1 dan ke 2

S_1, S_2 = tampungan pada waktu ke 1 dan ke 2

Δt = interval waktu

3.3.1 Aliran Masuk (*inflow*)

Dalam perencanaan drainase sistem pompa yang diperlukan tidak hanya debit puncak banjir, tetapi juga hidrograf banjir. Hidrograf banjir terukur biasanya hanya tersedia pada sungai-sungai besar, sedangkan saluran drainase perkotaan biasanya belum ada, sehingga perlu diperkirakan (Suripin, 2003).

3.3.2 Aliran Keluar (*outflow*)

Dalam menentukan debit aliran keluar (*outflow*) dapat diperoleh dengan menggunakan salah satu metode penelusuran aliran. Penelusuran aliran adalah

prosedur untuk menentukan waktu dan debit aliran (hidrograf aliran) di suatu titik pada aliran berdasarkan hidrograf yang diketahui. Apabila aliran tersebut adalah banjir maka prosedur tersebut dikenal dengan penelusuran banjir (Triatmojo, 2008). Dalam hal ini salah satu dari metode penelusuran aliran yaitu penelusuran hidrologis dengan *Model Linier Reservoir* (Penelusuran Waduk). Dalam *Model Linier Reservoir* (Penelusuran Waduk) untuk menentukan jumlah debit *outflow* digunakan rumus-rumus sebagai berikut.

$$\frac{I_1+I_2}{2} - \frac{O_1+O_2}{2} = \frac{S_1-S_2}{\Delta t} \quad (3.47)$$

Pada penelusuran air di waduk, tampungan S hanya merupakan fungsi aliran keluar. Untuk waktu ke 1 dan ke 2 persamaan tersebut dapat ditulis menjadi

$$S_1 = K - O_1 \quad (3.48)$$

$$S_2 = K - O_2 \quad (3.49)$$

Dengan :

I_1, I_2 = aliran masuk pada waktu ke 1 dan ke 2

O_1, O_2 = aliran keluar pada waktu ke 1 dan ke 2

S_1, S_2 = tampungan pada waktu ke 1 dan ke 2

Δt = interval waktu

K = koefisien tampungan

Dimana hasil substitusi persamaan 3.48 dan 3.49 kedalam persamaan 3.47 menghasilkan rumus untuk penelusuran waduk yaitu :

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \quad (3.50)$$

Dimana $C_0, C_1,$ dan C_2 adalah konstanta yang mempunyai bentuk berikut :

$$C_0 = \frac{\Delta t/K}{2 + (\frac{\Delta t}{K})} \quad (3.51)$$

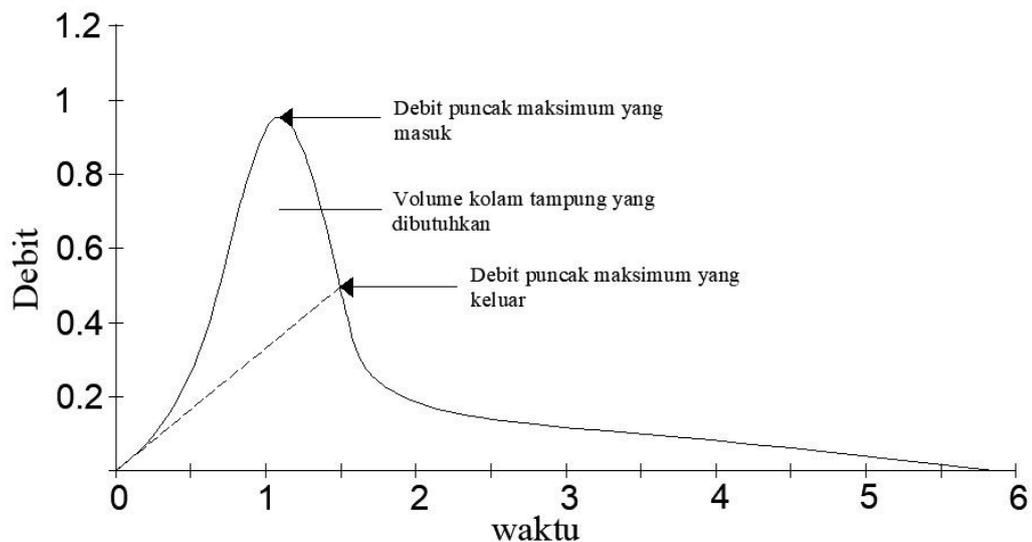
$$C_0 = C_1 \quad (3.52)$$

$$C_2 = \frac{2 - \Delta t/K}{2 + (\frac{\Delta t}{K})} \quad (3.53)$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1 \quad (3.54)$$

3.3.3 Kolam Pengumpul dan Kapasitas Tampungan

Dalam perencanaan sebuah kolam polder tidak terlepas dari volume air yang akan ditampung. Volume tampungan tersebut tidak terlepas dari pengaruh aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) yang dapat digambarkan dalam bentuk hubungan grafik pengaruh debit dengan waktu seperti gambar berikut.



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Debit Masuk (*Inflow*) dan Debit Keluar (*Outflow*)

Hubungan antara aliran masuk, kapasitas pompa aliran keluar, dan kapasitas tampungan dinyatakan dalam persamaan kontinuitas dalam bentuk sebagai berikut.

$$Q_i - Q_o = \frac{dV}{dt} \quad (3.55)$$

Dengan :

Q_i = laju aliran masuk ($m^3/detik$)

Q_o = laju aliran keluar atau kapasitas pompa ($m^3/detik$)

V = volume tampungan (m^3)

t = waktu (detik)

3.3.4 Tinggi Jagaan (F)

Untuk mengantisipasi meluapnya air dari kolam yang direncanakan maka perlu direncanakan tanggul dengan sebuah tinggi jagaan. Tinggi jagaan minimum untuk kolam dengan pasangan direncanakan dengan tinggi 0,50m. Untuk saluran tanpa pasangan dengan debit tinggi jagaan dapat dilihat pada Tabel 3.13 sebagai berikut.

Tabel 3.13 Tinggi Jagaan

Debit (m ³ /det)	Tanggul (F) m	Pasangan (F1) m
<0,5	0,40	0,2
0,5 – 1,5	0,50	0,2
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

(Sumber:Departemen PU, 2013)

3.4 Pompa

Pada Sistem drainase yang tidak dapat sepenuhnya mengandalkan gravitasi sebagai faktor pendorong, maka perlu dilengkapi dengan stasiun pompa. Pompa ini berfungsi untuk membantu mengeluarkan air dari kolam penampung banjir maupun langsung dari saluran drainase pada saat air tidak dapat mengalir secara gravitasi karena air di muaranya lebih tinggi baik akibat pasang surut maupun banjir. Dalam perencanaan hidrolika sistem pompa, perlu dipelajari hal-hal sebagai berikut (Suripin ,2003).

1. Aliran masuk (*inflow*) ke kolam penampung.
2. Tinggi muka air sungai..
3. Kolam penampung dan volume tampungan.
4. Ketinggian air maksimum dan kapasitas pompa yang diperlukan.
5. Dimensi penguras.
6. Pengaruh pompa, dan
7. Pola operasi pompa.

Dalam perhitungan/analisis debit aliran yang akan dipompa dan debit pompa diperlukan tata cara desain standar untuk mendapatkan desain hidrograf banjir untuk pompa drainase dari sistem drainase utama. Bagian dari sistem

pemompaan perlu diperhatikan selain desain debit puncak adalah volume limpasan dan bentuk hidrograf untuk durasi hujan.

Untuk menentukan kapasitas air yang akan dipompa persatuan waktu serta daya pompa yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut.

$$Q_p = \frac{Q}{(24 \cdot 3600 \cdot D)} \quad (3.56)$$

$$BHP = \frac{Q_p \cdot \gamma \cdot H}{\eta} \quad (3.57)$$

Dengan :

Q_p = kapasitas pompa drainase ($m^3/detik$).

Q = debit aliran ($m^3/detik$).

D = lama genangan yang diperbolehkan (hari).

BHP = daya pompa ($kgf \cdot m/detik$)

H = tinggi tekanan efektif (m).

η = efisiensi pompa.

γ = berat jenis zat cair (kgf/m^3).

Berdasarkan daya pompa yang dihitung nantinya dapat ditentukan jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan debit air yang dibutuhkan.