

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Sungai merupakan tempat tinggal habitat, hewan dan tumbuhan, permasalahan sering muncul di daerah ini berupa kekeringan padamusim kemarau dan banjir pada musim hujan, Banjir terjadi karena ketidak mampuan sungai dalam menampung dan menyimpan air hujan yang turun di wilayah tersebut, Air hujan yang jatuh di dalam DAS (daerah aliran sungai) tersebut sebagianbesar akan membentuk limpasan permukaan (*oferland flow*) dan hanya sebagian kecil yang tersimpan di dalam tanah. Air hujan masuk kedalam tubuh sungai membentuk aliran permukaan dan hanya sedikit yangdapat tertampung dalam tanah yang akan membentuk air tanah.

Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat terjadi pada suatu daerah dengan menimbulkan kerugian harta benda masyarakat, merusak bangunan, prasarana dan sarana serta lingkungan hidup dan bahkan merusak tata kehidupan masyarakat serta menimbulkan korban jiwa. Oleh karena itubanjir perlu ditanggulangi dan dikendalikan. sedikitnya terdapat lima faktor penting penyebab banjir (yaitu) :

- a. Faktor hujan
- b. Faktor DAS
- c. Faktor kemampuan daya tampung alur sungai
- d. Faktor pendangkalan
- e. Dan faktor tata wilayah dan pembangunan sarana prasarana.

2.2 Siklus Hidrologi

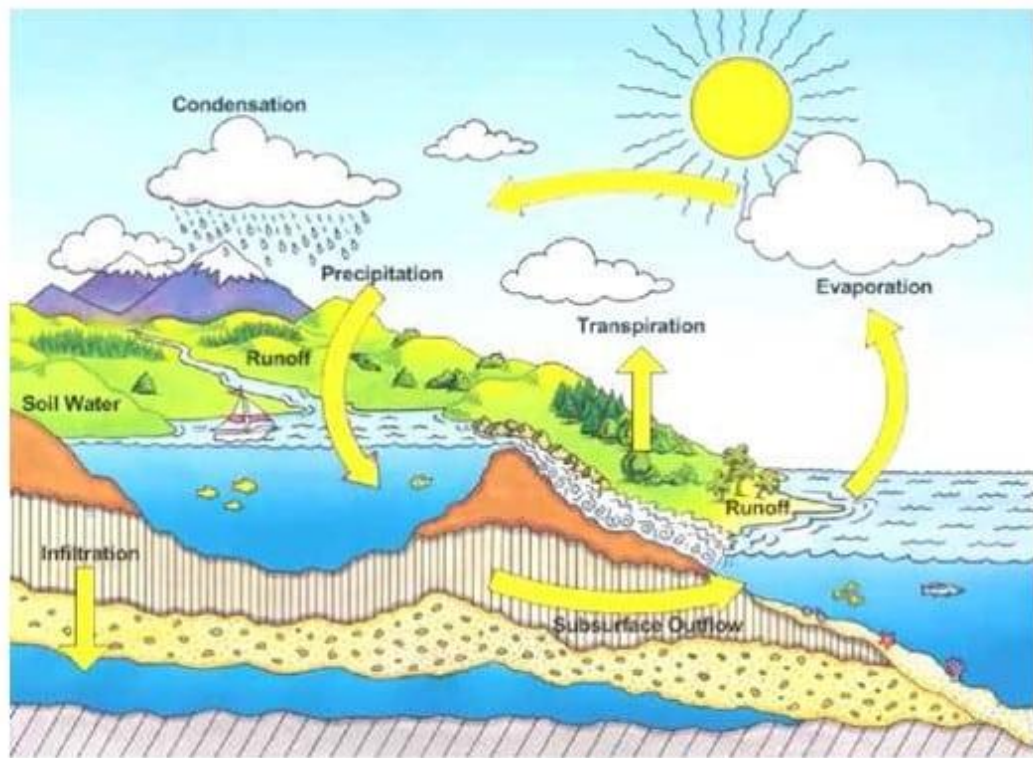
Siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, kemudian jatuh ke permukaan tanah, dan akhirnya mengalir ke laut kembali. Siklus peristiwa tersebut tidaklah sederhana, karena itu dapat berupa siklus pendek yaitu hujan yang segera dapat mengalir kembali ke laut, Siklus sedang yaitu penguapan terjadi dipermukaan laut, terjadi kandensasi uap air terbawa angin, kemudian terbentuk awan diatas daratan, terjadi hujan didaratan, dan mengalir lagi ke laut melalui sungai dipermukaan dan Siklus panjang yatu penguapan terjadi dipermukaan laut,

terjadi kondensasi, uap air terbawa angin dan membentuk awan di atas daratan hingga ke pegunungan tinggi, kemudian jatuh sebagai salju, terbentuk gletser, mengalir ke sungai dan kembali lagi ke laut.

Selama musim kemarau kelihatannya siklus hidrologi seolah-olah berhenti, sedangkan dalam musim hujan berjalan kembali, serta intensitas dan frekuensi siklus hidrologi tergantung kepada letak geografi dan keadaan iklim suatu lokasi. Siklus ini berjalan karena sinar matahari. Posisi matahari akan berubah setiap masa menurut meridiannya meskipun sebenarnya posisi bumi yang berubah. Berbagai bagian siklus dapat menjadi sangat kompleks, sehingga kita hanya dapat mengamati bagian akhir saja terhadap suatu curah hujan di atas permukaan tanah yang kemudian mencari jalannya untuk kembali ke laut.

siklus hidrologi terus bergerak secara kontinu dalam tiga cara yang berbeda:

- a. Evaporasi / transpirasi adalah air yang ada di laut, di daratan, sungai, tanaman dan sebagainya..kemudian akan menguap ke angkasa (atmosfer) dan kemudian akan menjadi awan. Pada keadaan jenuh uap air (awan) itu akan menjadi bintik-bintik air yang selanjutnya akan turun (precipitation) dalam bentuk hujan, salju, hujan es.
- b. Infiltrasi / Perkolasi ke dalam tanah adalah air bergerak ke dalam tanah melalui celah-celah dan pori-pori tanah dan batuan menuju muka air tanah. Air dapat bergerak akibat aksi kapiler atau air dapat bergerak secara vertikal atau horizontal di bawah permukaan tanah hingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan.
- c. Air Permukaan adalah air bergerak di atas permukaan tanah dekat dengan aliran utama dan danau, makin landai lahan dan makin sedikit pori-pori tanah, maka aliran permukaan semakin besar. Aliran permukaan tanah dapat dilihat biasanya pada daerah urban. Sungai-sungai bergabung satu sama lain dan membentuk sungai utama yang membawa seluruh air permukaan disekitar daerah aliran sungai menuju laut.



Gambar 2.1.Siklus Hidrologi
(Sumber goeagle)

2.3 Normalisasi Sungai

Normalisasi sungai adalah suatu metode yang digunakan untuk menyediakan alur sungai dengan kapasitas mencukupi untuk mengalirkan air, terutama air yang berlebih saat curah hujan tinggi. Tujuan normalisasi sungai antara lain untuk keperluan navigasi, melindungi tebing sungai karena erosi (kikisan), atau untuk memperluas profil sungai guna menampung banjir-banjir yang terjadi.

Penanganan banjir dengan cara normalisasi dilakukan pada penampang sungai yang kapasitasnya sudah tidak memenuhi terhadap debit banjir yang melewati. Normalisasi yang akan dilakukan tergantung dari bentuk penampangnya yaitu yang sering digunakan adalah penampang dalam bentuk persegi dan penampang dalam bentuk trapesium. Perhitungan penampang disesuaikan dengan debit banjir rencana atau Q_{desain} yang kemudian dapat ditemukan dimensi penampang desain yang mampu menampung debit banjir rencana. Dimensi saluran yang akan ditentukan adalah lebar, tinggi penampang basah, kemiringan, dan tinggi jagaan.

Dalam perencanaan normalisasi sungai dibutuhkan data-data yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan normalisasi sungai. Data-data yang digunakan tersebut antara lain adalah:

- a. Peta Topografi, yaitu peta yang menggambarkan situasi tempat yang akan dinormalisasikan dan menggambarkan potongan melintang dan memanjang sungai. Peta topografi juga digunakan untuk mengetahui daerah aliran sungai dan catchment area.
- b. Data hidrologi merupakan data yang menerangkan tentang data curah hujan di daerah aliran sungai tempat akan dinormalisasikan serta mencakup data evapotranspirasi dan perkolasi.
- c. Data sungai, yaitu data mengenai morfologi sungai, elevasi dasar sungai, data debit aliran.
- d. Data geologi, yaitu data mengenai kondisi permukaan tanah serta keadaan struktur lapisan tanah di tempat yang akan dinormalisasikan.
- e. Data tanah, yaitu data mengenai jenis tanah termasuk angka permeabilitas tanah, tegangan dan koefisien geser tanah.
- f. Standar perencanaan yang merupakan dasar-dasar perencanaan berupa aturan-aturan yang dijadikan acuan dalam menormalisasikan sungai.

2.4 Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS adalah suatu wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung gunung, yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama. Wilayah tersebut dinamakan Daerah Tangkapan Air (DTA) atau catchment area yang merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumberdaya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam.

DAS menurut pasal 1 Undang-undang No. 7 Tahun 2004 tentang sumber daya air adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau laut secara alami, dan

batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Umumnya DAS yang semakin luas mencerminkan sungai yang semakin besar. DAS dapat dibagi menjadi daerah hulu, tengah dan hilir. Secara biogeofisik, daerah hulu dicirikan sebagai daerah konservasi dengan kemiringan besar, memiliki vegetasi berupa hutan, merupakan sumber erosi karena alur sungai melalui daerah pegunungan dan mempunyai kecepatan aliran yang lebih besar dari pada bagian hilir. Daerah hilir memiliki ciri-ciri kemiringan lereng yang relatif datar sehingga menjadi daerah pemanfaatan, jenis vegetasi didominasi oleh tanaman pertanian. Sementara daerah bagian tengah merupakan peralihan antarabagian hulu dan hilir, kemiringan sungai lebih landai sehingga kecepatan aliran relatif kecil.

2.5 Limpasan

Runoff atau limpasan merupakan sisa air yang keluar dari hujan yang jatuh ke permukaan dan tidak terserap ke dalam tanah. Sebagian curah hujan yang mencapai permukaan tanah akan diserap ke dalam tanah, dan sebagian lagi yang tidak terserap akan menjadi limpasan permukaan. Jumlah yang disimpan di dalam tanah tergantung dari kondisi kandungan air tanah pada saat presipitasi. Limpasan terjadi saat air yang sampai ke permukaan tanah melebihi tingkat infiltrasi atau kemampuan tanah menyerap air. Ketika tingkat infiltrasi dilampaui, maka air mulai menggenang pada permukaan tanah. Namun setelah tahanan permukaan terlampaui, air mulai mengalir di atas permukaan tanah dan berkumpul di saluran-saluran alam.

Berikut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan :

a. Intensitas curah hujan

Karakteristik hujan memegang peranan penting dalam limpasan yang akan terjadi. Hujan kecil mungkin akan semuanya terintersepsi oleh tumbuhan atau disimpan dalam tanah. Hujan deras dengan durasi singkat dapat menyebabkan limpasan yang besar karena tingkat hujan jauh melampaui kemampuan kapasitas infiltrasi.

b. Karakteristik daerah pengaliran

Karakteristik daerah dimana hujan turun juga berperan penting dalam menentukan kuantitas limpasan yang akan terjadi. Ukuran dan bentuk daerah pengaliran, juga memegang peranan. Daerah pengaliran yang panjang dan sempit biasanya memiliki tingkat limpasan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah pengaliran yang luas.

c. Kondisi topografi daerah pengaliran

Elevasi daerah pengaliran mempunyai hubungan yang penting terhadap curah hujan. Demikian juga gradiennya mempunyai hubungan dengan infiltrasi, limpasan permukaan, kelembaban, dan pengisian air tanah. Gradien daerah pengaliran adalah salah satu faktor yang mempengaruhi waktu mengalirnya aliran permukaan (waktu konsentrasi).

d. Kondisi penggunaan tanah (landuse)

Hidrograf sebuah sungai dipengaruhi oleh kondisi penggunaan tanah dalam daerah pengaliran itu. Daerah hutan yang ditutupi tumbuh-tumbuhan yang lebat menjadi sulit air menyebabkan limpasan permukaan karena kapasitas infiltrasinya sangat besar. Apabila daerah tersebut dijadikan pemukiman maka kapasitas infiltrasi daerah tersebut akan turun karena pemampatan permukaan tanah.

2.6 Catchment Area

Catchment area merupakan suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh punggung bukit atau batas-batas pemisah topografi, yang berfungsi menerima, menyimpan dan mengalirkan curah hujan yang jatuh di atasnya ke alur-alur sungai dan terus mengalir ke anak sungai dan ke sungai utama, akhirnya bermuara ke danau/waduk atau ke laut.

2.7 Analisa Curah Hujan(Presipitasi)

Curah hujan adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar dalam satuan milimeter.

2.7.1 Curah Hujan Terpusat (*Point Rainfall*)

Curah hujan terpusat adalah curah hujan yang didapat dari hasil pencatatan alat pengukur curah hujan atau data curah hujan yang akan diolah yaitu data kasar atau data mentah yang tidak dapat langsung dipakai dan harus diolah sesuai dengan kebutuhan.

Data curah hujan yang dihasilkan dapat berupa kesimpulan data yaitu :

- a. Besarnya curah hujan perjam
- b. Jumlah hujan perhari dan lamanya
- c. Jumlah hujan perbulan
- d. Jumlah curah hujan pertahun
- e. Besarnya hujan harian maksimum dalam 1 tahun selama pengamatan periode tertentu.

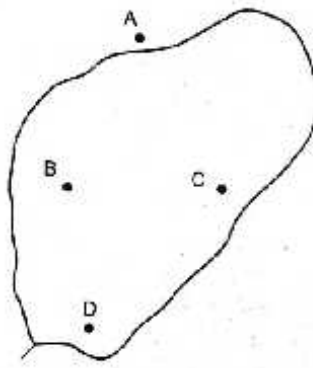
2.7.2 Curah Hujan Kawasan (*Areal Rainfall*)

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau satu titik saja (*point rainfall*). Bila dalam suatu daerah terdapat beberapa stasiun pencatat curah hujan, maka untuk mendapatkan curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

Untuk menghitung tinggi hujan dikawasan, ada tiga metode yang umum biasa digunakan, yaitu metode rata-rata aljabar, metode thiessen dan metode isohyet.

2.7.2.1 Metode Rata-rata Aljabar (*Arithmetic Mean Methode*)

Merupakan metode yang paling sederhana dalam analisa hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang sama. Penentuan rerata curah hujan dengan metode aljabar didapatkan dengan cara menjumlahkan curah hujan harian maksimum masing-masing stasiun dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun, dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Stasiun Hujan pada DAS (Sumber : Hidrologi Teknik, 2013)

$$\bar{R} = \frac{R_A + R_B + R_C + R_D + \dots + R_n}{N}$$

Dimana :

$\bar{R}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

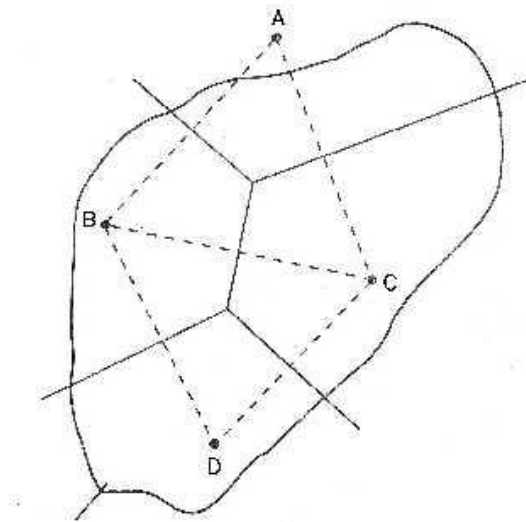
$R_A, R_B, R_C, R_D, \dots, R_n$ = Curah hujan maximum pada stasiun A, B, C, D, ..., n

N = Jumlah stasiun pada DAS

2.7.2.2 Metode Poligon Thiessen

Cara ini digunakan dengan memplot stasiun hujan yang dipilih ke gambar *catchment area* kemudian masing-masing stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus sehingga membentuk segitiga-segitiga, setelah itu dibuat garis sumbu yang saling tegak lurus dengan sisi-sisi segitiga sehingga membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Luas tiap poligon diukur sehingga akan didapat luas *catchment area* yang akan diwakili oleh masing-masing stasiun.

Dengan mendapatkan luas *catchment area* yang diwakili oleh masing-masing stasiun, maka dapat ditentukan curah hujan rerata dengan perumusan:



Gambar 2.3 Poligon Thiessen

(Sumber : Hidrologi Teknik, 2013)

$$\bar{R} = \frac{R_A \cdot A_A + R_B \cdot A_B + R_C \cdot A_C + R_D \cdot A_D + \dots + R_n \cdot A_n}{A}$$

Dimana :

$\bar{R}$ = Tinggi curah hujan rata-rata (mm)

$R_A, R_B, R_C, R_D, \dots, R_n$ = Curah hujan maximum pada stasiun A, B, C, D, ..., n

$A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_n$ = Luas daerah yang terwakili oleh stasiun A, B, C, D, ..., n

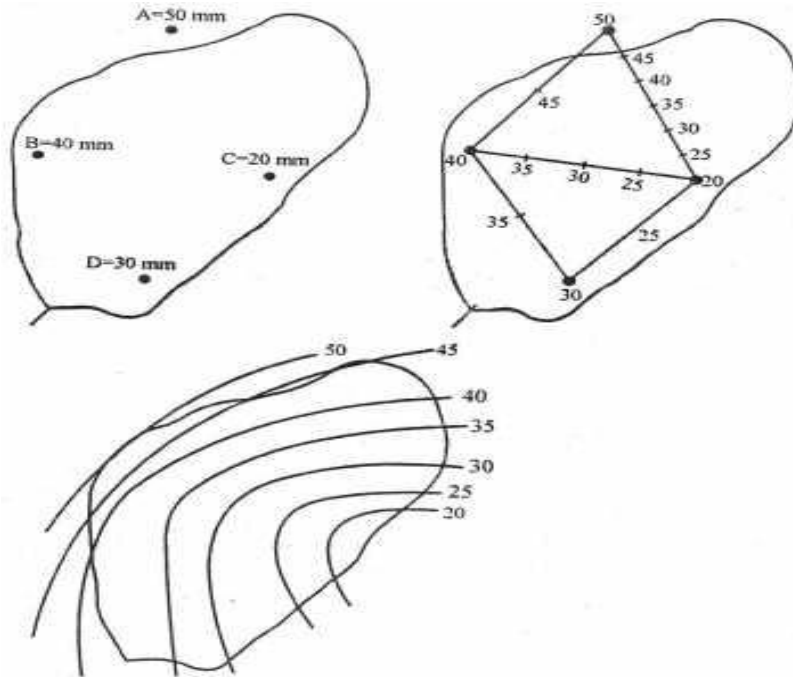
A = Luas catchment area (Km²)

2.7.2.3 Metode Isohyet

Isohiet adalah garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki tinggi hujan yang sama. Pada metode isohiet, daerah yang berada diantara dua garis isohiet dianggap memiliki tinggi hujan yang sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet tersebut.

Cara ini adalah cara rasionil yang terbaik jika garis-garis isohiet dapat digambarkan dengan teliti, namun dapat saja terjadi penyimpangan pada saat pembuatan peta isohiet jika titik-titik pengamatan itu banyak dan variasi curah hujan di daerah bersangkutan besar.

Secara matematis hujan rerata pada daerah aliran dapat dihitung dengan persamaan berikut:



Gambar 2.4 Metode Isohyet

(Sumber : Hidrologi Teknik, 2013)

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Dimana :

$\bar{R}$ = Tinggi curah hujan rata-rata (mm)

$I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ = Curah hujan maximum pada stasiun 1, 2, 3, ..., n

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Luas daerah yang dibatasi oleh garis isohyet ke 1 dan 2, 2 dan 3, ..., n dan n+1 (Km²)

Setiap metode yang akan kita gunakan dalam mengukur hujan perlu diperhatikan dan mempertimbangkan tiga faktor sebagai berikut :

1. Jaring-jaring stasiun pengukur hujan

Jumlah stasiun pengukur hujan cukup	Metode Isohyet, Thiessen atau Rata-Rata Aljabar dapat dipakai
Jumlah stasiun pengukur hujan terbatas	Metode Rata-Rata Aljabar atau Thiessen
Stasiun pengukur hujan tunggal	Metode hujan titik

2. Luas daerah aliran sungai

DAS besar (> 5000 Km ²)	Metode Isohyet
DAS sedang (500 - 5000 Km ²)	Metode Thiessen
DAS kecil (< 500 Km ²)	Metode rata-rata aljabar

3. Topografi daerah aliran sungai

Pegunungan	Metode rata-rata aljabar
Dataran	Metode Thiessen
Berbukit	Metode Isohyet

2.8 Analisa Curah Hujan Rencana

Curah hujan *return period* atau curah hujan rencana adalah perkiraan besarnya curah hujan yang akan terjadi pada periode tertentu seperti curah hujan 5 tahunan, 10 tahunan, 25 tahunan, 50 tahunan, 100 tahunan dan 200 tahunan. Data curah hujan *return period* ini nantinya yang akan dipergunakan untuk mencari debit banjir rencana.

Untuk perhitungan curah hujan rencana ini dapat dipakai beberapa metode seperti metode gumbel, metode hasper, metode weduwen.

2.8.1 Metode Gumbel

Data-data metode ini yang harus tersedia adalah curah hujan tahunan dengan pengamatan minimum 10 tahunan.

Rumus :

$$R = \bar{R} + \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \cdot S_x$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (R - \bar{R})^2}{n-1}}$$

Dimana :

R=Hujan dengan return periode T (mm)

$\bar{R}$ = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

n = Banyak data tahun pengamatan

S_x=Standart deviasi

Y_n= Reduced mean (hubungan dengan banyak data, n)

Y_T= Reduced variate (hubungan dengan return Period, t)

S_n= Reduced standar deviation (hubungan dengan banyaknya data, n).

Nilai Y_T, Y_n dan S_n telah ditetapkan dalam tabel.

Untuk nilai Y_t, S_n, Y_n digunakan Tabel.

Tabel 2.1 Reduced Variated sebagai Fungsi Balik Waktu

Return Period (Tahun) T	Reduced variated (Yt)
2	0.30651
5	1.4999
10	2.25037
20	2.97019
50	3.90194
100	4.60015
200	5.29561
500	6.21361
1.000	6.90726

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Tabel 2.2 Reduced Mean (Y_n) & Reduced Standar Deviasi (S_n)

N	Yn	Sn	N	Yn	Sn	n	Yn	Sn
8	0.4843	0.9043	39	0.543	1.1388	70	0.5548	1.1854
9	0.4902	0.9288	40	0.5436	1.1413	71	0.5550	1.1863
10	0.4952	0.9496	41	0.5362	1.1436	72	0.5552	1.1873
11	0.4996	0.9676	42	0.5371	1.1458	73	0.5555	1.1881
12	0.5035	0.9833	43	0.538	1.1480	74	0.5557	1.1890

13	0.5070	0.9971	44	0.5388	1.1490	75	0.5559	1.1898
14	0.5100	1.0096	45	0.5396	1.1518	76	0.5561	1.1906
15	0.5128	1.0206	46	0.5402	1.1538	77	0.5563	1.1915
16	0.5157	1.0316	47	0.5410	1.1557	78	0.5565	1.1923
17	0.5181	1.0411	48	0.5418	1.1574	79	0.5567	1.1930
18	0.5202	1.0493	49	0.5428	1.1590	80	0.5569	1.1938
19	0.5220	1.0565	50	0.5430	1.1607	81	0.5570	1.1945
20	0.5236	1.0628	51	0.5436	1.1623	82	0.5572	1.1953
21	0.5252	1.0696	52	0.5442	1.1638	83	0.5574	1.1959
22	0.5268	1.0754	53	0.5448	1.1653	84	0.5576	1.1967
23	0.5283	1.0811	54	0.5453	1.1667	85	0.5578	1.1973
24	0.5296	1.0864	55	0.5458	1.1681	86	0.5580	1.1980
25	0.5309	1.0915	56	0.5463	1.1696	87	0.5581	1.1987
26	0.5320	1.0961	57	0.5468	1.1708	88	0.5583	1.1994
27	0.5332	1.1004	58	0.5413	1.1721	89	0.5585	1.2001
28	0.5353	1.1047	59	0.5477	1.1734	90	0.5586	1.2007
29	0.5353	1.1086	60	0.5481	1.1747	91	0.5587	1.2013
30	0.5380	1.1124	61	0.5524	1.1759	92	0.5589	1.2020
31	0.5362	1.1159	62	0.5527	1.1770	93	0.5591	1.2026
32	0.5380	1.1193	63	0.5530	1.1782	94	0.5592	1.2032
33	0.5388	1.1226	64	0.5533	1.1793	95	0.5593	1.2038
34	0.5396	1.1255	65	0.5535	1.1803	96	0.5595	1.2044
35	0.5403	1.1285	66	0.5538	1.1814	97	0.5596	1.2049
36	0.5410	1.1313	67	0.5540	1.1824	98	0.5598	1.2055
37	0.5418	1.1339	68	0.5543	1.8340	99	0.5599	1.2060
38	0.5424	1.1363	69	0.5545	1.8440	100	0.5600	1.2065

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

2.8.2 Metode Hasper

Dengan menggunakan data curah hujan tertinggi pertama dan data curah hujan tertinggi kedua maka didapatkan curah hujan pada return periode dengan menggunakan rumus :

$$R_T = \bar{R} + S \cdot U_T$$

$$S = 1/2 \left[\frac{R_1 - \bar{R}}{U_1} + \frac{R_2 - \bar{R}}{U_2} \right]$$

Dimana :

R_T = Curah maksimum dengan priodeulang T tahun (mm)

$\bar{R}$ = Hujan maksimum rata-rata (mm)

R_1 = Hujan maksimum pertama.

R_2 = Hujan maksimum kedua

S = Standar deviasi

U_T = Variabel standar untuk periode ulang T

Selain yang diatas ada lagi variabel yang lain yaitu :

$$T_m = \frac{n+1}{m}$$

Dimana :

n = Jumlah tahun pengamatan

m = Urutan (ranking)

2.8.3 Metode Weduwen

Perhitungan ini dengan menggunakan data pengamatan hujan selama 70 tahun (R_{70}).Diambil R_{70} karena 70 % diterima oleh sungai dan 30 % lagi hujan yang terjadi dalam bentuk penguapan dan lainnya yang diterima oleh daratan.Dan data curah hujan yang dipakai adalah data curah hujan maksimum kedua (R_2) bukan data curah hujan tahunan maksimum. Curah hujan dengan metode wedwen ini dapat dirumuskan :

Rumus:

$$R_n = M_n \times R_p$$

Dimana :

R_n =Hujan rencana dengan periode ulang

$$R_p = \frac{R}{mp}$$

Sehingga,

$$R_{70} = \frac{R}{mp}$$

Dimana :

R = Harga terbesar dari R_2 atau $5/6 R_1$

R_1 = Hujan maksimum pertama.

R_2 = Hujan maksimum kedua

$m_n = mp$ = dari tabel (n : periode ulang dan p : lama pengamatan).

2.9 Analisis Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana digunakan sebagai data pada analisis debit banjir rencana. Metode yang digunakan dalam analisis curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu minimal 10 tahun adalah :

- a. Metode Distribusi Normal
- b. Metode Distribusi Gumbel
- c. Metode Distribusi Log Normal
- d. Metode Distribusi Log Pearson Tipe III

2.9.1 Metode Distribusi Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan probabilitas normal, jika data yang digunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot SD$$

Dimana :

X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)

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

K_T = Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari T

SD = Standar deviasi

Standar deviasi dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Standar deviasi (SD)} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana :

X_i = curah hujan ke-i (mm)

n = Banyak data tahun pengamatan

SD = Standar deviasi

Prosedur perhitungan :

1. Hitung nilai curah hujan maksimum rata-rata
2. Hitung nilai standar deviasi.
3. Tentukan nilai K_T (**Tabel 2.3**)
4. Hitung nilai curah hujan kala ulang T-tahun

Tabel 2.3 Nilai variabel reduksi Gauss

No.	Periode peluang (T)	Peluang	K_T
1	1.001	0.999	-3.05
2	1.005	0.995	-2.58
3	1.010	0.990	-2.33
4	1.050	0.950	-1.64
5	1.110	0.900	-1.28
6	1.250	0.800	-0.84
7	1.330	0.750	-0.67
8	1.430	0.700	-0.52
9	1.670	0.600	-0.25
10	2.000	0.500	0.00
11	2.500	0.400	0.25
12	3.330	0.300	0.52
13	4.000	0.250	0.67
14	5.000	0.200	0.84
15	10.000	0.100	1.28
16	20.000	0.050	1.64
17	50.000	0.020	2.05
18	100.000	0.010	2.33
19	200.000	0.005	2.58
20	500.000	0.002	2.88
21	1,000.000	0.001	3.09

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

2.9.2 Metode Distribusi Gumbel

Jika data hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah berupa sampel (populasi terbatas), maka perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel.

Curah hujan pada periode ulang (X_T) yaitu :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$\text{Standar deviasi (SD)} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana :

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

n = Jumlah data

SD = Standar deviasi

Besarnya curah hujan rencana dihitung dengan rumus :

$$X_T = \bar{X} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \times \text{SD} \quad (2.8)$$

Dimana :

X_T = Curah hujan harian rencana dengan periode ulang t tahun (mm)

$\bar{X}$ = Curah hujan harian rata-rata (mm)

SD = Standar deviasi

S_n = Reduced standar deviasi (Tabel 2.3)

Y_t = Reduced variate (Tabel 2.2)

Y_n = Reduced mean (Tabel 2.3)

Prosedur perhitungan :

1. Hitung curah hujan maksimum rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

2. Hitung nilai standar deviasi.

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

3. Tentukan nilai Y_t (Table 3.2), Y_n dan S_n (Table 2.3)

4. Hitung nilai K

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

5. Hitung curah hujan kala ulang T-tahun

$$X_t = X_T = \bar{X} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \times SD$$

Tabel 2.4 Nilai reduced variate (Yt)

Periode Ulang (T)	Yt
2	0.30651
5	1.4999
10	2.25037
20	2.97019
50	3.90194
100	4.60015
200	5.29561
500	6.21361
1000	6.90726

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Tabel 2.5 Nilai reduced standart deviation (Sn) dan nilai reduced mean (Yn)

N	Sn	Yn	n	Sn	Yn
10	0,9497	0,4952			
15	1,0210	0,5128	60	1,1750	0,5521
20	1,0630	0,5236	70	1,1850	0,5548
25	1,0910	0,5390	80	1,1940	0,5567
30	1,1120	0,5362	90	1,2010	0,5586
35	1,1280	0,5403	100	1,2060	0,5600
40	1,1410	0,5436	200	1,2360	0,5672
45	1,1520	0,5463	500	1,2590	0,5724
50	1,1610	0,5485	1000	1,2690	0,5745

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

2.9.3 Metode Distribusi Log Normal

Perhitungan hujan rencanaberdasarkan probabilitas Log Normal, Jika data yang digunakan berupa sampel.Untuk perhitungan digunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

$\text{Log } X_T$ = Nilai Logaritma hujan rencana periode ulang T tahun

$\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata-rata Log X (mm)

$S \text{ Log } X$ = Standar deviasi dari Log X (mm)

K_T = Nilai K_T (Tabel 2.1)

Standar deviasi dihitung menggunakan rumus :

$$S \text{ Log } X = \sqrt{\frac{(\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}}$$

Prosedur perhitungan :

1. Hitung nilai logaritma curah hujan maksimum rata-rata
2. Hitung nilai standar deviasi dari logaritma X
3. Hitung nilai curah hujan kala ulang T-tahun

2.9.4 Metode Distribusi Log Pearson Tipe III

Perhitungan hujan rencanaberdasarkan probabilitas Log Pearson Tipe III, Jika data yang digunakan berupa sampel.Untuk perhitungan digunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

$\text{Log } X_T$ = Nilai Logaritma hujan rencana periode ulang T tahun

$\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata-rata Log X (mm)

$S \text{ Log } X$ = Standar deviasi dari Log X (mm)

K_T = Variabel standar didapat berdasarkan koefisien kemecengan (C_s atau G)

Persamaan yang digunakan yaitu :

$$S \text{ Log } X = \sqrt{\frac{(\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}}$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (S \text{ Log } X)^3}$$

Prosedur perhitungan :

1. Tentukan Logaritma dari semua X
2. Hitung nilai rata-rata log X

$$\overline{\text{log } X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{log } X}{n}$$

3. Hitung standar deviasi Log X

$$S \text{ Log } X = \sqrt{\frac{(\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}}$$

4. Hitung nilai koefisien kemencengan

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (S \text{ Log } X)^3}$$

5. Hitung curah hujan kala ulang T-tahun

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

Tabel 2.6 Faktor frekuensi K_T untuk distribusi log pearson tipe III
(G atau C_s positif)

Skew Coefficient Cs or Cw	Return Period in Years						
	2	5	10	25	50	100	200
	Exceedence Probability						
	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
1	2	3	4	5	6	7	8
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.573	4.515
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444

2.1	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-0.660	0.816	1.317	1.880	2.261	2.815	2.949
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Tabel 2.7 Faktor frekuensi K_T untuk distribusi log pearson tipe III
(G atau C_s negatif)

Skew Coefficient Cs or Cw	Return Period in Years						
	2	5	10	25	50	100	200
	Exceedence Probability						
	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
1	2	3	4	5	6	7	8
-0.1	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.700	1.880	2.016
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.488	1.660	1.733	1.837

-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	0.180	0.848	1.107	1.324	1.434	1.518	1.581
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	0.225	0.835	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	0.390	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	0.396	0.636	0.666	0.666	0.666	0.667	0.667

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

2.10 Uji Keselarasan Sebaran

Uji keselarasan sebaran dilakukan untuk mengetahui jenis metode yang paling sesuai dengan data hujan. Uji metode dilakukan dengan uji keselarasan distribusi yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih, dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Soewarno, 1995). Ada dua jenis uji keselarasan yaitu uji keselarasan Chi Kuadrat (*Chi Square*) dan Smirnov Kolmogorof. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah hasil perhitungan yang diharapkan.

2.10.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat menggunakan χ^2 yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\chi^2 = \sum_{t=1}^N \frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$$

Dimana :

χ^2 = Nilai Chi-Kuadrat terhitung

Ef = Frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

Of = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

N = Jumlah sub kelompok dalam satu group

Perkiraan / interpretasi hasil dari nilai χ_{cr}^2 (Chi-Kuadrat kritik) :

1. Apabila peluang lebih dari 5 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan.
2. Apabila peluang kecil < 1 % distribusi yang tidak dapat digunakan.
3. Bila berada 1-5 % perlu ditambahkan data.

Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan :

$$DK = K - (\alpha + 1)$$

Dimana :

DK = Derajat kebebasan

K = Banyaknya kelas

α = Banyaknya keterikatan (banyaknya parameter), untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

2.10.2 Uji Smirnov Kolmogorof

Uji kecocokan Smirnov Kolmogorof juga disebut uji kecocokan non parametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, namun dengan kurva dan penggambaran data pada kertas probalitas. Dari gambar dapat diketahui jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva dan penggambaran kurva dan penggambaran data pada kertas probalitas. Dari gambar dapat diketahui jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva. Jarak penyimpangan terbesar merupakan Δ_{maks} dengan kemungkinan didapat nilai lebih kecil dari nilai Δ_{kritik} , maka jenis distribusi yang dipilih dapat digunakan.

Tabel 2.8 Nilai χ^2_{cr}

D K	Distribusi X²							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.04393	0.03157	0.03982	0.02393	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	11.07	12.832	15.086	16.750
6	0.076	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	0.989	1.239	1.690	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
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	2.053	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	9.900	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	313.526	34.805	37.156

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Tabel 2.9 Nilai Δ_{kritik} Uji Smirnov-Kolgomorov

N	A			
	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	0.18	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
n>50	$\frac{1.07}{N}^{0,05}$	$\frac{1.22}{N}^{0,05}$	$\frac{1.36}{N}^{0,05}$	$\frac{1.63}{N}^{0,05}$

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

α = Derajat kepercayaan

Tabel 2.10 Wilayah luas dibawah kurva normal

t	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0081	0,0008	0,0007	0,0007
3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
2,7	0,0036	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,011
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0292	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0481	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367

2,3	0,9893	0,9896	0,9696	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,997	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
t	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

2.11 Analisis Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana direncanakan untuk melewati suatu penampang sungai dengan masa ulang tertentu. Analisis debit banjir yang dilakukan dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun. Proses perhitungan debit banjir dimulai dengan pengumpulan data hujan dan topografi. Setelah data curah hujan rata-rata dan curah hujan rencana didapat maka perhitungan debit banjir rencana dapat dilakukan.

Ada beberapa metode empiris yang dipakai untuk menghitung debit banjir rencana antara lain :

- Metode Melchior
- Metode Mononobe
- Metode Haspers

2.11.1 Metode Melchior

Metode Melchior adalah metode perhitungan debit banjir untuk luas tangkapan hujan (catchment area) $> 100 \text{ km}^2$.

Untuk menghitung debit banjir rencana metode Melchior digunakan rumus :

$$Q_T = \alpha \times I \times A$$

Dimana :

Q_T = Debit banjir rencana (m^3/dt)

α = Koefisien pengaliran

I = intensitas hujan ($m^3/dt/km^2$)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

Langkah-langkah perhitungan metode Melchior :

a) Menentukan Koefisien pengaliran (α)

b) Menentukan koefisien reduksi (β)

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2$$

Nilai β_1 ditentukan berdasarkan rumus :

$$F = \frac{1970}{\beta_1 - 0,12} - 3960 + (1720 \times \beta_1)$$

Dengan :

F = luas elips yang mengelilingi daerah aliran sungai dengan sumbu panjang (a) tidak lebih dari 1,5 kali pendek (b). Besaran F dinyatakan dalam km^2 , dan nilainya besar dari luas daerah pengaliran (A). nilai β_2 ditentukan berdasarkan hubungan antara F dan lama hujan.

c) Menentukan nilai I

Intensitas hujan (I) ditentukan dengan rumus :

$$I = \frac{10 \times \beta \times R_{24} \text{ maksimum}}{36 \times t_c}$$

$$t_c = \frac{10 \times L}{36 \times V}$$

$$V = 1,31 \times (Q \times S^2)^{0,2}$$

$$Q = \beta_1 \times I_{coba} \times F$$

Dimana :

R_{24} = Hujan harian (mm)

t_c = Waktu konsentrasi (jam)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

S = Kemiringan sungai

L = Panjang sungai utama (km)

d) Menghitung debit banjir rencana (Q_T)

$$Q = \alpha \times I \times A \times \frac{R_T}{200}$$

Tabel 2.11 Persentase β_2 menurut Melchior

F (km ²)	Lama hujan, t (jam)										
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	24
0	44	64	80	89	92	92	93	94	95	96	100
10	37	57	70	80	82	84	87	90	91	95	100
50	29	45	57	66	70	74	79	83	88	94	100
300	20	33	43	52	57	61	69	77	85	93	100
~	12	23	32	42	50	54	66	74	83	92	100

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Tabel 2.12 Perkiraan intensitas hujan harian menurut Melchior

F (km ²)	I (m ³ /dt/km ²)	F (km ²)	I (m ³ /dt/km ²)	F (km ²)	I (m ³ /dt/km ²)
0,14	29,60	144	4,75	720	2,30
0,72	22,45	216	4,00	1080	1,185
1,20	19,90	288	3,60	1440	1,155
7,20	14,15	360	3,30	2100	1,120
14	11,85	432	3,05	2880	1,00
29	9,00	504	2,85	4320	0,70
72	6,25	576	2,65	5760	0,54
108	5,25	648	2,45	7200	0,48

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Tabel 2.13 Penambahan presentase Melchior

tc (menit)	%	tc (menit)	%	tc (menit)	%
0 - 40	2	895 – 980	13	1860 - 1950	24
40 - 115	3	980 - 1070	14	1950 - 2035	25
115 - 190	4	1070 - 1155	15	2035 - 2120	26
190 - 270	5	1155 - 1240	16	2120 - 2210	27
270 - 360	6	1240 - 1330	17	2210 - 2295	28
360 - 450	7	1330 - 1420	18	2295 - 2380	29
450 - 540	8	1420 - 150	19	2380 - 2465	30
540 - 630	9	1510 - 1595	20	2465 - 2550	31
630 - 720	10	1595 - 1680	21	2550 - 2640	32
720 - 810	11	1680 - 1770	22	2640 - 2725	33
810 - 895	12	1770 - 1860	23	2725 - 2815	34

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

2.11.2 Metode Mononobe

Analisis debit banjir rencana dengan metode sintetis empiris Mononobe dihitung dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q_T = \frac{\alpha \cdot I_T \cdot A}{3,6}$$

Dimana :

Q_T = Debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu (m^3/dt)

α = Koefisien pengaliran (tabel Mononobe)

I_T = Intensitas hujan periode ulang tertentu (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

Persamaan-persamaan yang digunakan :

$$V = 72 \cdot (S)^{0,6}$$

(2.25)

$$t = \frac{L}{V}$$

$$I_2 = \frac{R_2}{24} \times \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$$

Dimana :

- V = Kecepatan aliran (km/jam)
 S = Kemiringan Catchment area
 L = Panjang sungai (km)
 t = Waktu konsentrasi (jam)
 I = Intensitas hujan (mm/jam)
 R = hujan harian (mm)

Langkah-langkah perhitungan metode Mononobe :

- a) Menghitung kemiringan Catchment area

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

- b) Menghitung kecepatan aliran (V)
 c) Menghitung waktu konsentrasi (t)
 d) Menghitung intensitas hujan periode ulang
 e) Menghitung debit banjir rencana (Q_T)

Tabel 2.14 Koefisien pengaliran (C)

Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien Aliran (C)
1	2
Bergunung dan curam	0.75 – 0.90
Pegunungan tertier	0.70 – 0.80
Sungai dengan tanah dan hutan dibagian atas dan bawahnya	0.50 – 0.75
Tanah dasar yang ditanami	0.45 – 0.60
Sawah waktu diairi	0.70 – 0.80
Sungai bergunung	0.75 – 0.85
Sungai dataran	0.45 – 0.75

(Sumber : Ir. Suripin, 2004)

2.11.3 Metode Haspers

Analisis debit banjir rencana dengan metode sintesis empiris Haspers dihitung dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q_T = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A$$

Dimana :

Q_T = Debit banjir rencana (m^3/dt)

α = Koefisien pengaliran

q = Intensitas hujan yang diperhitungkan ($m^3/dt/km^2$)

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

β = Koefisien reduksi

Koefisien pengaliran ditentukan dengan rumus :

$$\alpha = \frac{1+0,012 \cdot (A)^{0,7}}{1+0,075 \cdot (A)^{0,7}}$$

Koefisien reduksi ditentukan dengan rumus :

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{1+3,7 \times 10^{(-0,4 \times t)}}{t^2+15} \times \frac{A^{0,75}}{12}$$

Waktu konsentrasi ditentukan dengan rumus :

$$t_c = 0,1 \times L^{0,8} \times (S)^{-0,3}$$

Intensitas hujan periode ulang ditentukan dengan rumus :

$$q_n = \frac{r}{3,6 \cdot t}$$

Besarnya curah hujan (r dalam satuan mm) untuk lama hujan tertentu ($t = t_c$ dalam satuan jam) dan hujan harian maksimum (R_{24} dalam satuan mm) dirumuskan sebagai berikut :

Untuk $t < 2$ jam

$$r = \frac{t \times R_{24}}{t + 1 - 0,0008 \times (260 - R_{24}) \times (2-t)^2}$$

Untuk $2 \text{ jam} < t < 19 \text{ jam}$

$$r = \frac{t \cdot R_{24}}{t+1}$$

Untuk $19 \text{ jam} < t < 30 \text{ hari}$

$$r = 0,707 \times R_{24} \times (t + 1)^{0,5}$$

Langkah-langkah perhitungan metode Hasper :

- a) Menghitung nilai α berdasarkan persamaan
- b) Menghitung nilai t_c berdasarkan persamaan
- c) Menghitung nilai β berdasarkan persamaan
- d) Menghitung nilai r berdasarkan persamaan
- e) Menghitung nilai q_n berdasarkan persamaan
- f) Menghitung nilai Q_T berdasarkan persamaa

2.12 Perencanaan Dimensi Sungai

Untuk merancang dimensi penampang sungai dipengaruhi oleh besarnya debit yang dialirkan, kemiringan dasar saluran dan kekasaran saluran, dan lain lain. Semua ini dilakukan agar diperoleh saluran sungai yang efektif dan efesien.

2.12.1 Analisa Hidrolika

Dalam perencanaan penampang sungai kita harus memperhatikan faktor-faktor kapasitas pengaliran, kapasitas sungai, kecepatan aliran, bahan konstruksi, kemiringan dasar sungai untuk penampang. Jenis aliran yang digunakan adalah aliran terbuka berdasarkan aliran seragam. Aliran seragam (uniform flow) dianggap memiliki ciri-ciri pokok sebagai berikut :

1. Kedalaman, luas basah, kecepatan dan debit setiap penampang pada sungai yang lurus adalah konstan.
2. Garis energi, muka air dasar dan dasar sungai sejajar, besar kemiringannya sama.

a. Kemiringan Sungai

Kemiringan memanjang dasar sungai biasanya diatur dengan keadaan tinggi topografi dan tinggi energi yang diperlukan untuk mengalirkan air. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kemiringan ialah perbedaan elevasi daerah hulu dan hilir dengan daerah study di bagi dengan jaraknya

b. Kapasitas Pengaliran

Dalam perencanaan penampang sungai, Periode ulang yang digunakan tergantung karakteristik serta daerah tangkap hujan. Penentuan periode ulang juga didasarkan dengan pertimbangan-pertimbangan ekonomis.

Perhitungan analisa debit Batang Lembang direncanakan dengan periode ulang 2 tahunan, 5 tahunan, 10 tahunan, 25 tahunan, 50 tahunan, 100 tahunan.

2.12.2 Kapasitas Saluran

Perhitungan kecepatan rata-rata dengan menggunakan rumus Manning adalah sebagai berikut:

Rumus :

Penampang Saluran Trapesium

$$Q = A \cdot V$$

$$A = (b + m \cdot h) \cdot h$$

$$P = b + 2h \cdot$$

$$R = A / P$$

$$V = 1 / n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{detik)}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran rata-rata (m/detik)}$$

$$n = \text{Koefisien kekasaran manning}$$

$$R = \text{Jari-jari hidrolis (m)}$$

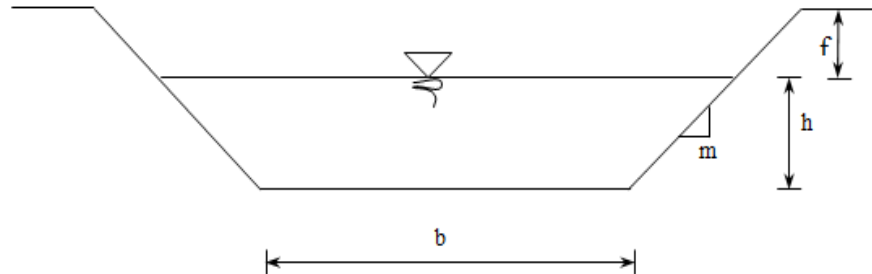
$$P = \text{Keliling basah (m)}$$

$$m = \text{Talud}$$

$$A = \text{Luas keliling basah (m}^2 \text{)}$$

$$I = \text{Kemiringan saluran.}$$

Bentuk profil penampang yang akan direncanakan:



Gambar 2.5 Tipikal penampang Saluran

(Sumber : Google)

Rumus Dimensi saluran:

1. Luas $A = (b + my)y$
2. Luas keliling basah $P = b + (2y\sqrt{1 + m^2})$
3. Jari-jari Hidrolik $R = \frac{A}{P}$
4. Besarnya Debit $Q = V \times A$

2.12.3 Koefisien Kekasaran Manning

Faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap koefisien Manning antara lain:

- a. Kekasaran permukaan
Ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran.
- b. Ketidakteraturan saluran
Mencakup ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk penampang saluran.
- c. Trase saluran
Kelengkungan yang tandai dengan garis tengah yang besar mengakibatkan nilai n relatif rendah, sedangkan kelengkungan yang tajam dengan belokan-belokan yang akan patah membesar nilai n .

d. Pengendapan pengerusan

Pengendapan dapat mengubah saluran yang sangat tidak teratur menjadi beraturan dan memperkecil n , selanjutnya pengerusan akan memperbesar nilai n .

e. Taraf air dan debit

Nilai n pada saluran umumnya berkurang bila taraf air debitnya bertambah.

Dari bermacam-macam jenis saluran, baik berupa saluran tanah maupun dengan pasangan, besarnya koefisien kekasaran manning dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.15 Koefisien Kekasaran Manning

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
B. Saluran dilapis atau dipoles			
B.1 Logam			
a. Baja dengan permukaan licin			
1 Tidak dicat	0,011	0,012	0,014
2 Dicat	0,012	0,013	0,017
b. Baja dengan permukaan bergelombang	0,021	0,025	0,030
B.2 Bukan Logam			
a. Semen			
1 Acian	0,010	0,012	0,013
2 Adukan	0,011	0,012	0,015
b. Kayu			
1 Diserut, tidak diawetkan	0,010	0,012	0,014
2 Diserut, diawetkan dengan creosoted	0,011	0,012	0,015
3 Tidak diserut	0,011	0,013	0,015
4 Papan	0,012	0,015	0,018
5 Dilapis dengan kertas kedap air	0,010	0,014	0,017
c. Beton			
1 Dipoles dengan sendok kayu	0,011	0,013	0,015
2 Dipoles sedikit	0,013	0,015	0,016
3 Dipoles	0,015	0,017	0,020
4 Tidak dipoles	0,014	0,017	0,020
5 Adukan semprot, penampang rata	0,016	0,019	0,023
6 Adukan semprot, penampang bergelombang	0,018	0,022	0,025
7 Pada galian batu yang teratur	0,017	0,020	
8 Pada galian batu yang tak teratur	0,022	0,027	
d. Dasar beton dipoles sedikit dengan tebing dari			
1 Batu teratur dalam adukan	0,015	0,017	0,020
2 batu tak teratur dalam adukan	0,017	0,020	0,024
3 adukan batu, semen, diplester	0,016	0,020	0,024
4 adukan bata dan semen	0,020	0,025	0,030
5 Batu kosong atau rip rap	0,020	0,030	0,035
e. Dasar kerikil dengan tebing dari			
1 Beton acuan	0,017	0,020	0,025
2 batu tak teratur dalam adukan	0,020	0,023	0,026
3 Batu kosong atau rip rap	0,023	0,033	0,036
f. Bata			
1 Diglasir	0,011	0,013	0,015
2 Dalam adukan semen	0,012	0,015	0,018
g. Pasangan batu			
1 Batu pecah disemen	0,017	0,025	0,030
2 Batu kosong	0,023	0,032	0,035
h. Batu potong, diatur	0,013	0,015	0,017
i. Aspal			
1 Halus	0,013	0,013	
2 Kasar	0,016	0,016	
j. Lapisan dari tanaman	0,030		0,500

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Minimum	Normal	Maksimum
C. Digali atau di keruk			
a. Tanah lurus dan seragam			
1 Bersih, Baru dibuat	0,016	0,018	0,020
2 bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
3 Kerikil, penampang seragam, bersih	0,022	0,025	0,030
4 Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,032
b. Tanah berkelok-kelok dan tenang			
1 Tanpa tumbuhan	0,023	0,025	0,030
2 rumput dengan beberapa tanaman pengganggu	0,025	0,030	0,350
3 Banyak tanaman pengganggu atau tanaman air pada saluran yang dalam	0,030	0,035	0,400
4 dasar tanah dengan tebing dari batu pecah	0,023	0,030	0,035
5 Dasar berbatu dengan tanaman pengganggu pada tebing	0,025	0,035	0,040
6 Dasar berkerakal dengan tebing yang bersih	0,030	0,040	0,050
c. Hasil galian atau kerukan			
1 Tanpa tetumbuhan	0,025	0,028	0,033
2 Semak-semak kecil di tebing	0,035	0,050	0,060
d. Pecahan batu			
1 Halus seragam	0,025	0,035	0,040
2 Tajam, tidak beraturan	0,035	0,040	0,050
e. Saluran tidak dirawat dengan tanaman pengganggu dan belukar tidak dipotong			
1 Banyak tanaman pengganggu setinggi air	0,050	0,080	0,120
2 Dasar bersih belukar di tebing	0,040	0,050	0,080
3 Idem, setinggi muka air tertinggi	0,045	0,070	0,110
4 Banyak belukar setinggi air banjir	0,080	0,100	0,140
D. Saluran Alam			
D. Saluran kecil / lebar taraf atas pada taraf banjir < 100 kaki			
a. Saluran di dataran			
1 Bersih lurus terisi penuh, ceruk dalam	0,025	0,030	0,033
2 Seperti di atas, banyak batu bara, tanaman pengganggu	0,030	0,035	0,040
3 Bersih, berkelok-kelok, berceruk, bertebing	0,035	0,040	0,045
4 Seperti di atas dengan tanaman pengganggu, batu bara	0,035	0,045	0,050
5 Seperti di atas tidak terisi penuh, banyak kemiringan dan penampang kurang efektif	0,040	0,043	0,055
6 Seperti no 4, berbatu lebih banyak	0,045	0,050	0,060
7 Tenang pada bagian lurus, tanaman pengganggu ceruk dalam	0,050	0,070	0,080
8 Banyak tanaman pengganggu, ceruk dalam atau jalan air penuh kayu dan ranting	0,075	0,100	0,150

(Sumber : Hidralika Saluran Terbuka, 1997)

Dalam menghitung kecepatan aliran (v) saluran, disamping menggunakan persamaan Manning, juga dapat menggunakan persamaan Chezy. Dalam hal ini aliran yang dimaksud merupakan aliran tidak seragam (*uniform steady flow*), yaitu aliran yang mempunyai kedalaman tetap pada setiap penampang saluran untuk selang waktu tertentu.

Adapun persamaan Chezy untuk kecepatan dalam saluran, yaitu :

$$V = C\sqrt{(R \times S)}$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/dt)

C = Koefisien Chezy

R = Jari - jari hidrolik

S = Kemiringan permukaan air dari dasar saluran

Koefisien Chezy (C) dapat diperoleh dengan menggunakan salah satu dari pernyataan berikut :

$$\text{➤ Kutter} \longrightarrow C = \left(\frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S} \right) \times \frac{n}{\sqrt{R}}} \right)$$

$$\text{➤ Manning} \longrightarrow C = \frac{1}{n} \times R^{\frac{1}{6}}$$

$$\text{➤ Bazin} \longrightarrow C = \frac{87}{1 + \left(\frac{bz}{\sqrt{R}} \right)}$$

Dimana :

bz = Koefisien kekasaran Bazin

Tabel 2.16 Koefisien Kekasaran Bazin

Dasar Saluran	bz
Kayu disemen dengan halus	0.11
Kayu tidak rata, beton atau bata	0.21
Pasangan batu atau bata	0.83
Tanah dalam keadaan baik	1.54
Tanah keadaan biasa	2.36
Tanah tidak teratur	3.17

Tabel 2.17 Standar Tinggi Jagaan Tanggul

Debit banjir rencana (m ³ /dt)	< 200	200 - 500	500 - 2.000	2.000 - 5.000	5.000 - 10.000	> 10.000
Tinggi jagaan (m)	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00

2.13 Analisa Perkuatan Tebing Dengan Pasangan Batu Kali

Perkuatan tebing menggunakan batu kali merupakan Tembok penahan Tanah yang berfungsi sebagai melindungi tebing khususnya tebing sungai agar tidak terjadinya gerusan di area sekitar tebing sungai. Pembuatan Tebing Khususnya Batu Kali murni yang memanfaatkan Gravitasi bumi serta mengandalkan berat dari konstruksi itu sendiri.

Pembuatan Design dinding penahan tanah biasanya membutuhkan data antara lain:

1. Potensi sarana dan prasarana yang sudah ada dan potensi sumber daya alamnya.
2. Tanah letak rencana / bentuk lokasi,
 - Jenis tanah
 - Kedalaman tanah keras
 - Lapisan air tanah
3. Data kondisi lokasi, lingkungan, dan peruntukan konstruksi
 - Sungai → sebagai saluran air
 - Jalan → sebagai pengaman tepi jalan
 - Perlindungan tebing → keamanan sarana dan prasarana (jalan, pemukiman, dll) yang ada diatas atau di bawahnya, pencegah gerusan.
 - Tanggul → pencegah banjir, luapan air.

2.14 Perhitungan Stabilitas Tebing

Perhitungan stabilitas bertujuan untuk memeriksa stabilitas perkuatan tebing terhadap guling dan geser yang ditimbulkan oleh beban konstruksi.

Gaya-gaya yang bekerja antara lain :

- Akibat berat sendiri
- Akibat gaya gempa
- Akibat tekanan tanah

1. Akibat berat sendiri

Akibat berat sendiri perkuatan tebing adalah berat yang diakibatkan oleh bangunannya. Berat sendiri perkuatan tebing tergantung kepada bahan yang digunakan untuk membuat bangunan perkuatan tebing tersebut. Dalam tinjauan ini bahan yg digunakan adalah beton bertulang dengan berat jenis $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$ dan pasangan batu kali dengan berat jenis $\gamma = 2,2 \text{ t/m}^3$.

2. Akibat gaya gempa

Gaya yang diakibatkan oleh gempa harus diperhitungkan terhadap kekuatan bangunan. Gaya gempa ini bekerja ke arah yang berbahaya dengan garis kerja melewati titik bangunan dalam mendatar. Pada Peta Zona Gempa Indonesia dapat dilihat pembagian wilayah gempa yang berbeda.

Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E = \frac{ad}{q}$$

$$ad = Z \cdot ac \cdot V$$

Dimana :

E = Koefisien gempa

ad = Percepatan gempa desain (m/dt^2)

ac = Percepatan gempa dasar (m/dt^2)

n = Faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

Z = Koefisien zona gempa (gambar peta zonasi gempa)

q = Percepatan Gravitasi (980cm/dt^2)

m = koefisien untuk jenis tanah

Diketahui :

$Z = 2,11$ (gambar zone gempa Sumatra)

$ac = 85\text{cm/dt}^2$

$n = 2,76$

3. Akibat tekanan tanah

Gaya-gaya yang timbul akibat tekanan tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot L^2 \cdot K_a$$

Dimana :

$$P = \text{Gaya akibat tekanan tanah (t)}$$

$$\gamma' = \text{Berat jenis tanah efektif (t/m}^3\text{)}$$

$$K_a = \text{Tekanan tanah aktif}$$

$$\gamma' = \gamma_s - \gamma_w$$

Dimana :

$$\gamma' = \text{Berat jenis efektif tanah (t/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_s = \text{Berat jenis tanah (t/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_w = \text{Berat jenis air (t/m}^3\text{)}$$

$$\gamma' = \gamma_s - \gamma_w$$

Tekanan tanah aktif :

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

$$= \tan^2 (45 - 18/2)$$

Tekanan tanah pasif :

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2)$$

$$= \tan^2 (45 + 18/2)$$