

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Banjir adalah merupakan salah satu masalah utama yang sering terjadi di seluruh kota-kota besar di Indonesia. Peristiwa banjir khususnya sering terjadi pada musim hujan di setiap tahunnya dan berulang, namun masalah ini sampai sekarang belum terselesaikan dengan baik, bahkan cenderung makin meningkat, baik dari segi frekuensinya, luasannya, kedalamannya, maupun durasinya (PUPR, 2017).

2.1.1 Penyebab Banjir

Berikut adalah beberapa penyebab terjadinya banjir yang dibagi menjadi 2 kategori yakni faktor alam dan faktor manusia.

1. Pengaruh Fisiografis

Pengaruh fisiografi ini merupakan hubungan antara sungai dengan kondisi fisik atau bentuk fisik, bentuk dan arah aliran sungai seperti kemiringan DAS.

2. Curah Hujan

Curah hujan yang tinggi di suatu daerah pada waktu yang lama akan mempengaruhi potensi terjadinya banjir pada wilayah tersebut.

3. Pendangkalan Sungai

Pendangkalan ini disebabkan oleh adanya sedimentasi. Dimana sedimen ini terbawa dari hulu ke hilir sungai yang biasa berupa batu atau pasir. Sehingga hal ini yang mengakibatkan pendangkalan sungai sehingga yang mengakibatkan berkurangnya volume aliran sungai.

4. Pasang Air Laut

Pasang air laut yang menjadi berkurangnya kecepatan aliran dari sungai ke laut. Pada saat terjadinya hujan dan pasang secara bersamaan, maka dapat menyebabkan *backwater* yang akan menyebabkan banjir.

Sedangkan untuk penyebab terjadinya banjir oleh faktor manusia yakni :

1. Penebangan Hutan

Penebangan hutan yang dilakukan secara terus menerus dan dalam skala besar tanpa adanya reboisasi dapat mengakibatkan menurunnya kemampuan tanah dalam peresapan air.

2. Perubahan Tata Guna Lahan

Banyak lahan hijau yang berubah fungsi menjadi perumahan, perkantoran, jalan raya dan lain sebagainya, jika perubahan tata guna lahan ini tidak diatur dan dikelola secara baik maka akan menimbulkan permasalahan banjir.

3. Pembuangan Sampah Sembarangan

Buang sampah sembarangan sudah menjadi sebuah kebiasaan masyarakat sepertinya. Indonesia sendiri juga masih kurang tegas dalam peraturan membuang sampah pada tempat seharusnya. Sampah tersebut jika dibiarkan dan sampai masuk ke sungai akan menyebabkan tersumbatnya aliran sungai dan akan menyebabkan banjir.

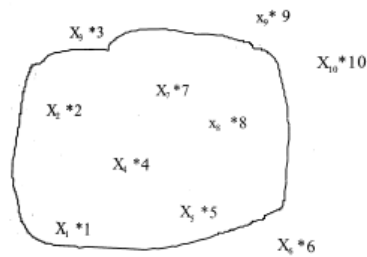
2.2 Analisa Hidrologi

Dalam menyelesaikan permasalahan banjir pada umumnya dibutuhkan analisa hidrologi khususnya masalah hujan, yang sebagai sumber air dimana nantinya akan dialirkan pada sistem saluran dan limpasan sebagai akibat tidak mempunya saluran menampung air hujan tersebut. Maka dari itu desain hidrologi sangat diperlukan untuk mengetahui debit pengaliran. Dalam perhitungan hidrologi, salah satu aspek analisis yang diharapkan dan dihasilkan dapat menunjang perencanaan bangunan-bangunan hidrolis yaitu penetapan besaran rancangan hujan, debit banjir maupun unsur hidrologi lainnya.

2.2.1 Curah Hujan Rata-Rata

Curah hujan rata-rata adalah tinggi hujan atau besaran air hujan yang jatuh pada suatu wilayah yang dihitung setiap periode waktu (perbulan atau pertahun). Data hujan yang tercatat di setiap stasiun penakar hujan itu merupakan tinggi hujan di sekitar stasiun tersebut. Untuk menghitung hujan rata-rata daerah dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

a. Metode Rata-Rata Hitung



Gambar 2.1 Perhitungan Metode Rata-Rata Hitung

Sumber: Montarcih 2010

Metode ini menggunakan perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah terkait.

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

\bar{R} : Curah hujan daerah (mm)

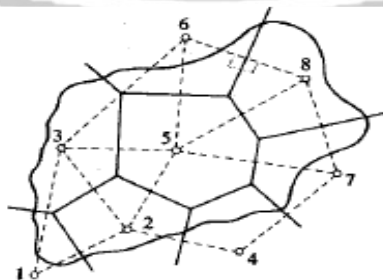
N : Jumlah titik (pos-pos) pengamatan

R_1, R_2, \dots, R_n : Curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

Hasil yang didapat dengan menggunakan metode ini tidak jauh beda dengan menggunakan metode lainnya jika titik pengamatan yang tersebar rata menyeluruh di daerah pengamatan.

b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini dilakukan dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang diwakili oleh stasiun penakar hujan atau biasa disebut dengan *weighting factor* atau Koefisien Thiessen. Metode ini memberikan hasil yang lebih teliti daripada metode aljabar atau rata-rata hitung dalam menentukan titik pengamatannya



Gambar 2.2 Polygon Thiessen

Curah hujan daerah ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

\bar{R} : Curah hujan daerah

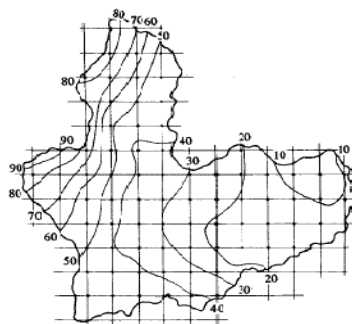
R_1, R_2, \dots, R_n : Curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah jumlah titiktitik pengamatan.

A_1, A_2, \dots, A_n : Bagian daerah yang mewakii tiap titik pengamatan

Metode ini sangat akurat dibandingkan dengan menggunakan metode sebelumnya akan tetapi, untuk penentuan titik pengamatan dan pemilihan ketinggian akan sangat mempengaruhi dari ketepatan hasil yang didapat..

c. Metode Isohyet

Metode garis isohyet adalah dimana dengan menghubungkan titik-titik pengamatan dengan tinggi atau kedalaman hujan yang sama. Metode ini biasa digunakan untuk menghitung curah hujan di daerah pegunungan. Luasan diantara dua garis isohyet dikalikan dengan nilai rata-rata di setiap garis.



Gambar 2.3 Garis Isohyet

Sumber: Sosrodarsono (2003,p.28)

Kemudian hasil dari perhitungan tersebut dibagi dengan total luasan dari daerah yang diamati, sebagaimana dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

\bar{R} : Curah hujan daerah

R_1, R_2, \dots, R_n : Curah hujan rata-rata pada bagian-bagian A_1, A_2, \dots, A_n

A_1, A_2, \dots, A_n : Bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan

2.2.2 Uji Konsistensi Data

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh kebenaran terhadap data yang ada dilapangan. Adapun cara-cara yang dapat dilakukan diantaranya :

2.2.2.1 Metode Kurva Massa Ganda

Metode ini dihitung dengan membandingkan nilai kumulatif dari stasiun yang satu dengan yang lain. Stasiun pembanding dapat berupa rerata dari beberapa stasiun didekatnya.

2.2.2.2 Rescaled Adjusted Pastial Sums (RAPS)

Metode RAPS adalah metode konsistensi data hujan dengan ditunjukkan nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata dengan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{N} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan $k=1, 2, \dots, N$

$$Dy^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Dy} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

S_k^* : Nilai kumulatif penyimpanan terhadap nilai rata-rata

Y_i : Nilai data ke-i

\bar{Y} : Nilai Y rata-rata

N : Jumlah data Y

S_k^{**} : *Rescaled Adjusted Pastial Sums* (RAPS)

Dy : Deviasi standar seri data Y

Kemudian setelah nilai S_k^{**} didapat untuk setiap nilai k , selanjutnya dengan menentukan nilai Q dan R terhitung dengan rumus

$$Q = [S_k^{**}]_{maks} \text{ atau } R = S_k^{**} \text{ maks} - S_k^{**} \text{ min} \dots \dots \dots (2.8)$$

Membandingkan jumlah data (N) dan derajat kepercayaan (α) tertentu dengan nilai Q hitung dengan Q_{kritis} , sedangkan R hitung dengan R_{kritis} yang dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 2.1 Nilai Kritis Q dan R

n	Q/n ^{0,5}			R/n ^{0,5}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.48	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.85

Sumber : Kamiana, 2011

2.2.3 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Tujuan dari analisa frekuensi berhubungan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Atau biasa digunakan untuk menentukan besar debit aliran sungai pada suatu saat atau telah melampaui. Dalam hidrologi, analisis tersebut dipakai untuk menentukan nilai besarnya hujan dan debit banjir rancangan (*design flood*) dengan kala ulang tertentu. (Syofyan, 2016)

a. Nilai Rata-Rata

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

Dimana :

\bar{X} : Nilai rata-rata X

X_i : Nilai pengukuran dari suatu variative

n : Jumlah data

b. Standar Deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

Sd : Standar deviasi

n : Jumlah data

\bar{X} : Nilai rata-rata

X_i : Nilai varian ke-i

c. Kemencengan

Kemencengan adalah nilai yang menunjukkan derajat ketidaksamaan dari suatu distribusi. Pada dasarnya ukuran dari nilai kemencengan ini dinyatakan dengan nilai besarnya koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*).

$$Cs = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \cdot X \sigma^3} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

Cs : Koefesien Skewness

σ : Standar deviasi

n : Jumlah data

\bar{X} : Nilai rata-rata

X_i : Nilai varian ke-i

d. Koefesien Kurtosis

Koefesien Kurtosis atau biasa disebut dengan koefesien puncak digunakan untuk mengukur distribusi varibel, dengan menggunakan nilai puncak distribusi.

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3) \sigma^4} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

Ck : Koefesien kurtosis

S : Standar deviasi

n : Jumlah data
 \bar{X} : Nilai rata-rata

Tabel 2.2 Karakteristik Distribusi Frekuensi

NO	Jenis Distribusi	Syarat	
1	Normal	Cs = 1,14	Ck = 5,4
2	Log Normal	Cs = 0	Ck = 3
3	Gumbel	Cs = Cv3 + 3Cv	Ck = Cv8 + 6Cv6 5Cv4 + 16 Cv2 + 3
4	Log Person III	Selain dari nilai di atas	

Sumber : Kamiana, 2011

2.2.4 Analisa Frekuensi dan Probabilitas

Dalam ilmu statistik dikenal ada beberapa macam distribusi frekuensi, yang tujuannya untuk memprediksi curah hujan di masa yang akan datang dengan menggunakan data nilai curah hujan di masa lalu (Made Kamiana, 2011). Terdapat empat macam jenis distribusi frekuensi yang paling banyak digunakan dalam bidang hidrologi distribusi adalah:

a. Distribusi Normal

Distribusi normal atau biasa disebut juga distribusi Gauss. Perhitungan nilai curah hujan rencana menurut metode distribusi normal, mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T S \dots \dots \dots (2.13)$$

Maka

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

X_T : perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T tahunan.

\bar{X} : nilai rata-rata hitung variasi

S : deviasi standar nilai variasi

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

Berikut adalah tabel perhitungan nilai factor frkuensi K_T dengan nilai variable Gauss.

Tabel 2. 3 Nilai Variabel Gauss

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	K
1.001	0.999	-3.05
1.005	0.995	-2.58
1.01	0.99	-2.33
1.05	0.95	-1.64
1.11	0.9	-1.28
1.25	0.8	-0.84
1.33	0.75	-0.67
1.43	0.7	-0.52
1.67	0.6	-0.25
2	0.5	0
2.5	0.4	0.25
4	0.25	0.67
5	0.2	0.84
10	0.1	1.28
20	0.05	1.64
50	0.02	2.05
100	0.01	2.33
200	0.005	2.58
500	0.002	2.88
1000	0.001	3.09

Sumber : Bonnier, 1980

b. Distribusi Log Normal

Dalam perhitungan distribusi Log Normal data X diubah kedalam bentuk logaritma $Y = \log X$. Jika variabelnya acak dengan $Y = \log X$ terdistribusi secara normal, maka X dapat dikatakan mengikuti distribusi Log Normal atau nilainya sama. Berikut contoh perhitungannya:

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \dots\dots\dots(2.15)$$

$$K_T = \frac{Y_T - \bar{Y}}{S} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

Y_T : perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

\bar{Y} : nilai rata-rata hitung varian

S : deviasi standar nilai varian

K_T : Faktor frekuensi, yang merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

c. Distribusi Gumbel

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut;

$$X = \bar{X} + S \cdot K \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

\bar{X} : Harga rata-rata sampel

S : Standar devasi (simpangan baku)

Nilai K atau nilai faktor probabilitas dengan harga-harga tertinggi dari nilai Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

Y_n : *Reduced mean* yang tergantung jumlah sample atau nilai n

S_n : *Reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel

Y_{Tr} : *Reduced variate*, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Y_{Tr} = -\ln \left\{ -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \dots \dots \dots (2.19)$$

d. Distribusi Log Pearson Type III

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode Log Pearson III, mempunyai langkah-langkah perumusan sebagai berikut:

- Dengan mengubah data dalam bentuk logaritmis, $X = \text{Log } X$
- Menghitung nilai rata-rata

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \dots\dots\dots(2.20)$$

- Menghitung harga simpangan baku

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1} \right]^{0.5} \dots\dots\dots(2.21)$$

- Menhitung nilai koefesien kemencengan

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \dots\dots\dots(2.22)$$

- Menghitung nilai logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K \cdot s \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana adalah variabel standar untuk nilai X yang besarnya tergantung dengan nilai koefesien kemencengan nilai G.

Tabel 2. 4 Faktor Frekuensi (Koef.Asimetri, CS Negatif)

T	10.101	10.526	11.111	1.25	2	5	10	25	50	100	200
P%	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
0	-2.326	-1.645	-1.202	-0.842	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.336	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.83	0.033	0.85	1.258	1.680	1.945	2.178	2.308
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.05	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.291
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.606	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	-1.797	-1.320	-0.88	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.79	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.021	-1.839	-1.336	-0.78	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.057	-1.850	-1.339	-0.769	0.14	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1	-3.022	-1.877	-1.340	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.067	-1.894	-1.341	-0.745	0.18	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.21	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.69	0.24	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282

Sumber : CD Soemarto, Hidrologi Teknik Hal 246

Tabel 2. 5 Faktor Frekuensi (Koef.Asimetri, CS Positif)

T	10.101	10.526	11.111	1.25	2	5	10	25	50	100	200
P(%)	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0	0.842	1.282	1.751	2.045	2.376	2.576
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.085	0.017	0.836	1.297	1.785	2.107	2.400	2.670
0.2	-2.170	-1.538	-1.258	-0.85	0.033	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.3	-2.130	-1.555	-1.245	-0.853	0.05	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.947

Lanjutan Tabel 2. 6 Faktor Frekuensi (Koef.Asimetri, CS Positif)

0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.606	3.041
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	0.079	0.8	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	0.116	0.79	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	0.132	0.78	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
1	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.018	0.18	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.3	-1.388	-1.206	-1.064	-0.838	-0.21	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.4	-1.318	-1.163	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.24	0.69	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.7	-1.140	-1.056	-0.97	-0.808	-0.268	0.66	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.9	-1.037	-0.984	-0.92	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
2	-0.99	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298

Sumber : CD Soemarto, Hidrologi Teknik Hal 245

2.2.5 Uji Kecocokan Sebaran

Uji distribusi probabilitas tujuannya untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis uji kecocokan sebaran yakni uji kecocokan *Chi-square* dan *Smirnov-Kolmogorov*.

2.2.5.1 Uji Chi-Square

Rumus yang digunakan dalam perhitungan ini sebagai berikut:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana :

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

Nilai derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5%. Dimana untuk perhitungan derajat kebebasan (D_k) dapat dihitung dengan rumus :

$$Dk = K - (p+1) \dots \dots \dots (2.25)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana :

dk = Derajat kebebasan.

p = Banyaknya parameter, untuk uji *chi-kuadrat* adalah 2

K = Jumlah kelas distribusi

n = Banyaknya data

Selanjutnya nilai distribusi probabilitas yang digunakan untuk menghitung curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis.

$$X^2 < X_{cr}^2 \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana :

X^2 : parameter chi-kuadrat terhitung

X_{cr}^2 : parameter chi-kuadrat kritis (Tabel 2.5)

Dengan menggunakan prosedur perhitungan seperti berikut:

- Mengurutkan data dari yang terbesar ke terkecil atau sebaliknya
- Menghitung jumlah kelas
- Menghitung derajat kebebasan (Dk) dan X_{cr}^2
- Menghitung kelas distribusi
- Menghitung interval distribusi
- Menghitung nilai X^2
- Membandingkan nilai X^2 dengan nilai X_{cr}^2

Tabel 2. 7 Nilai parameter Chi-kuadrat kritis X_{cr}^2

dk	α Derajat Kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0,0000393	0.000157	0.000982	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879

Lanjutan Tabel 2. 8 Nilai parameter Chi-kuadrat kritis X_{cr}^2

2	0.01	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	27.688	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	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	43.773	46.979	50.892	53.672

Sumber : Soewarno 1995 Hal 198

2.2.5.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov* atau biasa disebut dengan uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. (Syofyan, 2016)

Langkah-langkah perhitungan ini sebagai berikut:

- Mengurutkan data (X_i) dari terbesar ke terkecil atau sebaliknya
- Menentukan peluang empiris dari masing-masing data yang sudah diurutkan tersebut $P(X_i)$ dengan rumus tertentu, seperti pada rumus Weibull misalnya :

$$P(X_i) = \frac{i}{n+1} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

n : Jumlah data

I : Nomor urut data

- Menentukan nilai peluang teoritis dari masing – masing data yang telah di urutkan tersebut $P' (X_i)$ berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang di pilih sebelumnya.
- Menghitung selisih (ΔP_i) antara peluang empiris dengan nilai teoritis untuk setiap data yang telah di urutkan.

$$\Delta P_i = P(X_i) - P' (X_i) \dots \dots \dots (2.29)$$

- Menentukan apakah nilai $\Delta P_i < \Delta P$ kritis, jika “tidak” artinya distribusi probabilitas yang di pilih tidak dapat diterima, demikian untuk sebaliknya.

Untuk nilai ΔP kritis dapat dilihat pada tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2.9 Nilai ΔP Kritis Smirnov-Kolmogorof

n	α Derajat Kepercayaan			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
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	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,693/n

Sumber : Soewarno 1995 Hal 198

2.3 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran atau biasa disebut dengan limpasan merupakan variabel yang tujuannya untuk menentukan besarnya dari limpasan permukaan yang

dimana penentuannya berdasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut.

Koefisien C didefinisikan sebagai nisbah yakni antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi dari nilai C adalah laju infiltrasi tanah atau presentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah dan nilai intensitas hujan (Lubis & Terunajaya, 2013).

Tabel 2.10 Koefisien Pengaliran C Pada Daerah Urban

No	Jenis Daerah	Koefisien C
1	Daerah perdagangan	
	Perkotaan	0,70 – 0,90
	Pinggiran	0,50 – 0,70
2.	Pemukiman	
	Perumahan satu keluarga	0,30 – 0,50
	Perumahan berkelompok, terpisah-pisah	0,40 – 0,60
	Perumahan berkelompok, bersambungan	
	Suburban	0,60 – 0,75
	Daerah apartemen	0,25 – 0,40
3	Industri	
	Daerah industri ringan	0,50 – 0,80
	Daerah industri berat	0,60 – 0,90
4	Taman, perkebunan	0,10 – 0,25
5	Tempat bermain	0,20 - 0,35
6	Daerah stasiun kereta api	0,20 – 0,40
7	Daerah belum diperbaiki	0,10 – 0,30
8	Jalan	0,70 – 0,95

Sumber: Triadmojo 2008

Untuk menentukan debit banjir rencana (*design flood*) perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan terlebih dahulu, terutama jika menggunakan metode rasional.

Intensitas curah hujan adalah rata-rata nilai dari suatu hujan yang durasinya sama dengan waktu konsentrasinya (T_c) dengan kala ulang tertentu. Intensitas

curah hujan ini dapat dihitung dengan menggunakan data–data seperti data curah hujan, periode ulang, dan durasi waktu curah hujan.

Analisis intensitas curah hujan dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau atau sebelumnya. Biasanya nilai intensitas hujan dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek seperti 5 menit, 30 menit, 60 menit dan jam- jaman. Data curah hujan jangka pendek ini hanya didapat dengan menggunakan alat pencatat hujan otomatis. Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia dan yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$t_c = \left(\frac{0.78 \times L^2}{1000 \times s} \right)^{0.385} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana :

I : Intensitas hujan (mm/jam)

R₂₄ : Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t_c : Waktu kosentrasi (jam)

L : Panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau debitnya (km)

S : Kemiringan daerah saluran/sungai = H/L

2.4 Analisa Debit Banjir

Untuk mencari hubungan antara hujan yang jatuh dengan debit yang terjadi maka perlu dilakukan variasi dari data hujan menjadi debit aliran. Dalam hal ini variasi yang dapat dilakukan yakni dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu. (Kastamto, 2012)

Berdasarkan buku panduan tata cara pembuatan kolam retensi dan polder departemen pekerjaan umum untuk mendesain kolam retensi dan polder harus memenuhi kriteria standar sebagai berikut :

- a. Kala ulang yang dipakai berdasarkan luas daerah pengaliran (*catchment area*), tipe-tipe kota yang akan direncanakan kolam retensi/polder dengan melihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.11 Pemilihan Kala Ulang

Tipe Kota	Cathcment Area (Ha)			
	<10	10-100	100-500	>500
Kota Metropolitan	2 thn	2-5 thn	5-10 thn	10-25 thn
Kota Beasr	2 thn	2-5 thn	2-5 thn	5-20 thn
Kota Sedang/Kecil	2 thn	2-5 thn	2-5 thn	5-10 thn

Sumber : Panduan Tata Cara Pembuatan Kolam Retensi Dan Polder

- b. Perhitungan curah hujan berdasarkan data hujan paling sedikit 10 tahun yang berurutan.
- c. Bangunan pelengkap dipakai kala ulang yang sama dengan saluran dimana bangunan pelengkap itu berada.

2.4.1 Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Perhitungan hidrgraf satuan sintetis nakayasu atau HSS Nakayasu dengan menghitung dari waktu keterlambatan, waktu puncak banjir dari mulai 0,3 kali dari debit puncak hinggadi jam puncaknya, kemudian dapat ditentukan nilai debit puncaknya. Perhitungan ini dapat dilihat dengan rumusan sebagai berikut:

- Waktu kelambatan

$$t_g = 0,4 + 0,058L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km}$$

$$t_g = 0,21L^{0,7} \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km}$$

- Waktu puncak dan debit puncak hidrograf satuan sintesis:

$$t_p = t_g + 0,8Tr \dots \dots \dots (2.32)$$

- Waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak:

$$T_{0,3} = \alpha \times t_g \dots \dots \dots (2.33)$$

- Waktu puncak:

$$t_p = t_g + 0,8Tr \dots \dots \dots (2.34)$$

- Debit puncak hidrograf satuan sintesis:

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times A \times R_0 \times \frac{1}{(0,3 \times t_p + t_{0,3})} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana :

- t_p : waktu keterlambatan (jam)
- L : Panjang sungai (m)
- $t_{0,3}$: 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 : Koefesien, nilainya antara 1,5 – 3,0

t_p : Waktu puncak(jam)

Q_p : Debit puncak (m^3/det)

A : Luas DPS (km^2)

T_r : Durasi hujan (jam) = $(0,5 \times t_g)$ s/d $(1 \times t_g)$

R_0 : Satuan kedalaman hujan (mm)

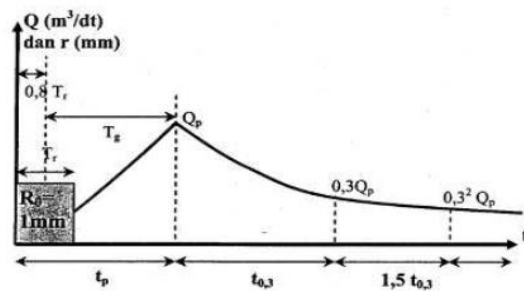
- Bagian lengkung naik ($0 < t < t_p$)

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{t_w} \right)^{2.4} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana

Q :Debit sebelum mencapai debit puncak (m^3/det)

t : Waktu (jam)



Gambar 2.4 Bentuk Hidrograf Satuan Nakayasu

- Bagian lengkung turun

Jika $t_p < t < t_{0,3}$

$$Q = Q_p \times 0.3^{\frac{t-t_p}{t_{0,3}}} \dots\dots\dots(2.37)$$

Jika $t_{0,3} < t < 1.5t_{0,3}$

$$Q = Q_p \times 0.3^{\frac{t-t_p+1.5t_{0.3}}{t_{0.3}}} \dots\dots\dots(2.38)$$

Jika $t > 1.5t_{0.3}$

$$Q = Q_p \times 0.3^{\frac{t-t_p+1.5t_{0.3}}{t_{0.3}}} \dots\dots\dots(2.39)$$

2.5 Sistem Pengendali Banjir

Pengendalian banjir adalah suatu kegiatan yang dimulai dari perencanaan, kemudain pelaksanaan pekerjaan dan pemeliharaan. Dengan tujuan untuk mengurangi debit banjir yang terjadi atau mencegah bahaya yang dapat menyebabkan kerugian akibat dari bvanjir itu sendiri.

Upaya untuk mencegah terjadinya banjir atau perencanaan penanggulangan banjir dapat dilakukan secara struktural dan non struktural (PUPR, 2017). Berikut upaya-upaya yang dilakukan secara struktural dan non struktural :

- a. Upaya secara struktural dapat berupa perbaikan dan pengaturan sistem sungai (normalisasi sungai, pembelokan alur sungai, perlindungan tanggul, dan lain sebagainya) dan bangunan pengendali banjir seperti bendungan, kolam retensi, pembuatan checkdam, dan bangunan pengendali lainnya, dimana pembangunan ini juga harus disesuaikan dengan kondisi di apangan yang ada.
- b. Upaya secara non struktural yang merupakan upaya penyesuaian dan pengaturan kegiatan manusia agar menjadi sepadan atau serasi dengan lingkungan seperti pengaturan pengendalian penggunaan lahan atau tata ruang, penegakan peraturan atau hukum, pengawasan, penyuluhan kepada masyarakat dan lain-lain sebagainya.

2.5.1 Kolam Retensi

Kolam retensi merupakan kolam yang menajadi tempat penampungan air hujan dalam jangka waktu tertentu, kola mini juga berfungsi sebagai pemotong puncak banjir yang terjadi dalam badan air/sungai.

Konsep dasar dari kolam retensi sendiri adalah dengan menampung volume air ketika debit maksimum datang atau inflow di sungai. kemudian secara perlahan

mengalirkan atau dikeluarkan ketika debit dari sungai sudah kembali normal. Dimana hal tersebut dapat memangkas besarnya puncak banjir yang ada di sungai, sehingga potensi *over topping* yang mengakibatkan kegagalan tanggul dan luapan sungai dapat tereduksi dengan baik.

Kolam retensi dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam, yaitu :

1. Kolam Alami

Kolam alami adalah kolam retensi yang berbentuk cekungan yang sudah terbentuk secara alami dan dapat dimanfaatkan baik dalam kondisi aslinya maupun dilakukan penyesuaian.

2. Kolam Non Alami (Buatan)

Kolam buatan adalah kolam retensi yang sengaja dibuat atau didesain dengan bentuk dan kapasitas tertentu pada lokasi yang telah direncanakan sebelumnya.

Adapun terdapat 3 (tiga) alternatif untuk pembuatan kolam retensi yang sering digunakan di daerah dataran rendah sebagai berikut:

1. Kolam retensi tipe di samping badan sungai, dengan kelengkapan system yang dibutuhkan sebagai berikut:
 - Kolam retensi
 - Pintu inlet dan outlet
 - Bangunan pelimpah samping
 - Jalan akses menuju kolam retensi
 - Saringan sampah

Kolam dengan pembangunan disamping badan sungai ini mempunyai kesesuaian tipe kolam terhadap kondisi sebagai berikut:

- Digunakan apabila adanya lahan untuk kolam retensi
- Kapasitas bisa optimal apabila lahan tersedia
- Tidak mengganggu sistem aliran yang ada
- Pemeliharaan lebih mudah
- Pelaksanaan lebih mudah



Gambar 2.5 Kolam Retensi Tipe di Samping Badan Sungai

Sumber : Direktorat Jendral Cipta Karya, 2012

2. Kolam retensi tipe di dalam badan sungai mempunyai kelengkapan system dan kesesuaiannya sebagai berikut :

- Kolam retensi
- Tanggul keliling
- Pintu outlet
- Bendung
- Saringan sampah
- Kolam penangkap sedimen

Dengan mempertimbangkan kesesuaian sistemnya adalah :

- Dipakai apabila lahan sulit didapat
- Kapasitas kolam retensi terbatas
- Mengganggu aliran yang ada di hulu
- Pelaksanaan lebih sulit
- Mengganggu aliran yang ada di hulu
- Pemeliharaan lebih mahal



Gambar 2.6 Kolam Retensi Tipe Di Dalam Sungai

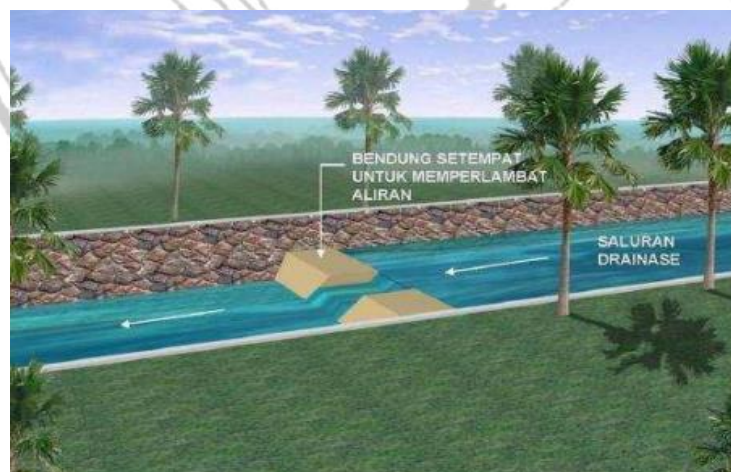
Sumber : Direktorat Jendral Cipta Karya, 2012

3. Kolam retensi tipe di storage memanjang mempunyai kelengkapan sistem sebagai berikut:

- Saluran yang lebar dan dalam
- Pembuatan cek dam / bendung setempat

Dengan mempertimbangkan kesesuaian tipenya berdasarkan:

- Mengoptimalkan saluran drainase yang ada karena lahan tidak tersedia
- Kapasitasnya terbatas
- Mengganggu aliran yang ada
- Pelaksanaan lebih sulit



Gambar 2.7 Kolam retensi tipe stprage memanjang

Sumber : Direktorat Jendral Cipta Karya, 2012

Fungsi lain dari kolam retensi adalah sebagai lahan resapan yang dijadikan lahan tertutup. Fungsi ini digunakan untuk menyerap air hujan langsung yang akan diresapkan kedalam tanah, sehingga kolam retensi harus rendah dari lahan. Jumlah volume, luas, dan kedalaman kolam ini sangat tergantung dari berapa lahan yang dialih fungsikan menjadi kawasan pemukiman. Dengan rumus :

$$V = (Q_t + Q_{t+1}) \cdot (T_t + T_{t+1}) \times 0,5 \times 60 \times 60 \dots \dots \dots (2.46)$$

Dimana :

Q_t : Debit (m^3/dt)

T_t : Waktu (jam)

2.6 Dimensi Kolam Retensi

2.6.1 Hidrolika Saluran

Analisa hidrolika dibutuhkan untuk mengetahui kapasitas saluran rencana. Sehingga diketahui debit maksimum yang dapat ditampung oleh setiap penampang sepanjang saluran. Kapasitas saluran ini digunakan sebagai acuan untuk perencanaan saluran agar mampu menampung debit tanpa luapan air

Perhitungan ini juga untuk menganalisis di bagian mana terjadinya luapan atau dapat digunakan untuk mengetahui dimana terjadi hambatan pada alur sungai. Maka dari itu akan dapat diketahui bagian mana yang akan dilakukan perbaikan sungai. Perhitungan kapasitas saluran dihitung dengan rumus:

$$Q = \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S_o^{\frac{1}{2}}\right) \times A \dots \dots \dots (2.40)$$

Dimana:

Q = debit saluran (m^3/dt)

n = koefisien kekerasan manning

R = jari-jari hidrolis (m)

S_o = kemiringan dasar sungai

A = luas penampang basah (m^2)

Tabel 2.12 Harga Koefisien Manning

No	Jenis Permukaan	n
1	Besi tulang dilapis	0.014
2	Kaca	0.01
3	Saluran beton	0.013
4	Bata dilapis mortar	0.015
5	Pasangan batu disemen	0.025
6	Saluran tanah bersih	0.022
7	Saluran tanah	0.03
8	Saluran dengan dasar batu dan tebing Rumput	0.04
9	Saluran galian batu padas	0.04

Sumber: Triatmodjo, 2008

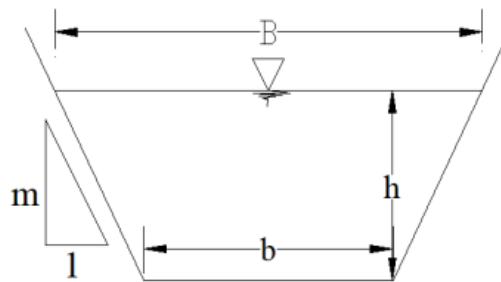
Untuk j enis dan bentuk saluran disesuaikan dengan keadaan lingkungan setempat. Bentuk dan jenis saluran yang sering digunakan adalah:

- Saluran tertutup

Saluran jenis ini digunakan pada daerah yang kepadatan penduduknya tinggi sehingga ruangnya terbatas, misalnya pada pemukiman padat, dan jalan-jalan protokol.

- Saluran terbuka

Saluran terbuka terdiri dari dua bentuk dengan karakteristik dan rumus hidrolika yang berbeda, saluran berbentuk segi empat dan trapezium. Untuk rumus saluran terbuka dengan bentuk segi empat sebagai berikut;



Gambar 2.8 Penampang Saluran Trapezium

- Luas (A) $= bh + mh^2 \dots\dots\dots(2.41)$
- Keliling basah (P) $= b + 2h\sqrt{1 + m^2} \dots\dots\dots(2.42)$
- Jari-jari Hidrolik (R) $= \frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}} \dots\dots\dots(2.43)$

- Lebar Puncak (B) = $b + 2mh$(2.44)

- Kedalaman Hidrolik (D) = $\frac{A}{B}$(2.45)

2.6.2 Volume Kolam Retensi

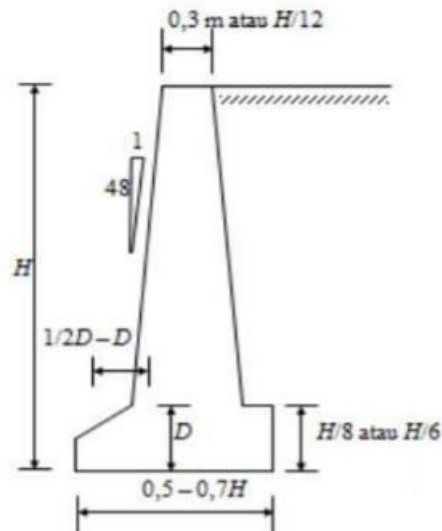
Kolam retensi didesain dengan bentuk dan kapasitas tertentu di lokasi yang telah direncanakan sebelumnya. Pada kolam retensi, air yang masuk kedalam atau debit inlet dapat harus menampung air sesuai dengan kapasitas yang telah direncanakan. Maka hal ini dapat mengurangi atau memotong debit banjir pada saat *over flow*. Sehingga kolam retensi dapat berfungsi sebagai tempat untuk mengurangi debit banjir dikarenakan adanya penambahan waktu pada konsentrasi air yang digunakan mengalirkan dipermukaan. (Pengajar et al., 2005)

2.6.3 Dinding Penahan

Dinding penahan tanah adalah suatu bangunan yang direncanakan untuk kontruksi penahan gaya tekanan aktif lateral dari tanah Maka dengan itu dinding penahan harus diperhitungkan agar aman dari gaya-gaya yang bekerja mengakibatkan keruntuhan perubahan posisi (*displacement*) dinding penahan serta klasifikasi tanah juga sangat berpengaruh dalam besar kecilnya gaya lateral. Maka dari itu dapat diperhitungkan nilai faktor keamanan dan stabilitas konstruksi dinding penahan dinding tersebut (Das, 1995).

Tipe dinding penahan tanah yang digunakan dalam perencanaan kolam retensi ini adalah tipe gravitasi (*Gravity Wall*), dinding penahan tipe ini adalah dinding penahan yang umumnya digunakan pada lereng yang memiliki ketinggian cenderung pendek. Material yang digunakan juga menggunakan pasangan batu kali atau beton.

- Tekanan Tanah Aktif dan Pasif



Gambar 2.9 Bentuk Dinding Penahan Gravity Wall

Sumber : Teknes (1997, p.72)

Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.46)$$

$$K_p = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.47)$$

Keterangan:

K_a : Koefesien tekanan aktif

K_p : Koefesien tekanan pasif

φ : Sudut geser tanah

Tekanan tanah aktif total (P_a) dinding penahan setinggi H sama dengan luas diagram tekanannya, dan dapat digambarkan dengan rumus:

$$P_a = 0,5 \times H^2 \times \gamma \times K_a \dots \dots \dots (2.47)$$

Keterangan:

P_a : Tekanan tanah pasif total

γ : Berat volume tanah

K_p : Koefesien tekanan pasif

H : Tinggi dinding penahan

- Kontrol Stabilitas Bangunan

Perhitungan stabilitas dinding penahan ini perlu adanya analisis mengenai kestabilan kontruksi, dimana tujuannya untuk dapat berdiri dengan kokoh. Dengan

adanya perhitungan mekanika tanah, maka dapat ditentukan apakah bangunan tersebut sesuai dengan stabilitas keamanan yang diinginkan atau tidak. Adapun faktor-faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas keamanan konstruksi bangunan adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas terhadap guling
2. Stabilitas terhadap geser
3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah
4. Stabilitas terhadap daya angkat

2.6.4 Stabilitas Terhadap Guling

Stabilitas terhadap guling merupakan stabilitas yang ditinjau berdasarkan kondisi tanah terguling yang diakibatkan oleh tekanan tanah lateral. Jika momen vertikal tidak dapat menahan gaya horizontal maka bangunan akan mengalami kerusakan yaitu dapat dikatakan bahwa bangunan terguling. Untuk perhitungan stabilitasnya terhadap bahaya guling harus dilakukan dengan perhitungan dalam kondisi normal (tanpa gempa) dan saat kondisi gempa, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Kondisi normal

$$SF = \frac{\sum M_t}{\sum M_g} \geq 1,5 \dots \dots \dots (2.48)$$

- Kondisi gempa

$$SF = \frac{\sum M_t}{\sum M_g} \geq 1,25 \dots \dots \dots (2.49)$$

Keterangan:

SF : Angka keamanan

M_v : Momen vertikal semua gaya terhadap titik guling (ton.m)

M_h : Momen horizontal semua gaya terhadap titik guling (ton.m)

2.6.5 Stabilitas Terhadap Geser

Stabilitas terhadap geser merupakan perbandingan gaya-gaya yang menahan dan mendorong, maka gaya-gaya tersebut adalah gesekan antara tanah dengan dasar pondasi serta tekanan tanah pasif akibat timbunan. Kestabilan ini penyebabnya merupakan gaya horizontal aktif atau gaya geser yang dapat diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

- Kondisi normal

$$SF = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1,5 \dots\dots\dots(2.50)$$

- Kondisi gempa

$$SF = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1,25 \dots\dots\dots(2.51)$$

Keterangan:

SF : Angka keamanan

F : Koefisien gesekan

$\sum V$: Jumlah gaya vertical (ton)

$\sum H$: Jumlah gaya horizontal (ton)

2.6.6 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Analisa kapasitas daya dukung tanah bertujuan untuk mengetahui tanah dalam hal mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Kapasitas ini merupakan konstruksi tahanan geser yang digunakan untuk melawan penurunan akibat pembebanan dan merupakan tahanan geser yang dapat diteruskan oleh tanah sepanjang bidang gesernya. Berikut ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam perencanaan pondasi antara lain:

1. Faktor keamanan terhadap keruntuhan yang dikarenakan kelebihan kapasitas daya dukung tanah yang harus dipenuhi. Dalam perhitungan kapasitas dukung, umumnya dapat menggunakan faktor keamanan dengan sejumlah 3.

2. Penurunan yang terjadi pada pondasi harus memenuhi batas nilai yang ditoleransi, khususnya untuk penurunan yang tak seragam harus tidak menyebabkan kerusakan pada struktur.

Dengan penjelasan di atas maka, stabilitas harus dalam jangka waktu yang panjang serta harus memperhatikan perletakan dasar pondasi. Dimana pondasi juga harus diletakkan pada kedalaman yang sekiranya cukup untuk mengatasi atau menanggulangi resiko terjadinya erosi permukaan, gerusan, mengembang atau menyusutnya tanah, serta berbagai macam gangguan tanah disekitar pondasi. Untuk menghitung kapasitas daya dukung tanah dengan kestabilanya maka dapat menggunakan daya dukung Terzaghi, Meyerhf, dan Hansen (Mm & Bahtiar, n.d.).

Persamaan Terzaghi hanya dapat berlaku pada pondasi yang dibebani secara vertikal dan sejajar. dengan rumus sebagai berikut:

$$q_u = c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots(2.52)$$

Keterangan:

- c : Kohesi tanah (Kn/m^2)
 D_f : Kedalaman pondasi (m)
 γ : Berat volume tanah (Kn/m^3)
 B : Lebar kaki dinding penahan (m)
 N_c, N_q, N_γ : Faktor-faktor kapasitas dukung Terzagghi

Maka untuk daya dukung tanah yang diijinkan adalah;

$$Q_a = \frac{q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.53)$$

Keterangan :

- q_u : Kapasitas dukung ultimit
 SF : Angka keamanan

2.6.7 Stabilitas Terhadap Daya Angkat

Dapat diketahui tekanan di bawah bangunan menginduksi atau menekan tekanan yang berada di atasnya. Tekanan di atasnya merupakan gaya gerak untuk mengangkat bangunan ke atas, dengan atau tanpa adanya pondasi tiang maka gaya tekan hanya terdiri dari berat bangunannya saja.

Pondasi pada dinding penahan tekanan angkat (*Uplift*) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

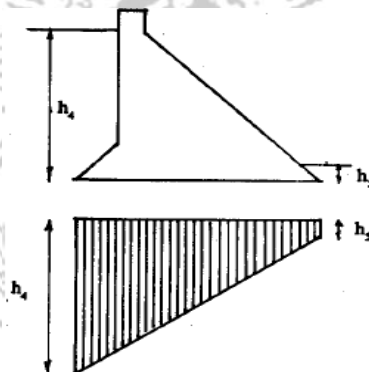
$$P_u = \frac{1}{2}(h_1 + h_2)B \dots \dots \dots (2.54)$$

Keterangan:

P_u : Gaya uplift ($t.m^{-2}$)

h_1 : Tinggi muka air hulu (m)

h_2 : Tinggi muka air hilir (m)



Gambar 2.10 Tekanan Angkat Pada Pondasi Dinding Penahan
Sumber : Soedibyo (2003, p.111)

2.6.8 Dasar Perhitungan Pembebanan

Dalam perencanaan perhitungan bangunan dinding penahan tidak hanya menghitung stabilitasnya akan tetapi juga harus mempertimbangkan pembebanan yang akan diterimanya. Faktor pembebanan yang mempengaruhi ada berbagai gaya yang bekerja terhadap bangunan tersebut. Pada perhitungan ini dibagi menjadi 2 pembebanan yakni:

- a. Beban vertikal

Pada pembebanan vertikal ditinjau dari beberapa gaya yang bekerja yakni:

- Berat bangunan

Berat bangunan sendiri mempunyai pengaruh terhadap gaya vertikal. Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut:

$$W = \gamma_{\text{beban}} \times V \dots \dots \dots (2.55)$$

Keterangan :

W : Berat sendiri (ton)

γ_{beban} : Berat jenis bahan (t/m^3)

V : Volume beban (m^3)

- Berat air

Air sendiri juga mempunyai berat yang dapat mempengaruhi terhadap gaya vertikal pada perhitungan pembebanan. Berikut adalah perhitungan berat air sebagai berikut:

$$W = \gamma \times V \dots \dots \dots (2.56)$$

Keterangan :

W : Berat sendiri (ton)

γ_w : Berat jenis bahan (t/m^3)

V : Volume beban (m^3)

- *Uplift*

Perhitungan gaya angkat *uplift* yang bekerja dapat dengan menggunakan rumus Lane, berikut adalah perhitungan yang dapat digunakan:

$$P_x = h_x - \left(\frac{l_x}{l}\right) \times \Delta H \dots \dots \dots (2.57)$$

Keterangan:

P_x : Tekanan uplift pada x (Kn/m^2)

h_x : Tinggi air di hulu (m)

l_x : Panjang lintasan air rembesan pada titik x (m)

l : Panjang total lintasan air rembesan (m)

ΔH : Perbedaan muka air di hulu dan hilir (m)

- b. Beban horizontal

Pembebanan horizontal ini dapat di pratinjau gaya yang bekerja pada pelimpah secara horizontal anatara lain sebagai berikut:

- Tekanan tanah aktif

Tekanan tanah aktif muncul saat tanah bergerak dengan arah yang sama terhadap struktur penahan. Berikut adalah perhitungan dari tekanna tanah aktif.

$$P_a = \int_{z_0}^H P_a \, dZ$$

$$= \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_1 \times H^2 \dots \dots \dots (2.58)$$

$$K_a = \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.59)$$

Keterangan:

P_a : Tekanan tanah aktif (ton)

γ_1 : Berat jenis tanah (t/m^3)

H : Tinggi tanah (m)

K_a : Koefeseien tekanan tanah aktif

- Tekanan tanah pasif

Tekanan tanah pasif adalah perlawanan dimana saat struktur bangunan bergerak melawan tanah. Dengan meperhatikan rumusan sebagai berikut:

$$P_p = \int_{z_0}^H P_p \, dZ$$

$$= \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma_1 \times H^2 \dots \dots \dots (2.60)$$

$$K_p = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.61)$$

Keterangan:

P_p : Tekanan tanah pasif (ton)

γ_1 : Berat jenis tanah (t/m^3)

H : Tinggi tanah (m)

K_p : Koefesien tekanan tanah pasif

2.6.9 Pintu Keluaran (*Outlet*)

Pintu *Outlet* berfungsi sebagai pengatur debit *outflow* yang keluar, untuk mengeluarkan debit menuju saluran lain ketika banjir telah mengalami penurunan (surut).

Pintu keluaran pada tampungan kolam retensi ini umumnya menggunakan pintu tipe *sluice gate* dan pintu klep otomatis.

a. Pintu Air *Sluice*

Pintu ini terdiri dari dua jenis yaitu pintu air normal dan elektromekanik. Pintu manual berfungsi saat aliran bertekanan kecil dan untuk mengatur aliran air dengan membuka dan menutup pintu yang dilakukan menggunakan tenaga manusia.

Sedangkan pintu elektomekanik berfungsi ketika aliran air bertekan lebih besar maka ukurannya juga besar dan bahan bakar yang dibutuhkan umumnya lebih kuat seperti baja. Dan untuk membuka dan menutup pintu ini menggunakan bantuan tenaga mesin.

Maka dengan itu didapat dengan rumus :

$$Q = k \cdot \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2gh_1} \dots \dots \dots (2.52)$$

Dimana :

Q : Debit pelepasan (m^3/dt)

K : Faktor aliran tenggelam (0,7)

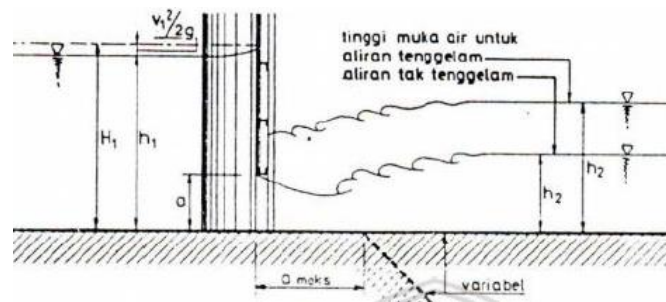
μ : Koefesien debit (0,9-1,3) dianggap aliran pada pintu yang merupakan aliran subkritis

a : Bukaannya pintu (m)

b : Lebar pintu (m)

g : Percepatan gravitasi (m/dt^2)

h^1 : Tinggi muka air di hulu pintu di atas ambang (m)

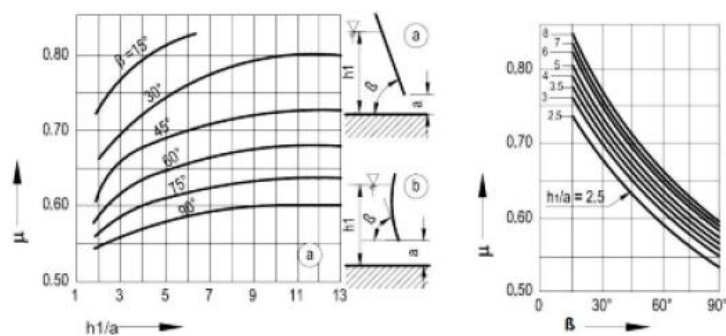


Gambar 2.11 Aliran Di Bawah Pintu Sorong Dengan Dasar Horizontal

Perencanaan pintu ini juga perlu mempertimbangkan pembangunannya berdasarkan kelebihan dan kekurangan sebagai pintu keluarnya debit outflow dan kolam retensi.

- Kelebihan
 1. Tinggi muka air di hulu dapat dikontrol dengan tepat
 2. Pintu bilas kuat dan sederhana
 3. Sedimen yang terangkut dapat melewati pintu bilas
- Kekurangan :

Potensi adanya benda-benda yang hanyut seperti sampah yang dapat bersangkut di pintu dan hal ini dapat mengganggu kelancaran pengoperasian pintu. Tetapi hal ini dapat dihindari dengan melaukan pemeliharaan yang baik.



Gambar 2.12 Koefesien μ untuk permukaan pintu datar atau lengkung

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum, 2013

Pintu Sorong dan pintu radial dapat dihitung dengan rumus diatas dengan koefesien yang diberikan pada gambar 2.12.

b. Pintu Klep Otomatis

Pintu ini pengoperasiannya dilakukan secara otomatis dengan membuka dan menutupnya setiap perubahan muka air di hulu ataupun di hilir. Berikut ada beberapa fungsi utama pintu ini adalah :

1. Dapat menahan air *backwater* atau aliran balik
2. Mampu bekerja pada tinggi muka air yang rendah
3. Menunjang sistem tata air satu arah
4. Pembuatan dan kontrol mutu seperti fabrikasi, pemasangan, operasional, dan pemeliharaan yang praktis dan efisien.

