

BAB II

PENDEKATAN TEORI

2.1 URAIAN UMUM

Dalam perencanaan pengelolaan sumber daya air di suatu aliran sungai diperlukan bidang-bidang ilmu pengetahuan yang saling mendukung demi kesempurnaan hasil perencanaan. Bidang ilmu pengetahuan itu antara lain geologi, hidrologi, hidrolika, mekanika tanah, dan ilmu lainnya yang mendukung.

Setiap daerah pengaliran sungai mempunyai sifat-sifat khusus yang berbeda, hal ini memerlukan kecermatan dalam menerapkan suatu teori yang cocok pada daerah pengaliran. Oleh karena itu, sebelum memulai perencanaan konstruksi embung, perlu adanya pendekatan teori untuk menentukan spesifikasi-spesifikasi yang akan menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan konstruksi tersebut.

2.2 ANALISA DEBIT BANJIR RENCANA

Analisa debit banjir digunakan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana pada suatu DAS. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai. Data untuk penentuan debit banjir rencana adalah data curah hujan, dimana curah hujan merupakan salah satu dari beberapa data yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya debit banjir rencana baik secara rasional, empiris maupun statistik.

Adapun langkah-langkah dalam analisis debit banjir adalah sebagai berikut :

1. Menentukan DAS beserta luasnya
2. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada
3. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun
4. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan curah hujan rencana pada periode ulang T tahun.

2.2.1 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata Daerah Aliran Sungai

Hal yang penting dalam pembuatan rancangan dan rencana adalah distribusi curah hujan. Distribusi curah hujan adalah berbeda-beda sesuai dengan jangka waktu yang ditinjau yakni curah hujan tahunan (jumlah curah hujan dalam setahun), curah hujan bulanan (jumlah curah hujan sebulan), curah hujan harian (jumlah curah hujan 24 jam), curah hujan per jam.

Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu (Suripin, 2004).

Ada tiga metode yang biasa digunakan untuk mengetahui besarnya curah hujan rata-rata pada suatu DAS, yaitu sebagai berikut :

2.2.1.1 Cara Rata-rata Aljabar

Cara ini adalah cara yang paling sederhana. Metode rata-rata hitung dengan menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama satu periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya tempat pengukuran. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993) :

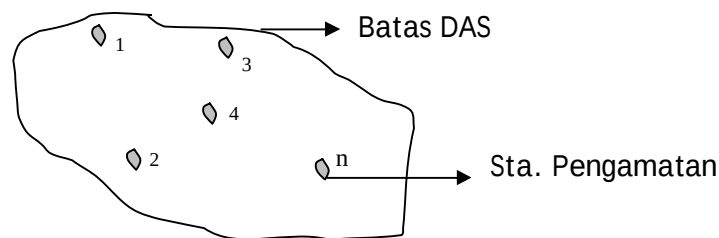
$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n}$$

dimana

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

$R_1, \dots, R_n$ = besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun (mm)

n = banyaknya stasiun hujan



Gambar 2.1 Sketsa Stasiun Curah Hujan Cara Rata-rata Aljabar

2.2.1.2 Cara Poligon Thiesen

Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari stasiun-stasiun hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993) :

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\ &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A}\end{aligned}$$

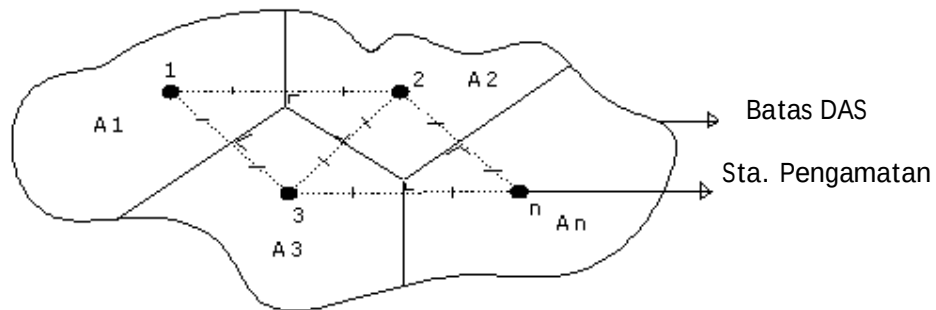
$$\bar{R} = R_1 W_1 + R_2 W_2 + \dots + R_n W_n$$

dimana,

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

$R_1, R_2, \dots, R_n$ = curah hujan masing-masing stasiun (mm)

$W_1, W_2, \dots, W_n$ = faktor bobot masing-masing stasiun yaitu % daerah pengaruh terhadap luas keseluruhan.



Gambar 2.2 Pembagian Daerah dengan Cara Poligon Thiesen

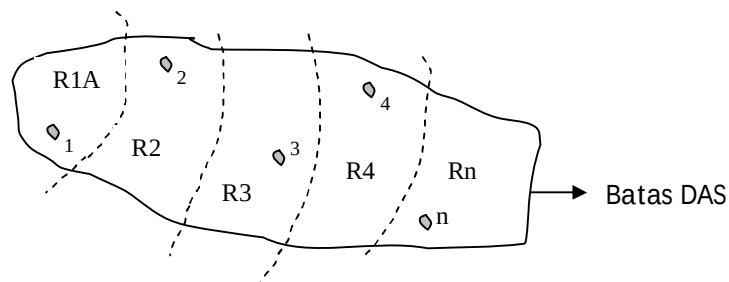
2.2.1.3 Cara Isohyet

Isohyet adalah garis lengkung yang merupakan harga curah hujan yang sama. Umumnya sebuah garis lengkung menunjukkan angka yang bulat. *Isohyet* ini diperoleh dengan cara interpolasi harga-harga curah hujan yang tercatat pada penakar hujan lokal (R_{nt}). Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993):

$$\bar{R} = \frac{\sum A_i \times R_i}{\sum A_i}$$

dimana,

- $\bar{R}$ = curah hujan rata-rata (mm)
- R_i = curah hujan stasiun i (mm)
- A_i = luas DAS stasiun i (km²)



Gambar 2.3 Pembagian Daerah dengan Cara Isohyet

Dari beberapa metode di atas, kami memilih menggunakan metode Thiessen.

2.2.2 Perhitungan Curah Hujan Rencana

2.2.2.1 Pengukuran Dispersi

Setelah mendapatkan curah hujan rata-rata dari beberapa stasiun yang berpengaruh di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisis secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran yang sesuai dengan sebaran curah hujan rata-rata yang ada. Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi

terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi (Soewarno, 1995).

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

- a. Deviasi Standar (S)
- b. Koefisien *Skewness* (Cs)
- c. Pengukuran *Kurtosis* (Ck)
- d. Koefisien Variasi (Cv)

a. Standar Deviasi (S)

Ukuran sebaran yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai Sx akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai Sx akan kecil. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

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

dimana,

S = Standar Deviasi

X_i = curah hujan minimum (mm/hari)

$\bar{X}$ = curah hujan rata-rata (mm/hari)

n = lamanya pengamatan

b. Koefisien *Skewness* (Cs)

Kemencengan (*skewness*) adalah ukuran asimetri atau penyimpangan kesimetrian suatu distribusi. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)Sx^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

dimana,

CS = koefisien kemencengan

X_i = nilai variat

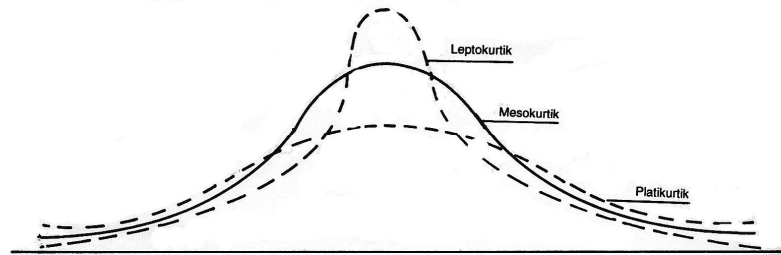
$\bar{X}$ = nilai rata-rata

n = jumlah data

S = standar deviasi

c. Koefisien Kurtosis (Ck)

Kurtosis merupakan kepuncakan (*peakedness*) distribusi. Biasanya hal ini dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai $Ck = 3$ dinamakan *mesokurtik*, $Ck < 3$ berpuncak tajam dinamakan *leptokurtik*, sedangkan $Ck > 3$ berpuncak datar dinamakan *platikurtik*.



Gambar 2.4 Koefisien Kurtosis

Rumus koefisien kurtosis adalah (Soewarno, 1995):

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^4$$

dimana,

Ck = koefisien kurtosis

X_i = nilai variat

$\bar{X}$ = nilai rata-rata

n = jumlah data

S = standar deviasi

d. Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}}$$

dimana,

Cv = koefisien variasi

S = standar deviasi

$\bar{X}$ = nilai rata-rata

2.2.2.2 Pemilihan Jenis Sebaran

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi, diantaranya yang banyak digunakan dalam hidrologi adalah :

- Distribusi normal
- Distribusi log normal
- Distribusi *Gumbel*
- Distribusi log Pearson III

Dengan mengikuti pola sebaran yang sesuai selanjutnya dihitung curah hujan rencana dalam beberapa metode ulang yang akan digunakan untuk mendapatkan debit banjir rencana.

a. Metode Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi *Gauss*.

$$X_t = \bar{X} + z S_x$$

dimana,

X_t = curah hujan rencana (mm/hari)

$\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

S_x = standar deviasi = $\sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (X_i - \bar{X})^2}$

z = faktor frekuensi (**Tabel 2.1**) (Ir C.D Soemarto, 1999)

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Untuk Distribusi Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0.00	0.84	1.28	1.71	2.05	2.33

b. Metode Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X .

Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode ini adalah sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X} + K_t \cdot S_x$$

dimana,

X_t = besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari)

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

$\bar{X}$ = curah hujan rata-rata (mm/hari)

K_t = Standar variabel untuk periode ulang tahun (**Tabel 2.2**) (Ir C.D Soemarto,1999)

Tabel 2.2 Nilai Koefisien Untuk Distribusi Log Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0.00	0.84	1.28	1.71	2.05	2.33

c. Metode Distribusi Gumble

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

dimana,

X_t = curah hujan rencana dalam periode ulang T tahun (mm/hari)

$\bar{X}$ = curah hujan rata-rata hasil pengamatan (mm/hari)

Y_t = *reduced variabel*, parameter Gumbel untuk periode T tahun (**Tabel 2.5**) (Ir C.D Soemarto, 1999)

Y_n = *reduced mean*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n) (**Tabel 2.3**) (Ir C.D Soemarto,1999)

S_n = *reduced standar deviasi*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n) (**Tabel 2.4**) (Ir C.D Soemarto,1999)

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

X_i = curah hujan maksimum (mm)

n = lamanya pengamatan

Tabel 2.3 Reduced Mean (Y_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.507	0.51	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.522
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.53	0.582	0.5882	0.5343	0.5353
30	0.5363	0.5371	0.538	0.5388	0.5396	0.54	0.541	0.5418	0.5424	0.543
40	0.5463	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5468	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.553	0.5533	0.5535	0.5538	0.554	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.555	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.557	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.558	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.8898	0.5599
100	0.56									

Tabel 2.4 Reduced Standard Deviasi (S_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.108
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.148	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.159
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.177	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.189	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.193
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.198	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2046	1.2049	1.2055	1.206
100	1.2065									

Tabel 2.5 Reduced Variate (Yt)

Periode Ulang	Reduced Variate
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
20	2.9606
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001
200	5.2960
500	6.2140
1000	6.9190
5000	8.5390
10000	9.9210

d. Metode Distrobusi Log Person III

Bentuk distribusi log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik.

$$\text{Nilai rata-rata} : \overline{\text{Log}X} = \frac{\sum \text{Log } x}{n}$$

$$\text{Standar deviasi} : S = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1}}$$

$$\text{Koefisien kemencengan} : C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})}{(n-1)(n-2)S^2}$$

Logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus :

$$\text{Log } Q = \overline{\text{Log}X} + G.S$$

$$G = \frac{n \sum (LogXi - \overline{LogX})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3}$$

dimana,

$LogX_t$ = logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm/hari)

$\overline{LogX}$ = jumlah pengamatan

n = jumlah pengamatan

Cs = koefisien Kemencengan (**Tabel 2.6**) (Ir C.D Soemarto, 1999)

Tabel 2.6 Distribusi Log Pearson III untuk Koefisien Kemencengan Cs

Kemencengan (CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.840	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	6.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	5.525
0.2	-0.033	0.831	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0.0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	0.836	1.270	1.761	2.000	2.252	2.482	3.950
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	0.830	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.488	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625

Kemencengan	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
(CS)	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.200	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.089	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	1.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	1.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

2.2.2.3 Uji Keselarasan

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menetapkan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistic sample data yang dianalisa. Ada dua jenis keselarasan (*Goodness of Fit Test*), yaitu uji keselarasan **Chi Kuadrat** dan **Smirnov Kolmogorof**. Pada test ini biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

a. Uji Keselarasan Chi Kuadrat

$$f^2 = \sum \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

dimana,

f^2 = harga chi kuadrat.

Of = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke - i.

Ef = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke - i.

Dari hasil pengamatan yang didapat, dicari pengamatannya dengan chi kuadrat kritis (didapat dari **Tabel 2.7**) (*Ir C.D Soemarto, 1999*) paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5 %. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Dk = n - 3$$

dimana,

Dk = derajat kebebasan.

n = banyaknya data.

Tabel 2.7 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi Kuadrat

Dk	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
2	0.100	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

Dk	Derajat Kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
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	1.69	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.09	21.955
9	1.735	2.088	2.7	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	214.92	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	6.161	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	34.17	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	10.52	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.16	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

b. Uji Keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

Dengan membandingkan probabilitas untuk tiap variable dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan (Δ) tertentu (Ir C.D Soemarto, 1999).

$$\alpha = \frac{P_{\max} - P_{(xi)}}{P_{(x)} \Delta_{cr}}$$

Tabel 2.8 Nilai Delta Kritis untuk Uji Keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

n	α			
	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	0.30	0.34	0.00
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

n	α			
	0.2	0.1	0.05	0.01
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
n>50	1.07/n	1.22/n	1.36/n	1.693/n

Dari kedua metode di atas yang digunakan adalah uji keselarasan *chi kuadrat*.

2.2.2.4 Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

a. Menurut Dr. Mononobe

Rumus yang dipakai :

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3}$$

(Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Dr.Ir.Suyono Sosrodarsono dan Dr.Masateru Tominaga,hal : 32)

dimana,

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = lamanya curah hujan (jam)

b. Menurut Sherman

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{t^b}$$

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

$$\log a = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i) \sum_{i=1}^n (\log t)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

$$\log b = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t) - n \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

dimana,

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

- t = lamanya curah hujan (menit)
 a, b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.
 n = banyaknya pasangan data i dan t

c. Menurut Talbot

Rumus yang dipakai :

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

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

dimana,

- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
 t = lamanya curah hujan (menit)
 a, b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.
 n = banyaknya pasangan data i dan t

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i.t) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2.t) \sum_{i=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i.t) - n \sum_{j=1}^n (i^2.t)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

2.2.3 Debit Banjir Rencana

Metode untuk mendapatkan debit banjir rencana dapat menggunakan metode sebagai berikut :

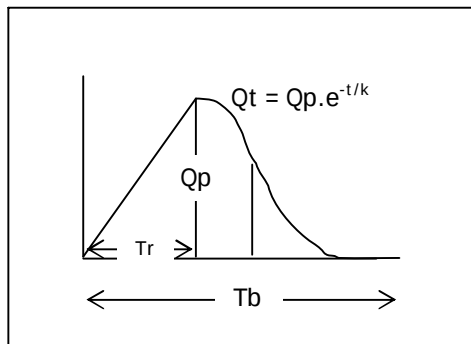
2.2.3.1 Metode Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

Cara ini dipakai sebagai upaya untuk memperoleh hidrograf satuan suatu DAS yang belum pernah terukur, dengan pengertian lain tidak tersedia data pengukuran debit maupun data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) pada suatu tempat tertentu dalam sebuah DAS (tidak ada stasiun hidrometer).

Hidrograf satuan sintetik secara sederhana dapat disajikan empat sifat dasarnya yang masing-masing disampaikan sebagai berikut :

1. Waktu naik (*Time of Rise*, TR), yaitu waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai terjadinya debit puncak.
2. Debit puncak (*Peak Discharge*, Qp).
3. Waktu dasar (*Base Time*, TB), yaitu waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau debit sama dengan nol.

4. Koefisien tampungan (*Storage Coefficient*), yang menunjukkan kemampuan DAS dalam fungsi sebagai tampungan air.



Gambar 2.5 Sketsa Hidrograf Satuan Sintetis

Sisi naik hidrograf satuan diperhitungkan sebagai garis lurus sedang sisi resesi (*resesion climb*) hidrograf satuan disajikan dalam persamaan *exponensial* berikut :

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-t/k}$$

dimana,

Q_t = debit yang diukur dalam jam ke- t sesudah debit puncak (m^3/dt)

Q_p = debit puncak (m^3/dt)

t = waktu yang diukur pada saat terjadinya debit puncak (jam)

k = koefisien tampungan dalam jam

a. Waktu mencapai puncak

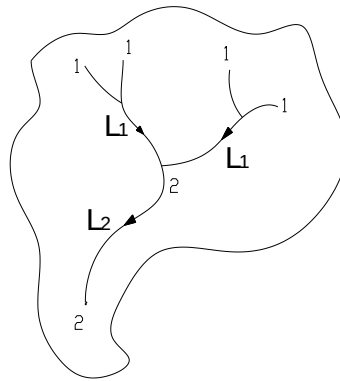
$$T_R = 0,43 \left[\frac{L}{100.SF} \right]^3 + 1,06665.SIM + 1,2775$$

dimana,

T_R = waktu naik (jam)

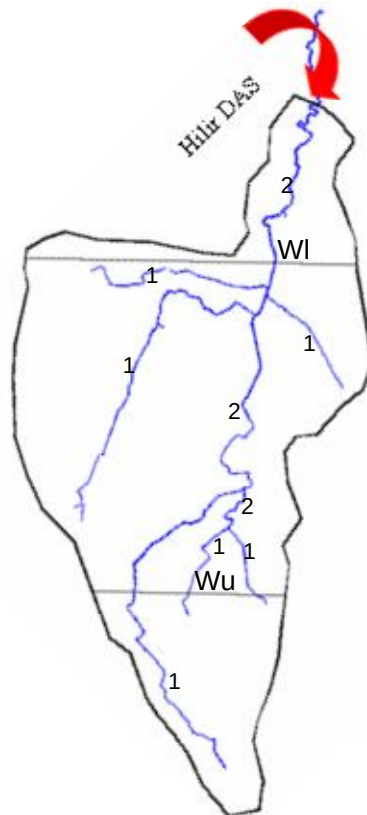
L = panjang sungai (km)

SF = faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah semua panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah semua panjang sungai semua tingkat



Gambar 2.6 Sketsa Penetapan Panjang dan Tingkat Sungai

$$SF = (L1+L1)/(L1+L1+L2)$$



Gambar 2.7 Sketsa Penetapan WF, RUA, dan Tingkat Sungai

Wu = lebar DTA pada 0,75 L (km)

Wl = lebar DTA pada 0,25 L (km)

$$WF = \frac{Wu}{WL}$$

SIM = faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DTA sebelah hulu (RUA)

$$= WF * RUA$$

Penetapan tingkat-tingkat sungai dilakukan sesuai dengan cara *Strahler* sebagai berikut:

1. Sungai-sungai paling ujung adalah sungai tingkat 1.
2. Apabila kedua buah sungai sama tingkatnya bertemu akan terbentuk sungai satu tingkat lebih tinggi.
3. Apabila sungai dengan suatu tingkat bertemu sungai dengan tingkat yang lebih rendah, maka tingkat sungai pertama tidak berubah.

b. Debit puncak

$$Qp = 0,1836.A^{0,5886}.T_R^{-0,4008}.JN^{0,2381}$$

dimana,

Qp = debit puncak (m³/det)

JN = jumlah pertemuan sungai

A = luas DTA (km²)

TR = waktu naik (jam)

c. Waktu dasar

$$T_B = 27,4132.T_R^{0,1457}.S^{-0,0986}.SN^{0,7344}.RUA^{0,2574}$$

dimana,

TB = waktu dasar (jam)

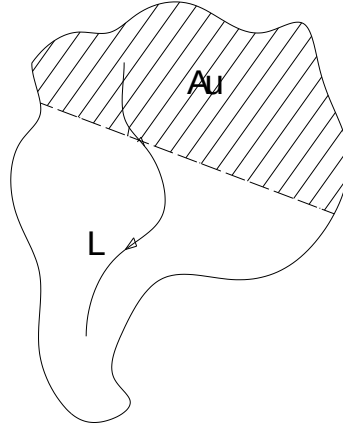
S = landai sungai rata-rata

$$= \frac{elev.hulu(m) - elev.hilir(m)}{L(m)}$$

SN = frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai tingkat 1 dengan jumlah segmen sungai semua tingkat = (5/10) = 0,5

RUA = perbandingan antara luas DTA yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun pengukuran dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DTA melewati titik tersebut dengan luas DTA total

$$= \frac{AU}{A}$$



Gambar 2.8 Sketsa Penetapan RUA

d. indeks

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} \left[\frac{A}{SN} \right]^4$$

e. Aliran dasar

$$Qb = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430}$$

dimana,

Qb = aliran dasar (m³/det)A = luas DTA (km²)D = kerapatan jaringan kuras (*drainage density*) / indeks kerapatan sungai yaitu perbandingan jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi dengan luas DTA.**f. Faktor tampungan**

$$k = 0,5617 \cdot A^{0,1798} \cdot S^{-0,1446} \cdot SF^{-1,0897} \cdot D^{0,0452}$$

dimana,

k = koefisien tampungan

g. Infiltrasi

$$f = \frac{\Phi}{t^{0,15}} \text{ (rumus : phi indeks)}$$

dimana,

f = infiltrasi (mm)

Φ = indeks infiltrasi

t = waktu (jam)

h. Unit Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama-I

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-t/k}$$

dimana,

Q_t = debit (mm/jam)

Q_p = debit puncak (mm/jam)

e = eksponensial

t = waktu (jam)

k = factor tampungan

i. Waktu Konsentrasi (tc)

$$tc = \left(\frac{0.87 * L^2}{1000 * S} \right)^{0.385}$$

dimana,

L = panjang sungai (km)

S = kelandaian sungai

2.2.3.2 Metode Passing Capacity

Cara ini dipakai dengan jalan mencari informasi yang dipercaya tentang tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi. Selanjutnya dihitung besarnya debit banjir rencana dengan rumus :

$$Q = A \times V$$

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (\text{Rumus Chezy})$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

dimana,

Q = volume banjir yang melalui tampang (m^3/dtk)

A = luas penampang basah (m^2)

V = kecepatan aliran (m/dtk)

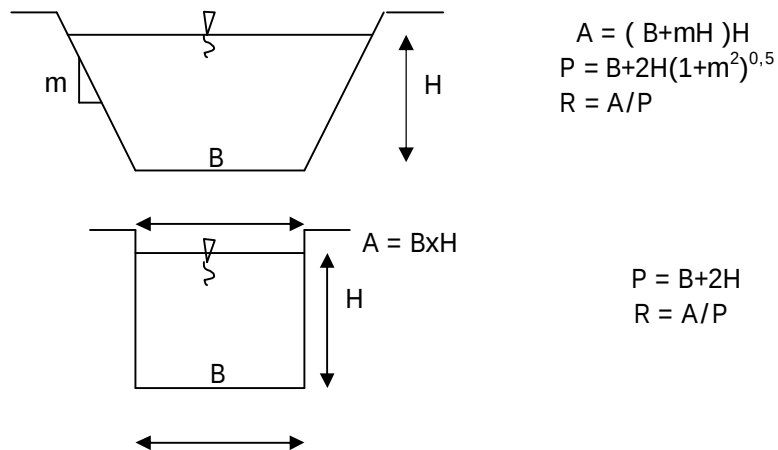
R = jari – jari hidrolis (m)

I = kemiringan sungai

P = keliling penampang basah sungai (m)

c = koefisien Chezy

B = lebar sungai (m)



Gambar 2.9 Jenis-jenis Penampang

2.2.3.3 Metode HEC-HMS

Terdapat bermacam-macam program komputer yang digunakan untuk memprediksi besarnya debit banjir suatu DAS. Penggunaan program komputer tersebut berdasarkan pada pemodelan-pemodelan hidrologi yang ada. Dalam hal ini menggunakan pemodelan program HEC-HMS.

HEC-HMS adalah sebuah program yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineer*. Program ini digunakan untuk analisa hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah DAS (watershed). (*U.S Army Corps of Engineer, 2001*)

HEC-HMS mengangkat teori klasik hidrograf satuan untuk digunakan dalam pemodelannya, antara lain hidrograf satuan sintetik Snyder, Clark, SCS, ataupun dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas user define hydrograph. (*U.S Army Corps of Engineer, 2001*). Teori klasik unit hidrograf di atas berasal dari hubungan antara hujan efektif dengan limpasan. Hubungan tersebut merupakan salah satu komponen model watershed yang umum. (*Ir C.D Soemarto, 1999*)

Pemodelan ini memerlukan data curah hujan yang panjang. Unsur lain adalah tenggang waktu (*Time Lag*) antara titik berat bidang efektif dengan titik berat hidrograf, atau antara titik berat hujan efektif dengan puncak hidrograf. (*Ir C.D Soemarto, 1999*).

a. Input HEC-HMS

Langkah - langkah dalam perhitungan debit banjir rencana dengan HEC-HMS :

- 1) Membuat *basin model* , untuk menggambarkan DAS dan elemen-elemennya.
- 2) Membuat *meteorologic model* sebagai input data bagi *basin model*.
- 3) Membuat control spesifikasi yang digunakan sebagai control terhadap data pada *meteorologic model*.

- 4) Menjalankan program dengan *run manager* untuk mendapatkan hasil simulasi.

b. Basin Model (Model Daerah Tangkapan Air)

Pada basin model tersusun atas gambaran fisik daerah tangkapan air dan sungai. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dengan jaringan yang mensimulasikan proses limpasan permukaan (*run off*). Permodelan hidrograf satuan memiliki kelemahan pada luas area yang besar, maka perlu dilakukan pemisahan area basin menjadi beberapa sub basin berdasarkan percabangan sungai, dan perlu diperhatikan batas-batas luas daerah yang berpengaruh pada DAS tersebut.

Pada basin model ini dibutuhkan peta background yang dapat diimport dari *Autodesk Land Desktop Development* maupun GIS (*Geografic Information System*). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah *subbasin*, *reach*, dan *junction*.

c. Sub Basin Loss Rate Method (Proses Kehilangan Air)

Loss rate method adalah pemodelan untuk menghitung kehilangan air yang terjadi karena proses intersepsi dan pengurangan tampungan. Metode yang digunakan pemodelan ini adalah *SCS Curve Number*.

Metode ini terdiri dari parameter *Curve Number* dan *Impervious*, yang menggambarkan keadaan fisik DAS seperti tanah, dan tataguna lahan.

d. Sub Basin Transform (Transformasi Hidrologi Satuan Limpasan)

Air hujan yang tidak terinfiltrasi atau jatuh secara langsung ke permukaan tanah akan menjadi limpasan. Ketika limpasan terjadi pada cekungan suatu DAS, akan mengalir sesuai dengan gradien kemiringan tanah menjadi aliran permukaan (*direct runoff*). *Transform method* (metode transformasi) digunakan untuk menghitung aliran langsung dari limpasan air hujan.

Pada pemodelan ini parameter yang dibutuhkan adalah *Lag*, yaitu tenggang waktu (*time lag*) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf. Parameter ini didasarkan pada data dari beberapa daerah tangkapan air pertanian. Parameter tersebut dibutuhkan untuk menghitung puncak dan waktu hidrograf, secara otomatis model *HEC-HMS* akan membentuk ordinat-ordinat untuk puncak hidrograf dan fungsi waktu.

Lag (T_p) dapat dicari dengan rumus :

$$T_p = 0,6 \times t_c$$

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

dimana,

L = Panjang lintasan maksimum

S = Kemiringan rata-rata

t_c = Waktu konsentrasi

e. Reach (Penghubung Antar Simpul)

Reach merupakan pemodelan yang menggambarkan metode penelusuran banjir (*flood routing*).

f. Meteorologic Model (Model Data Curah Hujan)

Meteorologic Model merupakan data curah hujan (*presipitation*) efektif dapat berupa 5 menit atau jam-jaman. Perlu diperhatikan bahwa curah hujan kawasan diperoleh dari hujan rerata metode Thiessen dengan memperhatikan pengaruh stasiun curah hujan pada kawasan tersebut. Bila 1 kawasan mendapat pengaruh dua dari tiga stasiun hujan yang digunakan, maka hujan rerata kawasan tersebut dihitung dari hujan rencana dua stasiun hujan tersebut.

g. Run Configuration (Konfigurasi Eksekusi Data)

Setelah semua variabel masukan di atas dimasukkan, untuk mengeksekusi pemodelan agar dapat berjalan, maka basin model dan meteorologic model harus disatukan.

Pemodelan dengan menggunakan HEC-HMS dapat dilakukan kalibrasi dengan menggunakan data observasi sehingga dapat disimulasikan debit banjir yang mendekati sebenarnya.

2.3 ANALISA DEBIT ANDALAN

Data aliran sungai hasil pengamatan masih sangat jarang dan kurang lengkap serta waktu pencatatannya relatif pendek. Banyak sungai belum mempunyai stasiun duga muka air baik yang manual maupun otomatis, sehingga diperlukan upaya untuk menyiapkan/membangkitkan data aliran sungai untuk setiap water district berdasar data curah hujan dari water districtnya. Pembangkitan data aliran ini menggunakan model rainfall-runoff-sacramento model yang tersedia pada perangkat lunak HYMOS. HYMOS merupakan singkatan dari Hydrological Modelling System. Model ini menghitung hidrologi suatu DAS dengan SubDAS-nya secara simultan.

2.3.1 Input Untuk HYMOS

Data masukan yang diperlukan untuk mengoperasikan HYMOS adalah sebagai berikut:

- 1) Hujan harian masing – masing stasiun di dalam DAS dan/atau di sekitarnya (minimum 2 stasiun).
- 2) Data klimatologi, meliputi evaporasi, lamanya penyinaran matahari, kelembaban udara, suhu udara, dan kecepatan angin.
- 3) Data debit rata – rata harian hasil pengukuran (untuk kalibrasi).

2.3.2 Hasil Hymos

2.3.2.1 Hujan Rata-rata

Hujan rata-rata kawasan dihitung dengan cara poligon thiessen. Data hujan hasil pengamatan adalah data hujan harian. Untuk kepentingan analisa kebutuhan air irigasi dan debit sungai bangkitan digunakan data hujan total dua minggu. Setelah data hujan harian dimasukkan pada sistem database hymos4, data hujan dievaluasi terlebih dahulu keakuratan data. Kemudian data dua minggu dihitung dan

kemudian data hujan rata-rata kawasan ditentukan. Perhitungan kebutuhan air irigasi dan debit keandalan aliran sungai dianalisa dengan menggunakan hujan yang mempunyai periode ulang lima tahunan. Berarti dimungkinkan gagal satu kali selama masa pengoperasian/pengelolaan lima tahun. Untuk itu perlu ditentukan distribusi statistik dari data, yang analisisnya dapat dilakukan dengan perangkat lunak Hymos4. Analisa statistik dilakukan pada hujan tahunan dengan demikian dapat ditentukan tahun rencana yang mempunyai periode ulangnya lima tahunan. Tahun ini digunakan sebagai tahun acuan analisa neraca air.

2.3.2.2 Debit Aliran (Pembangkitan) Sub Das

Data aliran sungai hasil pengamatan masih sangat jarang dan kurang lengkap serta waktu pencatatannya relatif pendek. Banyak sungai belum mempunyai stasiun duga muka air baik yang manual maupun otomatis, sehingga diperlukan upaya untuk menyiapkan/ membangkitkan data aliran sungai untuk setiap *water district* berdasar data curah hujan dari *water district* nya. Pembangkitan data aliran ini menggunakan model *rainfall-runoff-sacramento* model yang tersedia pada perangkat lunak HYMOS. Untuk menentukan aliran permukaan, *interflow* dan *ground waterflow* diperlukan parameter model yang besarnya ditentukan dengan proses kalibrasi.

2.4 ANALISA KEBUTUHAN AIR BAKU

Kebutuhan air baku digunakan untuk menentukan besarnya air baku yang diperlukan untuk melayani suatu DAS. Data untuk penentuan kebutuhan air adalah data curah hujan, dimana curah hujan merupakan salah satu dari beberapa data yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya kebutuhan air, baik kebutuhan air untuk irigasi, rumah tangga, perkotaan dan industri.

2.4.1 Kebutuhan Air Irigasi

Acuan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air irigasi berdasarkan Standard Kriteria Perencanaan Irigasi KP-01 yang diterbitkan oleh BPSDA.

Kebutuhan air irigasi adalah sejumlah air irigasi yang diperlukan untuk mencukupi keperluan bercocok tanam pada petak sawah ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi.

Untuk menghitung kebutuhan air irigasi menurut rencana pola tata tanam, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Pola tanam yang direncanakan
2. Luas areal yang akan ditanami
3. Kebutuhan air pada petak sawah
4. Efisiensi irigasi

Pola tanam yang direncanakan padi-padi-palawija dengan variasi awal pengolahan lahan, sebanyak 8 variasi yaitu 1 Nopember, 16 Nopember, 1 Desember, 16 Desember, 1 Januari, 16 Januari, 1 Februari dan 16 Februari.

2.4.1.1 Kebutuhan Air di Sawah

Kebutuhan air di sawah (*crop water requirement*) ialah kebutuhan air yang diperlukan pada petakan sawah yang terdiri dari :

1. Kebutuhan air untuk pengolahan lahan
2. Kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman (*consumptive use*)
3. Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air pada petakan-petakan sawah.

Banyaknya air yang diperlukan oleh tanaman pada suatu petak sawah dinyatakan dalam persamaan berikut (KP-01, 1986) :

$$NFR = ET_c + P + WLR - Re$$

dimana,

NFR = kebutuhan air di sawah (mm/hari)

ET_c = kebutuhan air tanaman (*consumptive use*) (mm/hari)

WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)

P = perkolasi (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

2.4.1.2 Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Air yang dibutuhkan selama masa penyiapan lahan untuk menggenangi sawah hingga mengalami kejenuhan sebelum transplantasi dan pembibitan. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan termasuk pembibitan adalah 250mm, 200mm digunakan untuk penjenuhan dan pada awal transplantasi akan ditambah 50 mm untuk padi, untuk tanaman ladang disarankan 50 sampai 100 mm (KP-01, 1986). Waktu yang diperlukan pada masa penyiapan lahan dipengaruhi oleh jumlah tenaga kerja, hewan penghela dan peralatan yang digunakan serta faktor sosial setempat.

Kebutuhan air selama jangka waktu penyiapan lahan dihitung berdasarkan rumus V.D Goor-Ziljstra (1968). Metode tersebut didasarkan pada air konstan dalam lt/det selama periode penyiapan lahan yang dihitung dengan rumus sbb (KP-01, 1986) :

$$IR = \frac{M(e^k)}{e^k - 1}$$

dimana,

IR = kebutuhan air irigasi di sawah (mm/hari)

M = kebutuhan air untuk mengganti kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan.
= $E_o + P$ (mm/hari)

E_o = Evaporasi air terbuka diambil 1,1 E_{To} selama masa penyiapan lahan (mm/hari)

P = perkolasi (mm/hari)

$k = \frac{MT}{S}$

T = lamanya penyiapan lahan (hari)

S = air yang dibutuhkan untuk penjenuhan ditambah dengan 50 mm (mm)

Dari rumus diatas didapatkan kebutuhan air irigasi selama masa penyiapan lahan seperti pada **Tabel 2.9** (KP-01, 1986)

Tabel 2.9 Kebutuhan Air Irigasi Selama Masa Penyiapan Lahan

Eo + P mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S=250 mm	S=300 mm	S=250 mm	S=300 mm
5.0	11.1	12.7	8.4	9.5
5.5	11.4	13.0	8.8	9.8
6.0	11.7	13.3	9.1	10.1
6.5	12.0	13.6	9.4	10.4
7.0	12.3	13.9	9.8	10.8
7.5	12.6	14.2	10.1	11.0
8.0	13.0	14.5	10.5	11.4
8.5	13.3	14.8	10.8	11.8
9.0	13.6	15.2	11.2	12.1
9.5	14.0	15.5	11.6	12.5
10.0	14.3	15.8	12.0	12.9
10.5	14.7	16.2	12.4	13.2
11.0	15.0	16.5	12.8	13.6

2.4.1.3 Kebutuhan Air Tanaman (ET_c)

Kebutuhan air tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan.

Besarnya kebutuhan air tanaman (*consumptive use*) dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut (KP-01, 1986):

$$ET_c = k_c \times ET_o$$

dimana,

ET_c = evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

ET_o = evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

k_c = koefisien tanaman

Harga koefisien tanaman padi dapat dilihat pada **Tabel 2.10** (KP-01, 1986) dan untuk tanaman non padi dapat dilihat pada **Tabel 2.11** (KP-01, 1986)

Tabel 2.10 Harga-harga Koefisien Tanaman Padi

Bulan	Nedeco/Prosida		F A O	
	Varietas ²⁾ Biasa	Varietas ³⁾ Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0.5	1.20	1.20	1.10	1.10
1.0	1.20	1.27	1.10	1.10
1.5	1.32	1.33	1.10	1.05
2.0	1.40	1.30	1.10	1.05
2.5	1.35	1.30	1.10	0.95
3.0	1.24	0.00	1.09	0.00
3.5	1.12		0.95	
4.0	0.00		0.00	

Tabel 2.11 Harga-Harga Koefisien untuk Diterapkan dengan Metode Perhitungan Evapotranspirasi FAO

Tanaman	Jangka Tumbuh (hari)	1/2 bulan No.													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kedelai	85		0.5	0.75	1.0	1	0.82	0.45*							
Jagung	80		0.5	0.59	0.96	1.05	1.02	0.95*							
Kacang Tanah	130		0.5	0.51	0.66	0.85	0.95	0.95	0.95	0.55	0.55*				
Bawang	70		0.5	0.51	0.69	0.9	0.95*								
Buncis	75		0.5	0.64	0.89	0.95	0.88								
Kapas	195		0.5	0.5	0.58	0.75	0.91	1.04	1.05	1.05	1.05	0.78	0.65	0.65	0.65

* untuk sisanya kurang dari ½ bulan

a. Pergantian Lapisan Air

Pergantian lapisan air dilakukan sebanyak dua kali masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hari selama ½ bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi (KP-01, 1986).

b. Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari daerah tidak jenuh ke dalam daerah jenuh. Laju perkolasi lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

- Tekstur tanah
 - a. Berat (lempung) = 1 - 2 mm/hari
 - b. Sedang (lempung kepasiran) = 2 - 3 mm/hari
 - c. Ringan = 3 - 6 mm/hari
- Kemiringan tanah
 - a. Lahan datar = 1 mm/hari
 - b. Lahan miring > 5% = 2 - 5 mm/hari

Laju perkolasi normal sesudah dilakukan penggenangan berkisar antara 1 sampai 3 mm/hari (KP-01, 1986). Untuk perhitungan kebutuhan air laju perkolasi diambil harga standar 2 mm/hari.

c. Curah Hujan Efektif

Tinggi hujan yang dinyatakan dalam mm menentukan saat mulai tanam pertama dan menentukan pula kebutuhan air irigasi. Untuk perencanaan kebutuhan air irigasi, curah hujan efektif.

Perhitungan curah hujan efektif didasarkan pada curah hujan tengah bulanan (15 harian), berdasarkan persamaan sbb (KP-01, 1986):

$$R_e = 0.7 \times \frac{R_5}{15}$$

dimana,

R_e = curah hujan efektif (mm/hari)

R_5 = curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun/mm (mm/hari)

Curah hujan efektif harian untuk palawija diambil dari **Tabel A.27** (KP-01, 1986) berdasarkan curah hujan bulanan, kebutuhan air tanaman bulanan dan evapotranspirasi bulanan

d. Efisiensi Irigasi

Efisiensi adalah perbandingan debit air irigasi yang sampai dilahan pertanian dengan debit air irigasi yang keluar dari pintu pengambilan yang dinyatakan dalam persen. Kehilangan ini disebabkan karena adanya penguapan, kegiatan eksploitasi, kebocoran dan rembesan. Untuk perencanaan dianggap sepertiga dari jumlah air yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah.

Total efisiensi irigasi untuk padi diambil sebesar 65% (*Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, halaman 10*), dengan asumsi 90 % efisiensi pada saluran primer, 87 % efisiensi pada saluran sekunder dan 80 % efisiensi pada jaringan tersier. Pada tanaman padi efisiensi pada lahan pertanian tidak diperhitungkan tapi analisa keseimbangan air diperhitungkan sebagai kebutuhan untuk lahan.

Efisiensi irigasi keseluruhan untuk palawija diambil sebesar 50 % (KP-01, 1986)

e. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan gabungan antara proses penguapan dari permukaan tanah bebas (evaporasi) dan penguapan yang berasal dari tanaman (transpirasi).

Besarnya nilai evaporasi dipengaruhi oleh iklim, sedangkan untuk transpirasi dipengaruhi oleh iklim, varietas, jenis tanaman serta umur tanaman.

Evapotranspirasi Potensial dihitung dengan menggunakan metode Penman yang telah modifikasi sebagai berikut :

$$E = \frac{\delta}{\delta+c} \left[\frac{1}{58} (1-r) R \right] - \frac{\delta}{\delta+c} \left[\frac{1}{58} 117 \cdot 10^{-9} [t(a)+273]^4 [0.56 - 0.092(e)^{0.5}] \right] \cdot [0.10 + 0.90 \cdot n/N] + c / (\delta+c) \cdot [0.35 \cdot [1 + 0.54 u] [e(s) - e(a)]]$$

dimana,

E = evaporasi (mm/hari)

δ = slope vapour pressure ($^{\circ}\text{C}$)

c = physical coefficient (c = 0,485)

r = reflection coefficient

R = radiasi matahari

t(a) = Temperatur rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

e(s) = tekanan uap air (mmHg)

e(a) = tekanan uap air jenuh pada titik embun (mmHg)

2.4.2 Kebutuhan Air Bersih Rumah Tangga

Acuan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air Rumah Tangga Perkotaan dan Industri (RKI) berdasarkan Pedoman Perencanaan Sumber Daya Air Buku 3, tentang Proyeksi Penduduk dan Kebutuhan Air RKI (DPU, 2004).

Air bersih adalah air yang diperlukan untuk rumah tangga, biasanya diperoleh secara individu dari sumber air yang dibuat oleh masing-masing rumah tangga berupa sumur dangkal, atau dapat diperoleh dari layanan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) PDAM.

Kebutuhan air bersih rumah tangga, dinyatakan dalam satuan Liter/Orang/Hari (L/O/H), besar kebutuhan tergantung dari jumlah penduduk yang ada di setiap Sub DAS yang dikorelasikan dengan Kriteria dari Dirjen Cipta Karya, DPU, 2006 (**Tabel 2.12**), yaitu:

Tabel 2.12 Kriteria Kebutuhan Air Bersih Rumah Tangga per Orang Per Hari Berdasarkan Jumlah Penduduk

No.	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Bersih (L/O/H)
1	Semi Urban (Ibu Kota Kecamatan / Desa)	3.000 - 20.000	60 - 90
2	Kota Kecil	20.000 - 100.000	90 - 110
3	Kota Sedang	100.000 - 500.000	100 - 125
4	Kota Besar	500.000 - 1.000.000	120 - 150
5	Metropolitan	> 1.000.000	150 - 200

2.4.3 Kebutuhan Air Perkotaan

Kebutuhan Air Perkotaan yaitu untuk memenuhi kebutuhan air komersial dan sosial. Pada umumnya hampir semua pelayanan PDAM antara 15% sampai dengan 35% dari total air perpipaan untuk kebutuhan air komersial dan sosial seperti : toko, gudang, bengkel, sekolah, rumah sakit, hotel dsb. Ternyata makin besar dan padat

penduduknya cenderung lebih banyak daerah komersial dan sosial, sehingga kebutuhan untuk air komersial dan sosial akan lebih tinggi jika penduduk makin banyak.

Dalam menghitung proyeksi kebutuhan air sebagaimana ditargetkan dalam MDGs sampai dengan tahun 2015, beberapa kriteria yang ditentukan sebagai berikut :

- Skala perkotaan adalah untuk kota dengan status ibukota kabupaten/kota dan ibu kota kecamatan dengan jumlah penduduk tahun 2004 sebesar ≥ 20.000 jiwa
- Tingkat pertumbuhan penduduk perkotaan ditetapkan dari setiap kabupaten/kota yang bersangkutan
- Tingkat konsumsi kebutuhan air melalui sambungan langsung = 120 liter/orang/hari
- Tingkat konsumsi kebutuhan air melalui hidran umum = 45 liter/orang/hari
- Rasio pelayanan melalui SR = HU dari 90% : 10% menjadi 95% : 5%
- Pelayanan non domestik ditetapkan 10% dari kebutuhan domestik
- Tingkat penurunan kehilangan air 28% menjadi 20%
- Faktor koefisien hari maksimum = 1,25
- Faktor koefisien jam puncak = 1,75
- Faktor koefisien kebutuhan air baku = 1,1
- Skala IKK adalah kota dengan status ibukota kecamatan dengan jumlah penduduk tahun 2004 ≤ 20.000 jiwa
- Rasio pelayanan melalui SR : HU dari 82% : 18% menjadi 94% : 6%
- Kriteria lainnya sama dengan skala perkotaan

Skala perdesaan

- Tingkat pertumbuhan penduduk perdesaan ditetapkan sesuai dengan pertumbuhan penduduk di setiap Kabupaten/Kota
- Tingkat konsumsi kebutuhan air melalui sambungan langsung = 90 liter/orang/hari
- Tingkat konsumsi kebutuhan air melalui hidran umum = 30 liter/orang/hari
- Rasio pelayanan melalui SR : HU dari 49% : 51% menjadi 50% : 50%
- Kriteria lain untuk program dengan sistem perpipaan diambil sama dengan skala perkotaan

2.4.4 Kebutuhan Air Industri

Kebutuhan air untuk industri sangat kompleks, biasanya sesuai dengan klasifikasi jenis dan ukuran industrinya, namun korelasi antara jenis dan ukuran industri dengan kebutuhan air tersebut kurang nyata. Air yang digunakan setiap pabrik berbeda untuk masing-masing jenisnya (pabrik tekstil berbeda dengan pabrik elektronik), selain itu tergantung pula pada ukuran pabrik, teknologi yang dipergunakan (umumnya yang lebih modern akan lebih efisien dalam penggunaan air), bahkan untuk setiap produk yang dikerjakan pada setiap saat. Sehingga, akan sulit menentukan perkiraan kebutuhan air untuk industri secara lebih akurat. Banyak pabrik mengambil air tanah dari sumur dalamnya sendiri dan untuk tambahan diperoleh dari PDAM walaupun masih dalam jumlah yang sedikit.

Besar kebutuhan air bersih industri diperhitungkan berdasarkan jumlah penduduk terhadap kebutuhan per pekerja dan rata rata pelayanan, yaitu :

$$\text{KAI} = \%P \times \text{AP} \times \text{RL}$$

dimana,

KAI = kebutuhan Air Industri (L/O/H)

% P = persentase asumsi penduduk (%)

AP = kebutuhan air industri per tenaga kerja (L/O/H)

RL = rerata Layanan, diperhitungkan konstan sebesar 70 %.

Selain itu kebutuhan air industri diperhitungkan pula untuk kehilangan air yang terdiri dari :

1. Kehilangan dalam proses sebesar 6 %
2. Kehilangan air tidak terhitung yaitu sebesar 25 %.

2.5 NERACA AIR

Saat ini untuk memperoleh nilai neraca air dan analisa waduk (*reservoir*) terdapat banyak program komputer yang dapat digunakan untuk mempermudahnya. Salah satu program yang dipakai pada analisa neraca air dalam laporan Tugas Akhir ini adalah RIBASIM. RIBASIM (*River BASin SIMulation*) adalah sebuah program yang dikembangkan oleh *Delft Hydraulics*. Program ini digunakan untuk mempermudah dan efektif sebagai pendukung proses analisis perencanaan dan sumberdaya suatu daerah atau DAS (*watershed*) yang akan dianalisa dengan mensimulasikan model DAS termasuk pola aliran air dari hulu hingga laut sehingga memperoleh nilai neraca air yang diinginkan.

Dalam laporan ini diberikan uraian singkat tentang neraca air Wilayah Sungai Dolok-Penggaron. Neraca air merupakan alat utama untuk menyusun prakiraan sumberdaya air yang tersedia, dan kemudian ketersediaan sumber daya air tersebut akan dipakai oleh para pemanfaat maupun pengembangan daya guna sumber daya air pada pengelolaan wilayah sungai.

Neraca air disusun dengan menggunakan Sistem Pengambilan Keputusan – *Decision Support System* (DSS)- dimana sistem tersebut memberi kemudahan secara utuh terhadap hal-hal yang berhubungan dengan uraian perangkat *database* beserta fungsi-fungsinya dalam wilayah sungai, dan kemudian kemampuannya untuk melakukan simulasi secara efektif semua akibat variasi-variasi upaya perencanaan (perubahan-perubahan prasarana), maupun perubahan fisik-alamiah pada sistem tersebut (misalnya : karakteristik aliran air/*runoff*).

Simulasi neraca air merupakan fungsi pokok dari DSS, hal ini melibatkan dua perangkat dasar neraca yaitu ketersediaan dan kebutuhan air “*water supply- and demand*”. Simulasi ini disediakan untuk pola-pola khusus kebutuhan air masa mendatang maupun konfigurasi khas wilayah sungai (strategi pengelolaan wilayah sungai) untuk memenuhi sasaran kebutuhan air. Strategi Pengelolaan Wilayah Sungai itu sendiri didalamnya termasuk pekerjaan rekayasa konstruksi (waduk, bendung, saluran dan sebagainya) maupun sistem operasi pengaturan untuk pengelolaan kebutuhan air.

Untuk memenuhi hal tersebut, maka simulasi menggunakan masukan data deret waktu “*time series*” hidrologi yang memungkinkan seorang analis untuk mengevaluasi tampilan karakter sistem wilayah sungai terutama untuk masa mendatang. Keseluruhan hasil simulasi akan menyatakan bagaimana unsur hidrologi wilayah sungai berubah berdasarkan pengaruh pertumbuhan kebutuhan dan pelaksanaan rekayasa konstruksi.

Beberapa hasil simulasi, yang dapat dilihat antara lain adalah :

- Besaran yang menyatakan hubungan antara kebutuhan air bersih dan irigasi.
- Besaran yang menyatakan apakah kebutuhan energi dapat dipenuhi seperti yang diandalkan.
- Besaran kebutuhan aliran sungai minimum yang mencukupi.

Berdasarkan hasil fisik simulasi, maka harga peubah “*variable*” keuntungan dan kerugian dari berbagai pengguna air dapat diprakirakan. Bersamaan dengan biaya investasi, operasi dan pemeliharaan prasarana wilayah sungai, analis akan dapat menyusun keseluruhan evaluasi ekonomi dengan mempertimbangkan strategi pengelolaan sumber daya air. Dalam konteks ini neraca air akan mempunyai lingkup antara hidrologi wilayah sungai dan evaluasi terhadap pilihan-pilihan pengembangan.

Format DSS kemudian menjadi suatu alat yang penting dalam memperbaiki dan merasionalisasi perencanaan. Hal ini akan banyak merangsang pekerjaan-pekerjaan perencanaan *database*, analisis beberapa pilihan dan uji terhadap kepekaan-kepekaannya.

2.5.1 Jejaring “*Infrastructure*” Prasarana Sumber Daya Air Wilayah Sungai

Jejaring “*Infrastructure*” sumber daya air wilayah sungai merupakan bagian dari perhitungan neraca air. Jejaring ini harus menggambarkan secara detail, sumber air, “*link*” (penghubung/saluran) maupun kontrol dan penggunaan air didalam wilayah sungai dengan semua pilihan-pilihannya. Konsep-konsep dan uraian digambarkan dalam skematisasi jejaring sebagai jaringan titik-titik dan percabangan “*nodes and branches*” yang mewakili semua kegiatan air di wilayah sungai (pemakaian air, arah aliran, sistem penyimpanan dan pembagian air). Skematisasi harus cukup memberikan informasi kegiatan-kegiatan air tersebut dalam hubungan dengan kegunaannya di wilayah sungai. Pada skematisasi, adalah tidak praktis atau bahkan tidak mungkin untuk menyertakan semua detail informasi skala kecil, baik yang ada maupun yang potensial untuk seluruh wilayah sungai yang luas. Dalam model kemudian dipakai perbedaan antara jaringan yang bersifat regional dan yang bersifat keseluruhan “*regional and basin wide*”, dimana jaringan secara keseluruhan dibagi dalam wilayah-wilayah yang disebut “*water district*”. Semua kegiatan didalam “*water district*” kemudian secara keseluruhan menjadi kegiatan di wilayah sungai, sehingga neraca air dapat dihitung secara total. “*Water district*” tersebut juga dipakai dalam uraian tentang proses aliran air dan berfungsi juga sebagai luasan terkecil dimana pada bagian ini disusun perhitungan hujan-larian “*rainfall runoff*”.

Didalam prakiraan ketersediaan air, secara khusus harus dibuat pembedaan antara air permukaan dan air tanah oleh karena ada perbedaan proses fisik. Untuk kondisi wilayah sungai di Indonesia, aliran air permukaan jauh lebih besar dibanding dengan air tanah. Sebagian besar dari pemakai air seperti irigasi maupun sistem

perpipaan di perkotaan lebih banyak dipasok dari air permukaan, namun, air tanah bagaimanapun juga penting untuk alokasi skala kecil.

2.5.2 Komponen Kebutuhan Rumah Tangga, Kota, Industri (DMI-Domestik, Municipal, Industri)

Ketersediaan air bersih sangat penting untuk kebutuhan penduduk dan dalam menunjang aktivitas perkotaan, dengan kata lain bahwa perkembangan perkotaan/pedesaan akan sangat ditentukan oleh ketersediaan air. Secara umum kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan aktivitas Perkotaan/Pedesaan diklasifikasikan menjadi :

- Kebutuhan Air Domestik (Rumah tangga)
- Kebutuhan Air Municipal (Kota)
- Kebutuhan Air Industri (Industri)

2.5.3 Public Water Supply (PWS)

Public water supply (PWS) merupakan sistem pelayanan kebutuhan air bersih secara komunal dengan menggunakan sistem perpipaan baik sistem transmisi maupun distribusi. Pada umumnya sistem PWS dikelola oleh badan usaha daerah dibawah pemerintahan kabupaten/kota atau dikenal dengan nama PDAM (Perusahaan daerah air minum). Sistem pelayanan distribusi air terhadap masyarakat menggunakan sistem sambungan rumah / *House Connection* (HC) dan sistem Kran Umum/*Public Tap* (PT).

2.5.4 Pengembangan SDA WS dolok-penggaron

Pengembangan Sumber Daya Air dilakukan untuk mengoptimalkan pendayagunaan Sumber Daya Air, dengan menggunakan model simulasi. Hal ini diperlukan karena sifat dari ketersediaan dan penggunaan Sumber Daya Air sangat dipengaruhi oleh waktu (WA), ruang (RUNG), dan jumlah (JA).

2.5.4.1 Model Simulasi Wilayah Sungai

Model simulasi umumnya dibuat untuk menganalisis suatu kondisi mendatang pada saat musim hujan dan kemarau. Simulasi pengelolaan Wilayah Sungai Dolok-Penggaron menggunakan teknik neraca air yang ada pada model Ribasim untuk mengoptimalkan Pendayagunaan Sumber Daya Air. Analisis ini bertujuan untuk membentuk hubungan antara hidrologi, prasarana dan kebutuhan air. Model simulasi RIBASIM untuk Wilayah Sungai Dolok-Penggaron menggunakan "*Grafical User Interface*" untuk menyusun skematisasi sistem tata air dan pemasukan data. Inti dari model simulasi meliputi menyeimbangkan suatu keadaan permintaan-persediaan air yang menggunakan rentetan waktu data hidrologi. Data persediaan air yang digunakan untuk menganalisis setiap konfigurasi adalah data ketersediaan air yang *probability* keringnya sekitar 20 %. Dengan demikian keputusan yang ditentukan selalu didasarkan pada pengaruh rangkaian periode kering 5 tahunan.

2.5.4.2 Skematisasi Sistem Tata Air

Prasarana Sumber Daya Air yang ada saat ini dan potensi pengembangannya di masa datang, pada model RIBASIM dapat digambarkan sebagai suatu jejaring. Sistem jejaring ini dapat menggambarkan interaksi dan distribusi air yang ada di dalam

Wilayah Sungai Dolok-Penggaron. Waduk dan embung yang berfungsi sebagai pensuplai penyimpan air guna keperluan irigasi, RKI, pengendalian banjir dan beberapa difungsikan sebagai PLTA. Bendung atau bangunan bagi utama yang di masukan pada jejaring adalah bendung atau bangunan bagi utama yang airnya dialirkan ke *water district* lain.

Ada empat macam elemen dari jejaring yang ada didalam model RIBASIM :

- Prasarana Sumber Daya Air, baik yang buatan maupun yang alamiah seperti : Waduk, Danau, Sungai, Saluran, Stasiun pompa dan jaringan pipa.
- Pengguna air (*Water Users*) dalam arti yang luas seperti; Air bersih untuk Rumah Tangga, Kota dan Industri, Air pertanian/Irigasi, PLTA, Perikanan, Rekreasi dan lainnya.
- Sistem pengelolaan dari Sumber Daya Air, yaitu sistem operasi waduk atau irigasi, prioritas pembagian air, aliran minimum di sungai untuk menjaga kelestarian lingkungan.
- Hidrologi yang berupa *inflow*, aliran antar daerah aliran sungai, hujan dan evaporasi dan hidrolika yang berupa sifat-sifat pengaliran.

Titik simpul dari jejaring adalah berupa bangunan, pengguna air, *inflow* yang dihubungkan dengan “*Link*” yang artinya adalah transportasi/aliran airnya yang berinteraksi.

2.5.4.3 //Water District

Satuan spasial terkecil dalam simulasi perencanaan WS menggunakan RIBASIM didasarkan pada wilayah yang disebut sebagai *water district* (WD). WD yang merupakan sub DAS tidak selalu identik dengan satuan wilayah administrasi. Mudah dimengerti bahwa satu WD bisa dicakup keseluruhan atau sebagian beberapa wilayah administrasi. WD merupakan salah satu node dalam skema jejaring sumber daya air dalam simulasi RIBASIM, disusun dan dibuat berdasarkan peta dasar, stasiun pengamatan curah hujan dan peta tema dasar.

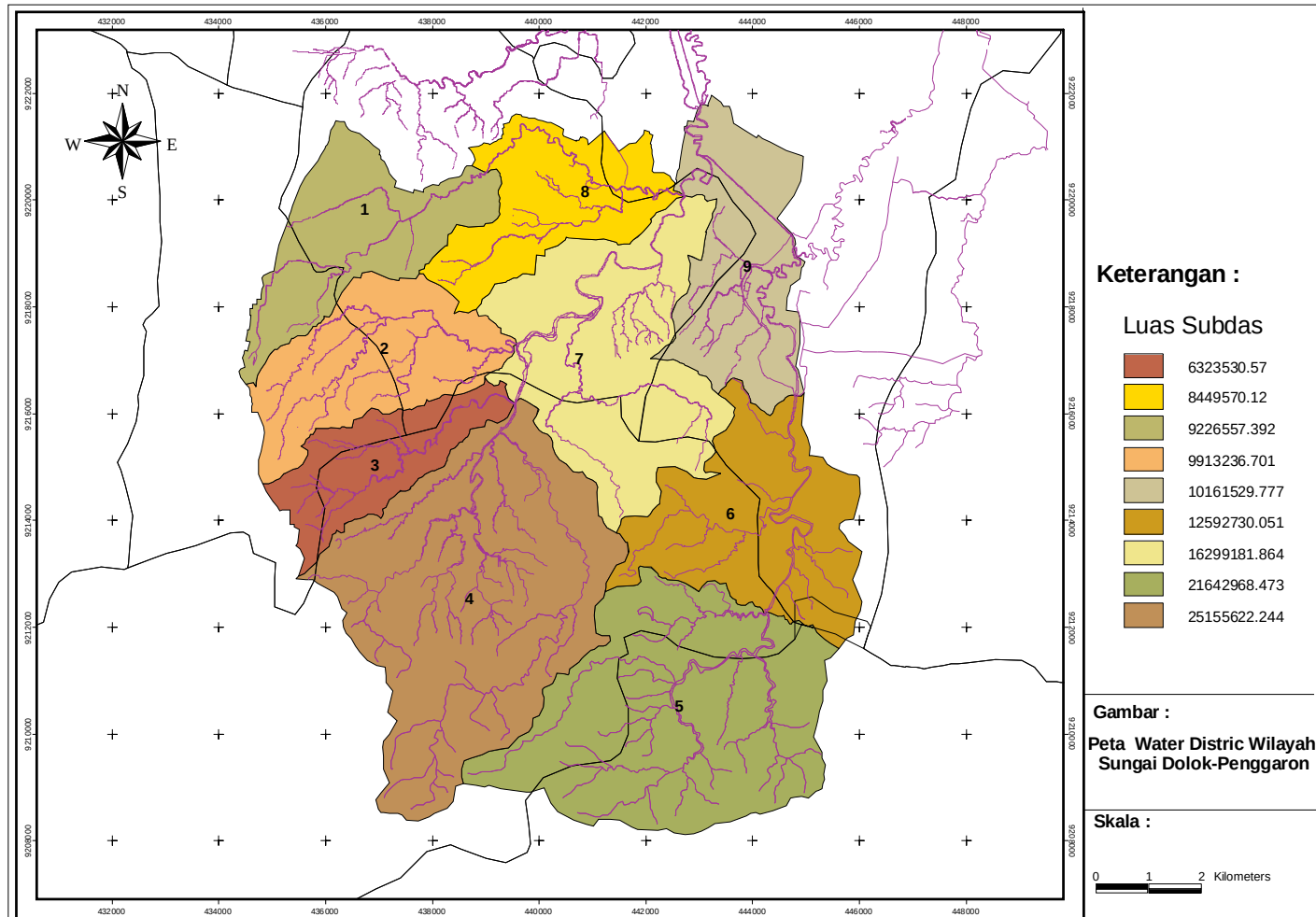
Simulasi dan Analisis keruangan tematik dalam penyusunan data dasar RIBASIM selalu mengacu ke WD. Luas WD ditentukan berdasarkan proses analisis yang menggunakan paket Land Dekstop Development. **Tabel 2.13** menunjukkan luas *Water District* di Wilayah Sungai Dolok-Penggaron.

Tabel 2.13 Luas Water District di WS Dolok-Penggaron

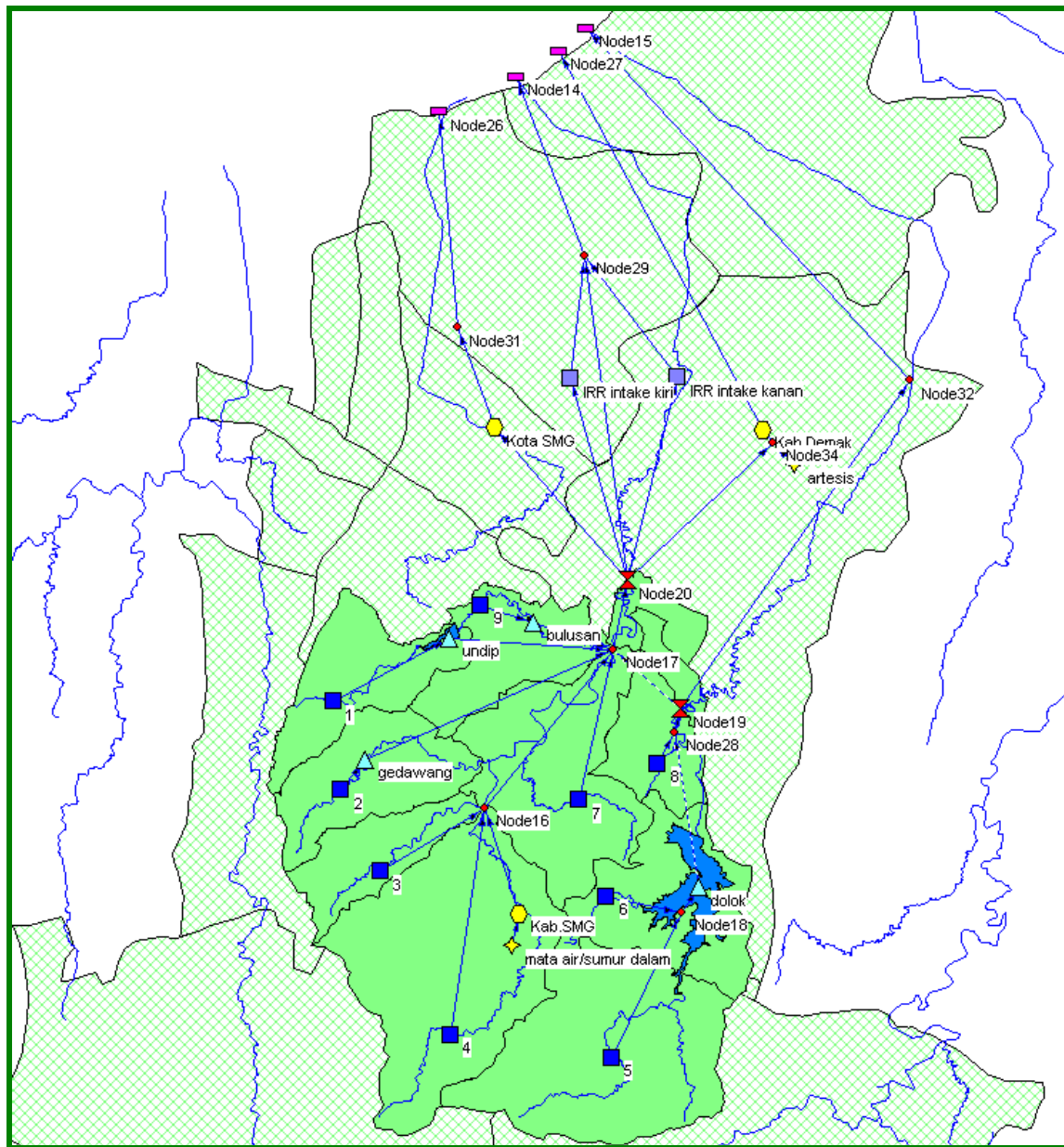
No.	Water Distrik	Indeks	Luas (Ha)
1	Water Distrik 1	1	922.666
2	Water Distrik 2	2	991.584
3	Water Distrik 3	3	632.353
4	Water Distrik 4	4	2515.562
5	Water Distrik 5	5	2164.297
6	Water Distrik 6	6	1259.291
7	Water Distrik 7	7	1630.013

No.	Water Distrik	Indeks	Luas (Ha)
8	Water Distrik 8	9	845.435
9	Water Distrik 9	8	586.875

Sumber : BWRMP, 2000



Gambar 2.10 Peta Water District di Wilayah Sungai Dolok-Penggaron



Gambar 2.11 Skematisasi Sistem Tata Air WS Dolok-Penggaron

2.5.4.4 Alternatif Pengelolaan Sumber Daya Air

Tujuan pengelolaan WS Dolok-Penggaron mengacu pada sasaran pengembangan dari Propinsi Jawa Tengah yang digambarkan pada rencana tata ruang yang ditekankan pada pertumbuhan dan pemerataan. Pengembangan Sumber Daya Air di WS Dolok-Penggaron harus dapat mendukung sasaran pengembangan Propinsi Jawa Tengah maupun Indonesia secara utuh.

Alternatif perbaikan dan pembangunan infrastruktur Sumber Daya Air harus efektif dan efisien karena membutuhkan biaya yang besar. Untuk menentukan alternatif Pengembangan Sumber Daya Air agar terjadi keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan dalam hal kuantitas dan kualitas pasokan air dan lingkungan. Kebutuhan kuantitas Sumber Daya Air diperkirakan berdasarkan proyeksi kebutuhan penduduk dan kegiatan-kegiatannya, seperti industri, kegiatan komersial, irigasi dan konsumsi air bersih. Kebutuhan air yang digunakan untuk analisis adalah kebutuhan yang telah memperhatikan efisiensi dalam pengaliran dan sampai tingkat pemahaman akhir. Pemenuhan kebutuhan air akan sangat tergantung dengan kapasitas prasarana Sumber Daya Air yang ada di wilayah sungai kapasitas prasarana yang diusulkan.

Untuk dapat mengevaluasi hasil alternatif pengembangan, maka paling tidak harus dilakukan dua buah simulasi yaitu :

- 1) Simulasi Pertama, untuk kondisi tanpa upaya, yang dinamakan dengan Kasus Dasar (Base Case) dan terdiri atas Kasus Dasar Masa Kini (untuk kalibrasi sistem).
- 2) Simulasi Kedua, kasus dasar masa mendatang (untuk perbandingan alternatif-alternatif) dengan berbagai alternatif pengembangan yaitu berjalannya waduk dan/atau embung rencana.

Perbedaan hasil dari kedua buah simulasi tersebut merupakan dampak dari alternatif pengembangan yang dikaji. Perbedaan ini misalnya dapat berupa: debit air, pasokan air terhadap suatu kebutuhan air, produksi hasil pertanian, perikanan, dan produksi energi listrik.

Kasus-kasus simulasi tersebut diatas disimulasikan menurut skenario yang digunakan. Skenario adalah parameter sistem yang tidak dapat diubah dan bersifat probabilistik, misalnya skenario laju pertumbuhan penduduk, skenario tingkat suku-bunga, dan skenario kondisi hidrologi. Simulasi Wilayah Sungai serta tahun hidrologi dan kebutuhan dapat dilihat pada **Gambar 2.12** dan **Gambar 2.13**.

Berdasarkan informasi dan data yang diperoleh, berikut ini adalah upaya pengembangan Sumber Daya Air.

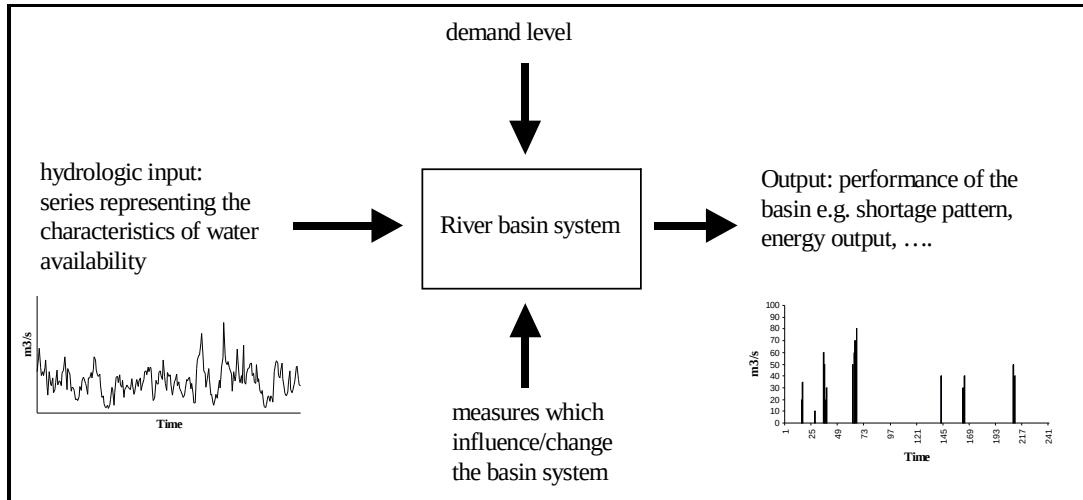
A. Upaya Orientasi Pemberian

Upaya ini termasuk upaya tradisional untuk pengembangan secara efektif dan memanfaatkan infrastruktur/prasarana yang ada dan yang direncanakan. Upaya ini dapat dibagi menjadi dua macam:

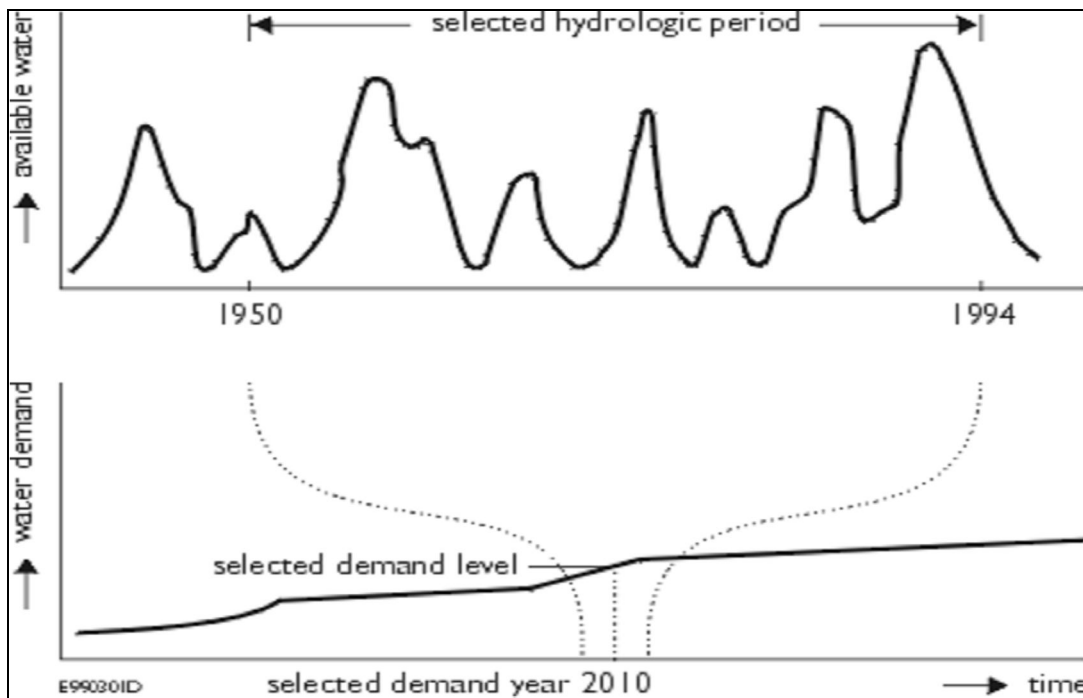
- Upaya pengembangan prasarana Sumber Daya Air seperti sistem tampungan dan distribusi.
- Upaya pengembangan sistem operasi yaitu dengan perbaikan atau peningkatan *supply* melalui penggunaan fasilitas yang ada dengan lebih efisien, sebagai tambahan perlu pula ditingkatkan sistem monitoring dan pelaporan.

B. Upaya Orientasi Kebutuhan

Upaya ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan tingkat serta pola kebutuhan yang lebih efisien. Upaya ini termasuk perubahan perilaku, upaya penghematan air dari penataan sistem distribusi tata ruang. Jenis dan tingkat kegiatan perlu disesuaikan dengan ketersediaan Sumber Daya Air.



Gambar 2.12 Simulasi Wilayah Sungai



Gambar 2.13 Tahun Hidrologi dan Tahun Kebutuhan

2.6 KAPASITAS ALUR SUNGAI

Untuk mengetahui kapasitas alur sungai pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana digunakan program HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System). HEC-RAS adalah sebuah sistem yang didesain untuk penggunaan yang interaktif dalam lingkungan yang bermacam-macam. Ruang lingkup HEC-RAS adalah menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran *steady* dan *unsteady*, serta penghitungan pengangkutan sedimen. Elemen yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang.

2.6.1 Profil Muka Air Pada aliran *Steady*

Dalam bagian ini HEC-RAS memodelkan suatu saluran dengan aliran *steady* berubah lambat laun. Sistem ini dapat mensimulasikan aliran pada seluruh jaringan saluran ataupun pada saluran tunggal tanpa percabangan, baik itu aliran kritis, subkritis, superkritis ataupun campuran sehingga didapat profil muka air yang diinginkan.

Konsep dasar dari perhitungan adalah menggunakan persamaan energi dan persamaan momentum. Kehilangan energi juga di perhitungkan dalam simulasi ini dengan menggunakan prinsip gesekan pada saluran, belokan serta perubahan penampang, baik akibat adanya jembatan, gorong-gorong ataupun bendung pada saluran atau sungai yang ditinjau.

2.6.2 Profil Muka Air Pada Aliran *Unsteady*

Pada sistem pemodelan ini, HEC-RAS mensimulasikan aliran *unsteady* pada jaringan saluran terbuka. Konsep dasarnya adalah persamaan aliran *unsteady* yang dikembangkan oleh Dr. Robert L. Barkau's UNET model (Barkau, 1992 dan HEC, 1999).

Pada awalnya aliran *unsteady* hanya di disain untuk memodelkan aliran subkritis, tetapi versi terbaru dari HEC-RAS yaitu versi 3.1 dapat juga untuk memodelkan aliran superkritis, kritis, subkritis ataupun campuran serta loncatan hidrolik. Selain itu penghitungan kehilangan energi pada gesekan saluran, belokan serta perubahan penampang juga diperhitungkan.

2.6.3 Konsep Perhitungan Profil Muka Air dalam HEC-RAS

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung.

Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran di bagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai n (koefisien kekasaran manning) sebagai dasar bagi pembagian penampang. setiap aliran yang terjadi pada bagian dihitung dengan menggunakan persamaan Manning :

$$Q = K S_f^{1/2} \quad \text{dan} \quad K = \frac{1,486}{n} A R^{2/3}$$

dimana,

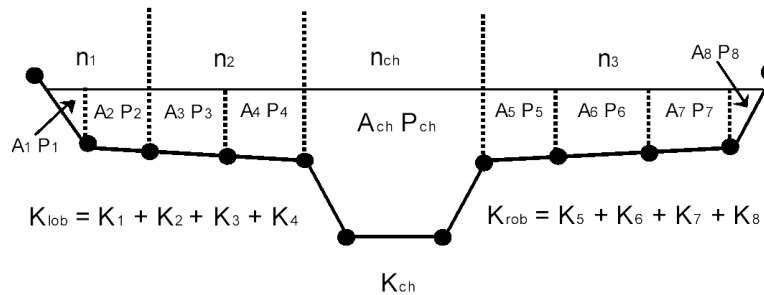
K = nilai pengantar aliran pada unit

n = koefisien kekasaran manning

A = luas bagian penampang

R = jari-jari hidrolik

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran manning yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut seperti terlihat pada **Gambar 2-14**.



Gambar 2.14 Contoh Penampang Saluran dalam HEC-RAS

Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air. Konsep dasar penghitungan profil permukaan air berdasarkan persamaan energi yaitu:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Dimana :

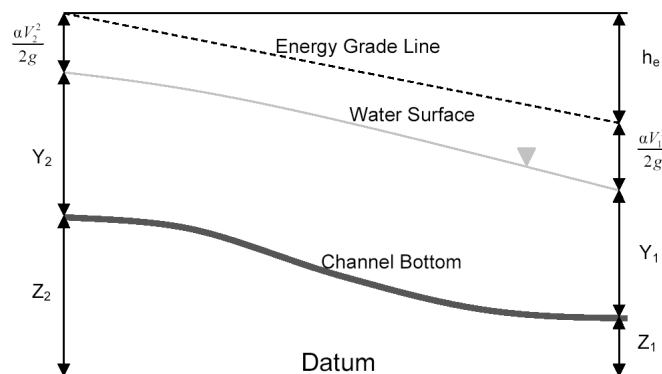
Z = fungsi titik diatas garis referensi

Y = fungsi tekanan di suatu titik

V = kecepatan aliran

α = koefisien kecepatan

h_e = energi head loss



Gambar 2.15 Penggambaran Persamaan Energi Pada Saluran Terbuka

Nilai h_e didapat dengan persamaan :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dimana,

L = jarak antara dua penampang

S_f = kemiringan aliran

C = koefisien kehilangan energi (penyempitan, pelebaran atau belokan)

Langkah berikutnya dalam perhitungan HEC-RAS adalah dengan mengasumsikan nilai muka air (*water surface*) pada penampang awal saluran (dalam hal ini penampang di hilir). Kemudian dengan menggunakan persamaan energi diatas maka profil muka air untuk semua penampang di saluran dapat di ketahui.

2.6.4 Pasang Surut

Sungai atau Banjir Kanal yang membuang airnya ke laut dipengaruhi fluktuasi tinggi muka air di laut akibat pasang surut. Dalam perencanaan kapasitas sungai/saluran untuk pengendalian banjir dipergunakan muka air pasang tinggi.

Pada perencanaan Sistem Dolok-Penggaron dipergunakan data pasang surut yang diamati di Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. Berdasarkan hasil analisis data pasang surut di Pelabuhan Tanjung Mas Semarang diperoleh berbagai elevasi muka air laut sbb.:

Pasang surut air laut di Kota Semarang, yang direkam di Pelabuhan Tanjung Emas, bertipe campuran dominan tunggal. Simpangan (amplitudo) tertinggi sebesar 1,25 m, yang terjadi pada pasang purnama.

2.7 ANALISA KONSERVASI

Konservasi lahan diartikan sebagai upaya melindungi dan mempertahankan kelestarian lahan sesuai dengan fungsinya. Konservasi lahan dimaksudkan untuk melindungi tanah dari bahaya degradasi baik secara fisik, kimia dan biotik. Tanah harus dilindungi dari kerusakan karena erosi, longsor maupun penurunan kesuburan tanah. Erosi adalah penyebab utama kerusakan tanah sehingga memunculkan lahan kritis dengan kesuburan tanah yang merosot. Jumlah erosi di daerah tropis cukup besar karena banyaknya tanah yang terbuka dengan tingginya curah hujan. Pengangkutan komponen tanah akibat erosi di daerah tangkapan hujan hulu sungai akan menyebabkan sedimentasi sungai, danau atau waduk sehingga terjadi pendangkalan.

Konservasi lahan terhadap bahaya erosi merupakan fungsi curah hujan, kelerengan, jenis tanah dan penggunaan lahan. Prinsip upaya konservasi tanah adalah mengupayakan penutupan tanah sebaik mungkin dengan vegetasi sepanjang tahun sehingga dapat melindungi tanah terhadap despersi fraksi tanah akibat pukulan curah hujan sekaligus memperlambat laju aliran permukaan. Dengan memperlambat laju aliran permukaan maka daya angkut terhadap fraksi tanah diperkecil dan kesempatan infiltrasi air ke dalam tanah dapat diperbesar. Upaya konservasi tanah umumnya juga sebagai upaya konservasi air sehingga ketersediaan air dapat terjamin kontinuitasnya sepanjang tahun baik pada musim hujan maupun kemarau. Pada musim hujan tidak terjadi banjir dan pada musim kemarau tetap tersedia air. Konservasi kawasan tangkapan hujan daerah hulu akan tercermin dari fluktuasi sungai, danau dan waduk yang terjaga sepanjang tahun.

Variabel fisik yang diperlukan untuk keperluan analisis pengembangan konservasi tanah adalah :

- a. Peta Topografi

- b. Peta Jenis Tanah
- c. Peta Kelerengan
- d. Peta Penggunaan Tanah
- e. Data Intensitas Curah Hujan (iklim)

Teknik analisis terhadap pengembangan konservasi tanah dilakukan melalui identifikasi terhadap potensi erosi, indeks bahaya erosi, penetapan fungsi kawasan dan rencana rehabilitasi dan konservasi tanah.

2.7.1 Analisa Longsoran

Peta zona kerentanan gerakan tanah dibuat dengan menganalisis secara terpadu kondisi faktor-faktor pengontrol gerakan tanah yaitu kondisi lereng, geologi, geohidrologi dan tata guna lahan yang saling berinteraksi dalam mengkondisikan suatu lereng menjadi cenderung untuk bergerak (*Karnawati, 2002*).

Tingkat kerentanan gerakan tanah diperhitungkan berdasarkan pada hasil analisis terpadu yang mengintegrasikan pengaruh parameter-parameter prinsip, parameter pendukung utama yang merupakan pengontrol gerakan tanah. Analisis terpadu dilakukan dengan cara menumpangtindihkan peta parameter prinsip dan peta dari parameter pendukung utama. Parameter prinsip terdiri atas:

- a. Peta Geologi
- b. Kelerengan

Sedangkan peta parameter pendukung utama terdiri atas :

- a. Tata Guna Lahan
- b. Penyebaran sesar
- c. Curah Hujan

Setiap parameter akan diberikan nilai bobot dan score.

Mekanis Penetapan bobot dan score tiap parameter penentu kerentanan gerakan tanah (*Karnawati, 2002*)

Parameter Prinsip :

1. Kondisi Geologi (Bobot 3)

Tabel 2.14 Parameter Kondisi Geologi

Kondisi Geologi	Intensitas (Score)
Aluvium, Aluvium fasies gunungapi, Andesit, Granit, Gabro	1
Miosen fasies batugamping, Liparit, Batuan Pratersier, Sekis Kristalin	2
Pliosen fasies sediment (F. Waturanda, F. Peniron)	3
Hasil gunungapi kwarter muda dan tua, Hasil gunungapi tak teruraikan	4
Miosen fasies sediment (F.Rambatan), batuan eosin (F. Totogan)	5

2. Kelerengan (Bobot 2)

Tabel 2.15 Parameter Kelerengan

Kelerengan (%)	Intensitas (Score)
0 – 8	1
8 – 15	2
15 – 25	3
25 – 45	4
> 45	5

Parameter Pendukung Utama :

1. Tata Guna Lahan

Tabel 2.16 Parameter Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan	Intensitas (Score)
Semua jenis penggunaan lahan pada dataran (lereng $\leq 8\%$)	1
Penggunaan lahan (penggunaan lahan pada lereng $\geq 8\%$)	-
Hutan rakyat, Hutan berdasarkan peta TGH, hutan lindung	1
Perkebunan	2
Tegalan, Belukar, Sawah	3
Pemukiman, Kawasan perkotaan	4

2. Penyebaran Sesar (Bobot 1)

Tabel 2.17 Parameter Penyebaran Sesar

Penyebaran sesar	Intensitas (Score)
Sesar intensif	3
Tidak ada sesar	1

3. Curah Hujan (Bobot 1)

Tabel 2.18 Parameter Curah Hujan

Curah hujan (mm/hari)	Intensitas (Score)
0 – 13.6	1
13.6 – 20.7	2
20.7 – 27.7	3
27.7 – 34.8	4
> 34.8	5

Setelah dibuat peta kerentanan gerakan tanah, dilakukan kalibrasi dengan data-data gerakan tanah berdasarkan peninjauan lapangan. (Hasil penyelidikan Dinas Pertambangan dan Energi Propinsi Jawa Tengah). Kalibrasi ini dilakukan untuk mendapatkan Analisis yang tepat.

Tabel 2.19 Kriteria Tingkat Kerentanan Gerakan Tanah

Tingkat Kerentanan	Kriteria	Kondisi
Tinggi	Parameter-parameter kunci pengontrol gerakan tanah mengkondisikan suatu zona sedemikian rupa sehingga lereng-lereng pada zona tersebut hampir selalu mengalami gerakan apabila terjadi pemicu	Sering terjadi gerakan pada salah satu lereng apabila terjadi pemicu
Menengah	Parameter-parameter kunci pengontrol gerakan tanah mengkondisikan suatu zona sedemikian rupa sehingga lereng-lereng pada zona tersebut kadang-kadang mengalami gerakan apabila terjadi pemicu	Kadang-kadang terjadi gerakan pada salah satu lereng apabila terjadi pemicu
Rendah	Parameter-parameter kunci pengontrol gerakan tanah mengkondisikan suatu zona sedemikian rupa sehingga lereng-lereng pada zona tersebut jarang mengalami gerakan apabila terjadi pemicu	Jarang terjadi gerakan pada salah satu lereng apabila terjadi pemicu
Sangat rendah	Parameter-parameter kunci pengontrol gerakan tanah mengkondisikan suatu zona sedemikian rupa sehingga lereng-lereng pada zona tersebut hampir tidak pernah mengalami gerakan apabila terjadi pemicu	Tidak pernah terjadi gerakan pada salah satu lereng apabila terjadi pemicu

a. Kerentanan Erosi

Tingkat Bahaya Erosi adalah perkiraan jumlah tanah yang hilang maksimum yang terjadi pada suatu lahan bila pengelolaan tanaman dan konservasi tanah tidak mengalami perubahan. Perkiraan jumlah tanah hilang maksimum diperhitungkan dengan menggunakan formula USLE (Arsyad, 1979), yaitu :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

dimana,

- A = jumlah tanah hilang rata-rata per tahun (t/ha/tahun)
- R = indeks daya erosi hujan (erosivitas hujan)
- K = indeks kepekaan tanah terhadap erosi (erodibilitas tanah)
- L = faktor panjang lereng
- S = faktor kecuraman lereng
- C = faktor tanaman (vegetasi)
- P = faktor usaha-usaha pencegahan erosi

b. Erosivitas Hujan

Berdasarkan data curah hujan bulanan, faktor erosivitas hujan (**R**) dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan :

$$R = 2,21 (\text{Rain})_m^{1,36}$$

dimana,

R = erosivitas hujan bulanan (cm)

$(\text{Rain})_m$ = curah hujan bulanan (cm)

c. Erodibilitas tanah

Indeks kepekaan tanah terhadap erosi atau erodibilitas tanah (K) merupakan jumlah tanah yang hilang rata - rata setiap tahun per satuan indeks daya erosi curah hujan pada sebidang tanah tanpa tanaman (gundul), tanpa usaha pencegahan erosi, lereng 9% ($=5^\circ$), dan panjang 22 m (petak baku). Untuk petak baku $K = \frac{A}{R}$. Ukuran baku ini dipilih karena sebagian besar percobaan erosi di Amerika dilakukan pada keadaan tersebut.

Kepekaan tanah terhadap erosi dipengaruhi oleh tekstur tanah (terutama kadar debu + pasir halus), bahan organik, struktur, dan permeabilitas tanah.

Makin tinggi nilai K, tanah makin peka terhadap erosi. (**Tabel 2.20**) (Arsyad, 1979). menyajikan nilai K untuk beberapa jenis tanah di Indonesia.

Tabel 2.20 Nilai K untuk Beberapa Jenis Tanah di Indonesia

No.	Jenis Tanah	Nilai K
1.	Latosol (Inceptisol, Oxic subgroup) Darmaga, bahan induk vulkanik	0,02
2.	Mediteran Merah Kuning (Alfisol) Cicalengka, bahan induk vulkanik	0,05
3.	Mediteran (Alfisol) Wonosari, bahan induk breksi dan batuan liat	0,21
4.	Podsolik Merah Kuning (Ultisol) Jonggol, bahan induk batuan liat	0,15
5.	Regosol (Inceptisol) Sentolo, bahan induk batuan liat	0,11
6.	Grumusol (Vertisol) Blitar, bahan induk serpih (shale)	0,24

Secara umum nilai K dapat di tentukan dengan persamaan *Hammer, 1970*, sebagai berikut:

$$K = \frac{2,731M^{1,14}(10^{-4})(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3)}{100}$$

dimana,

K = faktor erodibilitas tanah

M = parameter ukuran butir

a = prosentase bahan organik (% C x 1,724)

b = kode strukur tanah

c = kode permeabilitas tanah

d. Kemiringan dan Panjang Lereng

Kelas kelerengan lahan dibuat dari data dasar DEM (Digital Elevation Model) yang dikembangkan dari peta kontur yang diambil dari Peta Rupabumi Indonesia. DEM adalah suatu citra yang secara akurat memetakan ketinggian dari permukaan bumi. Peta DEM yang telah diubah menjadi peta lereng, selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan nilai panjang lereng (L) dan curamnya lereng (S).

Baik panjang lereng (L) maupun curamnya lereng (S) mempengaruhi banyaknya tanah yang hilang karena erosi. Faktor LS merupakan rasio antara tanah yang hilang dari suatu petak dengan panjang dan curam lereng tertentu dengan petak baku. Tanah dalam petak baku

tersebut (tanah gundul, curamnya lereng 9%, panjang 22 m, tanpa usaha pencegahan erosi) mempunyai nilai LS = 1. Nilai LS dapat dihitung dengan rumus:

$$LS = \sqrt{\frac{L}{100} (0,136 + 0,097S + 0,0139S^2)}$$

dimana L dalam meter dan S dalam persen.

Faktor LS dapat pula ditentukan dengan menggunakan nomograf.

Tabel 2.21 Penilaian Indeks Kemiringan Lereng (LS)

No.	Kelas	Besaran	Jumlah kontur tiap cm	Penilaian LS
1	Datar	< 8%	< 2	0,4
2	Landai	8-15%	2-3	1,4
3	Agak curam	15-25%	3-5	3,1
4	Curam	25-40%	5-8	6,8
5	Sangat Curam	> 40%	> 8	9,5

Berdasarkan zonasi tersebut di atas, daerah penyelidikan dapat dibuat Peta Zona.

e. Penutupan Lahan

Merupakan rasio dari tanah pada tanaman tertentu dengan tanah gundul. Pada tanah gundul (petak baku) nilai C = 1.0. Untuk mendapatkan nilai C tahunan perlu diperhatikan perubahan – perubahan penggunaan tanah dalam setiap tahun. Pada **Tabel 2.22** disajikan nilai C untuk beberapa jenis tanaman yang terdapat di Indonesia.

Tabel 2.22 Nilai C dari beberapa Jenis Pertanian di Indonesia

No.	Jenis Pertanian	Nilai C
1.	Tanah yang diberakan tapi diolah secara periodik	1,0
2.	Sawah beririgasi	0,01
3.	Sawah tadah hujan	0,05
4.	Tanaman tegalan (tidak dispesifikasi)	0,7
5.	Tanaman rumput Brachiaria;	
	- Tahun permulaan	0,3 ⁺
	- Tahun berikutnya	0,02 ⁺
6.	Ubi kayu	0,8
7.	Jagung	0,7
8.	Kecacangan	0,6
9.	Kentang	0,4
10.	Kacang tanah	0,2
11.	Padi	0,5
12.	Tebu	0,2
13.	Pisang	0,6

No.	Jenis Pertanaman	Nilai C
14.	Sereh wangi	0,4 ⁺
15.	Kopi dengan tanaman penutup tanah	0,2
16.	Yam	0,85
17.	Cabe, jahe, dan lain - lain (rempah-rempah)	0,9
18.	Kebun campuran;	
	- Kerapatan tinggi	0,1
	- Ubi kayu - kedele	0,2
	- Kerapatan sedang	0,3
	- Kerapatan rendah (kacang tanah)	0,5
19.	Perladangan berpindah - pindah (shifting cultivation)	0,4
20.	Perkebunan (penutup tanah buruk);	
	- Karet	0,8
	- Teh	0,5
	- Kelapa Sawit	0,5
	- Kelapa	0,8
21.	Hutan alam;	
	- Penuh dengan serasah	0,001
	- Serasah sedikit	0,005
22.	Hutan produksi;	
	- Tebang habis (clear cutting)	0,5
	- Tebang pilih (selective cutting)	0,2
23.	Belukar/rumput	0,3
24.	Ubi kayu + kedele	0,3
25.	Ubi Kayu + kacang tanah	0,26
26.	Ubi Kayu + jagung - kacang tanah	0,45
27.	Padi gogo + jagung	0,5
28.	Padi gogo + sorgum	0,5
29.	Padi gogo + kedelai	0,3
30.	Padi gogo + Kacang gede	0,55
31.	Padi gogo + kacang tunggak	0,45
32.	Kacang tanah + kacang hijau	0,50
33.	Kacang tanah + kacang hijau	0,45
34.	Jagung + kacang2an/kacang tanah	0,40
35.	Jagung + ubi jalar	0,40
36.	Alang - alang dibakar sekali setiap tahun	0,1
37.	Tanah kosong, tidak diolah	0,95

No.	Jenis Pertanaman	Nilai C
38.	Tanah kosong diolah	1,0
39.	Ladang berpindah	0,4
40.	Pohon reboisasi, tahun 1	0,32
41.	Pohon reboisasi, tahun 2	0,1
42.	Tanaman perkebunan, tanah ditutup dengan bagus	0,1
43.	Tanaman perkebunan, tanah berpenutupan jelek	0,5
44.	Semak tak terganggu	0,01
45.	Hutan tak terganggu, sedikit seresah	0,005
46.	Hutan tak terganggu, banyak seresah	0,001

2.7.2 Konservasi Praktis

Merupakan rasio tanah yang hilang bila usaha konservasi tanah dilakukan (teras, tanaman dalam kontur dan sebagainya) dengan tanpa usaha konservasi tanah. Tanpa konservasi tanah nilai $P = 1$ (petak baku). Bila diteraskan, nilai P dianggap sama dengan P untuk *strip cropping*, sedang nilai LS didapat dengan menganggap panjang lereng sebagai jarak horizontal dari masing – masing teras. Pada **Tabel 2.23** disajikan pada beberapa teknik konservasi tanah.

Tabel 2.23 Nilai P pada Beberapa Teknik Konservasi Tanah

No.	Jenis Teknik Konservasi	Nilai P
1.	Teras bangku :	
	- Standard disain dan bangunan baik	0,04
	- Standard disain dan bangunan sedang	0,15
	- Standard disain dan bangunan rendah	0,35
2.	Teras tradisional	0,04
3.	Penanaman/pengolahan menurut kontur pada lereng :	
	- 0 – 8%	0,5
	- 9 – 20%	0,75
	- > 20%	0,90
4.	Penanaman rumput (Bahlia) dalam strip :	
	- Standard disain dan keadaan pertumbuhan baik	0,04
	- Standard disain dan keadaan pertumbuhan tidak baik	0,40
5.	Penanaman Crotalaria dalam rotasi	0,60
6.	Penggunaan mulsa (jerami 6 ton/ha/tahun)	0,30
	(jerami 3 ton/ha/tahun)	0,50
	(jerami 1 ton/ha/tahun)	0,80
7.	Penanaman tanaman penutup tanah rendah pada tanaman perkebunan :	

No.	Jenis Teknik Konservasi	Nilai P
	- kerapatan tinggi	0,1
	- kerapatan sedang	0,5

Peta kerentanan erosi di peroleh dari tumpang – tindih (overlay) peta faktor – faktor USLE, yaitu : peta erosivitas hujan, R; peta erodibilitas tanah, K; peta kemiringan – panjang lereng, LS; dan peta CP.

2.7.3 Penetapan Peta Fungsi Kawasan

Penetapan Peta Fungsi Kawasan memperlihatkan yang seharusnya pemanfaatan lahan yang sesuai fungsi kawasan lindung, kawasan penyangga dan kawasan budidaya. Peta Fungsi Kawasan diperoleh dengan menumpang tindihkan peta kelas kelerengan, jenis tanah dan intensitas curah hujan harian rata-rata.

Tabel 2.24 Kriteria Penetapan Kawasan Lindung dan Budidaya

No.	FUNGSI KAWASAN	TOTAL SKOR (Lereng, Jenis tanah, Ch)
1	Kawasan lindung	> 175
2	Kawasan penyangga	125 – 174
3	Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan	< 125
4	Kawasan Budidaya Tanaman Semusim	< 125
5	Kawasan Pemukiman	< 125

Tabel 2.25 Nilai Skor Kelas Lereng

NO	KELAS	LERENG (%)	DISKRIPSI	SKOR
1.	I	0 – 8	Datar	20
2.	II	8 – 15	Landai	40
3.	III	15 – 25	Agak Curam	60
4.	IV	25 – 45	Curam	80
5.	V	> 45	Sangat Curam	100

Tabel 2.26 Nilai Skor Kelas Curah Hujan

NO	KELAS	INTERVAL (mm/hari)	DISKRIPSI	SKOR
1.	I	0 – 13,6	Sangat Rendah	10
2.	II	13,6 – 20,7	Rendah	20
3.	III	20,7 – 27,7	Sedang	30
4.	IV	27,7 – 34,8	Tinggi	40
5.	V	> 34,8	Sangat Tinggi	50

Tabel 2.27 Nilai Skor Kelas Jenis Tanah

NO	KELAS	JENIS TANAH	DISKRIPSI	SKOR
1.	I	Aluvial, Tabah Gley, Planosol, Hidromorf	Tidak Peka	15
2.	II	Latosol	Kurang Peka	30
3.	III	Brown Forest Soil, Non Caltic Brown, Mediteran	Agak Peka	45
4.	IV	Andosol, Lateric, Grumosol, Podsol, Podsollic	Peka	60
5.	V	Regosol, Litosol, Organosol, Renzina	Sangat Peka	75

2.7.4 Penetapan Peta Arahan Konservasi Tanah

Peta Arahan Konservasi Tanah memperlihatkan indikasi kawasan yang perlu mendapatkan perhatian untuk dilakukan tindakan konservasi tanah. Peta Arahan Konservasi Tanah dilakukan dengan menumpang tindihkan peta fungsi kawasan, peta indeks bahaya erosi dan peta jenis penggunaan tanah eksisting.

Arahan Rencana Penanganan Lahan didasarkan kepada beban lahan dengan karakteristiknya diprioritaskan pada lahan di daerah hulu yaitu di kawasan fungsi lindung dan penyangga. Berdasarkan hasil menumpang tindihkan peta fungsi kawasan, peta indeks bahaya erosi dan peta jenis penggunaan tanah eksisting, maka secara khusus dipetakan 1) kegiatan budidaya di kawasan fungsi lindung dan 2) kegiatan budidaya di kawasan fungsi penyangga berikut tingkat bahaya erosi di masing-masing kawasan.

Matrik berikut memperlihatkan arahan penataan fungsi lahan kritis secara umum yang didasarkan kepada matrik antara peruntukan lahan di lahan kritis dengan penggunaan lahan.

Tabel 2.28 Matrik Arahan Penataan Fungsi Lahan

NO	PENGGUNAAN LAHAN	PERUNTUKAN LAHAN UNTUK KAWASAN					
		Lindung	Penyangga	Tanaman Tahunan	Sawah	Tanaman Semusim	Pemukiman
1	Hutan	Kembali ke Fungsi Lindung	Kembali Ke Hutan Produksi	Kembali ke Tanaman Tahunan	Direhab sesuai eksisting	Direhab Sesuai Eksisting	Tidak Perlu Rehab
2	Perkebunan	Kembali ke Fungsi Lindung	Kembali Ke Hutan Produksi	Kembali ke Tanaman Tahunan	Direhab sesuai eksisting	Direhab Sesuai Eksisting	Tidak Perlu Rehab
3	Kebun Campur	Kembali ke Fungsi Lindung	Kembali Ke Hutan Produksi	Kembali ke Tanaman Tahunan	Direhab sesuai eksisting	Direhab Sesuai Eksisting	Tidak Perlu Rehab
4	Tegalan	Kembali ke Fungsi Lindung	Kembali Ke Hutan Produksi	Kembali ke Tanaman Tahunan	Direhab sesuai eksisting	Tidak Perlu Rehab	Tidak Perlu Rehab
5	Sawah	Kembali ke Fungsi Lindung	Kembali Ke Hutan Produksi	Direhab sesuai eksisting	Direhab sesuai eksisting	Direhab Sesuai Eksisting	Tidak Perlu Rehab
6	Pemukiman	Perbaiki Peresapan	Perbaiki Peresapan	Perbaiki Peresapan	Tidak Perlu Rehab	Tidak Perlu Rehab	Sudah sesuai

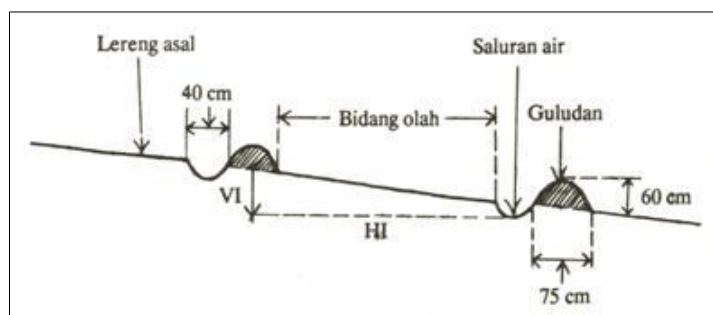
Matrik memperlihatkan bahwa semua penggunaan lahan dalam kawasan arahan fungsi lindung harus dikembalikan ke fungsi lindung, kecuali pemukiman perlu perbaikan sistem peresapan air. Demikian juga semua penggunaan lahan kecuali pemukiman pada kawasan arahan penyangga dan tanaman tahunan harus dikembalikan ke hutan produksi atau tanaman tahunan. Sedangkan semua penggunaan lahan di kawasan arahan fungsi sawah, tanaman semusim atau pemukiman, hanya perlu rehabilitasi sesuai eksisting atau tidak perlu ada rehabilitasi.

Alternatif Kegiatan Rehabilitasi dan Konservasi Lahan meliputi :

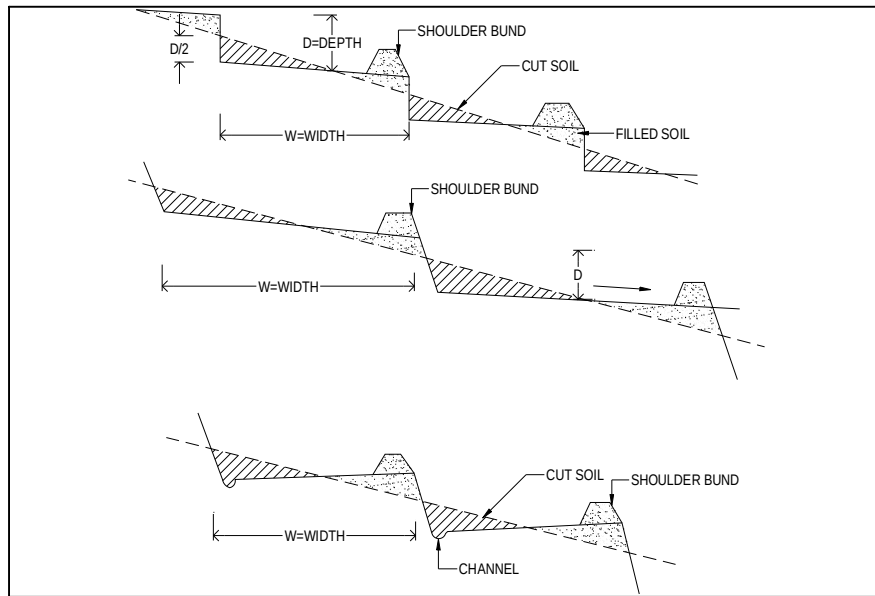
a. Kegiatan Teknik Sipil (T)

Tabel 2.29 Kegiatan Teknik Sipil

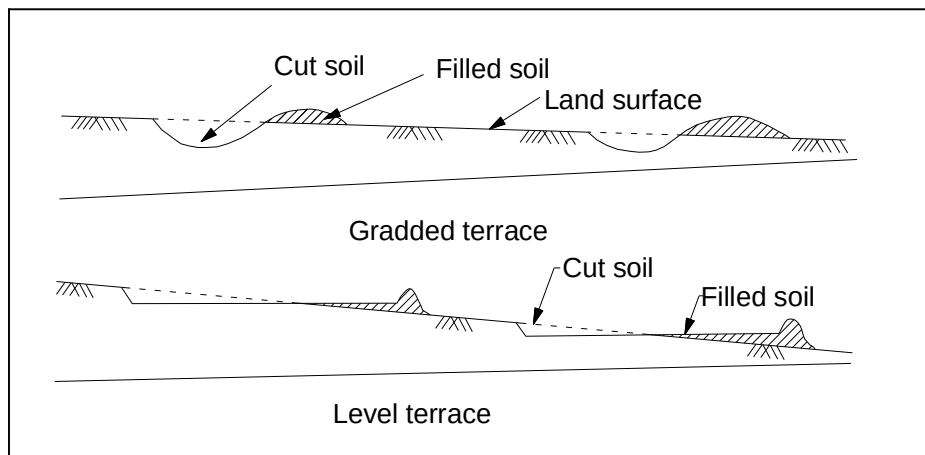
Simbol	Teknis Konservasi Tanah	Kisaran Lereng (%)
T1	Teras guludan, teras kredit	5 - 30
T2	Teras datar	5 - 15
T3	Teras bangku	10 - 40
T4	Saluran Pembuangan Air, Bangunan Terjunan	> 8
T5	Bangunan Pengendali Jurang/tebing	
T6	Dam Penahan (Check Dam)	
T7	Dam Pengendali	
T8	Kantong Air/rorak/saluran buntu	
T9	Rip Rap (kelokan sungai, pantai), tanggul penahan air	
T10	Paving blok	



Gambar 2.16 Teras Guludan



Gambar 2.17 Teras Bangku



Gambar 2.18 Teras Datar

b. Kegiatan Vegetatif (V)

Tabel 2.30 Kegiatan Vegetatif

Simbol	Teknis Konservasi Tanah	Kisaran Lereng (%)
V1	Tanaman penutup tanah (Ground cover)	semua
V2	Pergiliran tanaman, Multiple cropping,	< 60
V3	Contur cropping, Strip cropping ta naman semusim	< 60
V4	Kebun campur, Agroforestry, Farming System	< 40
V5	Vegetasi tetap fungsi produksi, hutan	< 60

Simbol	Teknis Konservasi Tanah	Kisaran Lereng (%)
	produksi tetap hutan rakyat, hutan kemasyarakatan, perkebunan	
V6	Vegetasi tetap fungsi produksi terbatas (hutan produksi terbatas, perkebunan)	< 60
V7	Vegetasi tetap fungsi lindung/permanen (hutan lindung)	< 80

c. Lain-lain (L)

Tabel 2.31 Kegiatan Lain-Lain

Simbol	Teknis Konservasi Tanah	Kisaran Lereng (%)
L1	Pengelolaan Tanah tidak intensif	< 60
L2	Perlindungan mata air, jurang, alur sungai dengan vegetasi tetap	semua
L3	Perlindungan daerah pantai dengan vegetasi tetap	semua
L4	Perlindungan tepi jalan (gebalan rumput, turus jalan, selokan)	semua
L5	Penanaman/reboisasi secara sukses alami	semua
L6	Penanaaan/reboisasi sistem cemplongan	60
L7	Penanaman/reboisasi sistem tumpangsari	60
L8	Pengaturan drainase air Limbah/buangan (sawah, pemukiman, selokan, jalan)	semua
L9	Pengaturan kemiringan (slopping) talud tepi sungai, tepi jalan	

2.8 PERENCANAAN BENDUNG

Bangunan bendung merupakan bangunan yang dipakai untuk mengatur elevasi air di sungai atau dengan memperlebar pengambilan di dasar sungai. Acuan yang digunakan untuk perencanaan bendung berdasarkan Standard Kriteria Perencanaan Bangunan Utama KP-02 yang diterbitkan oleh BPSDA.

2.8.1 Tipe-tipe Bendung

Tipe bendung yang digunakan untuk mengatur elevasi air di sungai adalah :

1. Bendung tetap
2. Bendung gerak

Disamping kedua jenis bendung tersebut, ada satu jenis bendung yang disebut Bendung Saringan (Bendung *Tyroller*).

Sementara bendung pengambilan air di dasar sungai disebut juga bendung saringan bawah atau bendung *Tyroller*.

2.8.1.1 Bendung Tetap

Bendung tetap adalah bangunan melintang sungai yang memberikan tinggi muka air minimum kepada bangunan tetap untuk keperluan irigasi. Bendung ini menjadi penghalang

selama terjadi banjir dan dapat menyebabkan genangan luas di daerah hulu. Tipe ini paling umum di Indonesia.

Keuntungannya :

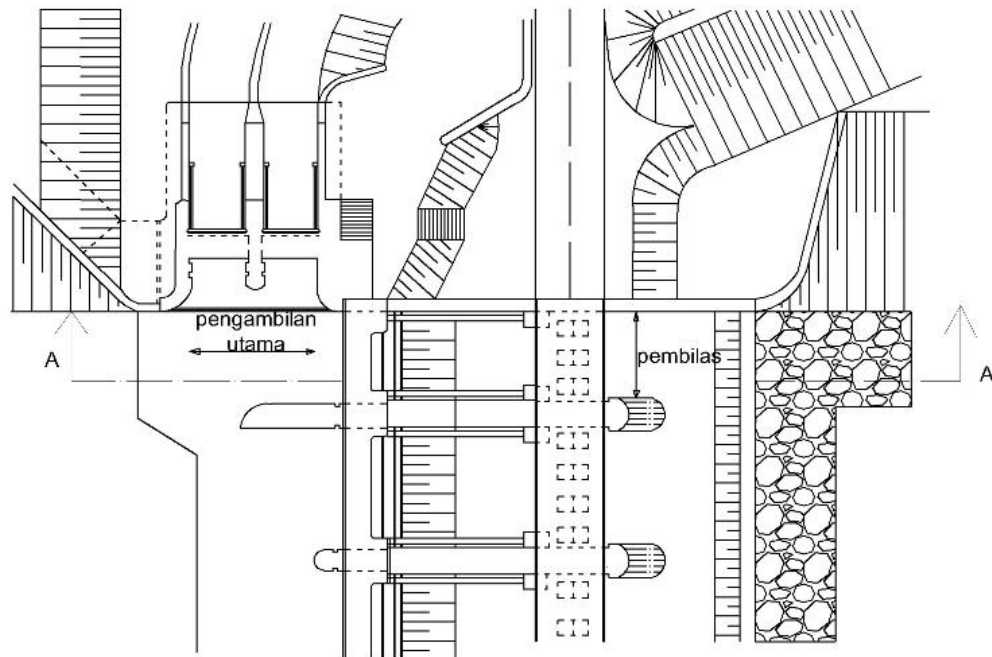
1. Operasi dan pemeliharaannya lebih murah dan mudah.
2. Stabilitasnya besar karena memanfaatkan berat sendiri dari bangunan bendung tersebut.
3. Tahan terhadap kondisi alam.

Kerugiannya :

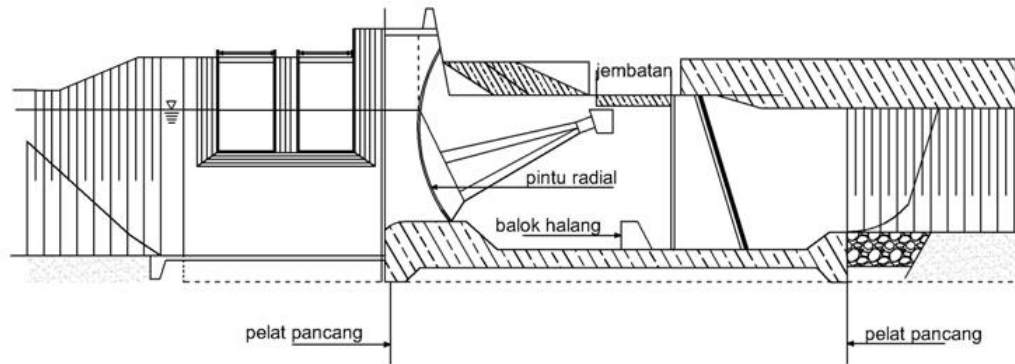
1. Pembuatannya mahal.
2. Diperlukan bangunan tanggul penahan banjir yang tinggi akibat *backwater*.
3. Tanah dasar yang baik untuk kedudukan pondasi agar tidak terjadi penurunan tanah dasar.

2.8.1.2 Bendung Gerak

Bendung Gerak adalah bangunan air yang melintang sungai dengan pintu yang dapat dibuka dan ditutup berfungsi sebagai pelimpah air pada waktu terjadi banjir besar serta untuk meninggikan muka air tertentu pada bangunan pengambilan.



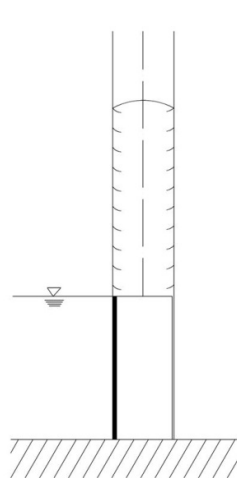
Gambar 2.19 Denah Bendung Gerak dengan Pintu Radial



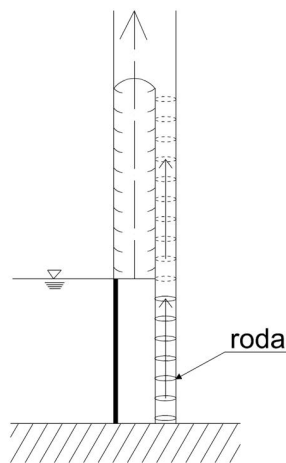
Gambar 2.20 Potongan A-A

Bendung gerak harus memiliki minimum 2 bukaan agar bangunan itu tetap berfungsi jika pintu yang lain rusak. Ada beberapa tipe pintu :

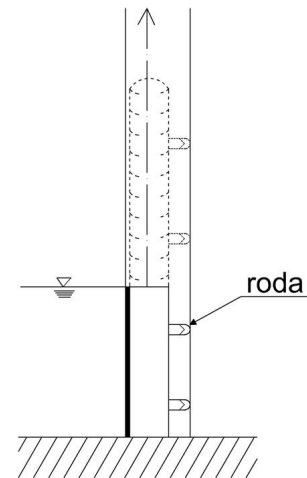
- a. Pintu sorong, digunakan untuk bukaan kecil dengan tinggi maksimum 3 m dan lebar 3m. Jika dimensi lebih besar maka bisa digunakan pintu sorong rol yaitu pintu *Stoney* dengan roda yang tidak dipasang di pintu tetapi pada kerangka terpisah dan pintu rol biasa yang dipasang langsung pada pintu, hal ini dimaksudkan agar alat-alat angkurnya tidak terlalu berat untuk menanggulangi gaya gesek pada *Sponey*.



Pintu Sorong

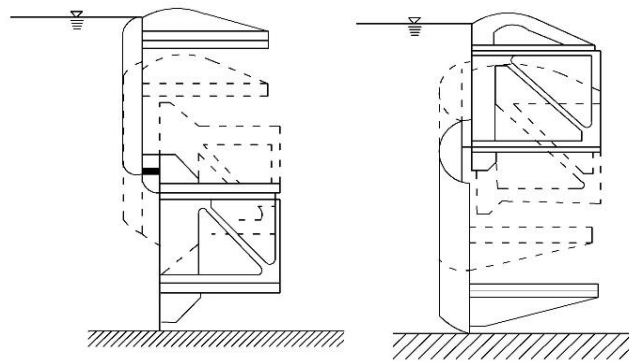


Pintu Sponey



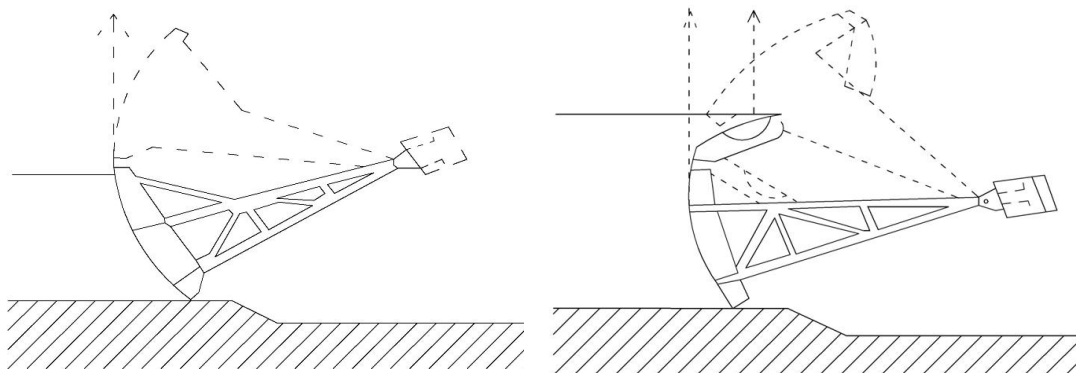
Pintu Rol

- b. Pintu rangkai yaitu pintu sorong / rol yang terdiri dari 2 pintu yang tidak saling berhubungan yang dapat diturunkan atau diangkat, keuntungan alat angkat lebih ringan.



Pintu Rangkak (Dua Pintu)

- c. Pintu segmen atau radial memiliki keuntungan yaitu tidak ada gaya gesekan yang harus diperhitungkan.



Pintu Segmen atau Radial

Pintu Segmen atau Radial dengan Batu

Gambar 2.21 Jenis-jenis Pintu untuk Bendung Gerak

Keuntungannya :

1. Penggunaan Bendung Gerak yaitu debit banjir bisa melalui bendung tanpa memberikan tambahan kenaikan tinggi muka air ke hulu (*backwater*) yang besar.
2. Dapat mengontrol muka air untuk pemasukan kebutuhan irigasi.
3. Kapasitas lolosnya lebih besar daripada bendung tetap.

Kerugiannya :

1. Biaya operasional lebih mahal dan lebih sulit karena harus ada pengontrolan secara rutin, selain itu durabilitas dan ketahanan menghadapi kondisi medan yang ada belum pernah teruji.

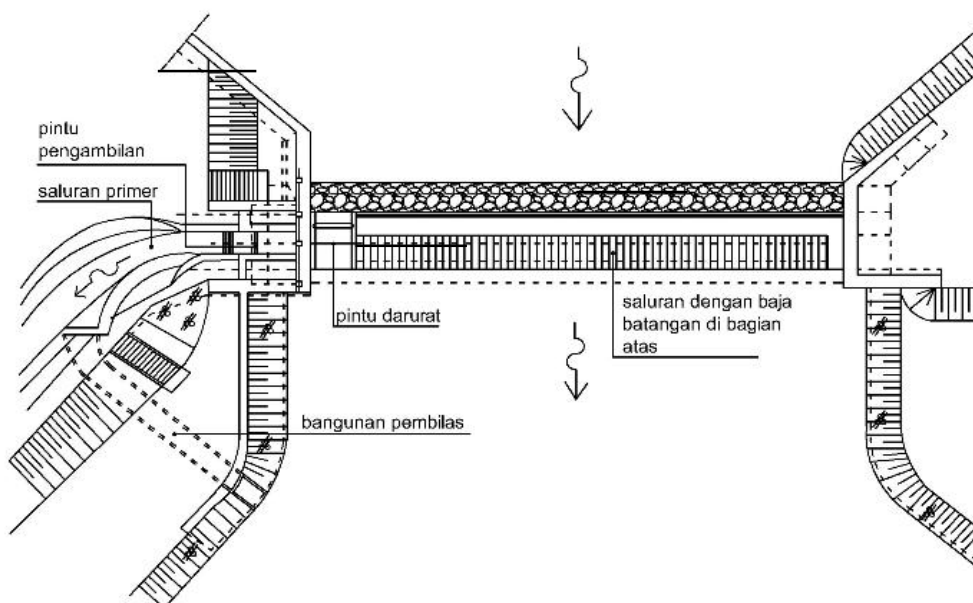
2.8.1.3 Bendung Saringan Bawah

Bendung Saringan adalah bendung yang direncanakan untuk menyadap air bagian bawah (*bottom intake*) melalui lubang sadap yang tenggelam dalam air dengan dilengkapi saringan untuk mencegah masuknya material yang tidak dikehendaki ke saluran pembawa. (Bendung Saringan pada sungai Beraliran Deras, 2001).

Bendung saringan bawah merupakan tipe bangunan yang dapat menyadap air dari sungai tanpa terpengaruh oleh tinggi muka air. Tipe ini terdiri dari sebuah parit terbuka (*Flume*) yang terletak tegak lurus terhadap aliran sungai. *Flume* tersebut dipasang saringan dengan jeruji baja untuk menghalangi masuknya sedimen-sedimen kasar. Tipe ini cocok digunakan di daerah pegunungan karena hampir tidak mempunyai bagian yang memerlukan *eksplorasi* dan dapat bekerja tanpa pengawasan, disamping itu bendung ini tidak mempunyai bagian yang menghalangi aliran sungai dan bahan dasar kasar maka bendung ini tidak mudah rusak akibat hempasan batu-batu bongkah yang diangkut aliran tetapi dalam perencanaan hendaknya dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

1. Bendung ini tidak cocok untuk sungai yang fluktuasi bahannya mempunyai agresi dan degradasi yang besar dalam jangka waktu singkat.
2. Dasar sungai yang rawan gerusan memerlukan pondasi yang cukup dalam.
3. Bendung harus direncanakan dengan seksama agar tahan rembesan.
4. Konstruksi sorongan dibuat sederhana, tahan benturan batu dan mudah dibersihkan jika tersumbat.
5. Bangunan harus dilengkapi dengan kantong Lumpur dengan kapasitas tampung memadai dan kecepatan aliran cukup, yang satu untuk membilas partikel di depan pintu pengambilan dan yang satu lagi di awal saluran primer.
6. Harus dibuat pelimpah yang cocok disaluran primer untuk menjaga jika terjadi kelebihan air.

Letak bendung saringan bawah dapat dilihat pada **Gambar 2.22**.



Gambar 2.22 Tata Letak Bendung Saringan Bawah

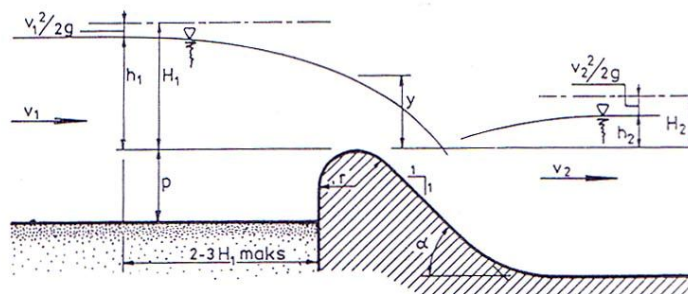
2.8.2 Perencanaan Bendung

2.8.2.1 Tipe-tipe Mercu

Terdapat beberapa tipe mercu, yaitu :

a. Mercu bulat

Bendung dengan mercu bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada sungai ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif ada mercu (KP-02, 1986).



Gambar 2.23 Bendung dengan Mercu Bulat

Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara H_1 dan r (H_1 / r). Untuk bendung dengan dua jari - jari (R_2), jari - jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit.

Untuk menghindari bahaya *kavitasi local*, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai -4 m tekanan air jika mercu tersebut dari beton. Untuk pasangan batu tekanan *subatmosfer* sebaiknya dibatasi sampai -1 m tekanan air. Persamaan energi dan debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah sebagai berikut :

$$Q = C_d 2/3 \sqrt{2/3g} b H_1^{1.5}$$

dimana,

Q = debit (m^3 / dt)

C_d = koefisien debit ($C_d = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2$)

g = percepatan gravitasi ($9,8 m / dt^2$)

b = panjang mercu (m)

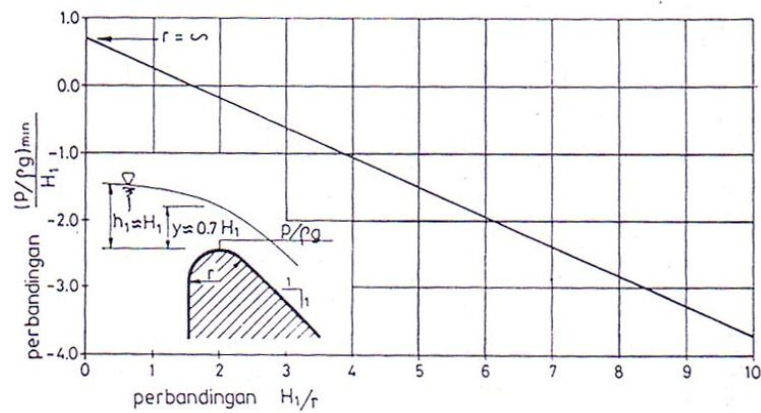
H_1 = tinggi di atas mercu (m)

C_0 = fungsi H_1/r (**Gambar 2.28**)

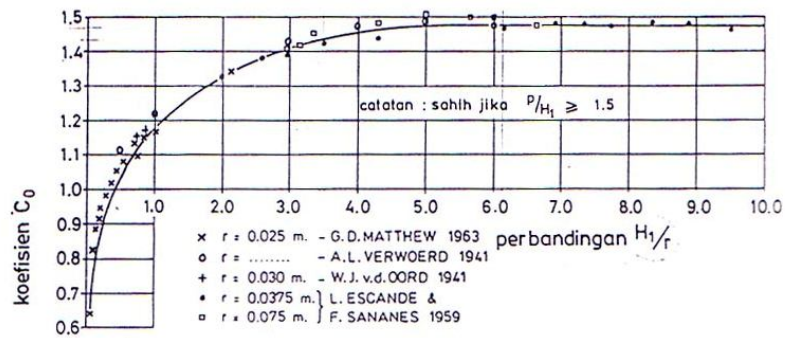
C_1 = fungsi p/H_1 (**Gambar 2.29**)

C_2 = fungsi p/H_1 dan kemiringan muka hulu bendung (**Gambar 2.30**)

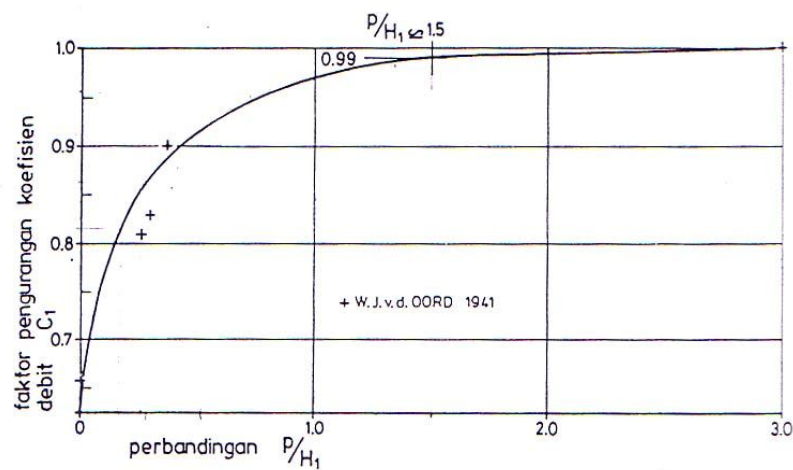
C_0 mempunyai harga maksimum 1,49 jika H_1/r lebih dari 5,0 (**Gambar 2.27**)



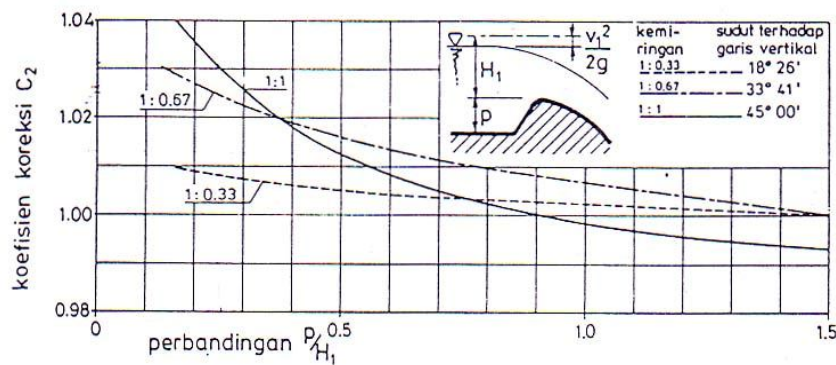
Gambar 2.24 Tekanan pada Mercu Bendung Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r



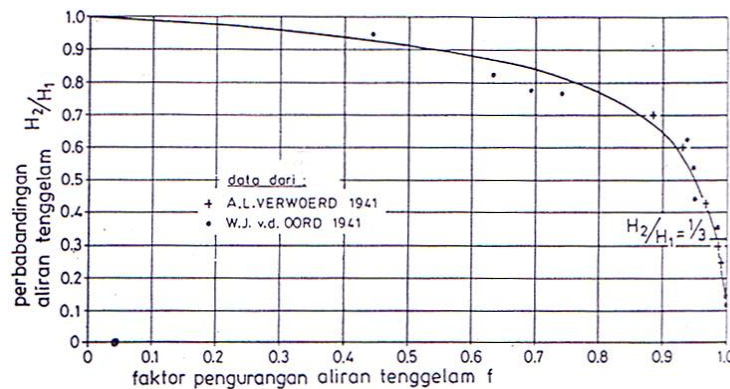
Gambar 2.25 Harga - harga Koefisien C_0 untuk Bendung Ambang Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r



Gambar 2.26 Koefisien C_1 sebagai fungsi perbandingan p/H_1



Gambar 2.27 Harga - harga Koefisien C_2 untuk Bendung Mercu Ogee dengan Muka Hulu Melengkung (USBR,1960)



Gambar 2.28 Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam Sebagai Fungsi H_2/H_1

b. Mercu Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu tidak akan memberikan tekanan *subatmosfer* pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu.

Untuk merencanakan permukaan mercu Ogee bagian hilir *U.S Army Corps of Engineers* mengembangkan persamaan :

$$\frac{Y}{h_d} = \frac{1}{k} \left[\frac{X}{h_d} \right]^n$$

dimana,

X dan Y = koordinat-koordinat permukaan hilir

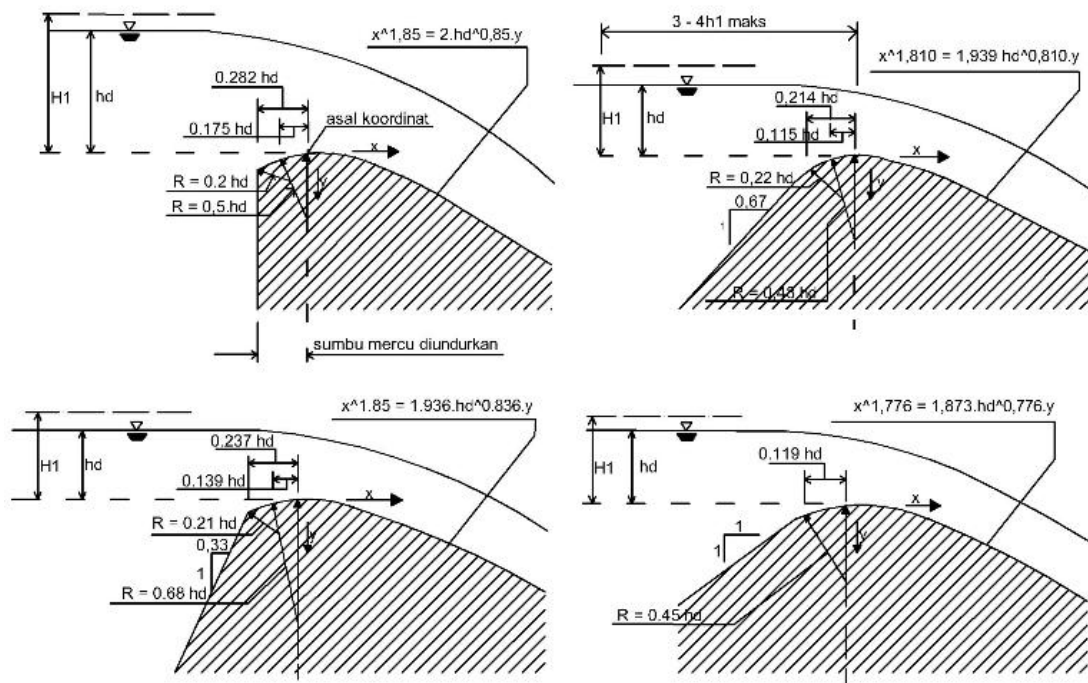
h_d = tinggi rencana di atas mercu (m)

K dan n = parameter (**Tabel 2.32**)

Tabel 2.32 Harga - harga K dan n

Kemiringan permukaan hilir	K	n
Vertikal	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
3 : 1	1,873	1,776

Bentuk - bentuk mercu Ogee dapat dilihat pada **Gambar 2.29** adalah sebagai berikut :



Gambar 2.29 Type Mercu Ogee

Bangunan hulu mercu bervariasi disesuaikan dengan kemiringan permukaan hilir. Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung Ogee adalah :

$$Q = C_d \cdot 2/3 \sqrt{2/3 \cdot g} \cdot b \cdot H_1^{1.5}$$

dimana,

C_d = koefisien debit ($C_0 \cdot C_1 \cdot C_2$)

g = gravitasi (m / dt^2)

b = lebar mercu (m)

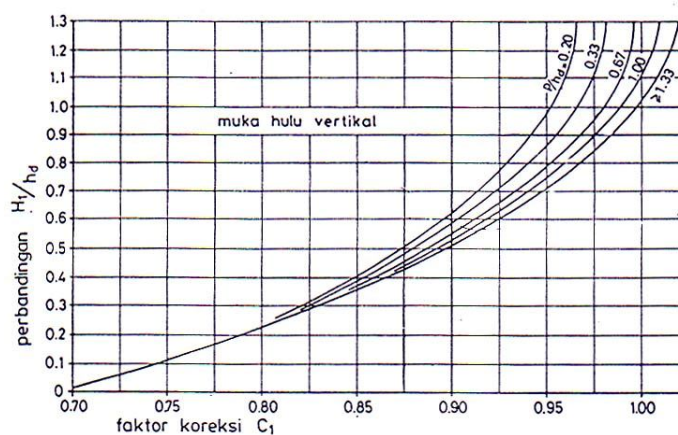
H_1 = tinggi energi di atas ambang (m)

C_0 = konstanta = 1,30

C_1 = fungsi p/h_d dan H_1/h_d

C_2 = faktor koreksi untuk permukaan hulu

Faktor koreksi C_1 disajikan dalam **Gambar 2.30** dan sebaiknya dipakai untuk berbagai tinggi bendung di atas dasar sungai.



Gambar 2.30 Faktor Koreksi untuk Selain Tinggi Energi Rencana Pada Bendung Mercuri Ogee (menurut Ven Te Chow, 1959, berdasarkan data USBR dan WES)

2.8.2.2 Lebar Efektif Mercuri

Lebar efektif mercuri (B_e) dihubungkan dengan lebar mercuri yang sebenarnya (B), yakni jarak antara pangkal-pangkal bendung dan/atau tiang pancang, dengan persamaan berikut :

$$B_e = B - 2 (nK_p + K_a) H_1$$

dimana :

n = jumlah pilar

K_p = koefisien kontraksi pilar

K_a = koefisien kontraksi pangkal bendung

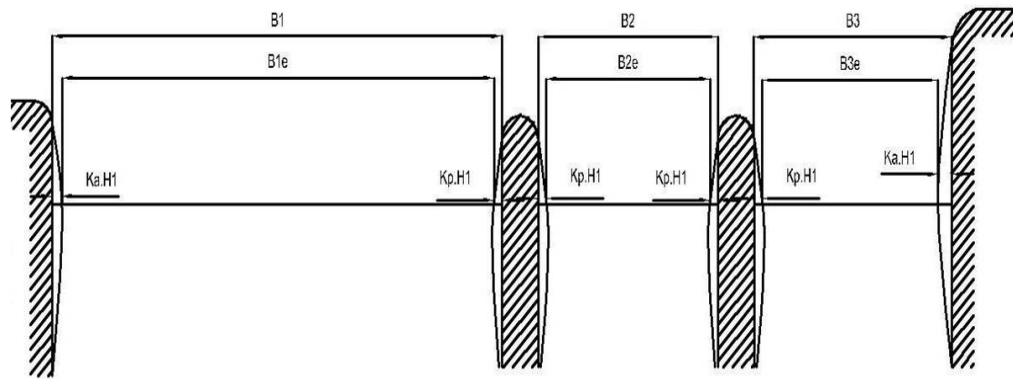
H_1 = tinggi energi (m)

Harga-harga koefisien K_p dan K_a dapat dilihat pada **Tabel 2-33**

Tabel 2-33. Harga-harga koefisien kontraksi

	Kp
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0

	Ka
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran	0,20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan 0,5 H1 > r > 0,15 H1	0,10
Untuk pangkal tembok bulat dimana r > 0,5 H1 dan tembok hulu tidak lebih dari 45° ke arah aliran	0



Gambar 2-31. Lebar Efektif Mercu

2.8.2.3 Peredam Energi

Peredam energi berfungsi untuk meredam energi aliran dari saluran peluncur.

Pemilihan tipe peredam energi dipertimbangkan terhadap faktor berikut:

(Bendung Tipe Urugan, 214)

- Karakteristik hidrolis pada tipe peredam energi yang direncanakan.
- Hubungan antara peredam energi dengan tubuh bendung.
- Karakteristik hidrolis dan karakteristik konstruktif dari bangunan pelimpah, loncatan hidrolis (loncatan air) yang terjadi.
- Kondisi topografi, geologi.
- Karakteristik dari sungai.

a. Loncatan Air

Untuk menentukan awal dari loncatan air yaitu dengan persamaan :

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \left(\frac{1}{2} \right) H_1 + Z}$$

dimana,

v_1 = kecepatan awal loncatan (m / dt)

g = percepatan gravitasi (m / dt²)

H_1 = tinggi energi di atas ambang (m)

Z = tinggi jatuh (m)

Dengan $q = v_1 \cdot y_u$ dan untuk kedalaman konjungsi dalam loncatan air adalah :

$$\frac{y_2}{y_u} = 1/2 \left(\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1 \right)$$

dimana,

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_u}}$$

y_2 = kedalaman air di atas ambang ujung (m)

y_u = kedalaman air di awal loncat air (m)

Fr = bilangan Froude

v_1 = kecepatan awal loncatan (m / dt)

g = percepatan gravitasi (9,8 m / dt²)

Kedalaman konjugasi untuk setiap q dapat ditemukan dan diplot. Untuk menjaga agar loncatan tetap dekat dengan muka miring bendung dan diatas lantai, maka lantai harus diturunkan hingga kedalaman air hilir sama dengan kedalaman konjugasi. Untuk aliran tenggelam , jika muka air hilir lebih tinggi dari $2/3 H_1$ di atas mercu tidak diperlukan peredam energi.

b. Panjang Kolam Loncatan Air

Panjang kolam loncatan air di belakang Potongan U (**Gambar 2.35**) biasanya kurang dari panjang bebas loncatan tersebut karena ada ambang ujung (*end sill*). Ambang berfungsi untuk memantapkan aliran ini umumnya ditempatkan pada jarak, dan persamaannya :

$$L_j = 5 (n + y_z)$$

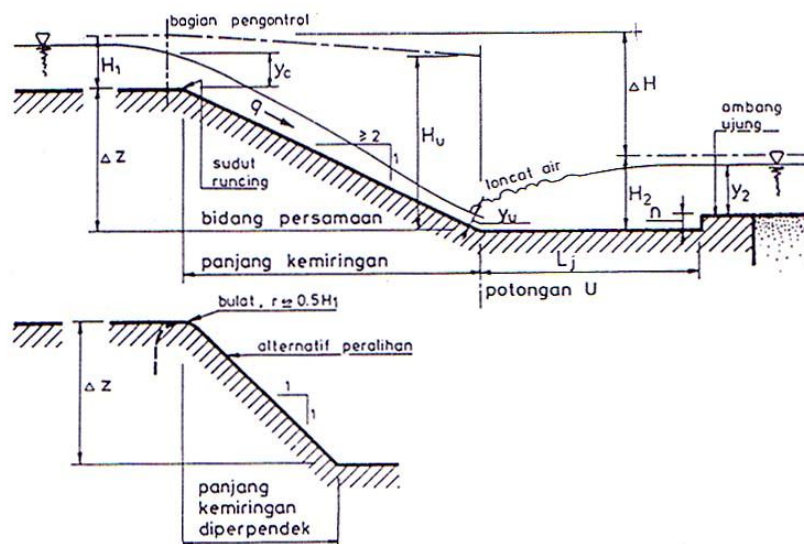
dimana,

L_j = panjang kolam (m)

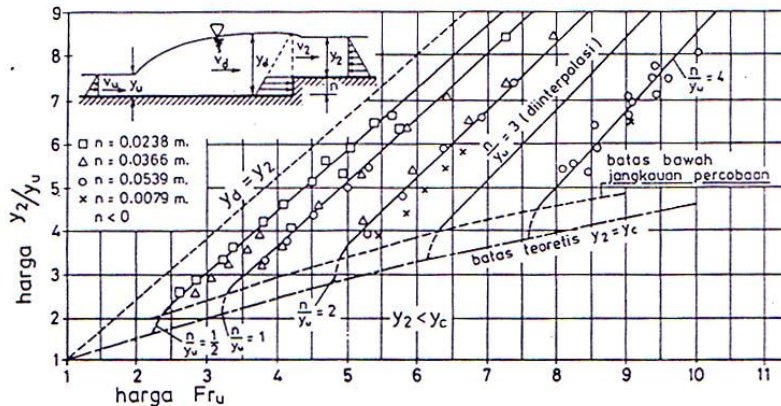
n = tinggi ambang ujung (m)

y_z = kedalaman air di atas ambang (m) di belakang Potongan U.

Tinggi yang diperlukan ambang ujung ini sebagai fungsi bilangan Froude (Fr_u), kedalaman air yang masuk y_u , dan tinggi muka air hilir, dapat ditentukan dari **Gambar 2.32**.



Gambar 2.32 Parameter-parameter Loncat Air



Gambar 2.33 Hubungan Percobaan antara F_{ru} , y_2/y_u , dan n/y_u untuk Ambang Ujung Pendek (Forster dan Skrinde,1950)

c. Tipe Kolam Olak

1) Kolam Olak Tipe Bak Tenggelam

Jika kedalaman konjugasi hilir dari loncat air terlalu tinggi dibanding kedalaman air normal hilir, atau kalau diperkirakan akan terjadi kerusakan pada lantai kolam yang panjang akibat batu - batu besar yang terangkut lewat atas bendung, maka dapat dipakai peredam energi yang relatif pendek tetapi dalam.

Kolam olak tipe bak tenggelam telah digunakan pada bendung - bendung rendah dan untuk bilangan - bilangan *Froude* rendah. Bahan ini diolah oleh Institut Teknik Hidrolika di Bandung untuk menghasilkan serangkaian perencanaan untuk kolam dengan tinggi energi rendah ini.

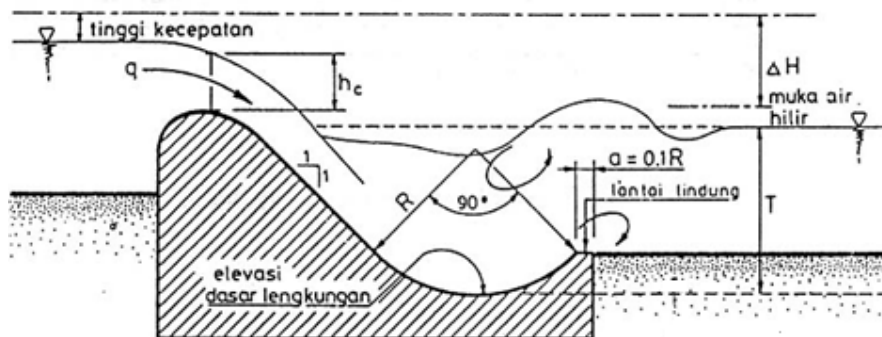
$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

dimana,

h_c = kedalaman air kritis (m)

q = debit per lebar satuan ($m^3 / dt. m$)

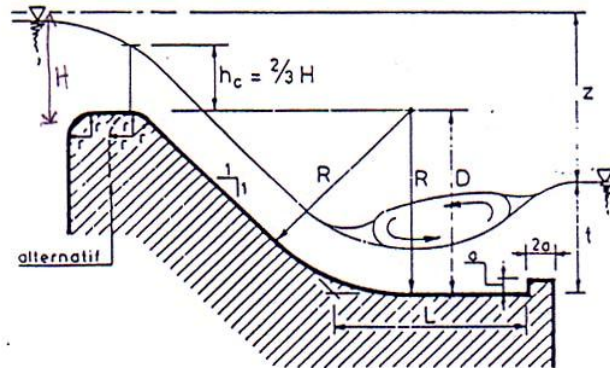
g = percepatan gravitasi ($9,8 m / dt^2$)



Gambar 2.34 Tipe Bak Tenggelam

2) Kolam Olak Tipe *Vlugter*

Kolam ini tidak biasa digunakan pada tinggi air hilir di atas dan di bawah tinggi muka air yang telah diuji di laboratorium. Penyelidikan menunjukkan bahwa tipe bak tenggelam yang perencanaannya hampir sama dengan kolam *vlugter* lebih baik.



Gambar 2.35 Tipe *Vlugter*

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Jika $0,5 < \frac{z}{h_c} \leq 2,0$

$$t = 2,4 h_c + 0,4 z$$

Jika $2,0 < \frac{z}{h_c} \leq 15,0$

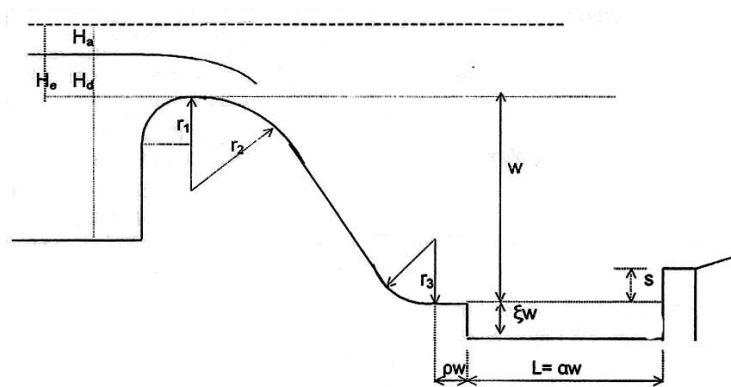
$$t = 3,0 h_c + 0,1 z$$

$$a = 0,28 h_c \sqrt{\frac{h_c}{z}}$$

$$D = R = L \text{ (m)}$$

3) Kolam Olak Tipe *Schoklitsch*

Armin Schoklitsch menemukan kolam olakan yang ukuran-ukurannya tidak tergantung pada tinggi muka air hulu maupun hilir, melainkan tergantung pada debit per satuan lebar.

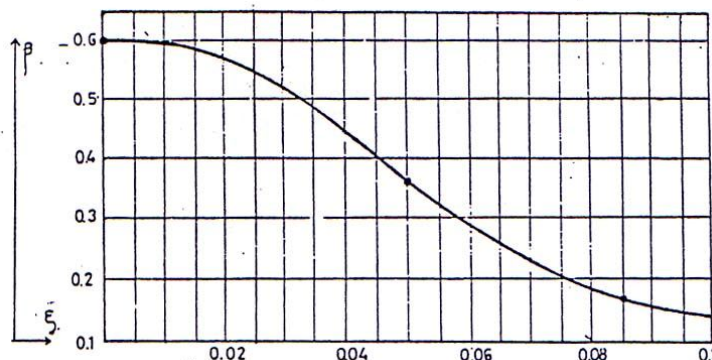


Gambar 2.36 Tipe *Schoklitsch*

Panjang kolam olakan $L = (0,5-1) w$

Tinggi ambang hilir dari lantai $S = B q^{\frac{1}{2}} \left(\frac{w}{g} \right)^{\frac{1}{4}}$ dengan harga minimum $0,1 w$.

Untuk faktor B dapat diambil dari **Gambar 2.40**, dan faktor ξ diambil antara $0,003$ dan $0,08$. Harga p pada umumnya diambil $0,15$.



Gambar 2.37 Grafik Faktor B

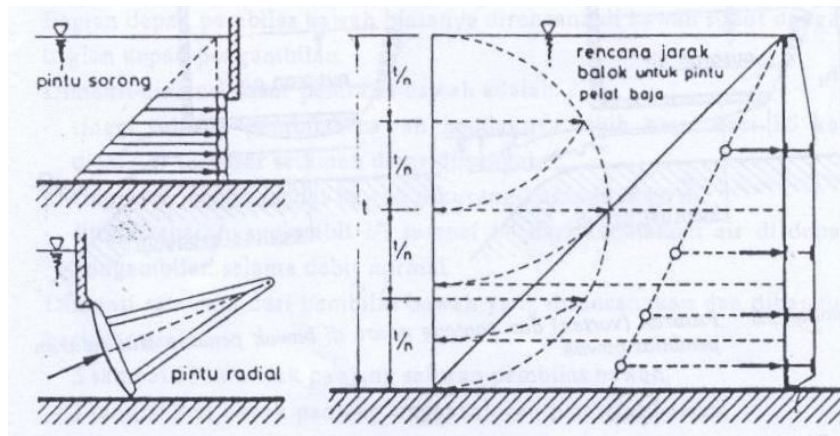
2.8.2.4 Pintu Pengatur

Dalam merencanakan pintu, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan :

- Berbagai beban yang bekerja pada pintu
- Alat pengangkat : tenaga mesin, tenaga manusia
- Kedap air dan sekat
- Bahan bangunan

1) Pembebanan Pintu

Pada pintu sorong tekanan air diteruskan ke sponeng, dan pada pintu radial ke bantalan pusat. Pintu sorong kayu direncanakan sedemikian rupa sehingga masing-masing balok kayu mampu menahan beban dan meneruskannya ke sponeng, untuk pintu sorong baja, gaya tersebut harus dibawa oleh balok.



Gambar 2-38. Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Pintu

2) Alat Pengangkat

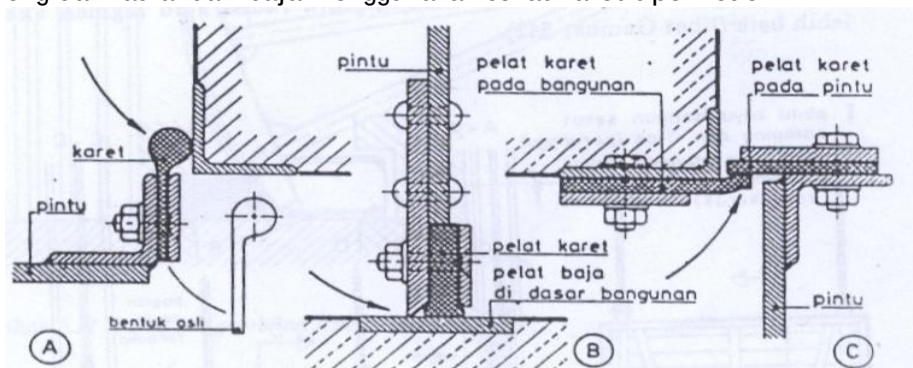
Alat pengangkat dengan stang biasanya dipakai untuk pintu-pintu lebih kecil. Untuk pintu-pintu yang dapat menutup sendiri, karena digunakan rantai berat sendiri atau kabel baja tegangan tinggi.

Pemilihan tenaga manusia atau mesin bergantung pada ukuran dan berat pintu, tersedianya tenaga listrik, waktu eksploitasi, mudah/tidaknya eksploitasi pertimbangan-pertimbangan ekonomis.

3) Kedap Air

Umumnya pintu sorong memperoleh kedapannya dari pelat perunggu yang dipasang di pintu. Pelat-pelat ini juga dipasang untuk mengurangi gesekan. Jika pintu sorong harus dibuat kedap sama sekali, maka sekat atasnya juga dapat dibuat dari perunggu. Sekat dasarnya bisa dibuat dari kayu atau karet.

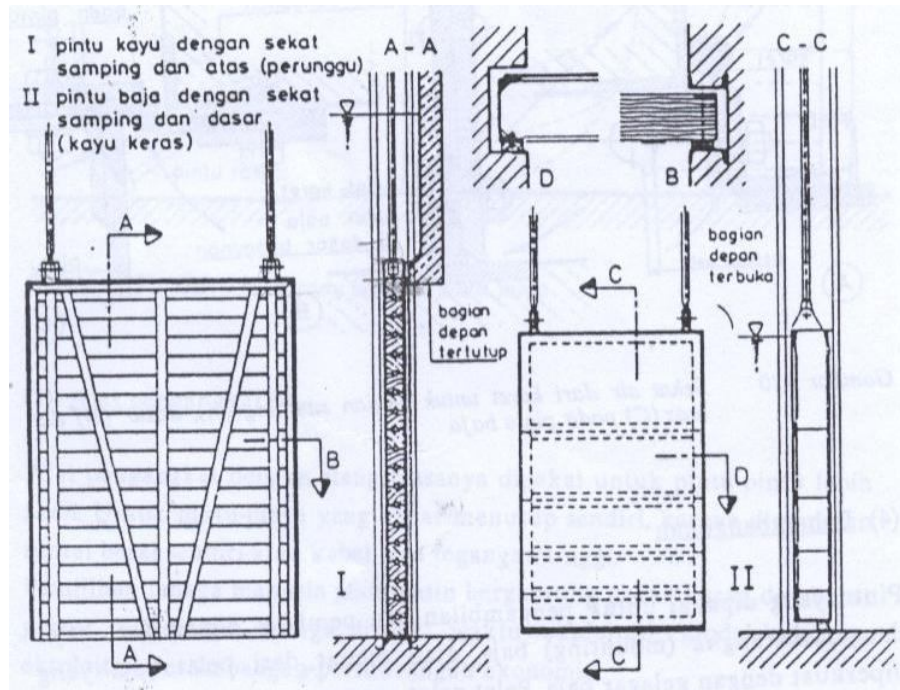
Pintu sorong dan radial dari baja menggunakan sekat karet tipe modern.



Gambar 2-39. Sekat Air dari Karet untuk Bagian Samping (A), Dasar (B) dan Atas (C) Pada Pintu Baja

4) Bahan Bangunan

Pintu yang dipakai untuk pengambilan dan pembilas dibuat dari kayu dengan kerangka (*mounting*) baja, atau dibuat dari pelat baja yang diperkuat dengan gelagar baja. Pelat-pelat perunggu dipasang pada pintu untuk mengurangi gesekan di antara pintu dengan sponengnya. Pintu berukuran kecil jarang memerlukan rol.



Gambar 2-40. Tipe-tipe Pintu Pengatur

2.8.3 Stabilitas Bangunan

2.8.3.1 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung ini dipakai rumus teori daya dukung *Terzaghi* :

$$q = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

dimana,

q = daya dukung keseimbangan (t/m^2)

B = lebar pondasi (m)

D = kedalaman pondasi (m)

c = kohesi

γ = berat isi tanah (t/m^3)

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung yang tergantung dari besarnya sudut geser dalam (ϕ)

2.8.3.2 Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum M_v}{\sum M_h} \geq 1,5 \dots (\text{untuk kondisi normal})$$

$$\geq 1,2 \dots (\text{untuk kondisi gempa})$$

dimana,

SF = faktor keamanan

$\sum M_v$ = besarnya momen vertikal (KNm)

$\sum M_h$ = besarnya momen horisontal (KNm)

2.8.3.3 Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5 \dots (\text{untuk kondisi normal})$$

$$\geq 1,2 \dots (\text{untuk kondisi gempa})$$

dimana,

SF = faktor keamanan

$\sum V$ = besarnya gaya vertikal (KN)

$\sum H$ = besarnya gaya horisontal (KN)

2.8.3.4 Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

$$e < 1/6 \cdot B \dots (\text{untuk kondisi normal})$$

$$e < 1/3 \cdot B \dots (\text{untuk kondisi gempa})$$

dimana,

$$e = \frac{1}{2} \cdot L - \frac{Mt - Mg}{V}$$

L = lebar dasar bendung yang ditinjau (m)

2.8.3.5 Keamanan Terhadap Tekanan Tanah

$$\sigma_{\max} = \frac{2V}{L \times 3 \cdot (L/2 - e)} < \sigma_{\text{ijin tanah}}$$