

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 URAIAN UMUM

Bendung merupakan bangunan air, dimana dalam perencanaan dan pelaksanaannya melibatkan berbagai disiplin ilmu yang mendukung, seperti ilmu hidrologi, hidrolika, irigasi, teknik sungai, pondasi, mekanika tanah, dan ilmu teknik lingkungan untuk menganalisis dampak lingkungan akibat pembangunan bendung tersebut.

Untuk menunjang proses perencanaan bendung maka berbagai teori dan rumus-rumus dari berbagai studi pustaka sangat diperlukan, terutama ketika pengolahan data maupun desain rencana bangunan air.

3.2 ANALISIS HIDROLOGI

Analisis data hidrologi untuk memperoleh besarnya debit banjir rencana. 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.

Dalam mendapatkan debit banjir rencana yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum pada daerah aliran sungai yang diperoleh dari beberapa stasiun hujan terdekat yaitu stasiun Tempuran, Kaliloro, dan Kalegen.

3.2.1. Perhitungan curah hujan rata-rata daerah aliran sungai

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

3.2.1.1 Cara Rata-rata Hitung

Cara menghitung rata-rata aritmetis (*arithmetic mean*) 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 :

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

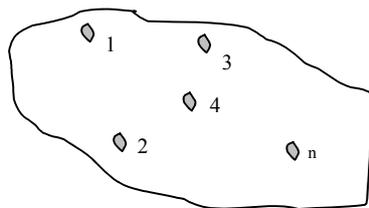
Dimana :

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

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

n = banyaknya stasiun hujan

(Sumber : Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)



Gambar 3.1 Sketsa stasiun curah hujan cara rata-rata hitung

3.2.1.2 Cara Poligon Thiessen

Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari stasiun-stasiun hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata.

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

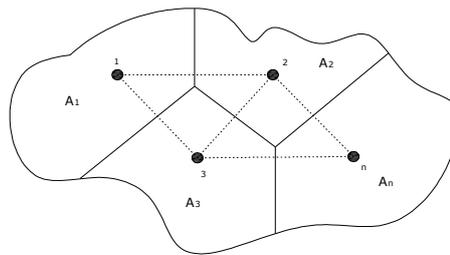
$$\bar{R} = R_1 W_1 + R_2 W_2 + \dots + R_n W_n$$

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

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

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

(Sumber : Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)



Gambar 3.2 Pembagian daerah dengan cara poligon Thiessen

3.2.1.3 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}).

Rumus :

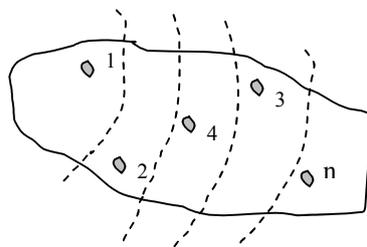
$$X_1 = \frac{a + b}{2}; X_2 = \frac{b + c}{2}; X_3 = \frac{c + d}{2}; X_4 = \frac{d + e}{2}$$

Keterangan :

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

X_n = nilai rerata antara dua garis *isohyet*

(Sumber : Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)



Gambar 3.3 Pembagian daerah cara garis Isohyet

3.2.2 Analisis Frekuensi

Dari curah hujan rata-rata dari berbagai stasiun yang ada di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisis secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran data curah hujan yang sesuai dengan pola sebaran data curah hujan rata-rata.

3.2.2.1 Pengukuran Dispersi

Pada kenyataannya tidak semua varian dari suatu variable hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat dari sebaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi. Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

a. Standar Deviasi (S)

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

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I.

Soewarno, hal : 20)

Dimana :

S = standar deviasi

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

b. Koefesien *Skewness* (CS)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan dari suatu bentuk distribusi.

Rumus :

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

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data .Jilid I.*
Soewarno, hal : 29)

Dimana :

CS = koefisien *skewness*

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = standar deviasi

c. Pengukuran Kurtosis

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

Rumus :

$$C_K = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4}$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuki Analisis Data. Jilid I.*
Soewarno, hal : 30)

Dimana :

CK = koefisien kurtosis

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = standar deviasi

d. Koefisien Variasi (CV)

Koefisien Variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.

Rumus :

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

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 29*)

Dimana :

CV = koefisien variasi

\bar{X} = nilai rata-rata varian

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

3.2.2.2 Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoretis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Gama, Beta, Pearson dan Gumbel.

Untuk memilih jenis sebaran, ada beberapa macam distribusi yang sering dipakai yaitu :

a. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekwensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan.

Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS = 0$.

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X . Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log Pearson Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan $CS = 0$.

Distribusi tipe Log Normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS = 3 CV + CV^3$.

Syarat lain distribusi sebaran Log Normal $CK = CV^8 + 6 CV^6 + 15 CV^4 + 16 CV^2 + 3$.

c. Distribusi Gumbel I

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekwensi banjir.

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS \leq 1,139$ dan $Ck \leq 5,4002$.

d. Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi Log Pearson Tipe III atau Distribusi Extrim Tipe III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekwensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Distribusi Log Pearson Tipe III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS \neq 0$.

Setelah pemilihan jenis sebaran dilakukan maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

Dipilih jika metode di atas tidak cocok dengan analisa, maka rumus yang digunakan adalah :

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum (R_i - \bar{R})^3$$

$$C_v = (S_x / \bar{R})$$

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)S^4} \sum (R_i - \bar{R})^4$$

Dimana :

C_s = Koefisien Keruncingan (*skewness*)

C_k = Koefisien Kurtosis

C_v = Koefisien variansi perbandingan deviasi standart dengan rata-rata

R_i = Curah hujan masing-masing pos (mm)

R = Curah hujan rata-rata (mm)

S_x = Standart deviasi

(Sumber : Hidrologi untuk Pengairan, Ir. Suyono Sastrodarsono)

Dengan mengikuti pola sebaran yang sesuai selanjutnya dihitung curah hujan rencana dalam beberapa metode ulang yang akan digunakan untuk mendapatkan debit banjir rencana. Analisa statistik tersebut terdiri atas beberapa metode, yaitu :

3.2.2.3 Metode Gumbel

$$\text{Rumus : } X_T = \bar{X} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \times S_x$$

Dimana :

X_T = curah hujan rencana dalam periode ulang T tahun (mm)

R = curah hujan rata-rata hasil pengamatan (mm)

Y_t = *reduced variabel*, parameter Gumbel untuk periode T tahun

Y_n = *reduced mean*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n)

S_n = *reduced standar deviasi*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n)

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

X_i = curah hujan maksimum (mm)

n = lamanya pengamatan

(Sumber : DPU Pengairan, metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F)

Tabel 3.1 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									

(Sumber : CD Soemarto,1999)

Tabel 3.2 Reduced Standard Deviation (S)

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									

(Sumber : CD Soemarto,1999)

Tabel 3.3 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

(Sumber : CD Soemarto,1999)

3.2.2.4 Metode distribusi Log Pearson III

$$\text{Rumus : } \text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + k.S_x.\text{Log } X$$

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

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

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

Logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus :

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

$$G = \frac{n \sum (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3}$$

Dimana :

LogXt = Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm)

$\overline{\text{Log } X}$ = jumlah pengamatan

n = Jumlah pengamatan

Cs = Koefisien Kemencengan

(Sumber : DPU Pengairan, Metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F).

Tabel 3.4 Harga k untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
(CS)	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
-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

(Sumber : CD Soemarto, 1999).

3.2.2.5 Uji Keselarasan Distribusi

Uji keselarasan distribusi ini digunakan pengujian Chi-kuadrat yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisis.

Rumus :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I.

Soewarno, hal : 34)

Dimana :

X^2 = harga Chi-kuadrat

G = jumlah sub-kelompok

Of = frekwensi yang terbaca pada kelas yang sama

Ef = frekwensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

Adapun prosedur pengujian Chi-kuadrat adalah sebagai berikut :

- ✓ Urutkan data pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya.
- ✓ Hitung jumlah kelas yang ada yaitu $Nc = 1 + 1,33 \ln(n)$.
- ✓ Dalam pembagian kelas disarankan agar dalam masing-masing kelas terdapat minimal tiga buah data pengamatan.
- ✓ Tentukan derajat kebebasan (DK) = $G - P - 1$ (nilai $P = 2$ untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi poisson dan Gumbel nilai $P = 1$).
- ✓ Hitung n .

- ✓ Nilai E_f = jumlah data (n) / Jumlah kelas.
- ✓ Tentukan nilai O_f untuk masing-masing kelas.
- ✓ Jumlah G Sub-group $\frac{(E_f - O_f)^2}{E_f}$ untuk menentukan nilai Chi-kuadrat.
- ✓ Didapat nilai X^2 , harus $< X^2 CR$

Dapat disimpulkan bahwa setelah diuji dengan Chi-kuadrat pemilihan jenis sebaran memenuhi syarat distribusi, maka curah hujan rencana dapat dihitung.

Tabel 3.5 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
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	21.92	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

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

3.2.2.6 Pengukuran Curah Hujan Rencana

Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana.

Untuk menghitung curah hujan rencana menggunakan parameter pemilihan distribusi curah hujan.

3.2.2.7 Plotting Data Curah Hujan

Plotting distribusi curah hujan dilakukan untuk mengetahui beda antara frekuensi yang diharapkan (E_f) dengan frekuensi yang terbaca (O_f). Sebelum plotting terlebih dahulu dihitung peluang (P) masing-masing curah hujan rata-rata dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} ; \quad \text{dimana : } P = \text{peluang}$$

m = nomor urut
n = jumlah data

3.2.2.8 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)

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

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

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

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

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

d. Menurut Ishiguro

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b}$$

(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

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

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

3.2.3 Debit Banjir Rencana

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

3.2.3.1 Metode *Der Weduwen*

Digunakan untuk luas DAS ≤ 100 km²

Rumus : $Q_{max} = \alpha \times \beta \times q \times A$

$$\alpha = \frac{1 - 4,1}{\beta \cdot qn + 7}$$

$$\beta = \frac{120 + ((t+1)/(t+9)) \cdot A}{120 + A}$$

$$qn = \frac{Rn}{240} \times \frac{67,65}{t + 1,45}$$

$$t = 0,25 \times L \times Q^{-0,25} \times I^{-0,25}$$

Dimana :

Q_{max} = debit banjir (m³/dtk)

Rn = curah hujan maksimum harian (mm/jam)

α = koefisien pelimpasan air hujan (*run off*)

β = koefisien reduksi luasan untuk curah hujan di DAS

qn = luasan curah hujan (m³/dtk km²)

A = luas daerah pengaliran (km²)

t = lamanya hujan (jam)

L = panjang sungai (km)

I = kemiringan sungai

(Sumber : DPU Pengairan, Metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F)

3.2.3.2 Metode *Haspers*

Rumus : $Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 \cdot A^{0,70}}{1 + 0,075 \cdot A^{0,70}}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,70 \cdot 10^{-0,40t}}{t^2 + 15} \cdot \frac{A^{0,75}}{12}$$

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

$$t = 0,10 \cdot L^{0,80} \cdot i^{-0,30}$$

$$R_n = \frac{t \cdot R_t}{t + 1}$$

Dimana :

Q_n = Debit banjir (m³/dt)

R_n = Curah hujan harian maksimum (mm/hari)

α = Koefisien limpasan air hujan (*run off*)

β = Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = Curah hujan (m³/dt.km²)

A = Luas daerah aliran (km²)

t = Lamanya curah hujan (jam)

L = Panjang sungai (km)

i = Kemiringan sungai

(Sumber : DPU Pengairan, Metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F)

3.2.3.3 Metode Manual Jawa Sumatra

Digunakan untuk luas DAS > 100 km²

Persamaan yang digunakan :

$$APBAR = PBAR \cdot ARF$$

$$SIMS = H / MSL$$

$$LAKE = \frac{\text{Luas DAS di hulu bendung}}{\text{Luas DAS total}}$$

$$V = 1,02 - 0,0275 \text{ Log (AREA)}$$

$$MAF = 8.10^{-6} \cdot AREA^v \cdot APBAR^{2,455} \cdot SIMS^{0,177} \cdot (1 \pm LAKE)^{-0,85}$$

$$Q = GF \cdot MAF$$

Parameter yang digunakan :

AREA : Luas DAS (km²)

PBAR : Hujan 24 jam maksimum merata tahunan (mm)

ARF : Faktor reduksi (tabel 3.7)

SIMS : Indeks kemiringan = H / MSL

H : Beda tinggi antara titik pengamatan dengan ujung sungai tertinggi (m)

MSL : Panjang sungai sampai titik pengamatan (km)

LAKE : Indek danau

GF : *Growth factor* (table 3.8)

Q : Debit banjir rencana

Tabel 3.6 Faktor reduksi (ARF)

DAS (km ²)	ARF
1 - 10	0,99
10 - 30	0,97
30 - 3000	1,52 - 0,0123 log A

(Sumber : Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Joesron Loebis, 1990)

Tabel 3.7 Growth Factor (GF)

Return Period T	Luas <i>cathment</i> area (km ²)					
	<180	300	600	900	1200	>1500
5	1.28	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.56	1.54	1.48	1.49	1.47	1.37
20	1.88	1.84	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.35	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.78	2.72	2.57	2.47	2.37	2.27

(Sumber : Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Joesron Loebis, 1990)

3.2.3.4 Metode Rasional

Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan statis. Dua komponen utama yang digunakan yaitu waktu konsentrasi (t_c) dan intensitas curah hujan (I).

$$\text{Rumus : } Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Dimana :

Q = Debit maksimum (m³/dtk)

A = Luas DAS (km²)

C = koefisien limpasan (lihat tabel 3.8)

I = Intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

(Sumber : Suyono Sosrodarsono, Hidrologi Untuk Pengairan)

Tabel 3.8 Harga Koefisien run off

Kondisi Daerah Pengaliran dan Sungai	Harga C
Daerah pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
Daerah pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
Persawahan yang dialiri	0,70 – 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil di dataran	0,45 – 0,75
Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

(Sumber : Suyono Sosrodarsono, Hidrologi Untuk Pengairan, 1998)

3.2.3.5 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 :

$$Q = AxV$$

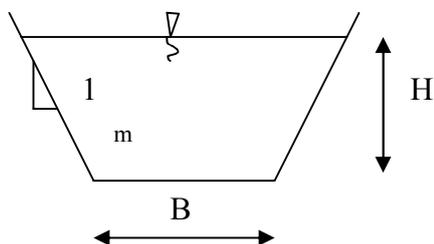
$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (\text{Rumus Chezy})$$

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

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

Dimana :

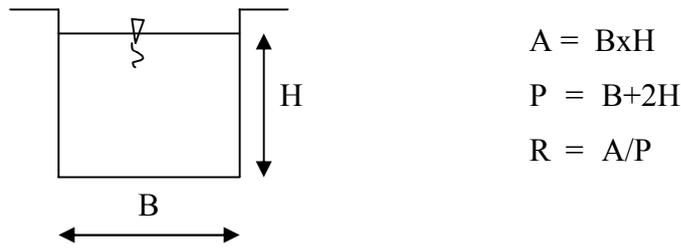
- Q = Volume banjir yang melalui tampang (m³/dtk)
- A = Luas penampang basah (m²)
- V = Kecepatan aliran (m/dtk)
- R = Jari – jari hidrolis (m)
- I = Kemiringan sungai
- P = Keliling penampang basah sungai(m)
- c = Koefisien *Chezy*
- B = Lebar sungai (m)



$$A = (B+mH)H$$

$$P = B+2H(1+m^2)^{0,5}$$

$$R = A/P$$



Gambar 3.4 Jenis-jenis penampang

3.3 PERHITUNGAN NERACA AIR

Perhitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi atau tidak. Perhitungan neraca air ini pada akhirnya akan menghasilkan kesimpulan mengenai :

- Pola tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang di rencanakan
- Penggambaran akhir daerah proyek irigasi.

Ada tiga unsur pokok dalam perhitungan neraca air yaitu:

1. Kebutuhan Air
2. Tersedianya Air
3. Neraca Air

Tabel 3.9 Perhitungan Neraca Air

BIDANG	Parameter yg dihitung	Neraca Air	Kesimpulan
Metemologi	Evaporasi dan Curah Hujan	Kebutuhan Air Irigasi	Jarak debitkebutuhan Tanas Daerah irigasi Pola Tanam Pengaturan recasi
Agronomi dan Tanah	Pola Tanam Koefisien Tanam		
Jaringan irigasi	Efisiensi Irigasi	Debit Available	
Topografi	Daerah Layanan	Debit Minimum perselangku bulan periode 5 th kering bangunan utama	
Hidrologi	Debit Available		

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi, KP-01, 1986)

3.3.1 Analisis Kebutuhan Air

Menurut jenisnya ada dua macam pengertian kebutuhan air, yaitu :

1. Kebutuhan air untuk tanaman (*Consumptive Use*)

Kebutuhan air untuk tanaman (*Consumptive Use*) yaitu banyaknya air yang dibutuhkan tanaman untuk membuat jaringan tanaman (batang dan daun) dan untuk diuapkan (*evapotranspirasi*), *perkolasi*, curah hujan, pengolahan lahan, dan pertumbuhan tanaman.

Rumus :

$$I_r = E_{Tc} + P - R_e + WLR$$

(*Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal 5*)

Dimana :

I_r = kebutuhan air (mm/hari)

E = evaporasi (mm/hari)

T = transpirasi (mm)

P = perkolasi (mm)

B = infiltrasi (mm)

W = tinggi genangan (mm)

R_e = hujan efektif (mm/hari)

2. Kebutuhan air untuk irigasi

Kebutuhan air untuk irigasi yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk menentukan pola tanaman untuk menentukan tingkat efisiensi saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan.

Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi. Setelah sebelumnya diketahui besarnya efisiensi irigasi. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa dari mulut bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar.

3.3.1.1 Kebutuhan Air untuk Tanaman

1. Evapotranspirasi

Besarnya evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metoda Penman yang dimodifikasi oleh Nedeco/Prosida seperti diuraikan dalam PSA – 010. Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan rumus-rumus teoritis empiris dengan memperhatikan faktor-faktor meteorologi yang terkait seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan penyinaran matahari.

Evapotranspirasi tanaman yang dijadikan acuan adalah rerumputan pendek (albedo = 0,25). Selanjutnya untuk mendapatkan harga evapotranspirasi harus dikalikan dengan koefisien tanaman tertentu. Sehingga evapotranspirasi sama dengan evapotranspirasi potensial hasil perhitungan Penman x *crop factor*. Dari harga evapotranspirasi yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan air bagi pertumbuhan dengan menyertakan data curah hujan efektif.

Rumus evapotranspirasi Penman yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut :

$$\text{Rumus: } E_{to} = \frac{1}{L^{-1}x\delta + \Delta(H_{sh}^{ne} - H_{lo}^{ne})} + \frac{\delta E_q}{\delta + A}$$

Dimana :

E_{to} = indek evaporasi yang besarnya sama dengan evapotranspirasi dari rumput yang dipotong pendek (mm/hr)

H_{sh}^{ne} = jaringan radiasi gelombang pendek (Longly/day)

$$= \{ 1,75 \{ 0,29 \cos \Omega + 0,52 r \times 10^{-2} \} \} \times \alpha \text{ ahsh} \times 10^{-2}$$

$$= \{ \text{aah} \times f(r) \} \times \alpha \text{ ahsh} \times 10^{-2}$$

$$= \text{aah} \times f(r) \text{ (Tabel Penman 5)}$$

α = albedo (koefisien reaksi), tergantung pada lapisan permukaan yang ada untuk rumput = 0,25

R_a = $\alpha \text{ ah} \times 10^{-2}$

= radiasi gelombang pendek maksimum secara teori (Longly/day)

= jaringan radiasi gelombang panjang (*Longly/day*)

$$= 0,97 \alpha Tai^4 \times (0,47 - 0,770 \sqrt{ed} x \{1 - 8/10(1 - r)\})$$

$$H_{sh}^{ne} = f(Tai) \times f(Tdp) \times f(m)$$

$$f(Tai) = \alpha Tai^4 \text{ (Tabel Penman 1)}$$

= efek dari temperature radiasi gelombang panjang

$$m = 8 (1 - r)$$

$$f(m) = 1 - m/10$$

= efek dari angka nyata dan jam penyinaran matahari terang maksimum pada radiasi gelombang panjang

r = lama penyinaran matahari relatif

Eq = evaporasi terhitung pada saat temperatur permukaan sama dengan temperatur udara (mm/hr)

$$= 0,35 (0,50 + 0,54 \mu^2) \times (ea - ed)$$

$$= f(\mu^2) \times PZwa) sa - PZwa$$

μ^2 = kecepatan angin pada ketinggian 2m di atas tanah (Tabel Penman 3)

PZwa = ea = tekanan uap jenuh (mmHg) (Tabel Penman 3)

= ed = tekanan uap yang terjadi (mmHg) (Tabel Penman 3)

L = panas laten dari penguapan (*longly/minutes*)

Δ = kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan dengan kurva temperatur pada temperatur udara (mmHg/0C)

δ = konstanta Bowen (0,49 mmHg/0C), kemudian dihitung Eto.

catatan : 1 *Longly/day* = 1 kal/cm²hari

2. Perkolasi

Perkolasi adalah meresapnya air ke dalam tanah dengan arah vertikal ke bawah, dari lapisan tidak jenuh. Besarnya perkolasi dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, kedalaman air tanah dan sistem perakarannya. Koefisien perkolasi adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan kemiringan :
 - lahan datar = 1 mm/hari
 - lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari
- b. Berdasarkan tekstur :
 - berat (lempung) = 1 – 2 mm/hari
 - sedang (lempung kepasiran) = 2 -3 mm/hari
 - ringan = 3 – 6 mm/hari.

Dari pedoman diatas, harga perkolasi untuk perhitungan kebutuhan air di daerah irigasi Susukan diambil sebesar 2 mm/hari karena jenis tanahnya bertekstur sedang (lempung kepasiran) dengan karakteristik pengolahan tanah yang baik.

3. Koefisien Tanaman (Kc)

Besarnya koefisien tanaman (Kc) tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan. Pada perhitungani ini digunakan koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul mengikuti ketentuan Nedeco/Prosida. Harga-harga koefisien tanaman padi dan palawija disajikan pada tabel 3.10 sebagai berikut :

Tabel 3.10 Koefisien Tanaman Untuk Padi dan Palawija Menurut Nedeco/Prosida

Bulan	Padi		Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Jagung	Kacang Tanah
0,50	1,20	1,20	0,50	0,50
1,00	1,20	1,27	0,59	0,51
1,50	1,32	1,33	0,96	0,66
2,00	1,40	1,30	1,05	0,85
2,50	1,35	1,15	1,02	0,95
3,00	1,24	0,00	0,95	0,95
3,50	1,12			0,95
4,00	0,00			0,55
4,50				0,55

(Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985)

4. Curah Hujan Efektif (Re)

a. Besarnya Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh akar-akar tanaman selama masa pertumbuhan. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh :

- Cara pemberian air irigasi (rotasi, menerus atau berselang)
- Laju pengurangan air genangan di sawah yang harus ditanggulangi
- Kedalaman lapisan air yang harus dipertahankan di sawah
- Cara pemberian air di petak
- Jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air

Untuk irigasi tanaman padi, curah hujan efektif diambil 20% kemungkinan curah hujan bulanan rata-rata tak terpenuhi

b. Koefisien Curah Hujan Efektif

Besarnya koefisien curah hujan efektif untuk tanaman padi berdasarkan tabel 3.11

Tabel 3.11 Koefisien Curah Hujan Untuk Padi

Bulan	Golongan					
	1	2	3	4	5	6
0,50	0,36	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06
1,00	0,70	0,53	0,35	0,26	0,21	0,18
1,50	0,40	0,55	0,46	0,36	0,29	0,24
2,00	0,40	0,40	0,50	0,46	0,37	0,31
2,50	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,37
3,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,44
3,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45
4,00	0,00	0,20	0,27	0,30	0,32	0,33
4,50			0,13	0,20	0,24	0,27
5,00				0,10	0,16	0,20
5,50					0,08	0,13
6,00						0,07

(Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985)

Sedangkan untuk tanaman palawija besarnya curah hujan efektif ditentukan dengan metode curah hujan bulanan yang dihubungkan dengan curah hujan rata-rata bulanan serta evapotranspirasi tanaman rata-rata bulanan berdasarkan tabel 3.12

Tabel 3.12 Koefisien Curah Hujan Rata-rata Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan

Curah Hujan Bulanan/mm	mean mm	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200
ET tanaman Rata-rata Bulanan/mm	25	Curah Hujan rata-rata bulanan/mm															
	50	8	16	24													
	75	8	17	25	32	39	46										
	100	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
	125	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
	150	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	97	98	107	116	120	
	175	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
	200	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
	225	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	106	117	125	134	142	150
	250	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
		13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167
Tampungan Efektif		20	25	37,5	50	62,5	75	100	125	150	175	200					
Faktor tampungan		0,73	0,77	0,86	0,93	0,97	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08					

(Sumber : Ref.FAO, 1977)

5. Kebutuhan Air untuk Pengolahan Lahan

a. Pengolahan Lahan untuk Padi

Kebutuhan air untuk pengolahan atau penyiraman lahan menentukan kebutuhan minimum air irigasi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah, yaitu besarnya penjemuran, lamanya pengolahan (periode pengolahan) dan besarnya evaporasi dan perkolasi yang terjadi.

Menurut PSA-010, waktu yang diperlukan untuk pekerjaan penyiapan lahan adalah selama satu bulan (30 hari). Kebutuhan air untuk pengolahan tanah bagi tanaman padi diambil 200 mm, setelah tanam selesai lapisan air di sawah ditambah 50 mm. Jadi kebutuhan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah tanam selesai seluruhnya menjadi 250 mm.

Sedangkan untuk lahan yang tidak ditanami (sawah bero) dalam jangka waktu 2,5 bulan diambil 300 mm.

Untuk memudahkan perhitungan angka pengolahan tanah digunakan tabel koefisien Van De Goor dan Zijlstra pada tabel 3.13 berikut ini :

Tabel 3.13 Koefisien Kebutuhan Air Selama 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	11,1
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

(Sumber : Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, 1986)

b. Pengolahan Lahan untuk Palawija

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan bagi palawija sebesar 50 mm selama 15 hari yaitu 3,33 mm/hari, yang digunakan untuk menggarap lahan yang ditanami dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemian yang baru tumbuh.

6. Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan

Kebutuhan air untuk pertumbuhan padi dipengaruhi oleh besarnya evapotranspirasi tanaman (Etc), perkolasi tanah (p), penggantian air genangan (W) dan hujan efektif (Re). Sedangkan kebutuhan air untuk pemberian pupuk padi tanaman apabila terjadi pengurangan air (sampai tingkat tertentu) pada petak sawah sebelum pemberian pupuk.

3.3.1.2 Kebutuhan Air untuk Irigasi

1. Pola Tanaman dan Perencanaan Tata Tanam

Pola tanam adalah suatu pola penanaman jenis tanaman selama satu tahun yang merupakan kombinasi urutan penanaman. Rencana pola dan tata tanam dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta menambah intensitas luas tanam. Suatu daerah irigasi pada umumnya mempunyai pola tanam tertentu, tetapi bila tidak ada pola yang biasa digunakan pada daerah tersebut direkomendasikan pola tanaman padi-padi-palawija.

Pemilihan pola tanam ini didasarkan pada sifat tanaman hujan dan kebutuhan air.

a. Sifat tanaman padi terhadap hujan dan kebutuhan air

- Pada waktu pengolahan memerlukan banyak air
- Pada waktu pertumbuhannya memerlukan banyak air dan pada saat berbunga diharapkan hujan tidak banyak agar bunga tidak rusak dan padi baik.

b. Palawija

- Pada waktu pengolahan membutuhkan air lebih sedikit daripada padi
- Pada pertumbuhan sedikit air dan lebih baik lagi bila tidak turun hujan.

Setelah diperoleh kebutuhan air untuk pengolahan lahan dan pertumbuhan, kemudian dicari besarnya kebutuhan air untuk irigasi berdasarkan pola tanam dan rencana tata tanam dari daerah yang bersangkutan.

2. Efisiensi Irigasi

Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulai dari bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar. Besarnya angka efisiensi tergantung pada penelitian lapangan pada daerah irigasi.

Pada perencanaan jaringan irigasi, tingkat efisiensi ditentukan menurut kriteria standar perencanaan yaitu sebagai berikut ;

- Kehilangan air pada saluran primer adalah 7,5 – 12,5 %, diambil 10%
Faktor koefisien = $100/90 = 1,11$.
- Kehilangan air pada saluran sekunder adalah 7,5 – 15,5 %, diambil 13%
Faktor koefisien = $100/87 = 1,15$.

3.3.2 Analisis Debit Andalan

Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan areal persawahan yang dapat diairi. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr.F.J. Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Prinsip perhitungan ini adalah bahwa hujan yang jatuh di atas tanah (presipitasi) sebagian akan hilang karena penguapan (evaporasi), sebagian akan hilang menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian akan masuk tanah (infiltrasi). Infiltrasi mula-mula menjenuhkan permukaan (*top soil*) yang kemudian menjadi perkolasi dan akhirnya keluar ke sungai sebagai *base flow*.

Perhitungan debit andalan meliputi :

1. Data curah hujan

R_s = curah hujan bulanan (mm)

n = jumlah hari hujan.

2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari evapotranspirasi potensial metode Penman.

$$dE / E_{to} = (m / 20) \times (18 - n)$$

$$dE = (m / 20) \times (18 - n) \times E_{to}$$

$$E_{tl} = E_{to} - dE$$

Dimana :

dE = selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas.

E_{to} = evapotranspirasi potensial.

- Et1 = evapotranspirasi terbatas
M = prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi.
= 10 – 40 % untuk lahan yang tererosi.
= 30 – 50 % untuk lahan pertanian yang diolah.

3. Keseimbangan air pada permukaan tanah

Rumus mengenai air hujan yang mencapai permukaan tanah, yaitu :

$$S = R_s - E_{t1}$$

$$SMC(n) = SMC(n-1) + IS(n)$$

$$WS = S - IS$$

Dimana :

$$S = \text{kandungan air tanah}$$

$$R_s = \text{curah hujan bulanan}$$

$$E_{t1} = \text{evapotranspirasi terbatas}$$

$$IS = \text{tampungan awal / Soil Storage (mm)}$$

$$IS(n) = \text{tampungan awal / Soil Storage bulan ke-n (mm)}$$

$$SMC = \text{kelembaban tanah / Soil Storage Moisture (mm) diambil antara 50 - 250 mm}$$

$$SMC(n) = \text{kelembaban tanah bulan ke - n}$$

$$SMC(n-1) = \text{kelembaban tanah bulan ke - (n-1)}$$

$$WS = \text{water surplus / volume air berlebih}$$

4. Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*)

$$V(n) = k.V(n-1) + 0,5.(1-k). I(n)$$

$$dV_n = V(n) - V(n-1)$$

Dimana :

$$V(n) = \text{volume air tanah bulan ke-n}$$

$$V(n-1) = \text{volume air tanah bulan ke-(n-1)}$$

$$k = \text{faktor resesi aliran air tanah diambil antara 0-1,0}$$

$$I = \text{koefisien infiltrasi diambil antara 0-1,0}$$

Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air. Koefisien infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran.

Lahan yang porous mempunyai infiltrasi lebih tinggi dibanding tanah lempung berat. Lahan yang terjal menyebabkan air tidak sempat berinfiltrasi ke dalam tanah sehingga koefisien infiltrasi akan kecil.

5. Aliran sungai

Aliran dasar = infiltrasi – perubahan volume air dalam tanah

$B(n)$ = $I - dV(n)$

Aliran permukaan = volume air lebih – infiltrasi

$D(ro)$ = $WS - I$

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

Run off = $D(ro) + B(n)$

Debit = $\frac{\text{aliran sungai} \times \text{luas DAS}}{\text{satu bulan (Detik)}}$

3.3.3 Neraca Air

Dari hasil perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkannya untuk pola tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah yang bisa diairi, luas daerah irigasi, jatah debit air dan pola pengaturan rotasi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi adalah tetap karena luas maksimum daerah layanan dan proyek yang akan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Jika debit sungai kurang maka terjadi kekurangan debit, maka ada tiga pilihan yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

- Luas daerah irigasi dikurangi.
- Melakukan modifikasi pola tanam.
- Rotasi teknis/golongan.

3.4 PERENCANAAN KONSTRUKSI BENDUNG

3.4.1 PERENCANAAN HIDRAULIS BENDUNG

3.4.1.1 Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung ditentukan berdasarkan muka air rencana pada bangunan sadap. Disamping itu kehilangan tinggi energi perlu ditambahkan untuk alat ukur, pengambilan, saluran primer dan pada kantong Lumpur.

3.4.1.2 Lebar Efektif Bendung

Lebar efektif bendung di sini adalah jarak antar pangkal-pangkalnya (abutment), menurut kriteria lebar bendung ini diambil sama dengan lebar rata-rata sungai yang setabil atau lebar rata-rata muka air banjir tahunan sungai yang bersangkutan atau diambil lebar maksimum bendung tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Berikut adalah persamaan lebar bendung :

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

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharna, Hal :114)

Dimana :

- Be = lebar efektif bendung (m).
- n = jumlah pilar.
- Kp = koefisien kontraksi pilar.
- Ka = koefisien kontraksi pangkal bendung.
- H1 = tinggi energi di atas mercu (m).

Tabel 3.14 Harga-harga Koefisien kontraksi Pilar (Kp)

No	Uraian	Harga Kp
1	Untuk pilar segi 4 dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 tebal pilar	0,02

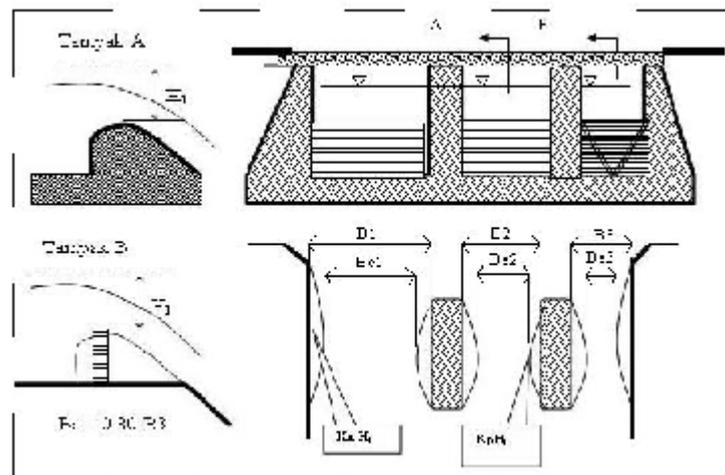
2	Untuk pilar berujung bulat	0,01
3	Untuk pilar berujung runcing	0,00

(Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)

Tabel 3.15 Harga-harga koefisien kontraksi pangkal bendung (Ka)

No	Uraian	Harga (Ka)
1	Untuk pangkal tembok segi 4 dengan tembok hulu pada 90° kearah aliran	0,2
2	Untuk pangkal tembok segi 4 dengan tembok hulu pada 90° kearah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,1
3	Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 45° kearah aliran	0,00

(Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)



Gambar 3.6 Lebar Efektif Mercu Bendung

3.4.1.3 Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung

Persamaan tinggi energi di atas mercu (H_1) menggunakan rumus debit bendung dengan mercu bulat, yaitu :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot B_e \cdot H_1^{3/2}$$

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal :80)

Dimana :

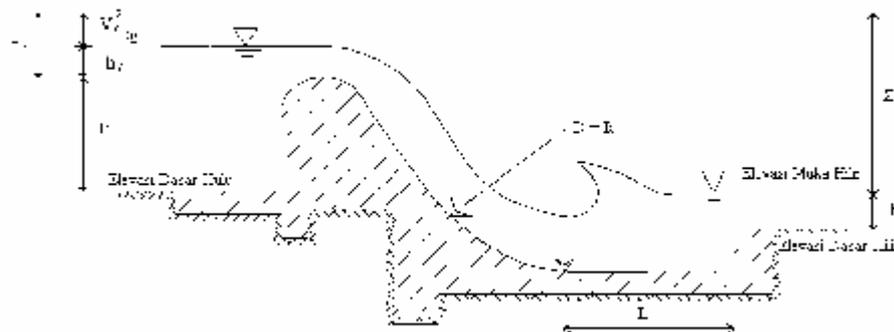
Q = debit (m³/det)

C_d = koefisien debit

g = percepatan gravitasi (m/det²)

B_e = lebar efektif bendung (m)

H_1 = tinggi energi di atas mercu (m)



Gambar 3.7 Elevasi Air di Hulu dan Hilir Bendung

3.4.1.4 Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

Perhitungan dilakukan dengan rumus, sebagai berikut :

$$V = c \times \sqrt{R \times I}$$

(*Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka & Pipa, Robert J Kodoatie, hal 127*)

$$A = (b + m.h).h$$

$$P = b + 2.h\sqrt{1 + m^2}$$

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

Perhitungan h dengan coba-coba.

Elevasi muka air di hilir bendung = elevasi dasar hilir + h

3.4.1.5 Penentuan Dimensi Mercu Bulat

Tipe mercu untuk Benduna Susukan ini menggunakan tipe mercu bulat. Sehingga besar jari-jari mercu bendung (r) = $0,1H_1 - 0,7 H_1$.

3.4.1.6 Tinjauan Gerusan Di Hilir Bendung

Tinjauan terhadap gerusan bendung digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung. Untuk mengatasi gerusan tersebut dipasang apron yang berupa pasangan batu kosong sebagai selimut lintang bagi tanah asli. Batu yang dipakai untuk apron harus keras, padat, awet dan mempunyai berat jenis 2,4 Ton/m³. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

Rumus :

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-02, hal 104)

$$f = 1,76 D_m^{1/2}$$

Dimana :

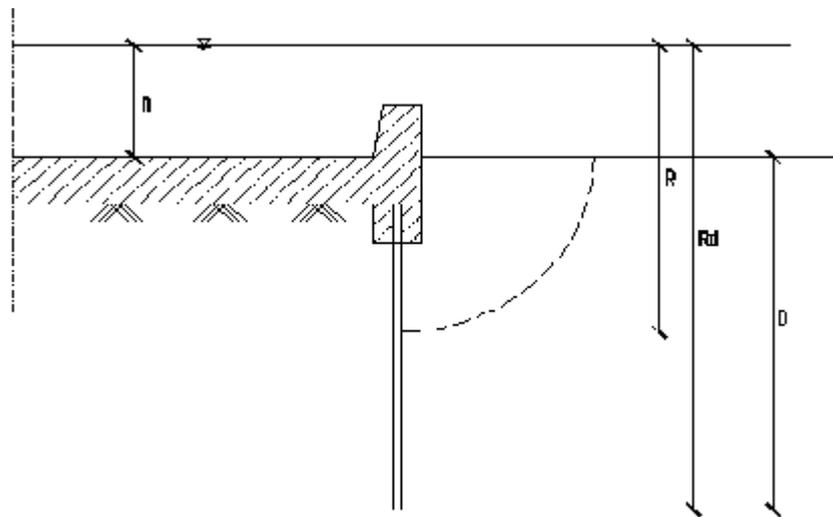
R = kedalaman gerusan di bawah permukaan air banjir (m)

D_m = diameter rata-rata material dasar sungai (mm)

Q = debit yang melimpah di atas mercu (m³/det)

f = faktor lumpur Lacey

Menurut Lacey, kedalaman gerusan bersifat empiris, maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka keamanan sebesar 1,5.



Gambar 3.8 Sketsa Gerusan di Hilir Bendung

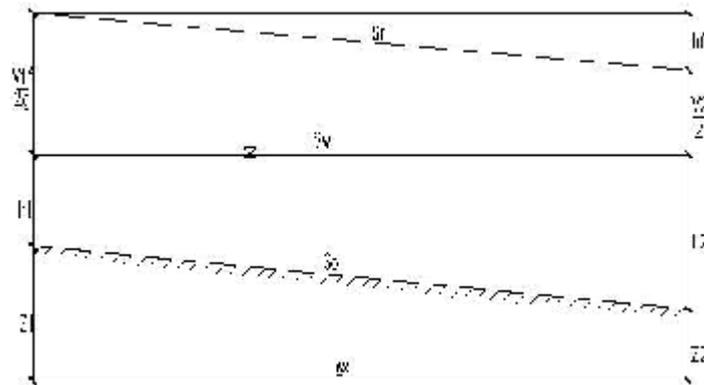
Keterangan :

- Rd = tinggi muka air sampai *sheet pile* (m)
- D = panjang *sheet pile* (m)
- H = tinggi muka air di hilir bendung (m)
- R = kedalaman gerusan (m)

3.4.1.7 Tinjauan Backwater Di Hulu Bendung

Perhitungan *backwater* bertujuan untuk mengetahui peninggian muka air pada bagian hulu akibat pembangunan bendung, sehingga dapat menentukan tinggi tanggul yang harus dibuat. Dengan diketahuinya muka air di hulu bendung maka dapat ditentukan :

- a. Tinggi tanggul di hulu.
- b. Panjang tanggul yang harus dibuat (seberapa jauh pengaruh *backwater*).



Gambar 3.9 EGL – HGL Backwater

Dimana :

h_1 = kedalaman air tanpa bendung.

h_2 = tinggi muka air akibat bendung.

S_o = kemiringan dasar sungai.

S_w = kemiringan muka air.

S_f = kemiringan garis energi.

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - Z_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

$$\underbrace{h_1 + \frac{V_1^2}{2g}}_{E_1} + \underbrace{Z_1 - Z_2}_{\Delta x} = \underbrace{h_2 + \frac{V_2^2}{2g}}_{E_2} + hf$$

$$E_1 + S_o \cdot \Delta x = E_2 + S_f \cdot \Delta x$$

$$(S_o \cdot \Delta x) - (S_f \cdot \Delta x) = E_2 - E_1$$

$$\Delta x = \frac{E_1 - E_2}{S_o - S_f}$$

Dimana :

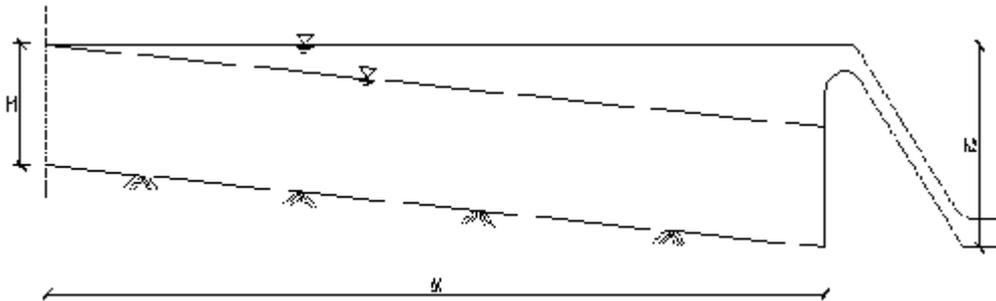
$$S_f = \frac{n^2 \cdot V^2}{2.22 \cdot R^{4/3}}$$

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

$$A = (b + mh)h$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

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



Gambar 3.10 Sketsa *Backwater* di Hulu Bendung

3.4.2 PERENCANAAN BANGUNAN PELENGKAP

3.4.2.1 Perencanaan Pintu Pengambilan

Bangunan pengambilan adalah sebuah bangunan berupa pintu air yang terletak di samping kiri bendung. Fungsi bangunan ini adalah untuk membelokkan aliran air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan untuk kebutuhan irigasi. Saluran pembilas pada bangunan pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir. Besarnya bukaan pintu tergantung dengan kecepatan aliran masuk yang diinginkan. Kecepatan ini tergantung pada ukuran butir bahan yang diangkut.

Elevasi lantai *intake* diambil minimal satu meter di atas lantai hulu bendung karena sungai mengangkut pasir dan kerikil. Pada keadaan ini makin tinggi lantai dari dasar sungai maka akan semakin baik, sehingga pencegahan angkutan sedimen dasar masuk ke *intake* juga makin baik. Tetapi bila lantai *intake* terlalu tinggi maka debit air yang tersadap menjadi sedikit, untuk itu perlu membuat *intake* arah melebar. Agar penyadapan air dapat terpenuhi dan pencegahan sedimen masuk ke *intake*

dapat dihindari, maka perlu diambil perbandingan tertentu antara lebar dengan tinggi bukaan.

Pada perencanaan bendung ini direncanakan *intake* kiri dengan pintu berlubang satu, lebar satu pintu tidak lebih dari 2,5 meter dan diletakkan di bagian hulu. Pengaliran melalui bawah pintu *intake*, sedangkan besarnya debit dapat diatur melalui tinggi bukaan pintu. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimention requirement*), guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek, sehingga :

$$Q_n = 1,2 * Q$$

(Standar perencanaan Irigasi KP-02)

$$Q_n = \mu.a.b.\sqrt{2.g.z}$$

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal: 76)

Dimana :

Q_n = debit rencana (m³/det)

Q = kebutuhan air di sawah (m³/det)

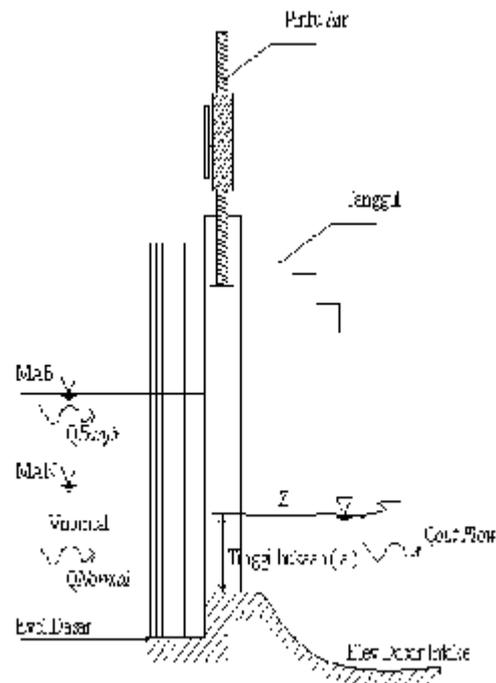
μ = koefisien debit

a = tinggi bukaan (m)

b = lebar bukaan (m)

g = gaya gravitasi = 9,81 m/det²

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 – 0,30 m



Gambar 3.11 Bangunan Pengambilan

3.4.2.2 Pintu Pembilas Bendung

Pintu pembilas atau penguras kantong lumpur tidak boleh terjadi gangguan selama pembilasan, oleh karena itu aliran pada pintu penguras tidak boleh tenggelam. Penurunan kecepatan aliran akan mengakibatkan menurunnya kapasitas angkutan sedimen, oleh karena itu untuk menambah kecepatan aliran tidak boleh berkurang, untuk menambah kecepatan aliran maka dibuat kemiringan saluran yang memungkinkan untuk kemudahan dalam transport sedimen.

Persamaan :

$$Q_n = \mu . a . b . \sqrt{2 . g . z}$$

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal: 76)

3.4.3 PERENCANAAN SALURAN PEMBAWA

3.4.3.1 Perencanaan Hidraulis Saluran

Dasar perhitungan saluran pembawa adalah menggunakan persamaan Sticker yang dianggap sebagai saluran tetap, dimana dimensi saluran dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = V \cdot A$$

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

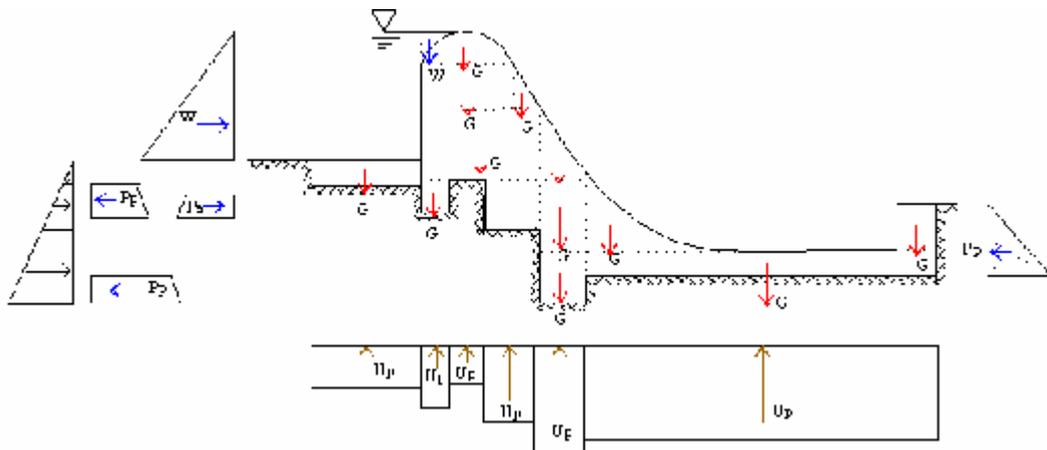
$$P = b + 2 \cdot h \sqrt{m^2 + 1}$$

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

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

(Standar Perencanaan Irigasi KP-03, hal 15)

3.4.4 ANALISIS STABILITAS BENDUNG



Gambar 3.12 Gaya-gaya Yang Bekerja pada Tubuh Bendung

Keterangan :

W : Gaya Hidrostatik

Up : Gaya Angkat (*Uplift Pressure*)

Pa : Tekanan Tanah Aktif

Pp : Tekanan Tanah Pasif

G : Gaya Akibat Berat Sendiri

Stabilitas bendung dianalisis pada tiga macam kondisi yaitu pada saat sungai kosong, normal dan pada saat sungai banjir. Tinjauan stabilitas yang diperhitungkan dalam perencanaan suatu bendung meliputi :

3.4.4.1 Akibat Berat Sendiri Bendung

$$\text{Rumus: } G = V * \gamma$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

Dimana :

V = Volume (m³)

γ = berat jenis bahan, beton = 2,4 T/m³

3.4.4.2 Gaya Angkat (*Uplift Pressure*)

$$\text{Rumus : } P_x = H_x - H$$

$$P_x = H_x - \left(L_x * \frac{\Delta H}{L} \right)$$

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma Hal 131)

Dimana :

P_x = *Uplift Pressure* (tekanan air) pada titik X (T/m²)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = panjang total jalur rembesan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

H_x = tinggi energi di hulu bendung

3.4.4.3 Gaya Gempa

Rumus :

$$a_d = n(a_c x z)^m$$

$$E = \frac{a_d}{g}$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-06)

Dimana:

a_d = percepatan gempa rencana (cm/dt²)

n, m = koefisien untuk masing-masing jenis tanah

a_c = percepatan kejut dasar (cm/dt²)

z = faktor yang tergantung dari letak geografis (dapat dilihat pada “Pete Zona Seismik untuk Perencanaan Bangunan Air Tahan Gempa” Lampiran 1)

E = koefisien gempa

G = percepatan gravitasi = 9,81 m/dt².

Dari koefisien gempa di atas, kemudian dicari besarnya gaya gempa dan momen akibat gaya gempa dengan rumus:

Gaya Gempa, $H_e = E \times G$

Dimana:

E = koefisien gempa

H_e = gaya gempa

G = berat bangunan (Ton)

Momen : $\rightarrow M = K \times \text{Jarak (m)}$

3.4.4.4 Gaya Hidrostatik

Rumus: $W_u = c \cdot \gamma_w [h_2 + \frac{1}{2} \zeta (h_1 - h_2)] A$

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharma, hal 131)

Dimana:

c = proposan luas di mana tekanan hidrostatik bekerja ($c = 1$ untuk semua tipe pondasi)

γ_w = berat jenis air (kg/m³) = 1000 kg/m³ = 1 T/m³

h_2 = kedalaman air hilir (m)

h_1 = kedalaman air hulu (m)

ζ = proporsi tekanan, diberikan pada tabel 2.10 (m)

A = luas dasar (m²)

Wu = gaya tekanan ke atas resultante (Ton)

Tabel 3.16 Harga-harga ζ

Tipe Pondasi Batuan	Proporsi Tekanan
Berlapis horisontal	1,00
Sedang, pejal (<i>massive</i>)	0.67
Baik, pejal	0.50

(Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)

3.4.4.5 Gaya Akibat Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

- Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Ka * h^2 \quad Ka = \tan^2(45^\circ - \phi / 2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad ; \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

- Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Kp * h^2$$

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

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad ; \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

Keterangan :

Pa = tekanan tanah aktif (T/m²)

Pp = tekanan tanah pasif (T/m²)

ϕ = sudut geser dalam ($^{\circ}$)

g = gravitasi bumi = 9,81 m/detik²

h = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)

γ_{sub} = berat jenis *submerged* / tanah dalam keadaan terendam (T/m³)

γ_{sat} = berat jenis *saturated* / tanah dalam keadaan jenuh (T/m³)

γ_w = berat jenis air = 1,0 T/m³

Gs = *Spesifik Gravity*

e = *Void Ratio*

Setelah menganalisis gaya-gaya tersebut, kemudian diperiksa stabilitas bendung terhadap guling, geser, pecahnya struktur, erosi bawah tanah (piping) dan daya dukung tanah.

3.4.5 ANALISIS STABILITAS BANGUNAN

3.4.5.1 Stabilitas Terhadap Guling

$$\text{Rumus : } Sf = \frac{\sum M_t}{\sum M_g} \geq 1,5$$

Di mana : Sf = faktor keamanan

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

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

(Sumber : DPU Pengairan, Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

3.4.5.2 Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Rumus : } Sf = \frac{\sum R_v}{\sum R_h} \geq 1,5$$

Di mana : Sf = faktor keamanan

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

ΣH = besarnya gaya horisontal (KN)

(Sumber : DPU Pengairan, Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

3.4.5.3 Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

$$\text{Rumus : } a = \frac{\Sigma Mt - \Sigma Mg}{\Sigma V}$$

$$e = (B/ 2 - a) < 1/6 . B$$

Dengan : B = lebar dasar bendung yang ditinjau (m)

(Sumber : DPU, Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

3.4.5.4 Terhadap Daya Dukung Tanah

Rumus daya dukung tanah Terzaghi :

$$q_{ult} = c . N_c + \gamma . N_q . D_f + 0,5 . \gamma . B . N$$

(Mekanika Tanah Jilid I, Braja M. Das)

$$\bar{\sigma} = \frac{q_{ult}}{SF}$$

Kontrol :

$$\sigma_{maks} = \frac{RV}{B} \left(1 + \frac{6.e}{B} \right) < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_{min} = \frac{RV}{B} \left(1 - \frac{6.e}{B} \right) > 0$$

(Teknik Bendung, Ir.Soedibyo, Hal : 107)

Dimana :

SF = faktor keamanan

RV = gaya vertikal (Ton)

B = panjang tubuh bendung (m)

σ = tegangan yang timbul (T/m²)

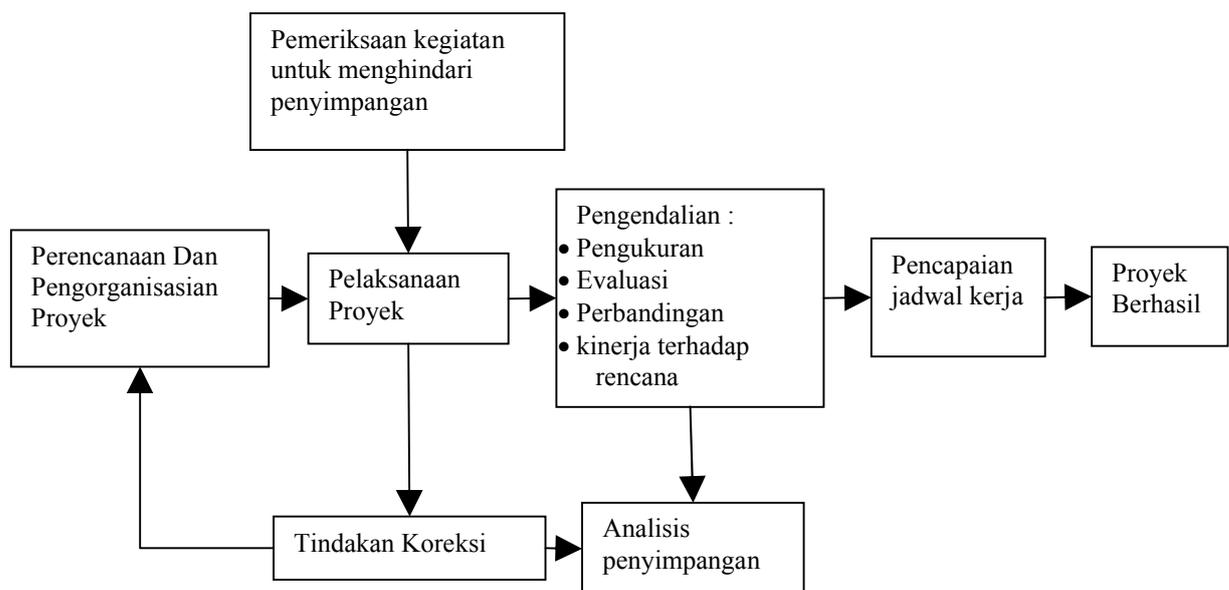
$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin (T/m²)

3.5. PENGENDALIAN PROYEK

Selain melakukan perencanaan yang baik dan matang terhadap sumber daya, perencanaan sistem pengendalian proyek harus mendapatkan perhatian yang sama besarnya. Hal ini dikarenakan pengendalian proyek adalah suatu tahap dimana dilakukan control terhadap pelaksanaan, apakah pelaksanaan proyek sesuai dengan yang direncanakan atau tidak. Syarat penting untuk mencapai keberhasilan suatu proyek adalah proses pengendalian yang efektif terhadap biaya, waktu dan mutu.

Proses pengendalian proyek dalam setiap kegiatan konstruksi terdiri dari tiga langkah pokok (Dipohusodo, 1996) :

1. Menetapkan standar kinerja.
2. Mengukur kinerja terhadap standar.
3. Memperbaiki penyimpangan terhadap standar bila terjadi penyimpangan.



Gambar 3.13. Langkah-Langkah Proses Pengendalian

(Sumber : Istimawan Dipohusodo “Manajemen Proyek dan Konstruksi Jilid 2”, 1996).

Pada prinsipnya setiap pelaksanaan pekerjaan selalu diawali dengan perencanaan, kemudian selama pelaksanaan pekerjaan, dilakukan pengendalian agar hasil pekerjaan yang dicapai sesuai dengan yang direncanakan.

3.5.1 Pengendalian waktu

Pengendalian waktu ditujukan agar waktu pelaksanaan konstruksi dapat berlangsung seperti yang direncanakan. Keterlambatan akan menjadi kerugian bagi pemilik pekerjaan maupun bagi kontraktor.

Bagi pemilik, keterlambatan berarti mundurnya waktu pemanfaatan bangunan, sedangkan bagi kontraktor akan berakibat bertambahnya biaya tidak langsung yang diperlukan untuk menyelesaikan konstruksi.

Teknik pengendalian waktu yang biasa digunakan antara lain :

1. Metode jaringan kerja :
 - Metode jalur kritis (CPM)
 - Metode *Precedence* Diagram
 - PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)
2. *Bar chart*
3. *Linear scheduling*

3.5.2 Pengendalian mutu pekerjaan

Pengendalian mutu proses konstruksi harus diarahkan pada upaya untuk memenuhi persyaratan yang dinyatakan dalam bentuk kriteria perencanaan dan penyusunan spesifikasi jenis pekerjaan. Pada prinsipnya usaha pengendalian mutu pekerjaan mempunyai tujuan, yaitu :

1. Mengarahkan agar pelaksanaan konstruksi sesuai dengan spesifikasi teknis dan dokumen kontrak.
2. Mencakup pertimbangan ekonomi dalam penetapan jenis material dan metode konstruksi yang dipakai dengan memastikan bahwa perencanaannya telah memenuhi syarat peraturan bangunan.

Singkatnya pengendalian mutu pekerjaan dilakukan melalui pengawasan pelaksanaan pekerjaan yang harus dilakukan sesuai dengan gambar konstruksi, persyaratan teknis dan peraturan-peraturan yang berlaku.

3.5.3 Pengendalian biaya

Posisi biaya proyek pada saat monitoring tidak terlepas dari status (kemajuan) pada saat monitoring. Dengan kata lain, biaya proyek pada saat monitoring diperoleh dengan membandingkan total pengeluaran biaya (berdasarkan laporan keuangan) dengan rencana anggaran pada tingkat kemajuan tercapai pada saat yang sama (berdasarkan laporan kemajuan). Dari sini akan dapat disimpulkan apakah biaya proyek pada tingkat kemajuan tersebut lebih besar, sama atau lebih kecil dari proyeksi anggaran yang telah direncanakan.

3.6. KONSEP PENGENDALIAN BIAYA DAN JADWAL *EARNED VALUE*

Pada suatu proyek konstruksi perencanaan dan pengendalian proyek harus dipandang sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam system pengelolaan proyek. Terlebih untuk proyek besar seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dimana akan terdapat banyak kegiatan dan logika ketergantungan yang akan melibatkan banyak pihak.

Dalam kasus ini sangat penting untuk merencanakan suatu sistem pengendalian proyek yang sistematis dan komprehensif. Sistem pengendalian diciptakan untuk memastikan agar perencanaan dapat mendorong pelaksanaan berjalan dengan lancar dan menciptakan sistem pengendalian yang efektif dan efisien dalam mengontrol 3 aspek utama : biaya, waktu dan mutu.

Suatu konsep pengendalian terintegrasi yang dapat menganalisis penyimbangan biaya dan jadwal pertama kali diperkenalkan oleh Departemen Pertahanan AS pada tahun 1967. Konsep ini dikenal dengan *C/SCSC* (*Cost/Schedule Control System Criteria*) atau *earned value* (soemardi, dkk.,

2005). Konsep ini telah berkembang pesat dan mulai diterapkan dalam manajemen proyek konstruksi. Konsep ini dipadukan dengan konsep perencanaan bertingkat yang membagi proyek menjadi sub-sub proyek.

Umpan balik sangat penting terhadap keberhasilan dalam proyek apapun. Umpan balik yang tepat waktu dan dan tepat sasaran akan membuat manajer proyek untuk mengidentifikasi masalah lebih cepat dan membuat beberapa penyesuaian yang bisa menjaga proyek berjalan sesuai dengan waktu dan biaya.

Earned Value Analysis (EVA), atau analisa nilai yang diperoleh telah terbukti sebagai salah satu cara yang paling efektif untuk mengukur pekerjaan proyek dan sebagai alat umpan balik dalam mengatur proyek. Cara tersebut memungkinkan para manajer untuk mendekati diri pada siklus managerial *plan-do-check-act* (merencanakan-melakukan-memeriksa-tindakan).

Metode earned value ini dapat membantu dengan jelas dan objektif dimanakah perkembangan proyek dan kemanakah perkembangan tersebut akan berlangsung. Metode ini menggunakan pola-pola dan kejadian yang sering terjadi di masa lampau untuk dijadikan prediksi di masa depan sebagai prinsip-prinsip dasar.

Selain itu, metode earned value mencakup pengorganisasian dengan metodologi yang dibutuhkan untuk menyatukan manajemen proyek yang terdiri dari lingkup proyek, jadwal dan biaya. Sehingga dapat memainkan peran yang sangat vital dalam menjawab pertanyaan-pertanyaan manajerial yang sangat penting terhadap sukses tidaknya suatu proyek. Antara lain, apakah hasil pekerjaan proyek sesuai dengan rencana awal pekerjaan, seberapa efisienkah penggunaan waktu proyek, kapan proyek akan selesai, apakah hasil pekerjaan proyek melebihi atau bahkan kurang dari anggaran biaya proyek, seberapa efisienkah penggunaan sumber daya proyek, jenis pekerjaan apakah yang paling menyita anggaran, dan berapa perkiraan biaya seluruh proyek.

Jika penggunaan metode earned value dalam suatu proyek memperlihatkan bahwa proyek tersebut di belakang jadwal atau melebihi anggaran biaya, manajer

proyek dapat memanfaatkan metodologi *earned value* ini untuk membantu mengidentifikasi dimanakah masalah yang terjadi, apakah masalah tersebut dapat mempengaruhi pekerjaan proyek, dan apa yang perlu dilakukan agar proyek kembali pada jalur yang semestinya.

3.6.1 Analisis kinerja pelaksanaan pekerjaan

Analisis kinerja pelaksanaan pekerjaan umumnya dilakukan terhadap 3 pusat control, yaitu : paket pekerjaan, *cost account*, dan *overheads*.

1. Paket Pekerjaan (*Work Package*)

Kontrol terhadap *work package* umumnya dilakukan secara langsung dengan meninjau variasi antara anggaran dengan kenyataan. Ini dimungkinkan karena paket pekerjaan tersebut direncanakan sedemikian rupa sehingga volumenya tidak terlalu besar dan waktunya tidak terlalu panjang seperti sudah diuraikan sebelumnya. Suatu paket pekerjaan adalah suatu satuan pekerjaan yang cukup besar untuk menghitung biaya yang diperlukan tetapi juga harus cukup kecil sehingga setiap penyimpangan yang terjadi dapat diidentifikasi dengan segera sebelum menjadi berbahaya. Biasanya waktu pelaksanaan paket pekerjaan adalah antara 4 sampai 8 minggu. Dengan waktu yang singkat tersebut maka kemajuan pekerjaan dan analisa biaya dapat dilakukan berdasarkan paket pekerjaan yang telah diselesaikan. Estimasi yang bersifat subjektif dibatasi untuk paket pekerjaan yang sudah dimulai tetapi belum selesai. Biasanya kontrol dilakukan berdasarkan laporan bulanan. Suatu estimasi optimis yang dilakukan pada bulan pertama dengan segera dapat diselesaikan pada bulan berikutnya.

2. *Cost Account*

Analisis kinerja pada unit pekerjaan/*cost account* yang lebih besar dapat dilakukan dengan pendekatan yang sama. Biasanya kemajuan pekerjaan secara total merupakan estimasi subjektif yang digambarkan dalam kurva S proyek. Metode yang dianjurkan menginginkan agar faktor subjektifitas ini dapat dikurangi sebanyak mungkin. Untuk proyek kecil, kinerja biasanya diukur untuk keseluruhan proyek secara global dinilai tidak cukup sensitive untuk dapat memberikan reaksi atas setiap deviasi yang terjadi. Untuk itu proyek harus dipecah dan setiap bagian atau tingkatan dari WBS dapat dijadikan *cost account* terhadap mana kinerja yang akan dinilai. Konsep yang sistematis ini memungkinkan analisa kinerja dapat dilakukan pada setiap tingkat pada WBS.

3. *Overheads*

Untuk menganalisa biaya harus dibedakan antara biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung seperti tenaga kerja, material dan peralatan dapat dengan mudah dialokasikan pada setiap paket pekerjaan. Sementara itu biaya tidak langsung (*overheads*) dapat dikategorikan atas dua bagian :

- *Direct overheads* yang dapat dialokasikan proporsional terhadap paket pekerjaan, misalnya : *overheads* unit perancangan,
- *Indirect overheads* seperti administrasi kantor pusat, gaji direksi, dll yang dapat didistribusikan ke dalam paket pekerjaan, *overhead* ini harus dianalisis tersendiri dan biasanya dibuat linear terhadap waktu.

3.6.2 Metode analisis

Saat ini banyak metode yang dapat digunakan untuk melakukan pengendalian terhadap proyek. Secara tradisional kemajuan pekerjaan (kontrol waktu) dan biaya direfleksikan oleh parameter yang sama, yaitu bobot penyerapan dana pada suatu saat tertentu. Untuk proyek dengan skala besar tinjauan diatas diperkirakan kurang memadai untuk dapat menganalisis dan mengetahui dengan tepat kemajuan pekerjaan (*schedule*) dan kondisi keuangan (pengeluaran dan *earned value*).

Tujuan utama dari penerapan konsep *earned value* pada suatu proyek adalah untuk mengontrol kemajuan proyek (waktu) dan mengefektifkan pengeluaran biaya agar sesuai dengan *budget* yang telah direncanakan (*GES Solutions, 1999*). Selama tahap konstruksi *earned value* juga menyediakan informasi mengenai :

1. Biaya aktual yang telah diserap suatu pekerjaan, berdasarkan penyerapan dana dari sumber daya yang telah dipergunakan oleh pekerjaan tersebut.
2. Nilai pekerjaan tersebut, berdasarkan kemajuan yang telah dicapainya.
3. Variasi biaya dan jadwal yang mencerminkan adanya *under run* (lebih cepat atau lebih murah) atau *over run* (lebih lambat atau lebih mahal).
4. Kecenderungan penyelesaian pekerjaan tersebut berdasarkan data-data variansi yang telah dialami. Berdasarkan penelitian, proyek-proyek yang baru menyelesaikan 15% pekerjaannya namun telah *over-budget* biasanya mengalami *over run* (lebih mahal dari yang telah direncanakan) pada saat penyelesaiannya (*CMS Information System, 1999*)

3.6.3 Terminologi dasar

Dalam konsep *earned value* dikenal beberapa parameter untuk mengendalikan biaya proyek antara lain :

a. *BCWS (Budgeted Cost Work Schedule)*

BCWS adalah merupakan anggaran biaya yang dialokasikan berdasarkan rencana kerja yang telah disusun terhadap waktu. BCWS dihitung dari akumulasi anggaran biaya yang direncanakan untuk pekerjaan dalam periode waktu tertentu. BCWS pada akhir proyek (penyelesaian 100%) disebut *BAC (Budget At Completion)*. BCWS juga menjadi tolok ukur kinerja waktu dari pelaksanaan proyek. BCWS merefleksikan penyerapan biaya rencana secara kumulatif untuk setiap paket-paket pekerjaan berdasarkan urutannya sesuai jadwal yang direncanakan. Penyerapan biaya ini direncanakan untuk setiap *cost account* dan dapat dijumlahkan untuk mendapat rencana biaya bagi setiap tingkat WBS dan OBS yang lebih tinggi. $BCWS_{cum}$ adalah rencana kumulatif penyerapan biaya sampai pada periode tertentu.

b. *BCWP (Budgeted Cost Work Performed)*

BCWP yaitu kemajuan yang telah dicapai berdasarkan nilai uang dari pekerjaan-pekerjaan yang telah diselesaikan pada periode waktu tertentu. BCWP inilah yang disebut *earned value*. BCWP dinilai berdasarkan prosentase pekerjaan yang telah dilaksanakan yang dinilai dengan suatu ukuran kemajuan pekerjaan yang telah ditetapkan dan merupakan akumulasi dari pekerjaan-pekerjaan yang telah diselesaikan. BCWP ini dapat disajikan per periode atau kumulatif dan dihitung mulai dari *basic cost account* dan dijumlahkan untuk elemen WBS dan OBS yang lebih tinggi. Kesulitan utama dalam mengestimasi BCWP adalah untuk mengestimasi kemajuan suatu paket pekerjaan yang telah dimulai tetapi belum selesai. Namun faktor

subjektif ini telah dibatasi jika setiap paket pekerjaan tidak terlalu lama.

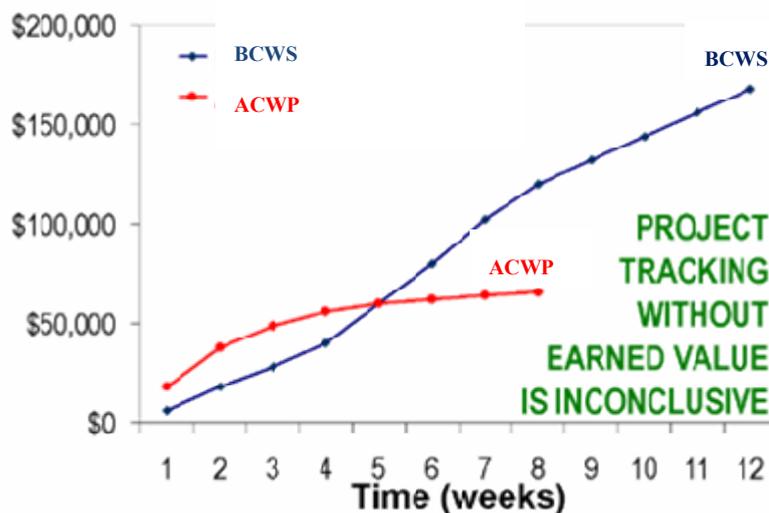
c. *ACWP (Actual Cost Work Performed)*

ACWP adalah biaya actual yang dikeluarkan untuk menyelesaikan pekerjaan sampai pada periode tertentu. ACWP dapat disajikan per periode atau kumulatif.

d. *BAC (Budget At Completion)*

BAC adalah budget rencana yang akan diserap oleh keseluruhan proyek atau keseluruhan pekerjaan. Nilainya adalah nilai proyek tersebut atau nilai kontrak yang harus diselesaikan atau nilai keseluruhan pekerjaan.

Berikut ini adalah penjelasan dari ke-empat terminologi diatas. Yang berupa kombinasi dari elemen-elemen metode earned value.



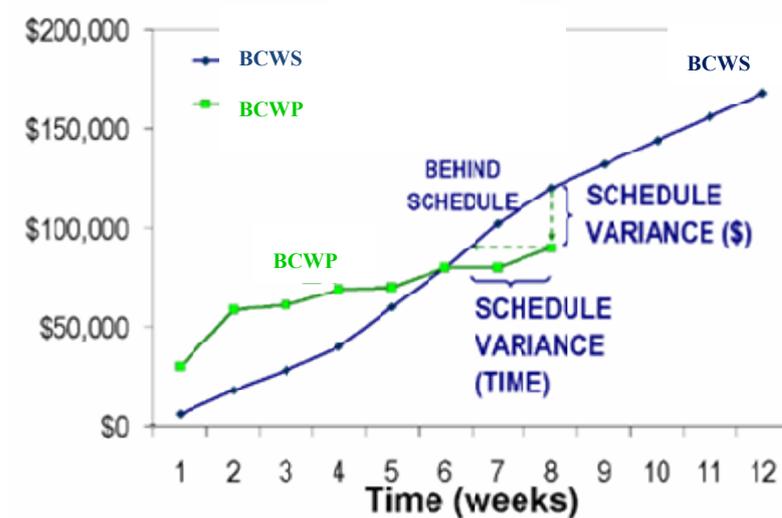
Gambar 3.14 Diagram Garis ACWP dan BCWS

(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

Sangat membantu apabila melihat contoh proyek yang tidak menggunakan metode *earned value* . Mengingat bahwa sebuah proyek

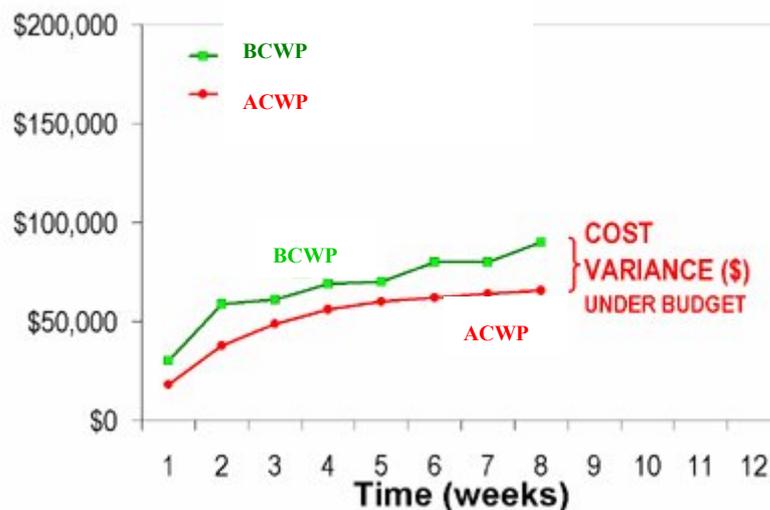
yang telah direncanakan dengan mendetail, termasuk jadwal kerja untuk semua elemen kerja. **Gambar 3.14** menggambarkan jumlah total anggaran dari proyek (*planned value*) ini terhadap fungsi waktu (digambarkan dengan garis biru, dan diberi nama BCWS). Gambar diatas juga menunjukkan jumlah biaya actual ACWP (*actual cost*) pada titik minggu ke-8. Bagi mereka yang tidak terbiasa dengan konsep *earned value*, grafik diatas mungkin menggambarkan bahwa proyek tersebut *overbudget* pada minggu ke-empat dan kemudian *underbudget* dari minggu ke-6 sampai minggu ke-8.

Hal yang kurang dari grafik diatas adalah penjelasan tentang berapa besar pekerjaan yang telah diselesaikan di dalam proyek. Apabila proyek telah selesai pada minggu ke-delapan, maka proyek dalam posisi *underbudget* dan terlaksana di depan jadwal. Tapi, di lain pihak, sebenarnya proyek hanya mencapai 10% pada minggu ke-delapan, dan terlihat proyek mengalami *overbudget* dan dibelakang jadwal. Sebuah metode diperlukan untuk mengukur pelaksanaan teknik pekerjaan secara objektif dan menyeluruh, dan hal itulah yang dapat dilakukan konsep earned value.



Gambar 3.15 Diagram garis BCWP dan BCWS
(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

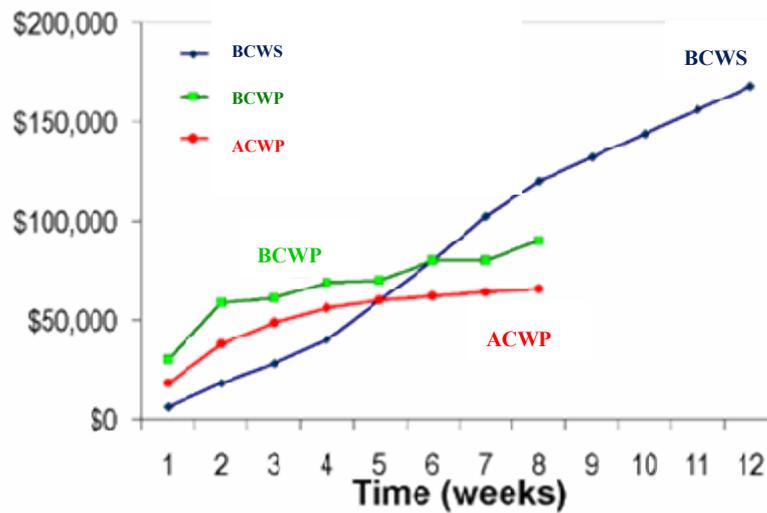
Gambar 3.15 menunjukkan garis BCWP (hijau) sama dengan garis BCWS pada gambar 3.14. grafik diatas mengindikasikan bahwa pelaksanaan proyek dimulai lebih cepat dari yang telah direncanakan tapi melambat dengan signifikan dan jatuh dibelakang jadwal pada minggu ke-7 dan ke-8. Grafik ini menggambarkan aspek dari konsep *earned value*. Melihat kepada jalur kritis dari jadwal proyek.



Gambar 3.16 Diagram garis ACWP dan BCWP

(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

Gambar 3.16 menunjukkan garis yang sama, yaitu garis BCWP (hijau) dengan *actual cost* dari gambar 3.14 maka dapat dilihat bahwa proyek sebenarnya mengalami *under budget* , namun relative dengan jumlah pekerjaan dengan pekerjaan yang telah dilaksanakan sejak dimulainya proyek. Ini merupakan kesimpulan yang lebih baik dibandingkan dengan kesimpulan yang diambil dari gambar 3.14



Gambar 3.17 Diagram garis BCWS, ACWP dan BCWP
(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

Gambar 3.17 memperlihatkan semua garis secara bersama-sama (BCWP, BCWS dan ACWP), yang merupakan tipe dari konsep *earned value* grafik garis. Metode terbaik dalam membaca grafik ini adalah, pertama-tama, tentukan garis BCWP kemudian bandingkan dengan BCWS (untuk jadwal pekerjaan) dan ACWP (untuk biaya pekerjaan). Jadi dapat dilihat dari grafik diatas merupakan pemahaman yang benar dari biaya pekerjaan dan jadwal pekerjaan tergantung dari mengukur pekerjaan teknis secara objektif. Hal ini merupakan prinsip dasar dari metode *earned value*.

3.6.4 Variansi

a. *SV (Schedule Variance)*

Yaitu variansi atau perbedaan antara kemajuan pekerjaan yang dicapai dengan yang direncanakan pada periode tertentu yang menunjukkan posisi kemajuan pekerjaan tersebut pada periode tersebut. SV_{cum} kumulatif adalah variansi antara kemajuan pekerjaan yang telah dicapai dengan yang direncanakan.

$$SV = BCWP - BCWS$$

b. *CV (Cost Variance)*

Yaitu variansi atau perbedaan antara biaya yang harus dikeluarkan untuk mengerjakan suatu pekerjaan pada periode tertentu dengan kemajuan pekerjaan yang dicapai pada periode tersebut yang menggambarkan posisi keuangan pekerjaan pada periode yang bersangkutan. CV_{cum} adalah kumulatif variansi antara biaya yang telah dikeluarkan dengan kemajuan aktual kumulatif.

$$CV = BCWP - ACWP$$

c. *VAC (Variance at Completion)*

Yaitu variansi biaya yang diperkirakan akan terjadi pada saat proyek telah selesai berdasarkan produktifitas terakhir sedangkan VAC_{cum} berdasarkan produktivitas rata-rata.

$$VAC = BAC - EAC$$

$$VAC_{cum} = BAC - EAC_{cum}$$

3.6.5 Indeks Pelaksanaan Pekerjaan

a. *SPI (Schedule Performance Index)*

Yaitu indeks yang menunjukkan produktivitas pekerjaan (efisiensi jadwal) berdasarkan kemajuan yang dicapainya pada periode tertentu sedangkan SPI_{cum} adalah indeks produktivitas pekerjaan berdasarkan kumulatif kemajuan yang dicapainya sampai periode tertentu.

$$SPI = BCWP / BCWS$$

$$SPI_{cum} = BCWP_{cum} / BCWS_{cum}$$

b. *CPI (Cost Performance Index)*

Yaitu indeks yang menunjukkan produktifitas keuangan (efisiensi biaya) atau keuangan berdasarkan penyerapan biaya yang sebenarnya terjadi sampai pada penyerapan proyek berdasarkan penyerapan biaya yang sebenarnya terjadi pada periode tertentu. CPI_{cum} adalah indeks yang menunjukkan produktivitas periode tertentu.

$$CPI = BCWP / ACWP$$

$$CPI_{cum} = BCWP_{cum} / ACWP_{cum}$$

3.6.6 Status Proyek Keseluruhan

- a. *PC (Present Complete)* yaitu presentase kemajuan pekerjaan yang telah dicapai sampai pada periode tertentu berdasarkan *budget* yang direncanakan.

$$PC = BCWP_{cum} / BAC$$

- b. *PS (Present Spent)* yaitu presentase biaya yang telah diserap sampai pada periode tertentu dibandingkan dengan jumlah rencana yang dianggarkan atau perkiraan jumlah total berdasarkan perkiraan uang yang harus dikeluarkan pada saat penyelesaian proyek berdasarkan produktivitas akhir atau produktivitas rata-rata.

$$PS = ACWP_{cum} / BAC$$

$$PS_{cum} = ACWP_{cum} / EAC$$

3.6.7 Estimasi Untuk Menyelesaikan Proyek dan Peramalan Biaya Akhir

- a. *ETC (Estimate to Complete)* yaitu sejumlah biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek berdasarkan data produktivitas terakhir yang dicapai.

$$ETC = (BAC - BCWP_{cum}) / CPI$$

- b. *EAC (Estimate at Complete)* adalah besarnya biaya yang akan diserap secara keseluruhan oleh proyek berdasarkan data produktivitas terakhir yang dicapai. Sedangkan *EAC_{cum}* adalah besarnya biaya yang akan diserap secara keseluruhan oleh produk berdasarkan data produktivitas rata-rata.

$$EAC = ACWP_{cum} + ETC$$

3.6.8 Analisis Penyimpangan Jadwal dan Biaya

Kondisi pelaksanaan pekerjaan ditinjau dari sisi pemanfaatan waktu dan biaya yang direpresentasikan dengan nilai *Schedule Variance (SV)* dan *Cost Variance (CV)* adalah sebagai berikut :

$$SV = BCWP - BCWS$$

Schedule Variance = 0 ; proyek tepat waktu

Schedule Variance > 0 ; proyek lebih cepat

Schedule Variance < 0 ; proyek terlambat

$$CV = BCWP - ACWP$$

Cost Variance = 0 ; biaya proyek sesuai rencana

Cost Variance > 0 ; biaya lebih kecil dari rencana

Cost Variance < 0 ; biaya lebih besar dari rencana

Penyimpangan jadwal dan biaya diatas memberikan indikasi dalam bentuk rupiah besar keterlambatan atau majunya proyek dari jadwal tetapi tidak memberikan informasi secara tepat posisi kemajuan proyek terhadap pekerjaan-pekerjaan yang utama. Ini dapat diatasi dengan menyajikan barchart proyek secara integrasi.

Dalam hal terjadi penyimpangan seperti keterlambatan atau biaya yang lebih besar dari rencana, harus dapat diidentifikasi factor penyebabnya seperti : kesalahan estimasi, kesulitan teknis akibat medan yang berat, biaya material dan kinerja pekerja tidak seperti yang diharapkan.

Penyimpangan jadwal biaya dan biaya dinyatakan dalam rupiah seperti penggunaan variansi di atas tidak dapat menggambarkan kondisi keterlambatan relative terhadap satuan unit anggaran. Keterlambatan sebesar 5 juta rupiah dari anggaran 100 juta adalah tidak berarti bila dibandingkan dengan jila anggarannya 10 juta. Hal ini menunjukkan bahwa parameter variansi yang digunakan kurang dapat ,emggabarlan relatifitas tingkat kepentingan sebuah kemajuan atau keterlambatan jika dibandingkan dengan

nilai total proyek. Untuk itu digunakan SPI dan CPI yang berupa nilai indeks yang dapat lebih menggambarkan kondisi yang diharapkan di atas.

Pengertian yang diberikan CPI dan SPI adalah sebagai berikut :

- SPI = 1 ; proyek tepat waktu
- SPI > 1 ; proyek tepat waktu
- SPI < 1 ; proyek terlambat

- CPI = 0 ; biaya proyek sesuai rencana
- CPI > 0 ; biaya lebih kecil dari rencana
- CPI < 0 ; biaya lebih besar dari rencana

CPI dan SPI ini dihitung untuk setiap *cost account* dan tingkat di atasnya. Pada tingkat yang lebih tinggi perhitungan CPI dan SPI dilakukan dengan sederhana yaitu menjumlahkan parameter-parameter tingkat yang berada di bawahnya. Mungkin terjadi kasus kinerja jelek di suatu bagian ditutupi oleh kinerja yang baik di bagian lain, sehingga kinerja suatu tingkat secara rata-rata menjadi baik. Hal ini tidak perlu dikhawatirkan karena seharusnya setiap penanggung jawab suatu *cost account* akan mengetahui kondisi nyata tingkat di bawahnya dan dapat mengidentifikasi sumber penyimpangan. Sebagai parameter lain, CPI dan SPI dapat disajikan untuk periode yang ditinjau dan kondisi kumulatifnya