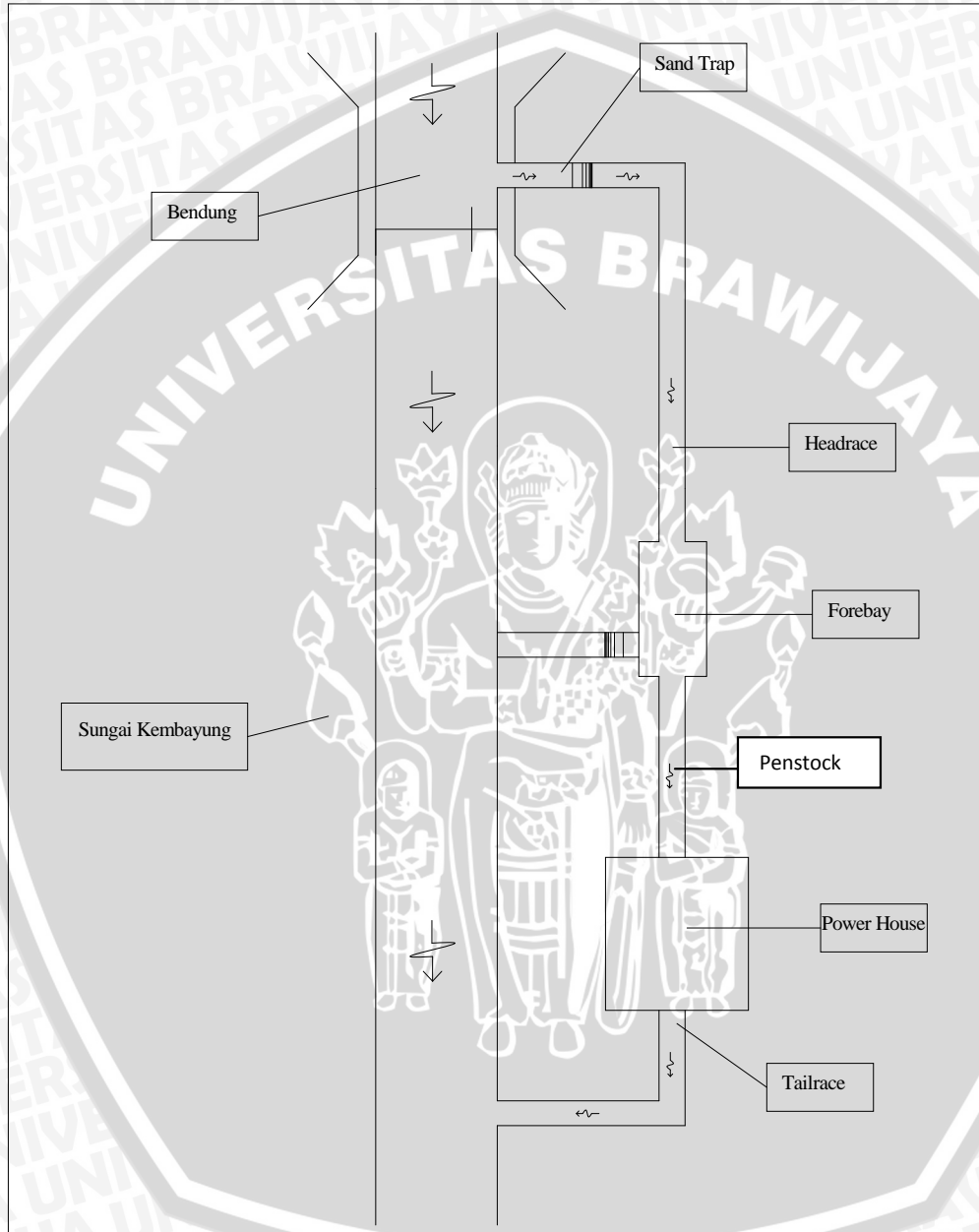


BAB IV HASIL ANALISIS DAN PERENCANAAN

4.1 Hasil Analisis Topografi

Data topografi pada calon lokasi site bendung untuk PLTM akan digunakan sebagai dasar untuk perencanaan/desain bangunan PLTM pada lokasi yang terpilih.



Gambar 4.1 Skema Perencanaan PLTM

Selain itu, data topografi ini juga digunakan untuk mengetahui besar *head* yang akan digunakan dalam perencanaan PLTM.

4.2 Hasil Analisis Hidrologi

4.2.1 Analisis Data Hujan

Data-curah hujan yang dikumpulkan bersumber dari Stasiun Bentiang. Dari sekian banyak data curah hujan yang telah dikumpulkan.

Tabel 4.1 Data curah hujan harian maksimum bulanan (mm/hari) di lokasi studi

Tahun	Bulan (mm/hari)												Rata ²	Max
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des		
1990	53,5	7,7	81,5	39,5	53,2	69,5	56,5	41,3	48,2	93,5	73,2	45,4	55,3	93,5
1991	85,3	53,0	81,5	72,0	42,0	26,5	53,0	24,9	43,0	64,9	57,5	50,7	54,5	85,3
1992	20,8	64,8	42,0	38,7	79,7	33,5	32,0	57,5	47,4	52,8	41,9	86,3	49,8	86,3
1993	49,0	21,0	72,0	43,0	48,0	22,0	51,0	35,0	60,0	40,0	60,0	0,0	41,8	72,0
1994	46,5	61,4	44,8	53,4	64,8	37,8	60,7	62,0	45,9	38,8	72,0	0,0	49,0	72,0
1995	41,5	92,0	58,5	66,7	68,3	44,2	49,2	72,5	108,0	53,0	86,0	47,2	65,6	108,0
1996	34,5	75,9	115,5	42,3	65,2	45,9	75,2	74,5	56,4	68,3	32,5	27,0	59,4	115,5
1997	23,2	22,3	46,2	64,8	97,5	34,7	41,2	89,3	17,5	74,9	38,2	49,0	49,9	97,5
1998	39,5	45,6	83,6	44,9	60,0	28,0	30,2	50,5	43,6	43,5	42,7	68,8	48,4	83,6
1999	67,7	48,4	62,0	28,1	35,4	50,0	43,3	88,0	56,5	49,1	28,3	54,2	50,9	88,0
2000	59,0	37,8	33,0	45,0	47,4	20,0	45,0	64,0	48,2	63,2	55,0	0,0	43,1	64,0
2001	8,8	67,1	25,1	42,5	48,2	29,6	64,6	36,6	45,0	57,9	55,2	59,5	45,0	67,1
2002	75,0	35,0	53,5	42,0	126,6	45,6	20,7	55,0	99,9	60,0	90,0	64,0	63,9	126,6
2003	76,0	62,0	50,0	59,0	40,0	40,0	33,2	76,3	48,0	90,0	78,1	60,0	59,4	90,0
2004	80,0	90,0	90,0	60,0	83,0	120,0	32,0	22,6	60,0	50,0	43,1	100,0	69,2	120,0
2005	100,0	42,0	44,0	72,0	100,0	63,0	50,0	26,5	80,0	80,0	70,0	40,0	64,0	100,0
2006	45,0	70,0	30,0	47,0	62,0	68,0	60,0	80,0	70,0	24,0	70,0	60,0	57,2	80,0
2007	60,0	50,0	30,0	50,0	80,0	60,0	60,0	60,0	50,0	60,0	35,5	100,0	58,0	100,0
2008	80,0	40,0	60,0	80,0	70,0	40,0	50,0	80,0	60,0	60,0	56,0	76,0	62,7	80,0
2009	170,0	40,0	48,0	60,0	30,0	60,0	40,0	80,0	60,0	40,0	70,0	60,0	63,2	170,0
Max	170,0	92,0	115,5	80,0	126,6	120,0	75,2	89,3	108,0	93,5	90,0	100,0	105,0	170,0
Min	8,8	7,7	25,1	28,1	30,0	20,0	20,7	22,6	17,5	24,0	28,3	0,0	19,4	64,0

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.2 Data curah hujan bulanan (mm/bulan) di lokasi studi

Tahun	Bulan (mm/bulan)												Jumlah	Rerata
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des		
1990	396,0	95,5	371,9	202,9	283,3	211,6	418,5	106,5	264,3	444,7	380,2	276,4	3451,8	288
1991	430,8	160,4	371,9	424,8	231,1	85,8	135,1	95,0	137,3	379,5	344,7	384,2	3180,6	265
1992	211,9	439,5	215,4	287,0	467,1	165,0	233,1	254,3	236,6	323,7	345,2	477,1	3655,9	305
1993	304,0	64,0	505,0	260,0	262,0	87,0	229,0	114,0	301,0	295,0	403,0	0,0	2824,0	235
1994	330,7	271,6	440,8	381,2	380,7	208,6	101,8	170,4	60,4	221,2	354,8	0,0	2922,2	244
1995	277,4	417,3	321,4	417,9	328,1	263,2	234,3	375,5	346,7	375,2	458,5	290,8	4106,3	342
1996	152,7	414,3	264,6	254,1	226,2	274,3	311,5	322,9	370,1	489,6	252,7	288,1	3621,1	302
1997	160,1	172,2	216,1	335,9	331,4	110,8	111,7	143,6	27,9	366,3	225,2	324,8	2526,0	211
1998	246,9	167,4	315,0	363,8	251,7	175,4	227,7	364,6	268,0	308,3	373,4	529,8	3592,0	299
1999	352,9	204,1	317,8	135,1	243,5	215,2	132,1	403,2	225,9	536,5	230,6	363,0	3359,9	280
2000	412,6	209,8	200,0	294,2	137,1	97,6	112,0	285,5	282,1	446,0	540,2	0,0	3017,1	251
2001	99,0	167,9	183,9	354,0	245,6	75,0	340,1	119,3	405,4	357,7	326,8	344,5	3019,2	252
2002	599,7	167,6	241,3	326,1	476,1	313,4	63,5	111,4	214,1	338,0	515,0	294,4	3660,6	305
2003	581,8	300,3	240,7	518,3	123,5	160,3	257,9	386,4	313,5	535,0	586,2	430,6	4434,5	370
2004	539,8	192,3	321,7	318,6	442,3	127,8	200,3	69,6	453,7	268,8	393,4	523,5	3851,8	321

Tahun	Bulan (mm/bulan)												Jumlah	Rerata
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des		
2005	285,7	207,2	304,3	353,1	273,6	310,5	227,2	88,9	258,6	455,3	286,3	198,5	3249,2	271
2006	251,8	225,6	114,8	291,0	392,4	303,5	173,7	147,7	313,7	163,1	349,4	383,1	3109,8	259
2007	303,2	280,8	202,8	358,5	371,9	328,3	362,5	251,2	301,1	417,4	203,7	511,5	3892,9	324
2008	417,9	272,1	406,5	490,2	251,7	281,8	385,6	477,0	411,8	503,9	345,6	586,9	4831,0	403
2009	601,0	179,0	422,0	346,0	153,0	264,0	122,0	222,0	217,0	316,4	596,0	597,1	4035,5	336
Rerata	347,8	230,4	298,9	335,6	293,6	203,0	219,0	225,5	270,5	377,1	375,5	340,2	3517,1	293,1
Min	99,0	64,0	114,8	135,1	123,5	75,0	63,5	69,6	27,9	163,1	203,7	0,0	1139,2	210,5
Max	601,0	439,5	505,0	518,3	476,1	328,3	385,6	477,0	453,7	536,5	596,0	597,1	5914,1	402,6

Sumber: Hasil Perhitungan

4.2.2 Uji Homogenitas Data Hujan

Data-data hujan yang ada sebelum digunakan untuk menghitung curah hujan rancangan, perlu diuji dulu kualitas dari data tersebut dengan menggunakan uji homogenitas data. Adapun rumus yang akan dipakai untuk menghitung uji homogenitas data dengan menggunakan RAPS adalah sebagai berikut:

$$Q = \text{maks } |S_k^{**}| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n$$

$$R = \text{maks } S_k^{**} - \text{min } S_k$$

$$S_k^* = (x - \bar{x})$$

$$D_y^2 = \frac{S_k^2}{n}$$

$$D_y = \sqrt{D_y^2}$$

$$S_k^{**} = \frac{|S_k^*|}{D_y}$$

Pengujian homogenitas data dengan menggunakan metode RAPS adalah sebagai berikut:

1. Dari data hujan yang ada, diambil data hujan harian maksimum untuk setiap tahunnya dalam periode hujan tahun 1990–2009. Tabel hujan harian maksimum untuk setiap tahunnya dalam periode hujan tahun 1990–2009 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Hujan Harian Maksimum

No	Tahun	Curah Hujan (mm)
1	1990	93.5
2	1991	85.3
3	1992	86.3
4	1993	72.0
5	1994	72.0
6	1995	108.0

No	Tahun	Curah Hujan (mm)
7	1996	115.5
8	1997	97.5
9	1998	83.6
10	1999	88.0
11	2000	64.0
12	2001	67.1
13	2002	126.6
14	2003	90.0
15	2004	120.0
16	2005	100.0
17	2006	80.0
18	2007	100.0
19	2008	80.0
20	2009	170.0

Sumber : Hasil Perhitungan

2. Data hujan maksimum di atas nantinya akan digunakan dalam perhitungan uji homogenitas data dengan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Contoh perhitungan:

- Misalkan data yang digunakan sebagai contoh perhitungan adalah data tahun 1990 dengan hujan harian maksimum dalam satu tahun sebesar 93,50 mm dan curah hujan rerata sebesar 94,97 mm.

$$- S_k^* = (x - \bar{x}) = (93,50 - 94,97) = -1,47$$

$$- [S_k^*] = \text{nilai mutlak dari } S_k^* = 1,47$$

$$- D_y^2 = \frac{S_k^2}{n} = \frac{1,47^2}{20} = 0,11$$

$$- D_y = \sqrt{D_y^2} = \sqrt{0,11} = 0,33$$

$$- S_k^{**} = \frac{|S_k^*|}{D_y} = \frac{1,47}{0,33} = 4,45$$

$$- [S_k^{**}] = \text{nilai mutlak dari } S_k^{**} = 4,45$$

Hasil perhitungan metode RAPS lainnya ditabelkan dalam Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Uji Homogenitas

No	Tahun	Curah Hujan	S_k^*	$[S_k^*]$	D_y^2	D_y	S_k^{**}	$[S_k^{**}]$
1	1990	93.50	-1.47	1.47	0.11	24.00	0.06	0.06
2	1991	85.30	-9.67	9.67	4.68		0.40	0.40
3	1992	86.30	-8.67	8.67	3.76		0.36	0.36

No	Tahun	Curah Hujan	Sk*	[Sk*]	Dy ²	Dy	Sk**	[Sk**]
4	1993	72.00	-22.97	22.97	26.38		0.96	0.96
5	1994	72.00	-22.97	22.97	26.38		0.96	0.96
6	1995	108.00	13.03	13.03	8.49		0.54	0.54
7	1996	115.50	20.53	20.53	21.07		0.86	0.86
8	1997	97.50	2.53	2.53	0.32		0.11	0.11
9	1998	83.60	-11.37	11.37	6.46		0.47	0.47
10	1999	88.00	-6.97	6.97	2.43		0.29	0.29
11	2000	64.00	-30.97	30.97	47.96		1.29	1.29
12	2001	67.10	-27.87	27.87	38.84		1.16	1.16
13	2002	126.60	31.63	31.63	50.02		1.32	1.32
14	2003	90.00	-4.97	4.97	1.24		0.21	0.21
15	2004	120.00	25.03	25.03	31.33		1.04	1.04
16	2005	100.00	5.03	5.03	1.27		0.21	0.21
17	2006	80.00	-14.97	14.97	11.21		0.62	0.62
18	2007	100.00	5.03	5.03	1.27		0.21	0.21
19	2008	80.00	-14.97	14.97	11.21		0.62	0.62
20	2009	170.00	75.03	75.03	281.48		3.13	3.13
Rerata		94.97	-	17.78	-	Mak	3.13	3.13
Jumlah					575.87	Min	0.06	0.06

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Dari hasil perhitungan di atas, kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis lanjutan untuk mengetahui ketidakpangghahan (*inconsistency*) dari data di atas. Hasil dari analisa tersebut adalah sebagai berikut:

- $n = 20$ (jumlah data)
- $[S_k^{**}]$ maksimum = 3,13
- $[S_k^{**}]$ minimum = 0,06
- $Q = |S_k^{**} \text{ maks}| = 3,13$
- $R = S_k^{**} \text{ maks} - S_k^{**} \text{ min} = 3,13 - 0,06 = 3,07$
- $\frac{Q}{\sqrt{n}} = \frac{3,13}{\sqrt{20}} = 0,70 < \text{dari } \frac{Q}{\sqrt{n}} \text{ tabel} = 1,22(\text{OK!})$
- $\frac{Q}{\sqrt{n}}$ tabel diambil dengan probabilitas 95 % dan $n = 20$
- $\frac{R}{\sqrt{n}} = \frac{3,07}{\sqrt{20}} = 0,69 < \text{dari } \frac{R}{\sqrt{n}} \text{ tabel} = 1,43(\text{OK!})$
- $\frac{R}{\sqrt{n}}$ tabel diambil dengan probabilitas 95 % dan $n = 20$

4.2.3 Evapotranspirasi Potensial

Perhitungan E_{To}^* umumnya menggunakan periode waktu bulanan dengan demikian nilai (p) maupun (t), merupakan nilai rata-rata keadaan iklim dari suatu bulan tertentu. Kebutuhan data terukur untuk menghitung E_{To}^* dengan metode Blaney-Criddle adalah letak lintang (LL) dan suhu udara (t).

Prosedure perhitungan E_{To} untuk suatu bulan tertentu adalah sebagai berikut :

1. Mencari letak lintang daerah yang ditinjau

Nama Stasiun : Meteorologi Siantan

Posisi Bujur : (108°24') - (109°21,5') BT

Posisi Lintang : (0°0,4') - (0°44') LU

2. Sesuai dengan letak lintang, mencari nilai (p) dari tabel 2.6

Tabel 4.5 Prosentase Rata-rata Jam Siang (p)

Letak Lintang	Nilai [p]											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0° LU	0.270	0.270	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.270	0.270	0.270

Sumber: Hasil perhitungan

3. Mencari data suhu rata-rata bulanan (t)

Tabel 4.6 Suhu rata-rata bulanan

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1990	21,60	21,80	21,90	22,30	22,30	22,50	22,00	22,00	21,90	21,50	21,60	21,60
1991	21,70	21,70	21,60	22,10	21,60	22,20	22,00	22,10	22,10	21,90	21,60	21,70
1992	21,50	21,70	22,00	22,40	22,10	22,40	21,70	21,70	22,00	21,50	21,50	21,30
1993	22,00	22,00	26,00	26,00	22,00	23,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
1994	21,50	21,60	21,90	21,90	22,10	22,30	21,70	21,90	21,80	21,50	21,80	0,00
1995	22,10	21,90	21,80	22,80	22,80	22,90	22,30	22,40	22,80	22,60	22,10	22,20
1996	21,60	22,40	22,50	22,70	23,20	23,00	23,00	22,70	23,30	22,90	22,30	22,50
1997	22,30	22,80	23,00	22,70	23,60	22,80	23,00	23,60	22,60	22,60	22,60	23,30
1998	23,60	23,70	23,10	22,60	24,40	23,10	23,00	22,80	30,10	23,10	23,30	22,70
1999	23,30	22,80	22,90	23,30	23,00	22,70	23,30	21,70	22,40	22,60	23,00	22,70
2000	23,00	23,00	22,80	23,10	23,70	22,80	23,60	22,90	23,00	23,50	23,20	0,00
2001	23,30	23,00	23,40	23,30	23,50	23,80	23,20	23,30	23,20	23,30	23,10	22,50
2002	22,80	22,60	23,40	23,30	23,10	22,40	23,30	22,70	23,30	22,70	22,80	22,90
2003	29,40	29,60	31,10	30,40	31,20	30,60	29,70	29,90	0,00	30,20	30,20	29,20
2004	22,90	22,60	22,50	22,10	22,40	22,60	22,40	22,40	22,40	22,40	22,30	22,50
2005	29,40	29,70	30,20	30,20	30,10	22,90	22,30	22,90	22,80	22,60	22,70	22,20
2006	22,10	22,20	19,60	22,50	22,80	22,20	22,40	22,20	22,10	22,40	22,10	22,40
2007	22,80	22,20	22,30	22,70	22,50	22,30	22,20	22,10	22,20	22,10	22,20	22,00
2008	21,80	21,90	22,10	22,20	22,30	22,10	21,80	22,00	22,80	22,20	22,80	22,40
2009	22,20	22,20	22,20	22,60	22,70	22,50	22,30	22,40	22,70	22,40	22,30	22,40
Rata-rata	23,05	23,07	23,32	23,56	23,57	23,06	22,86	22,79	21,78	22,80	22,78	20,43

Sumber: Unit Hidrologi Sub Dinas Pengairan Dinas Pekerjaan Umum Propinsi Kalimantan Barat

4. Dengan memakai nilai (p) dari tabel 2.6, dan data terukur (t), menghitung E_{to}^*
5. Sesuai dengan bulan yang ditinjau cari angka koreksi (c) dari tabel 2.7.
6. Contoh perhitungan E_{to} untuk Bulan Januari 1990

$$\begin{aligned} E_{to}^* &= p \cdot (0,457 \cdot t + 8,13) \\ &= 0,270 \cdot (0,457 \cdot 21,60 + 8,13) = 4,860 \\ E_{to} &= c \cdot E_{to}^* \\ &= 0,8 \cdot 4,86 = 3,89 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Evapotranspirasi Potensial

Tahun	Evapotranspirasi Potensial Rata-rata (mm/hari)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1990	3,89	3,91	3,74	3,78	3,53	3,54	3,75	3,75	3,99	3,88	4,01	4,01
1991	3,90	3,90	3,71	3,76	3,47	3,52	3,75	3,76	4,01	3,92	4,01	4,02
1992	3,88	3,90	3,75	3,79	3,51	3,54	3,72	3,72	4,00	3,88	4,00	3,98
1993	3,93	3,93	4,13	4,13	3,50	3,59	3,75	3,75	4,00	3,93	4,05	4,05
1994	3,88	3,89	3,74	3,74	3,51	3,53	3,72	3,74	3,98	3,88	4,03	1,81
1995	3,94	3,92	3,73	3,83	3,57	3,58	3,78	3,79	4,08	3,99	4,06	4,07
1996	3,89	3,97	3,80	3,82	3,61	3,59	3,84	3,82	4,13	4,02	4,08	4,10
1997	3,96	4,01	3,84	3,82	3,64	3,57	3,84	3,90	4,06	3,99	4,11	4,18
1998	4,09	4,10	3,85	3,81	3,71	3,60	3,84	3,83	4,81	4,04	4,18	4,12
1999	4,06	4,01	3,84	3,87	3,59	3,56	3,87	3,72	4,04	3,99	4,15	4,12
2000	4,03	4,03	3,83	3,85	3,65	3,57	3,90	3,84	4,10	4,08	4,17	1,81
2001	4,06	4,03	3,88	3,87	3,63	3,66	3,86	3,87	4,12	4,06	4,16	4,10
2002	4,01	3,99	3,88	3,87	3,60	3,54	3,87	3,82	4,13	4,00	4,13	4,14
2003	4,66	4,68	4,61	4,54	4,31	4,26	4,48	4,50	1,79	4,74	4,89	4,78
2004	4,02	3,99	3,80	3,76	3,54	3,55	3,79	3,79	4,04	3,97	4,08	4,10
2005	4,66	4,69	4,52	4,52	4,21	3,58	3,78	3,84	4,08	3,99	4,12	4,07
2006	3,94	3,95	3,52	3,80	3,57	3,52	3,79	3,77	4,01	3,97	4,06	4,09
2007	4,01	3,95	3,78	3,82	3,54	3,53	3,77	3,76	4,02	3,94	4,07	4,05
2008	3,91	3,92	3,76	3,77	3,53	3,51	3,73	3,75	4,08	3,95	4,13	4,09
2009	3,95	3,95	3,77	3,81	3,56	3,54	3,78	3,79	4,07	3,97	4,08	4,09
Rerata	4,03	4,03	3,87	3,90	3,64	3,59	3,83	3,82	3,98	4,01	4,13	3,89

Sumber: Hasil perhitungan

4.2.4 Pendugaan Debit Aliran Sungai dengan Model NRECA

Model NRECA digunakan untuk memprediksi besarnya debit aliran sungai. Tahapan untuk menghitung Debit Sungai dengan Metode NRECA pada debit 10 hari (periode pertama) Bulan Januari 1990 periode pertama adalah sebagai berikut:

Menentukan parameter Model NRECA yang terdiri dari PSUB (*Percent Sub Surface*), GWF (*Ground Water Flow*), NOM (Nominal), SMS (*Soil Moisture Storage*),

dan GWS (*Ground Water Storage*) sesuai dengan kondisi DAS. Batasan-batasan untuk parameter Model NRECA adalah sebagai berikut (Nugroho, 2010: 236):

- PSUB : $0,3 \leq \text{PSUB} \leq 0,9$
- GWF : $0,2 \leq \text{GWF} \leq 0,8$
- SMS : tidak ada batasan (*unbounded*)
- GWS : tidak ada batasan (*unbounded*)

Tabel 4.8 Parameter Model NRECA pada Sungai Kembayung bulan Januari periode pertama tahun 1990

Parameter Model NRECA	Nilai
PSUB	0,88
GWF	0,80
SMS	1115
GWS	40

Sumber: Data

- Menggunakan data curah hujan bulanan (P) dan evapotranspirasi potensial (PET) hasil perhitungan sebelumnya.
- Hujan tahunan tahun 1990 = 3451,8
- Menghitung SMS_{n+1} dengan Persamaan (2-22). Besarnya nilai SMS_n berdasarkan parameter yang diketahui.

$$\text{SMS}_{n+1} = \text{SMS}_n + D_{\text{storage}}$$

$$\text{SMS}_{n+1} = 1115 + 17,86 = 1132,86 \text{ mm}$$

- Menghitung NOM dengan Persamaan (2-20) dan S_r (angka tampungan) dengan Persamaan (2-19)

$$\begin{aligned} S_r &= \frac{\text{SMS}}{\text{NOM}} \\ &= \frac{1115}{100 + 0,2 \times 3451,8} = 1,4 \end{aligned}$$

- Menghitung P/PET

$$\frac{P}{\text{PET}} = \frac{146,90}{38,88} = 3,78$$

- Menghitung AET/PET dengan Persamaan (2-24)

$$\text{karena } \frac{P}{\text{PET}} > 1 \text{ maka } \frac{\text{AET}}{\text{PET}} = 1$$

- Menghitung AET dengan Persamaan (2-25)

$$\text{AET} = \text{PET} \times (\text{AET}/\text{PET}) \times \text{koef. reduksi}$$

$$\text{AET} = 38,88 \times 1 \times 0,8 = 31,11 \text{ mm}$$

8. Menghitung *water balance* (P-AET)

$$P-AET = 146,90 - 31,11 = 115,79 \text{ mm}$$

9. Menghitung *exrat* (*excess moisture ratio*) dengan Persamaan (2-27) karena harga $Sr > 0$

$$\begin{aligned} \text{exrat} &= 0,5 \times [1 + \operatorname{tgh}(2Sr - 2)] \\ &= 0,5 \times [1 + \operatorname{tgh}(2 \cdot 1,4 - 2)] = 0,85 \end{aligned}$$

10. Menghitung *excm* (*excess soil moisture*) dengan Persamaan (2-26)

$$\begin{aligned} \text{excm} &= \text{exrat} \times (P - AET) \\ \text{excm} &= 0,85 \times 115,79 = 97,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

11. Menghitung D_{storage} dengan Persamaan (2-29)

$$\begin{aligned} D_{\text{storage}} &= (P - AET) - \text{excm} \\ D_{\text{storage}} &= 115,79 - 97,94 = 17,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

12. Menghitung *Rech* (infiltrasi) dengan Persamaan (2-30)

$$\begin{aligned} \text{Rech} &= \text{PSUB} \times \text{excm} \\ \text{Rech} &= 0,88 \times 97,94 = 86,19 \text{ mm} \end{aligned}$$

13. Menentukan nilai GWS awal $n+1$ berdasarkan parameter DAS yang diketahui dengan Persamaan (2-31)

$$\begin{aligned} \text{GWS awal } n+1 &= \text{GWS akhir} - \text{GF} \\ &= 126,19 - 100,95 = 25,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GWS}_{\text{akhir}} &= \text{Rech} + \text{GWS awal} \\ &= 86,19 + 40 = 126,19 \text{ mm} \end{aligned}$$

14. Menghitung *GF* (*Groundwater Flow*) dengan Persamaan (2-33)

$$\begin{aligned} \text{GF} &= \text{GWF} \times \text{GWS}_{\text{akhir}} \\ \text{GF} &= 0,80 \times 126,19 = 100,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

15. Menghitung *DRF* (*Direct Runoff*) dengan Persamaan (2-34)

$$\begin{aligned} \text{DF} &= \text{excm} - \text{Rech} \\ \text{DF} &= 97,94 - 86,19 = 11,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

16. Menghitung total debit aliran sungai dengan Persamaan (2-19)

$$\begin{aligned} Q &= (\text{DF} + \text{GF}) \cdot A \\ Q &= \left(\frac{11,75 + 100,95}{1000} \right) \cdot (62,4 \cdot 10^6) / (10 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 8,14 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Perhitungan dilanjutkan hingga periode ketiga Bulan Desember 2009 dan disajikan pada Tabel 4.10

Tabel 4.9 Debit 10 harian Sungai Kembayung Hasil Pendugaan Metode NRECA

Bulan	Periode	Jumlah Hari	Tahun																			
			1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
			m3/dt																			
Jan	I	10	8.139	3.239	3.823	5.402	4.539	3.566	2.026	3.129	5.101	9.292	7.937	2.484	2.585	9.063	8.092	9.825	8.460	3.211	8.406	6.588
	II	10	9.339	3.377	2.784	8.770	7.546	5.152	2.939	2.809	2.863	3.662	3.257	0.791	12.766	12.881	7.085	5.337	4.872	7.544	1.445	6.684
	III	11	3.191	15.098	2.502	1.901	5.730	3.423	0.700	0.742	3.089	4.643	9.409	0.177	15.193	7.803	12.290	0.963	0.877	3.088	10.372	17.161
Feb	I	10	0.593	8.038	4.870	0.369	6.102	4.231	10.692	1.072	0.573	1.896	4.997	4.201	2.879	8.104	2.607	1.212	1.395	0.897	6.381	2.967
	II	10	0.281	1.449	11.479	0.074	6.548	5.481	6.386	2.800	0.114	1.787	2.682	1.095	1.976	7.168	6.062	2.860	0.243	7.169	1.946	0.593
	III	8	0.469	0.290	5.775	0.015	1.150	10.195	3.005	0.891	4.236	4.096	1.504	0.208	3.004	1.266	1.051	2.298	6.118	4.257	4.886	5.844
Maret	I	10	5.891	6.243	1.455	6.368	4.344	8.887	0.547	0.166	2.107	6.145	0.271	3.059	2.015	0.253	7.663	0.671	1.047	1.096	10.288	4.508
	II	10	1.009	1.068	5.960	9.036	7.247	4.401	2.113	4.371	10.707	5.574	0.770	0.730	4.569	5.265	3.167	2.986	1.249	1.986	6.929	9.655
	III	11	9.580	10.129	2.303	9.350	10.554	3.282	9.003	4.059	1.841	3.045	6.675	1.284	2.960	3.999	3.802	7.812	0.711	4.176	3.933	7.424
April	I	10	6.821	9.530	2.913	4.090	2.047	10.344	5.478	6.607	5.111	1.057	8.147	6.007	3.389	2.820	4.474	8.571	0.562	1.392	6.643	8.462
	II	10	2.622	10.011	6.454	2.919	8.883	4.740	3.937	2.907	4.299	2.815	4.039	4.526	6.892	12.890	6.289	3.223	7.392	3.234	7.726	5.086
	III	10	0.483	4.484	3.512	4.873	9.624	6.066	2.675	5.380	7.102	0.487	2.047	4.737	4.872	10.605	4.470	5.032	4.011	11.498	11.128	4.353
Mei	I	10	4.430	2.607	7.046	1.855	6.319	11.690	1.527	4.656	6.910	4.970	4.042	5.623	16.660	4.226	12.327	4.674	4.471	4.272	5.816	2.086
	II	10	6.049	6.072	9.996	7.119	4.523	3.458	0.275	10.983	3.681	2.795	1.339	2.544	3.185	1.694	7.729	0.824	8.395	6.126	1.050	2.480
	III	11	2.065	1.893	7.743	3.262	9.727	1.888	7.355	1.901	1.458	2.075	0.249	2.461	6.223	0.312	4.151	6.211	6.398	9.325	7.028	0.678
Juni	I	10	5.037	0.354	1.694	0.624	5.802	1.937	6.735	0.640	2.971	2.669	0.050	1.303	9.375	1.485	6.350	5.990	5.494	6.849	6.597	2.520
	II	10	0.872	0.213	2.589	0.124	1.474	4.776	4.977	2.613	1.818	3.681	0.279	0.235	4.393	0.256	1.107	2.213	2.359	7.256	5.107	4.288
	III	10	4.012	0.485	2.393	0.830	2.903	4.711	2.584	0.450	1.272	2.230	0.665	0.047	3.985	2.823	0.221	6.843	6.657	3.617	2.710	4.549
Juli	I	10	8.374	2.557	2.061	2.508	4.038	3.935	7.003	2.690	0.267	2.688	0.115	0.009	0.704	5.660	2.314	5.091	1.150	4.573	5.036	4.616
	II	10	9.573	2.198	5.446	3.140	0.705	2.813	7.503	0.462	4.119	1.773	1.232	3.644	0.141	4.588	0.967	2.419	1.299	4.332	6.496	0.812
	III	11	3.899	0.388	2.152	3.147	0.141	3.174	1.317	0.092	3.943	0.317	1.404	11.621	0.547	0.813	3.347	2.505	3.850	8.436	7.555	0.162
Agust	I	10	3.924	3.046	1.108	0.554	0.768	6.928	0.263	0.018	2.747	2.458	7.489	4.275	1.191	4.898	0.577	0.441	0.665	4.282	5.355	0.032
	II	10	0.691	0.523	4.913	2.260	0.658	10.411	6.789	4.510	7.414	9.358	5.592	0.789	0.206	7.063	0.115	1.580	0.133	3.878	8.967	2.697

Bulan	Periode	Jumlah Hari	Tahun																			
			1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
			m3/dt																			
	III	11	0.138	0.105	4.577	0.747	3.348	2.395	7.614	0.771	7.201	7.493	0.993	0.827	1.609	5.863	0.023	0.273	4.199	3.690	11.354	6.709
Sept	I	10	3.857	0.021	0.807	5.404	0.576	12.452	10.074	0.154	5.484	1.327	3.319	3.830	7.510	2.214	4.961	6.408	8.905	6.367	12.164	3.844
	II	10	2.945	0.004	3.499	3.595	0.930	3.434	4.642	0.031	1.478	2.586	0.979	7.580	1.291	7.501	6.879	2.624	4.446	7.226	9.465	5.699
	III	10	3.848	3.581	5.810	4.334	0.162	1.460	4.522	0.006	4.062	7.092	6.904	7.477	0.512	8.428	10.447	1.653	1.807	1.267	2.106	0.994
Okt	I	10	2.880	1.933	3.822	1.873	0.202	4.636	8.455	5.619	1.919	8.570	13.621	4.726	7.089	10.166	3.515	5.808	0.332	4.068	4.545	6.227
	II	10	11.192	11.204	8.354	7.205	6.273	4.757	9.624	2.713	4.763	10.319	2.362	7.127	6.655	6.172	3.587	9.846	2.879	7.441	13.525	1.994
	III	11	8.675	5.878	3.909	4.519	1.953	8.247	8.039	7.834	7.540	10.294	7.515	5.823	2.271	11.897	5.719	7.556	3.083	8.947	8.742	5.800
Nop	I	10	5.626	3.412	5.320	4.041	5.575	6.237	5.011	1.353	8.042	2.701	4.729	4.916	4.529	12.948	4.894	9.779	3.854	6.185	5.693	6.374
	II	10	8.244	9.271	5.962	6.352	8.912	16.223	2.946	2.167	8.128	2.902	11.016	5.442	12.757	11.699	6.413	2.625	5.145	1.102	8.402	8.836
	III	10	6.236	4.851	5.639	9.733	3.380	3.522	3.734	6.225	3.373	4.667	13.290	5.213	9.812	8.698	8.571	1.825	7.291	1.795	4.129	16.873
Des	I	10	1.107	7.061	0.994	1.695	0.623	5.934	5.637	3.594	11.314	9.238	2.327	2.838	10.580	9.886	7.385	0.326	4.769	7.214	4.209	16.192
	II	10	4.155	5.220	9.049	0.339	0.125	1.034	4.597	4.581	3.777	1.602	0.465	2.281	6.082	7.909	9.353	6.074	6.455	13.167	19.778	7.121
	III	11	7.860	7.708	14.564	0.068	0.025	6.166	2.890	6.745	12.446	7.440	0.093	10.406	1.093	4.878	11.923	1.737	7.982	7.017	8.896	12.229

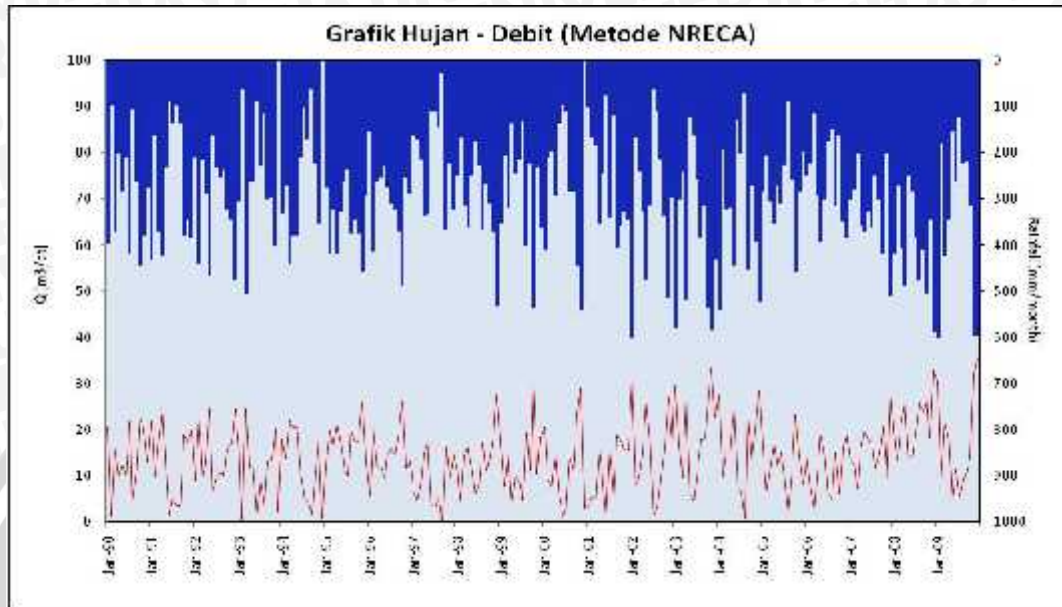
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.10 Debit Bulanan Sungai Kembayung Hasil Pendugaan Metode NRECA

Bulan	Tahun																			
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	m ³ /detik																			
Jan	20.669	21.714	9.109	16.073	17.815	12.141	5.666	6.680	11.054	17.598	20.603	3.453	30.544	29.747	27.467	16.125	14.209	13.843	20.222	30.433
Feb	1.343	9.777	22.123	0.458	13.799	19.908	20.083	4.763	4.923	7.778	9.182	5.504	7.859	16.538	9.719	6.370	7.756	12.323	13.213	9.404
Mar	16.480	17.441	9.718	24.753	22.146	16.570	11.664	8.596	14.655	14.764	7.716	5.074	9.545	9.518	14.632	11.469	3.007	7.259	21.150	21.587
Apr	9.926	24.025	12.879	11.882	20.555	21.150	12.090	14.894	16.512	4.359	14.232	15.270	15.153	26.315	15.233	16.826	11.965	16.124	25.497	17.900
Mei	12.545	10.571	24.784	12.237	20.570	17.036	9.157	17.540	12.049	9.840	5.630	10.629	26.067	6.231	24.206	11.709	19.264	19.724	13.894	5.245
Jun	9.920	1.052	6.676	1.578	10.179	11.424	14.296	3.703	6.061	8.580	0.994	1.585	17.753	4.564	7.678	15.046	14.510	17.722	14.414	11.358
Jul	21.845	5.144	9.659	8.795	4.883	9.923	15.823	3.245	8.329	4.778	2.752	15.274	1.392	11.061	6.628	10.014	6.299	17.342	19.087	5.591
Ags	4.754	3.673	10.598	3.561	4.774	19.735	14.666	5.300	17.363	19.309	14.074	5.892	3.007	17.823	0.715	2.293	4.997	11.850	25.675	9.439
Sep	10.649	3.607	10.116	13.333	1.668	17.346	19.238	0.191	11.024	11.006	11.203	18.886	9.313	18.143	22.287	10.684	15.158	14.860	23.735	10.537
Okt	22.747	19.015	16.085	13.597	8.428	17.640	26.118	16.166	14.223	29.184	23.497	17.676	16.014	28.235	12.821	23.211	6.294	20.456	26.812	14.021
Nov	20.106	17.534	16.921	20.126	17.867	25.982	11.692	9.744	19.543	10.271	29.035	15.571	27.098	33.345	19.878	14.229	16.290	9.083	18.223	32.082
Des	13.122	19.990	24.607	2.102	0.772	13.134	13.124	14.920	27.537	18.279	2.885	15.525	17.755	22.673	28.661	8.137	19.207	27.398	32.883	35.542

Sumber: Hasil Perhitungan

Tolak ukur yang digunakan untuk mengetahui akurasi atau kesesuaian parameter Model NRECA ini adalah pencatatan data hujan pada tahun 1990-2009. Jika curah hujan tinggi maka debit yang dihasilkan besar, jika curah hujan kecil maka debit yang dihasilkan juga kecil.



Gambar 4.2 Kesesuaian curah hujan dengan prediksi debit sungai metode NRECA
Sumber : Hasil Perhitungan

Sebagai kontrol dari hasil prediksi model, dilakukan survei debit sesaat yang mengalir di Sungai Kembayung pada posisi rencana as bendung. Survei dilakukan pada tahun yang bersangkutan. Obyek survei adalah pencatatan kecepatan dan pengukuran luas penampang Sungai Kembayung pada posisi rencana as bendung.

Untuk menentukan debit dengan peluang keandalan tertentu (debit andalan) dapat dilakukan dengan pendekatan analisis peluang dengan **Metode Weibull** yang menghasilkan **Flow Duration Curve** dengan tahapan:

1. Mengurutkan data mulai dari yang besar hingga kecil.
2. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data.

Contoh perhitungan:

Peluang terjadinya kumpulan nilai curah hujan

N = Jumlah pengamatan dari data hujan sebanyak 240

m = Nomor urut kejadian atau peringkat kejadian ke 1

$$P(X_m) = \frac{m}{N+1}$$

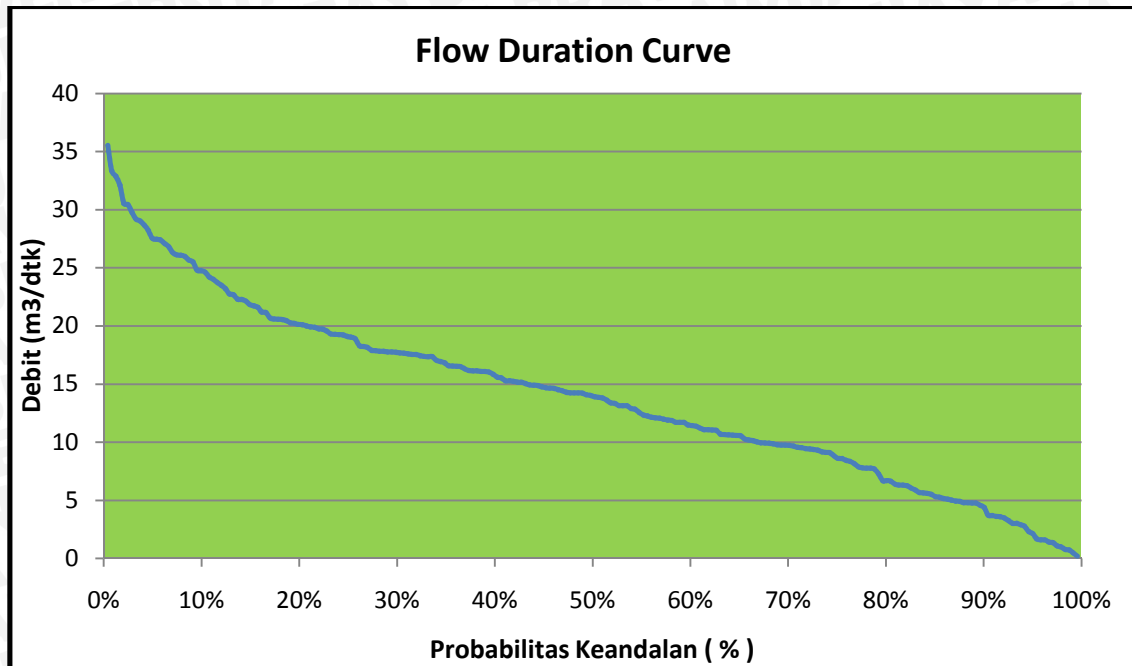
$$P(X_m) = \frac{1}{240+1} \cdot 100\% = 0,41 \%$$

Tabel 4.11. Debit Andalan dengan Metode *Weibull*

m	Q (m ³ /detik)	P (%)	m	Q (m ³ /detik)	P (%)	m	Q (m ³ /detik)	P (%)
1	35,54	0,41	41	20,67	17,01	81	17,34	33,61
2	33,34	0,83	42	20,60	17,43	82	17,04	34,02
3	32,88	1,24	43	20,57	17,84	83	16,92	34,44
4	32,08	1,66	44	20,55	18,26	84	16,83	34,85
5	30,54	2,07	45	20,46	18,67	85	16,57	35,27
6	30,43	2,49	46	20,25	19,09	86	16,54	35,68
7	29,75	2,90	47	20,22	19,50	87	16,51	36,10
8	29,18	3,32	48	20,13	19,92	88	16,48	36,51
9	29,04	3,73	49	20,11	20,33	89	16,29	36,93
10	28,66	4,15	50	19,99	20,75	90	16,17	37,34
11	28,24	4,56	51	19,91	21,16	91	16,12	37,76
12	27,54	4,98	52	19,88	21,58	92	16,12	38,17
13	27,47	5,39	53	19,73	21,99	93	16,09	38,59
14	27,40	5,81	54	19,72	22,41	94	16,07	39,00
15	27,10	6,22	55	19,54	22,82	95	16,01	39,42
16	26,81	6,64	56	19,31	23,24	96	15,83	39,83
17	26,32	7,05	57	19,26	23,65	97	15,57	40,25
18	26,12	7,47	58	19,24	24,07	98	15,52	40,66
19	26,07	7,88	59	19,21	24,48	99	15,27	41,08
20	25,98	8,30	60	19,09	24,90	100	15,27	41,49
21	25,68	8,71	61	19,02	25,31	101	15,23	41,91
22	25,50	9,13	62	18,89	25,73	102	15,16	42,32
23	24,79	9,54	63	18,28	26,14	103	15,15	42,74
24	24,75	9,96	64	18,22	26,56	104	15,05	43,15
25	24,61	10,37	65	18,14	26,97	105	14,92	43,57
26	24,21	10,79	66	17,90	27,39	106	14,89	43,98
27	24,03	11,20	67	17,87	27,80	107	14,86	44,40
28	23,74	11,62	68	17,82	28,22	108	14,76	44,81
29	23,50	12,03	69	17,81	28,63	109	14,67	45,23
30	23,21	12,45	70	17,76	29,05	110	14,65	45,64
31	22,75	12,86	71	17,75	29,46	111	14,63	46,06
32	22,67	13,28	72	17,72	29,88	112	14,51	46,47
33	22,29	13,69	73	17,68	30,29	113	14,41	46,89
34	22,29	14,11	74	17,64	30,71	114	14,30	47,30
35	22,15	14,52	75	17,60	31,12	115	14,24	47,72
36	21,85	14,94	76	17,54	31,54	116	14,23	48,13
37	21,71	15,35	77	17,53	31,95	117	14,22	48,55
38	21,59	15,77	78	17,44	32,37	118	14,21	48,96
39	21,19	16,18	79	17,36	32,78	119	14,08	49,38
40	21,15	16,60	80	17,35	33,20	120	14,02	49,79

m	Q (m ³ /detik)	P (%)	m	Q (m ³ /detik)	P (%)	m	Q (m ³ /detik)	P (%)
121	13.89	50.21	161	13.89	66.80	201	5.67	83.40
122	13.84	50.62	162	13.84	67.22	202	5.63	83.82
123	13.80	51.04	163	13.80	67.63	203	5.59	84.23
124	13.60	51.45	164	13.60	68.05	204	5.50	84.65
125	13.38	51.87	165	13.38	68.46	205	5.30	85.06
126	13.33	52.28	166	13.33	68.88	206	5.24	85.48
127	13.13	52.70	167	13.13	69.29	207	5.14	85.89
128	13.12	53.11	168	13.12	69.71	208	5.07	86.31
129	13.12	53.53	169	13.12	70.12	209	5.00	86.72
130	12.88	53.94	170	12.88	70.54	210	4.92	87.14
131	12.82	54.36	171	12.82	70.95	211	4.88	87.55
132	12.54	54.77	172	12.54	71.37	212	4.78	87.97
133	12.32	55.19	173	12.32	71.78	213	4.77	88.38
134	12.24	55.60	174	12.24	72.20	214	4.76	88.80
135	12.14	56.02	175	12.14	72.61	215	4.75	89.21
136	12.09	56.43	176	12.09	73.03	216	4.56	89.63
137	12.05	56.85	177	12.05	73.44	217	4.36	90.04
138	11.97	57.26	178	11.97	73.86	218	3.70	90.46
139	11.88	57.68	179	11.88	74.27	219	3.67	90.87
140	11.85	58.09	180	11.85	74.69	220	3.61	91.29
141	11.71	58.51	181	11.71	75.10	221	3.56	91.70
142	11.70	58.92	182	11.70	75.52	222	3.45	92.12
143	11.69	59.34	183	11.69	75.93	223	3.25	92.53
144	11.47	59.75	184	11.47	76.35	224	3.01	92.95
145	11.42	60.17	185	11.42	76.76	225	3.01	93.36
146	11.36	60.58	186	11.36	77.18	226	2.89	93.78
147	11.20	61.00	187	11.20	77.59	227	2.75	94.19
148	11.06	61.41	188	11.06	78.01	228	2.29	94.61
149	11.05	61.83	189	11.05	78.42	229	2.10	95.02
150	11.02	62.24	190	11.02	78.84	230	1.67	95.44
151	11.01	62.66	191	11.01	79.25	231	1.58	95.85
152	10.68	63.07	192	10.68	79.67	232	1.58	96.27
153	10.65	63.49	193	10.65	80.08	233	1.39	96.68
154	10.63	63.90	194	10.63	80.50	234	1.34	97.10
155	10.60	64.32	195	10.60	80.91	235	1.05	97.51
156	10.57	64.73	196	10.57	81.33	236	0.99	97.93
157	10.54	65.15	197	10.54	81.74	237	0.77	98.34
158	10.27	65.56	198	10.27	82.16	238	0.72	98.76
159	10.18	65.98	199	10.18	82.57	239	0.46	99.17
160	10.12	66.39	200	10.12	82.99	240	0.19	99.59

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.3 Kurva Durasi Debit Sungai Kembayung
Sumber : Hasil Perhitungan

Perencanaan daya terpasang untuk PLTM didasarkan pada debit andalan 90% (Soemarto, 1987: 214). Tingkat keandalan debit yang digunakan untuk pembangkitan PLTM ini cukup besar dan kemungkinan tidak terpenuhinya menjadi kecil mengingat kebutuhan listrik merupakan kebutuhan primer bagi masyarakat. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya maka debit yang akan digunakan untuk pembangkit adalah debit andalan 90% yang terkecil yaitu $4,38 \text{ m}^3/\text{detik}$.

4.2.5 Analisis Frekuensi

Analisis ini dilakukan untuk memilih salah satu dan beberapa macam sebaran yang paling sesuai dengan sifat-sifat statistik data yang bersangkutan. Sifat-sifat data statistik yang digunakan dalam studi ini adalah Koefisien Skewness (C_s).

Tabel 4.12 Syarat pengujian Data

Distribusi Normal $-0.05 < C_s < 0.05$ dan $2.7 < C_k < 3.3$	Distribusi Gumbel $C_s > 1.1395$ dan $C_k > 5.4$	Dist. Log Person
$-0.05 < C_s < 0.05$ (tidak memenuhi)	$1,5479 > 1.1395$ (memenuhi)	Tidak ada batasan
$2.7 < C_k < 3.3$ (tidak memenuhi)	$6,648 > 5.4$ (memenuhi)	Tidak ada batasan

Sumber: Sri Harto, 1993:245

Tabel 4.13 Analisis Model Distribusi *Log Pearson Type III*

No	Tahun	CH maks(R_{24}) (mm/hari)	log R	Log R - Log $R_{rata-rata}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
1	1990	93,5	1,971	0,0053	0,0000	0,0000	0,00000
2	1991	85,3	1,931	-0,0345	0,0012	0,0000	0,00000
3	1992	86,3	1,936	-0,0295	0,0009	0,0000	0,00000

No	Tahun	CH maks(R_{24}) (mm/hari)	log R	Log R - Log $R_{rata-rata}$	($X_i - X$) ²	($X_i - X$) ³	($X_i - X$) ⁴
4	1993	72,0	1,857	-0,1081	0,0117	-0,0013	0,00014
5	1994	72,0	1,857	-0,1081	0,0117	-0,0013	0,00014
6	1995	108,0	2,033	0,0679	0,0046	0,0003	0,00002
7	1996	115,5	2,063	0,0971	0,0094	0,0009	0,00009
8	1997	97,5	1,989	0,0235	0,0006	0,0000	0,00000
9	1998	83,6	1,922	-0,0433	0,0019	-0,0001	0,00000
10	1999	88,0	1,944	-0,0210	0,0004	0,0000	0,00000
11	2000	64,0	1,806	-0,1593	0,0254	-0,0040	0,00064
12	2001	67,1	1,827	-0,1388	0,0193	-0,0027	0,00037
13	2002	126,6	2,102	0,1370	0,0188	0,0026	0,00035
14	2003	90,0	1,954	-0,0112	0,0001	0,0000	0,00000
15	2004	120,0	2,079	0,1137	0,0129	0,0015	0,00017
16	2005	100,0	2,000	0,0345	0,0012	0,0000	0,00000
17	2006	80,0	1,903	-0,0624	0,0039	-0,0002	0,00002
18	2007	100,0	2,000	0,0345	0,0012	0,0000	0,00000
19	2008	80,0	1,903	-0,0624	0,0039	-0,0002	0,00002
20	2009	170,0	2,230	0,2650	0,0702	0,0186	0,00493
Rata-rata		94,97	1,97				
Standar Deviasi (Stdv)		24,621	0,102				
Koef. Skewness		1,548	0,767				

Sumber: Hasil Perhitungan

Tahapan untuk analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Hujan harian maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
2. Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum \text{Log}X_i}{n}$$

$$\overline{\text{Log}X} = 1,97$$

3. Menghitung harga simpangan baku dengan rumus :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1}} = 0,102$$

4. Menghitung harga koefisien kemencengan dengan rumus :

$$C_s = \frac{n \sum (\text{Log}x_i - \text{Log}x)^3}{(n-1).(n-2)s^3} = 0,767$$

Berdasarkan nilai Koefisien Skewness (C_s) = 0,767 maka sesuai dengan Tabel 2.5 dan tabel 4.12 diduga data hujan yang diteliti memenuhi Distribusi *Log Pearson Type III*. Namun demikian untuk membuktikan hal ini, lebih lanjut dilakukan uji kesesuaian distribusi dengan menggunakan Uji Chi Square dan Smirnov-Kolmogorov.

4.2.6 Uji kesesuaian distribusi

4.2.6.1 Uji Chi Square

Perhitungan Uji Chi Square selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.16 Adapun langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Mengurutkan data pengamatan dari besar ke kecil atau sebaliknya.

Tabel 4.14 Curah Hujan harian maksimum

Tahun	CH maks. (R_{24}) (mm/hari)	N (nilai urut)	CH maks. (R_{24}) (mm/hari)
1990	93,50	1	64,00
1991	85,30	2	67,10
1992	86,30	3	72,00
1993	72,00	4	72,00
1994	72,00	5	80,00
1995	108,00	6	80,00
1996	115,50	7	83,60
1997	97,50	8	85,30
1998	83,60	9	86,30
1999	88,00	10	88,00
2000	64,00	11	90,00
2001	67,10	12	93,50
2002	126,60	13	97,50
2003	90,00	14	100,00
2004	120,00	15	100,00
2005	100,00	16	108,00
2007	100,00	18	120,00
2008	80,00	19	126,60
2009	170,00	20	170,00

Sumber: Hasil Perhitungan

- Data dibagi menjadi 4 sub kelompok, interval peluang $P = 0,25 = 25\%$.

$$\text{Log } R_T = 1,97 + 0,102.k$$

$$R_T = 10^{(1,97 + 0,102(-1,757))} = 61,035 \text{ mm}$$

Tabel 4.15 Curah Hujan rancangan dengan berbagai kala ulang (*Log Person Type III*)

T (tahun)	P (%)	Log Rata-rata	St.Dv	k	St.dv * k	Log R _T	R _T
1.01	99	1,965	0,1024	-1,757	-0,1799	1,786	61,032
2	50	1,965	0,1024	-0,127	-0,0130	1,951	89,292
5	20	1,965	0,1024	0,783	0,0802	2,046	111,092
10	10	1,965	0,1024	1,335	0,1367	2,102	126,525
25	4	1,965	0,1024	1,984	0,2032	2,169	147,459
50	2	1,965	0,1024	2,438	0,2496	2,215	164,095
100	1	1,965	0,1024	2,869	0,2938	2,259	181,650
200	0.5	1,965	0,1024	3,283	0,3362	2,302	200,263
1000	0.1	1,965	0,1024	4,197	0,4297	2,395	248,256

Sumber: Hasil Perhitungan

- c. Menjumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup
- d. Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
- e. Untuk tiap-tiap sub grup hitung nilai : $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
- f. Menjumlahkan nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ pada seluruh G sub grup untuk menentukan nilai Chi Square hitung (X^2 hit).
- g. Dengan menentukan derajat kebebasan, dk = 5 dan $\alpha = 5\%$, maka dari Tabel Chi Square didapatkan X^2 Cr = 11,07
- h. Harga X^2 hit dibandingkan dengan harga X^2 Cr dari table Chi Square

Tabel 4.16 Perhitungan Uji Chi Square

No.	Interval Curah Hujan		O_i	E_i	$X^2_{hitung} = (O_i - E_i)^2/E_i$
	R bawah	R atas			
1	0	77,773	4	5	0,200
2	77,773	89,641	6	5	0,200
3	89,641	106,146	5	5	0,000
4	106,146	~	5	5	0,000
Jumlah			20	20	0,400

Sumber: Hasil perhitungan

X^2 Hitung = 0,400 dan X^2 Kritis = 11.07

Karena X^2 hit < X^2 Cr maka hipotesa distribusi dapat diterima.

4.2.6.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Adapun langkah perhitungan untuk Tahun 2009 adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian maksimum diurutkan dari kecil ke besar.

2. Menghitung nilai S_n dengan persamaan (2-12)

$$S_n = \frac{1}{20+1} \times 100\% = 4,76\%$$

3. Mencari nilai G dengan persamaan (2-10)

$$G = \frac{(\text{Log}X_i - \text{Log}X)}{S}$$

$$G = \frac{(2,23 - 1,958)}{0,102} = 2,67$$

4. Dengan nilai $G = 2,67$ dan Koefisien Skewness (C_s) = 0,767 maka didapatkan

$$Pr = 92,398\%$$

5. Menghitung nilai $P(x)$ dengan persamaan (2-11)

$$P(x) = 100 - Pr$$

$$P(x) = 100 - 92,398 = 7,602\%$$

6. Menghitung Selisih $S_n(x)$ dan $P(x)$

$$= S_n(x) - P(x)$$

$$= 4,76 - 7,602 = -2,840\% = 2,840 \text{ (nilai absolut)}$$

7. Perhitungan dilanjutkan hingga tahun ke-20, kemudian ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.17 Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov

No	X (mm)	$S_n(x)$ (%)	log x	G	Pr (%)	Px (%)	$S_n(x) - P_x$
1	170,00	4,76	2,230	2,67	92,398	7,602	2,840
2	126,60	9,52	1,827	-1,29	98,936	1,064	8,460
3	120,00	14,29	2,079	1,19	87,737	12,263	2,023
4	115,50	19,05	2,063	1,03	93,323	6,677	12,371
5	108,00	23,81	2,033	0,74	53,947	46,053	22,244
6	100,00	28,57	2,000	0,41	64,708	35,292	6,721
7	100,00	33,33	1,922	-0,35	64,708	35,292	1,959
8	97,50	38,10	1,931	-0,27	68,248	31,752	6,343
9	93,50	42,86	1,936	-0,22	74,105	25,895	16,962
10	90,00	47,62	1,954	-0,04	49,301	50,699	3,080
11	88,00	52,38	1,944	-0,13	23,220	76,780	24,399
12	86,30	57,14	1,971	0,13	26,622	73,378	16,235
13	85,30	61,90	1,989	0,30	28,654	71,346	9,441
14	83,60	66,67	1,922	-0,35	32,165	67,835	1,168
15	80,00	71,43	1,903	-0,54	39,841	60,159	11,270
16	80,00	76,19	1,903	-0,54	39,841	60,159	16,032
17	72,00	80,95	1,857	-0,99	12,218	87,782	6,829
18	72,00	85,71	2,063	1,03	12,218	87,782	2,067
19	67,10	90,48	1,827	-1,29	7,322	92,678	2,202
20	64,00	95,24	1,806	-1,49	8,658	91,342	3,897

Sumber: Hasil Perhitungan

Rata-rata log x	=	1,958	
Standar Deviasi	=	0,102	
Koefisien Skewness	=	0,767	
(Sn(x) - Px) max	=	24,40	%
	=	5	%
kritis	=	29,00	%

8. Membandingkan perbedaan terbesar dari perhitungan selisih terbesar (n_{maks}) dengan n_{cr} dari tabel 2.4. Smirnov-Kolmogorof. Karena harga $n_{maks} < n_{cr}$, maka penyimpangan masih dalam batas ijin, yang berarti distribusi hujan pengamatan sesuai dengan model distribusi teoritis.

4.2.7 Curah Hujan Rancangan

Berdasarkan hasil Uji Chi Square dan Smirnov-Kolmogorov, maka distribusi frekuensi curah hujan memenuhi Distribusi Log Pearson Tipe III. Dengan demikian, tahapan untuk hujan rancangan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus :

$$\text{Log}X = \overline{\text{Log}X} + K.s$$

$$\text{Log}X = 1,97 + 0,102.K$$

$$\text{Log}R_{50} = 1,97 + 0,102.2,438$$

$$\text{Log}R_{50} = 2,215$$

2. Mencari antilog dari log X untuk mendapatkan hujan rancangan dengan waktu balik yang dikehendaki T_r .

$$\text{Log}R_5 = 2,215$$

$$R_{50} = 10^{2,215} = 164,095$$

Tabel 4.18 Hujan Rancangan dengan berbagai kala ulang

T (tahun)	P (%)	Log Rata-rata	Log R_T	R_T
1.01	99	1,965	1,786	61,032
2	50	1,965	1,953	89,292
5	20	1,965	2,046	111,092
10	10	1,965	2,102	126,525
25	4	1,965	2,169	147,459
50	2	1,965	2,215	164,095
100	1	1,965	2,259	181,650
200	0.5	1,965	2,302	200,263
1000	0.1	1,965	2,395	248,256

Sumber: Hasil Perhitungan

4.2.8 Analisa Intensitas Curah Hujan

Distribusi hujan jam-jaman menurut Mononobe dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Untuk hujan jam ke 1, maka :

$$R_1 = \frac{R_{24}}{6} \cdot \left(\frac{6}{1}\right)^{\frac{2}{3}} = 0,550 \times R_{24}$$

Prosentase intensitas hujan dalam 1 hari (R_t)

$$R_T = (t \times r_t) - (t-1) \times r_{t-1}$$

$$= (1 \times 0,550) - (1-1) \times 0 = 0,55 = 55\%$$

Dengan berasumsi bahwa rata-rata hujan di Indonesia berdurasi 6 jam, maka Tabel perhitungan hujan efektif jam-jaman metode Mononobe selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.19 .

Tabel 4.19 Perhitungan Hujan efektif jam-jaman 50 tahun Metode Mononobe

Jam	Ratio (%)	Hujan efektif jam-jaman
1	55,03	72,24
2	14,30	18,78
3	10,03	13,17
4	7,99	10,49
5	6,75	8,86
6	5,90	7,75
S =	100	131,28

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan demikian sebaran curah hujan rancangan efektif jam-jaman untuk kala ulang (T) 50 tahun dapat dinyatakan sebagai berikut:

Hujan rancangan 50 tahun = 164,10 mm/hari

Koefisien Pengaliran = 0,8

Hujan efektif (hujan netto) = 131,28 mm/hari

4.2.9 Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS Nakayasu

Tabel 4.20 Karakteristik Sungai Kembayung

Karakteristik	Notasi	Satuan	Nilai
Panjang Sungai Utama	L	Km	11
Parameter	α		3
Luas DAS	A	Km ²	62,40
Hujan Satuan	Ro	mm	1
Kerapatan Jaringan Kuras	D		1,250

Sumber: Data

Persamaan untuk menentukan HSS Nakayasu

$$t_g = 0,21 L^{0,7} = 1,13 \text{ jam}$$

$$T_{0,3} = t_g = 3,38 \text{ jam}$$

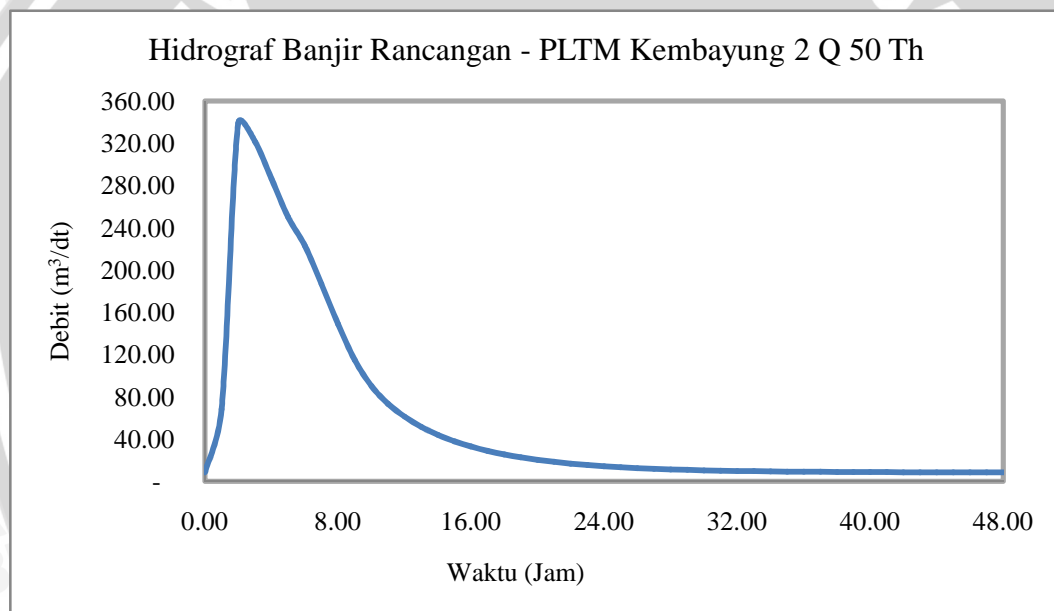
$$t_r = 0,5 t_g = 0,56 \text{ jam}$$

$$T_p = t_g + 0,8 t_r = 1,58 = 2 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 0,4751 \times A^{0,6444} \times D^{0,943} \\ &= 0,4751 \times 62,40^{0,6444} \times 1,25^{0,943} \\ &= 8,39 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$Q_p = \frac{C..A..Ro}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} = 4,36 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Berdasarkan perhitungan debit banjir rancangan dari jam ke-1 sampai dengan jam ke-24, maka didapatkan debit banjir rancangan maksimum sebesar 338,90 m³/detik.



Gambar 4.4 Hidrograf Banjir Rancangan Sungai Kembayung Metode Nakayasu

Tabel 4.21 Hidrograf Banjir Rancangan Q 50th Das Kembayung Metode Nakayasu

t	Ordinat HSS (Qt)	Hujan Jam-Jaman						Baseflow	Debit Banjir Rancangan
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
(jam)	(m ³ /det/mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
0.00	0.0000	-	-	-	-	-	-	8.39	8.39
1.00	0.8261	59.68	-	-	-	-	-	8.39	68.07
2.00	4.3602	315.00	15.51	-	-	-	-	8.39	338.90
3.00	3.0521	220.50	81.88	10.88	-	-	-	8.39	321.64
4.00	2.1364	154.34	57.31	57.43	8.66	-	-	8.39	286.14
5.00	1.4955	108.04	40.12	40.20	45.72	7.32	-	8.39	249.79
6.00	1.1275	81.46	28.08	28.14	32.01	38.61	6.39	8.39	223.08
7.00	0.8889	64.22	21.17	19.70	22.40	27.03	33.75	8.39	186.66
8.00	0.7008	50.63	16.69	14.85	15.68	18.92	23.63	8.39	148.78

t	Ordinat HSS (Qt)	Hujan Jam-Jaman						Baseflow	Debit Banjir Rancangan
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆		
		72.24	18.78	13.17	10.49	8.86	7.74		
(jam)	(m ³ /det/mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
9.00	0.5525	39.91	13.16	11.71	11.82	13.24	16.54	8.39	114.77
10.00	0.4355	31.46	10.37	9.23	9.32	9.98	11.58	8.39	90.34
11.00	0.3550	25.65	8.18	7.28	7.35	7.87	8.73	8.39	73.44
12.00	0.2970	21.46	6.67	5.74	5.79	6.21	6.88	8.39	61.13
13.00	0.2485	17.95	5.58	4.68	4.57	4.89	5.42	8.39	51.48
14.00	0.2079	15.02	4.67	3.91	3.72	3.86	4.28	8.39	43.84
15.00	0.1739	12.57	3.90	3.27	3.11	3.14	3.37	8.39	37.76
16.00	0.1455	10.51	3.27	2.74	2.61	2.63	2.75	8.39	32.89
17.00	0.1218	8.80	2.73	2.29	2.18	2.20	2.30	8.39	28.89
18.00	0.1019	7.36	2.29	1.92	1.82	1.84	1.92	8.39	25.54
19.00	0.0852	6.16	1.91	1.60	1.53	1.54	1.61	8.39	22.74
20.00	0.0713	5.15	1.60	1.34	1.28	1.29	1.35	8.39	20.40
21.00	0.0597	4.31	1.34	1.12	1.07	1.08	1.13	8.39	18.43
22.00	0.0499	3.61	1.12	0.94	0.89	0.90	0.94	8.39	16.79
23.00	0.0418	3.02	0.94	0.79	0.75	0.75	0.79	8.39	15.42
24.00	0.0349	2.52	0.78	0.66	0.63	0.63	0.66	8.39	14.27
25.00	0.0292	2.11	0.66	0.55	0.52	0.53	0.55	8.39	13.31
26.00	0.0245	1.77	0.55	0.46	0.44	0.44	0.46	8.39	12.51
27.00	0.0205	1.48	0.46	0.39	0.37	0.37	0.39	8.39	11.83
28.00	0.0171	1.24	0.38	0.32	0.31	0.31	0.32	8.39	11.27
29.00	0.0143	1.03	0.32	0.27	0.26	0.26	0.27	8.39	10.80
30.00	0.0120	0.87	0.27	0.23	0.21	0.22	0.23	8.39	10.41
31.00	0.0100	0.72	0.23	0.19	0.18	0.18	0.19	8.39	10.08
32.00	0.0084	0.61	0.19	0.16	0.15	0.15	0.16	8.39	9.80
33.00	0.0070	0.51	0.16	0.13	0.13	0.13	0.13	8.39	9.57
34.00	0.0059	0.42	0.13	0.11	0.11	0.11	0.11	8.39	9.38
35.00	0.0049	0.35	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	8.39	9.22
36.00	0.0041	0.30	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	8.39	9.08
37.00	0.0034	0.25	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	8.39	8.97
38.00	0.0029	0.21	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	8.39	8.87
39.00	0.0024	0.17	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	8.39	8.79
40.00	0.0020	0.15	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	8.39	8.73
41.00	0.0017	0.12	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	8.39	8.67
42.00	0.0014	0.10	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	8.39	8.63
43.00	0.0012	0.09	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	8.39	8.59
44.00	0.0010	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	8.39	8.56
45.00	0.0008	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	8.39	8.53
46.00	0.0007	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	8.39	8.51
47.00	0.0006	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	8.39	8.49
48.00	0.0005	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	8.39	8.47

Sumber: Hasil Perhitungan

4.3 Perencanaan Konstruksi Hidrolik

4.3.1 Bendung

Tahapan dalam mendesain bendung:

Elevasi lantai hulu = +255,60

1. Tinggi mercu

Perencanaan tinggi mercu sebesar 3 m.

2. Lebar efektif mercu bending dengan persamaan (2-48)

$$B = 25 \text{ m}$$

$$Be = B - 2 (n \cdot Kp + Ka) H_1$$

$$Be = 25 - 2 (1 \cdot 0,01 + 0,1) H_1 = 25 - 0,22H_1$$

3. Nilai Cd untuk mercu dengan type standar dengan ambang tegak bagian hulu dan kemiringan 1:1 untuk bagian hilir menggunakan rumus empiris Iwasaki: Persamaan (2-50)

$$Cd = 2,2 - 0,0416 \left(\frac{H_1}{P} \right)^{0,99}$$

$$Cd = 2,2 - 0,0416 \left(\frac{H_1}{3} \right)^{0,99}$$

4. Tinggi Muka Air Banjir di Hulu

$$Qd = Cd \cdot 2/3 \cdot \sqrt{2/3 \cdot g} \cdot Be \cdot H_1^{1,5}$$

$$Qd = \left(2,2 - 0,0416 \left(\frac{H_1}{3} \right)^{0,99} \right) \cdot 2/3 \cdot \sqrt{2/3 \cdot 9,81} \cdot (25 - 0,22H_1) \cdot H_1^{1,5}$$

5. Dengan cara coba-coba nilai H_1 agar $Qd = Q_{50} = 338,90 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Sehingga didapatkan nilai

$$H_1 = 2,41 \text{ m.}$$

$$Cd = 2,17$$

$$Be = 24,47 \text{ m}$$

Jari-jari mercu bending beton dengan dari 0,1 sampai 0,7 kali $H_{1\text{maks}}$

$$\text{Untuk } H_1 = 2,41 \text{ maka, } R = 0,3 \cdot 2,84 = 0,72 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi puncak Mercu} = +258,60$$

$$\text{Elevasi muka air banjir pada } Q_{50} \text{ tahun} = 258,60 + 2,41 = 261,01$$

4.3.2 Pintu pembilas

Lebar pintu pembilas sebesar $1/6 - 1/10$ dari lebar bersih bendung ($Be = 24,47 \text{ m}$)

$$Bp = \frac{1}{10} \cdot 24,47$$

$$Bp = 2,447 \text{ m (direncanakan } 2,45 \text{ m)}$$

Tinggi pintu pembilas $H_{\text{pembilas}} = 2,5 \text{ m}$

4.3.3 Kolam loncat air

Tahapan dalam mendesain Peredam Energi:

Peredam energi (kolam olak) didesain untuk banjir dengan kala ulang 50 tahun.

1. Beda tinggi (z) antara puncak mercu dengan dasar hilir.

$$\text{Elevasi puncak} = +258,60$$

$$\text{Elevasi lantai hilir} = +255,10$$

$$z = +258,6 - (+255,1) = 3,5 \text{ m}$$

2. Kecepatan air pada awal loncatan (V_1) dengan Persamaan (2-52)

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

$$\text{Untuk } H_1 = 2,41 \text{ maka } v_1 = \sqrt{2 \cdot 9,8 \left(\frac{1}{2} \cdot 2,41 + 3,5 \right)} = 9,61 \text{ m/detik}$$

3. Menghitung debit persatuan lebar (q) dengan Persamaan (2-53)

$$q = \frac{Q}{Be}$$

$$\text{Untuk } Q = 338,90 \text{ m}^3/\text{detik maka, } q = \frac{338,90}{24,47} = 13,85 \text{ m}^3/\text{detik/m}$$

4. Menghitung kedalaman air pada awal loncatan (Y_u) dengan Persamaan (2-54)

$$Y_u = \frac{q}{v_1}$$

$$\text{Untuk } q = 13,85 \text{ m}^3/\text{detik/m dan } v_1 = 9,61 \text{ m/detik maka, } Y_u = \frac{13,85}{9,61} = 1,44 \text{ m}$$

5. Menghitung bilangan Froude (Fr) dengan Persamaan (2-55)

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{gY_u}}$$

$$\text{Untuk } v_1 = 9,61 \text{ dan } Y_u = 1,44 \text{ ,maka } Fr = \frac{9,61}{\sqrt{9,8 \cdot 1,44}} = 2,56$$

6. Menghitung Kedalaman air di atas ambang ujung (Y_2) dengan Persamaan (2-56)

$$Y_2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1 \right) Y_u$$

$$Y_2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \cdot 2,56^2} - 1 \right) 1,44 = 4,54 \text{ m}$$

7. Menghitung Panjang Peredam Energi dengan Persamaan (2-57)

$$L_j = 5 (n + Y_2)$$

$$L_j = 5 (0,33 + 4,54) = 24,34 \text{ m. Direncanakan sebesar } 24,3 \text{ m.}$$

4.3.4 Trash rack

Trash rack dipasang sebelum bak pengendap dan terbuat dari pipa besi dan dipasang seperti bentuk pagar. Fungsinya untuk mencegah benda-benda padat seperti sampah jerami dan lainnya masuk ke *intake*.

4.3.5 Bak pengendap (*Sand Trap*)

1. Menghitung kecepatan kritis butiran dengan persamaan (2-61)

$$v_c = a \sqrt{d}$$

Dengan :

$$a = 44 \text{ (untuk } 0,1 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm)}$$

d = diameter butir 0,5 mm

$$v_c = 44 \sqrt{0,5}$$

$$= 31,11 \text{ cm/detik}$$

2. Menentukan kecepatan dalam bak yang harus lebih kecil dari pada kecepatan kritis butiran yaitu $v = 30 \text{ cm/detik}$

3. Menghitung waktu untuk butir untuk tiba di dasar bak (t) dengan persamaan berikut

Tinggi air dalam bak direncanakan 300 cm dan $v = 7 \text{ cm/detik}$

$$t = \frac{h}{v}$$

$$t = 300/7 = 42,86 \text{ detik}$$

4. Menghitung panjang bak (L) dengan Persamaan (2-59)

$$L = v \cdot t$$

$$= 30 \text{ cm/detik} \times 42,86 \text{ detik}$$

$$= 1285,8 \text{ cm. Direncanakan } 13 \text{ m.}$$

5. Menghitung lebar bak (B) dengan Persamaan (2-58)

$$Q = B \cdot h \cdot v$$

$$B = \frac{Q}{h \cdot v}$$

$$B = \frac{4,38 \cdot 10^6}{300 \cdot 30} = 486,67 \text{ cm. Direncanakan sebesar } 5 \text{ m}$$

4.4 Perencanaan Konstruksi Hidromekanikal

4.4.1 Pipa pesat

Analisa yang dilakukan pada pipa pesat pada studi ini adalah diameter pipa dan tebal pipa. Tebal pipa berdasarkan kenaikan air akibat *water hammer* (pukulan air).

Pada perhitungan dimensi pipa, debit air yang masuk yaitu sebesar $4,38 \text{ m}^3/\text{dt}$.

a. Diameter Pipa

Jika diketahui:

- debit pembangkitan, $Q_{90\%} = 4,38 \text{ m}^3/\text{dtk}$
- tinggi jatuh, $H_p = 19 \text{ m}$
- panjang pipa pesat, $L_p = 120 \text{ m}$
- sudut rata-rata, $A_p = H_p/L_p = 19/120 = 0,15$ berdasarkan Gambar (2-12) maka kecepatan aliran air optimum (v_{opt}) sebesar $1,78 \text{ m/dtk}$

Menghitung diameter pipa pesat dengan persamaan (2-62)

$$D = 1,273 \times (4,38/1,78)^{0,5}$$

$$= 1,99 \text{ m}$$

Jadi diameter pipa pesat yang direncanakan adalah $1,99 \text{ m}$

b. Water Hammer

Untuk menghitung kenaikan air akibat pukulan air dibutuhkan data-data sebagai berikut:

- debit pembangkitan, $Q_{90\%} = 4,38 \text{ m}^3/\text{dtk}$
- panjang pipa pesat, $L = 120 \text{ m}$
- diameter pipa pesat, $D = 2 \text{ m}$
- elevasi muka air maksimum = $258,60 \text{ m}$
- TWL = $239,60 \text{ m}$
- kecepatan rambat tekanan air, $c = 1440 \text{ m/dtk}$
- waktu yang digunakan untuk menutup katup, $T_{rencana} = 25 \text{ detik}$

maka:

- Panjang pipa

$$L = 120 \text{ m}$$

- Tinggi jatuh

$$H = \text{EMAFB max} - \text{TWL}$$

$$= 258,60 - 239,60$$

$$= 19 \text{ m}$$

- Luas Pipa

$$A = \frac{1}{4} \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 1,99^2$$

$$= 3,11 \text{ m}^2$$

- Kecepatan Aliran Rerata

Perhitungan v_m digunakan Persamaan (2-75)

$$\begin{aligned}
 v_m &= \frac{Q}{L} \sum \frac{L_n}{A_n} \\
 &= \frac{Q}{L} \times \frac{L}{A} \\
 &= \frac{4,38}{120} \times \frac{120}{3,11} \\
 &= 1,39 \text{ m/dtk}
 \end{aligned}$$

e. Waktu menutup Katup

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{2L}{a} \\
 &= \frac{2 \times 120}{1440} \\
 &= 0,17 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

f. Kenaikan Air

Karena nilai $\frac{2L}{a} < T_{rencana}$, maka digunakan Persamaan (2-73) untuk menentukan nilai h,

$$h = \frac{N \times H}{2} \pm \frac{H}{2} \sqrt{(N^2 + 4N)}$$

dengan

$$\begin{aligned}
 N &= \left[\frac{L \times v_m}{g \times T \times H} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{120 \times 1,39}{9,81 \times 25 \times 19} \right]^2 \\
 &= 0,0012
 \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{N \times H}{2} \pm \frac{H}{2} \sqrt{(N^2 + 4N)} \\
 &= \frac{0,0012 \times 19}{2} \pm \frac{19}{2} \times \sqrt{0,0012^2 + (4 \times 0,0012)} \\
 &= 0,669 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi kenaikan air akibat *water hammer* adalah 0,669 m

c. Tebal Pipa Pesat

Pipa pesat direncanakan terbuat dari baja B_j 37 sehingga memiliki tegangan sebesar, $\sigma = 1600 \text{ ton/m}^2$. Bila tinggi tekan maksimum pipa adalah

$$\begin{aligned}
 H_{\max} &= H + h \\
 &= 19 + 0,669 \\
 &= 19,669 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dengan diameter pipa pesat adalah 1,99 m, maka :

$$H = \frac{0,002 + \sigma \times t}{D + 0,002t}$$

$$19,69 = \frac{0,002 + 1600t}{1,99 + 0,002t}$$

$$39,139 = 1599,963t$$

$$t = 0,024 \text{ m}$$

$$= 24 \text{ mm}$$

Untuk keamanan akibat korosif, tebal pipa ditambah 3 mm sehingga digunakan pipa pesat dengan tebal 27 mm.

d. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan

Kehilangan tinggi tekan yang dihitung pada pipa pesat adalah disebabkan karena penyempitan, katup dan kekasaran pipa. Nilai koefisien kehilangan tinggi tekan pada pipa pesat adalah sebagai berikut:

a. Penyempitan

Diameter pipa pesat sebesar, $D = 1,99 \text{ m}$

Karena tidak mengalami penyempitan, dalam tabel (2-9) nilai $k_a = 0$

b. Katup

Pada studi ini pipa pesat direncanakan memiliki katup terbuka penuh. Maka berdasarkan tabel 2.10 nilai $k_b = 0,19$

c. Gesekan atau kekasaran pipa

Jika diketahui:

1. diameter pipa = 1,99 m

2. harga kekentalan kinematik air pada suhu 20°C , $\mu = 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dk}$

3. kecepatan aliran dalam pipa, $v = 1,39 \text{ m/dtk}$.

4. panjang pipa pesat, $L = 120 \text{ m}$

5. pipa pesat direncanakan terbuat dari baja sehingga memiliki koefisien kekasaran mutlak sebesar, $k_s = 0,9 \text{ cm}$

maka:

$$R = \frac{DV}{\mu}$$

$$R = \frac{1,99 \times 1,39}{1,01 \times 10^{-6}}$$

$$= 27,4 \times 10^5$$

Karena nilai bilangan Reynold lebih besar dari 4000, maka aliran dalam pipa termasuk aliran turbulen.

$$\frac{K_s}{D} = \frac{0,9 \times 10^{-2}}{1,99}$$

$$= 0,0045$$

Dari nilai R dan $\frac{K_s}{D}$ diperoleh nilai $\frac{K_s}{D}$ pada diagram Moody sebesar 0,0287

Sehingga:

$$k_c = \frac{\Delta L}{D}$$

$$= \frac{0,0287 \times 120}{1,99}$$

$$= 1,73$$

Jumlah koefisien kehilangan tinggi tekan pada pipa pesat adalah:

$$K = k_a + k_b + k_c$$

$$= 0 + 0,19 + 1,73$$

$$= 1,92$$

e. Kehilangan Tinggi Tekan

Pada studi ini kehilangan tinggi tekan yang dihitung adalah pada pipa pesat.

Adapun perhitungan kehilangan tinggi tekan adalah sebagai berikut:

Pipa Pesat

- Debit pembangkitan pada, $Q_{90\%} = 4,38 \text{ m}^3/\text{dtk}$
- Diameter pipa pesat, $D = 1,99 \text{ m}$

Maka

- Luas penampang pipa

$$A = \frac{1}{4} \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 1,99^2$$

$$= 3,11 \text{ m}^2$$

- Kecepatan aliran dalam pipa

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$= 4,38/3,11$$

$$= 1,39 \text{ m/dtk}$$

- Kehilangan tinggi tekan

$$h_f = k \times \frac{v^2}{2g}$$

$$= 1,92 \times \frac{1,39^2}{2 \cdot 9,81} = 0,189 \text{ m}$$

Jadi kehilangan tinggi tekan pada pipa pesat sebesar 0,189 m.

4.4.2 Tail Water Level (TWL)

TWL atau *Tail Water Level* merupakan elevasi muka air bawah. Adapun perhitungan TWL adalah sebagai berikut.

Jika diketahui :

1. Penampang saluran berbentuk trapesium
2. Lebar saluran, $b = 1$ m
3. Tinggi saluran, $h = 1,5$ m
4. Kemiringan penampang saluran, $m = 1$
5. Koefisien manning (untuk alur alamiah dalam keadaan baik), $n = 0,025$
6. Kemiringan dasar saluran, $s = 0,37$
7. Elevasi dasar tail race $+238,223$
8. Debit outflow, $Q_{90\%} = 4,38 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Untuk mengetahui elevasi TWL digunakan perhitungan tinggi air manning sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q &= 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A \\ &= 1/n \times \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} \times S^{1/2} \times A \\ &= 1/n \times \left(\frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}\right)^{2/3} \times S^{1/2} \times ((b+mh)h) \\ 4,38 &= 1/0,025 \times \left(\frac{(1+2h)h}{1+2h\sqrt{1+2^2}}\right)^{2/3} \times 0,37^{1/2} \times ((1+2h)h) \end{aligned}$$

dengan *trial and error* didapat nilai h sebesar $1,377$ m, sehingga elevasi TWL adalah

$$\begin{aligned} \text{TWL} &= \text{elevasi dasar saluran} + h \\ &= 238,223 + 1,377 \\ &= 239,60 \text{ m} \end{aligned}$$

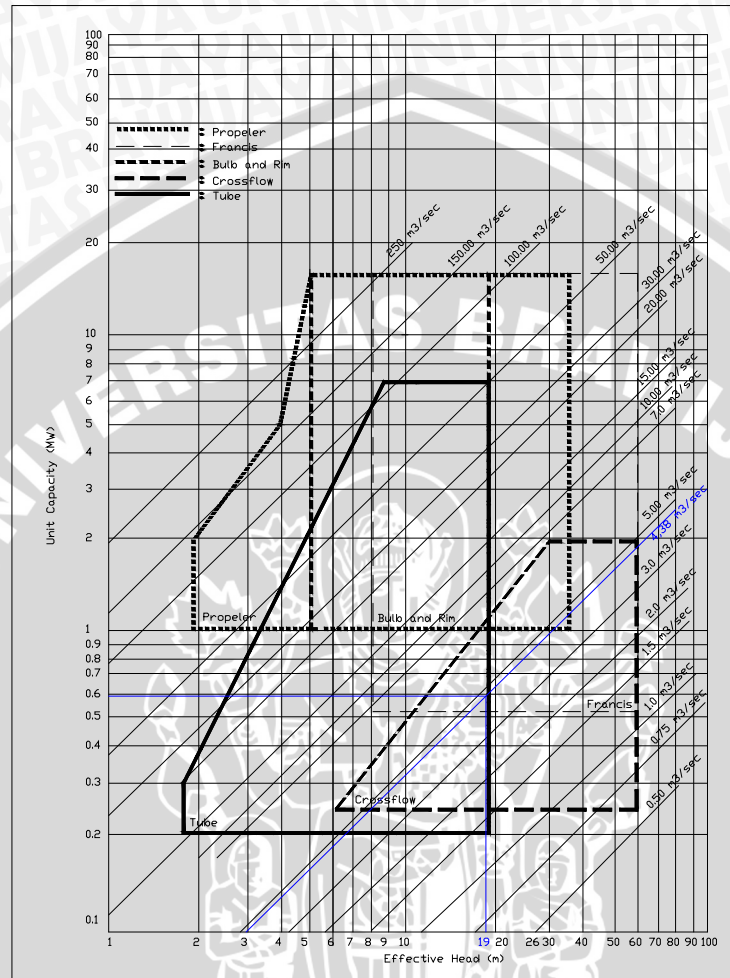
4.4.3 Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara elevasi muka air kolam (*forebay*) dengan tail water level (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan (Varshney, 1977:562). Elevasi muka air *forebay* diasumsikan terletak pada elevasi $+258,60$ karena tinggi jatuh yang direncanakan sebesar 19 m melihat dari perhitungan TWL sebelumnya serta dari peta topografi ada perbedaan tinggi yang cukup memenuhi untuk perencanaan PLTM. Persamaan tinggi jatuh efektif adalah:

$$\begin{aligned} H_{\text{eff}} &= \text{EFB} - \text{TWL} - h_l \\ H_{\text{eff}} &= 258,60 - 239,60 - 0,189 \\ H_{\text{eff}} &= 18,811 \text{ m} \end{aligned}$$

4.4.4 Turbin

Turbin yang direncanakan menggunakan turbin *Francis* dikarenakan debit yang tersedia sebesar $4,38 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan *head* yang direncanakan setinggi 19 m. Analisa untuk pemilihan jenis turbin bisa dilihat pada Gambar 4.5 sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik Analisa Pemilihan Jenis Turbin

Adapun dimensi turbin adalah sebagai berikut:

1. Diameter *Runner* bagian luar (D_1) dengan Persamaan (2-79)

$$D_1 = 38,93 \times \frac{\sqrt{H}}{N}$$

$$D_1 = 38,93 \times \frac{\sqrt{18,811}}{380}$$

$$D_1 = 0,444 \text{ m} = 444 \text{ mm}$$

2. Diameter *Runner* bagian dalam (D_2) dengan Persamaan (2-80)

$$D_2 = \frac{D_1 [2 \sin (1 - \sin)]^{0.5}}{\cos}$$

$$D_2 = \frac{0,444 [2 \sin 16^\circ (1 - \sin 16^\circ)]^{0.5}}{\cos 16^\circ}$$

$$D_2 = 0,292 \text{ m} = 292 \text{ mm}$$

3. Tinggi lorong nozzle (s) dengan Persamaan (2-81)

$$s = \frac{f}{360} \cdot D_1 \cdot \sin r$$

$$s = \frac{90}{360} \cdot f \cdot 0,444 \cdot \sin 16^\circ$$

$$s = 0,096 \text{ m} = 96 \text{ mm}$$

4. Lebar runner atau nozzle (W) dengan Persamaan (2-82)

$$W = \frac{Q}{s \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{eff}}}$$

$$W = \frac{4,38}{0,096 \cdot 0,95 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 18,811}}$$

$$W = 2,50 \text{ m} = 2500 \text{ mm}$$

5. Jari- jari kelengkungan sudu dengan Persamaan (2-83)

$$= 0,326 \cdot r_1$$

$$= 0,326 \cdot (0,444/2)$$

$$= 0,072 \text{ m} = 72 \text{ mm}$$

6. Jarak antar sudu bagian luar dengan Persamaan (2-84)

$$t_1 = \frac{f \cdot D_1}{Z}$$

$$t_1 = \frac{3,14 \cdot 0,444}{36}$$

$$t_1 = 0,039 \text{ m} = 39 \text{ mm}$$

7. Jarak antar sudu bagian dalam dengan Persamaan (2-85)

$$t_2 = \frac{f \cdot D_2}{Z}$$

$$t_2 = \frac{3,14 \cdot 0,292}{36}$$

$$t_2 = 0,025 \text{ m} = 25 \text{ mm}$$

4.4.5 Generator

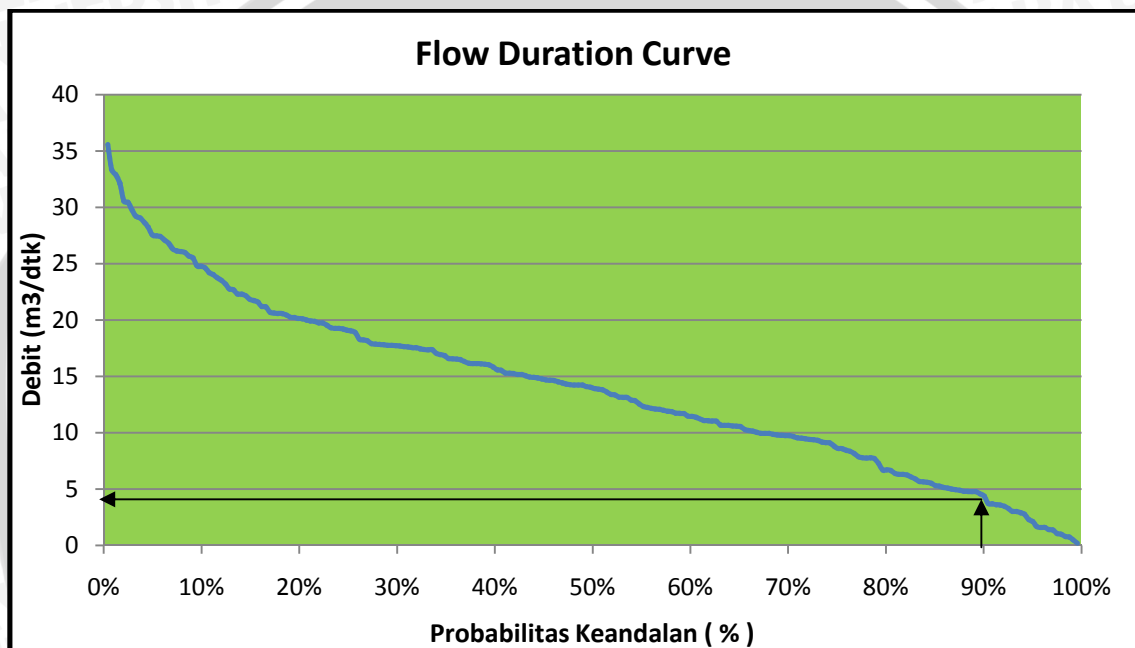
Generator yang dipakai pada PLTM pada umumnya adalah 3 fasa dengan frekuensi 50 Hz dan jumlah kutub 4 maka besar putaran generator sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

$$n = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

4.5 Daya yang dibangkitkan PLTM

Pada umumnya efisiensi turbin *francis* adalah 84% (Tokyo Electric Power Service, 2003: 4). Sedangkan efisiensi generator umumnya berkisar 85% sampai 90%. Pada perhitungan efisiensi yang dipakai adalah 85%. Jika efisiensi turbin (η_t) dan efisiensi generator (η_g) diketahui, maka besarnya daya keluaran elektrik dapat ditentukan dari persamaan berikut:



Gambar 4.6 Kurva Durasi Aliran
Sumber : Hasil Perhitungan

$$\begin{aligned} P_{\text{Turbin}} &= 9,8 \times \text{Heff} \times Q \times t \\ &= 9,8 \times 18,811 \times 4,38 \times 0,84 \\ &= 678,252 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{Generator}} &= 9,8 \times \text{Heff} \times Q \times t \times \eta_g \\ &= 9,8 \times 18,811 \times 4,38 \times 0,84 \times 0,85 \\ &= 576,515 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi} &= P \times 24 \times n \\ &= 576,515 \times 24 \times 90\% \times 365 \\ &= 4.545.244,26 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.6 Jumlah Rumah Yang Terlayani

Untuk memenuhi kebutuhan listrik dasar setiap rumah tangga di pedesaan yang pada umumnya digunakan untuk penerangan pada malam hari dengan total daya tiap rumah sebesar 110 Watt. Dengan daya yang dihasilkan dari PLTM sebesar 576,515 kW dan kehilangan transmisi pada jaringan rata-rata 5% sehingga daya netto yang dihasilkan sebesar 547,689 kW maka diharapkan dapat mensuplai 4879 buah rumah.

4.7 Analisa Kelayakan Ekonomi

4.7.1 Cost (Biaya)

Komponen biaya pada studi ini terdiri dari biaya modal dan biaya OP. Biaya modal meliputi biaya langsung (pipa pesat, rumah pembangkit dan instalasi pembangkit) dan biaya tak langsung (*contingencies* dan biaya *engineering*). Sedangkan biaya OP sebesar 3% dari biaya investasi. Dalam perhitungan ini menggunakan debit andalan 90%.

Adapun perhitungan biaya modal tersebut adalah sebagai berikut.

diketahui:

- Diameter pipa pesat, DP = 1,99m
- Panjang pipa pesat, LPT = 120 m
- Debit pembangkit, Qp = 4,38 m³/dtk
- Tinggi jatuh efektif, Heff = 18,811 m
- Daya, P = 576,515 kW
- Jumlah unit pembangkit, N = 1
- Nilai tukar rupiah Rp.9.598 per 10 Oktober 2012 (berdasarkan BI rate),

Maka dengan menggunakan persamaan (2-92) sampai (2-96) diperoleh besar biaya langsung sebagai berikut.

- a. Menghitung *Penstock* (pipa pesat) dengan persamaan (2-92)

$$\begin{aligned} \text{CPS} &= 800 \times \text{DP}^{1,66} \times \text{LPT} \times \text{N} \\ &= 800 \times 1,99^{1,66} \times 120 \times 1 \\ &= \text{US\$ } 300.862,00 \\ &= \text{Rp. } 2.887.673.487,30 \end{aligned}$$

- b. Menghitung *Power house* (rumah pembangkit) dengan persamaan (2-93) – (2-95)

$$\begin{aligned} \text{CHP1} &= 3,9 \times 10^3 \times (\text{P}/\text{Heff}^{1/2})^{0,71} \\ &= 3,9 \times 10^3 \times (576,515/18,811^{1/2})^{0,71} \\ &= \text{US\$ } 125.552,08 \\ \text{CHP2} &= 6,0 \times 10^3 \times (\text{Qp} \times \text{Heff}^{2/3} \times \text{N}^{1/2})^{0,85} \end{aligned}$$

$$= 6,0 \times 10^3 \times (4,38 \times 18,811^{2/3} \times 1^{1/2})^{0,85}$$

$$= \text{US\$ } 1.214.370,98$$

$$\text{CHP} = \text{CHP1} + \text{CHP2}$$

$$= \text{US\$ } 125.552,08 + \text{US\$ } 1.214.370,98$$

$$= \text{US\$ } 1.339.923,06$$

$$= \text{Rp. } 12.860.581.541,30$$

c. Menghitung Power equipment (instalasi pembangkit) dengan persamaan (2-96)

$$\text{CPE} = 5,9 \times 10^3 \times (\text{P/HeI}^{1/2})^{0,90}$$

$$= 5,9 \times 10^3 \times (576,515/18,811^{1/2})^{0,90}$$

$$= \text{US\$ } 480.945,89$$

$$= \text{Rp. } 4.616.118.616,41$$

sehingga

$$\text{Biaya langsung} = \text{CPS} + \text{CHP} + \text{CPE}$$

$$= \text{Rp. } 2.887.673.487,30 + \text{Rp. } 12.860.581.541,30$$

$$+ \text{Rp. } 4.616.118.616,41$$

$$= \text{Rp. } 20.364.373.645,30$$

$$= \text{US\$ } 2.121.730,95$$

Sedangkan biaya tak langsung dari proyek pembangunan PLTM ini terdiri dari (Kodoatie, 1995:72):

- Biaya *Contingecies* (5% dari biaya langsung)
- Biaya *Engineering* (5 % dari biaya langsung)

a. *Contingecies*, adalah cadangan biaya tak terduga untuk pengeluaran yang belum pasti atau belum dapat diperkirakan sekarang, diambil 5% dari biaya langsung.

$$\text{Biaya } \textit{Contingecies} = 0,05 \times \text{Rp. } 20.364.373.645,30$$

$$= \text{Rp. } 1.018.218.682,26$$

$$= \text{US\$ } 106.086,55$$

b. *Engineering*, adalah biaya untuk kegiatan yang terkait dengan aspek *engineering* mulai dari awal studi hingga detail desain, diambil 5% dari biaya langsung.

$$\text{Biaya } \textit{Contingecies} = 0,05 \times \text{Rp. } 20.364.373.645,30$$

$$= \text{Rp. } 1.018.218.682,26$$

$$= \text{US\$ } 106.086,55$$

maka

$$\text{Biaya tak langsung} = \text{biaya } \textit{contingecies} + \text{biaya } \textit{engineering}$$

$$= \text{Rp. } 1.018.218.682,26 + \text{Rp. } 1.018.218.682,26$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp. } 2.036.437.364,53 \\
 &= \text{US\$ } 212.173,09 \\
 \text{Biaya modal} &= \text{biaya langsung} + \text{biaya tak langsung} \\
 &= \text{Rp. } 20.364.373.645,30 + \text{Rp. } 2.036.437.364,53 \\
 &= \text{Rp. } 22.400.437.364,53 \\
 &= \text{US\$ } 2.333.904,04
 \end{aligned}$$

Jadi biaya modal yang harus dikeluarkan untuk pembangunan PLTM adalah US\$ 2.333.904,04 Selain biaya modal, terdapat biaya tahunan yang harus disediakan. Dalam studi ini biaya tahunan berupa biaya O&P (operasi dan pemeliharaan) yang besarnya diperkirakan dari prosentase biaya modal. Biaya O&P untuk PLTM sebesar 3% dari biaya modal.

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya O\&P} &= 0,03 \times \text{US\$ } 2.333.904,04 \\
 &= \text{US\$ } 70.017,12
 \end{aligned}$$

4.7.2 Benefit (Manfaat)

Komponen benefit dari studi ini didasarkan atas harga jual listrik yang dikeluarkan oleh PLN pada tahun 2012 sebesar Rp. 782,00. Karena proyek mulai memberikan manfaat pada tahun 2016, maka pada studi harga listrik yang digunakan memakai 2 alternatif. Alternatif pertama tetap menggunakan harga sebesar Rp. 782,00 dan alternatif kedua harga diperkirakan naik sebesar Rp. 1.000,00, (harga listrik mengalami kenaikan karena pengaruh inflasi). Pada studi ini juga diperkirakan bahwa harga listrik mengalami kenaikan tiap dua tahun sekali sebesar 12% dari harga awal. Jika produksi energi pertahun yang dihasilkan oleh PLTM sebesar 4.544.748,60 kWh. Maka dari data tersebut diperoleh benefit tahunan (untuk tahun pertama) sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Benefit PLTM} &= \text{produksi energi tahunan} \times \text{harga jual listrik} \\
 &= 4.544.748,60 \times \text{Rp. } 782,00 \\
 &= \text{Rp. } 3.553.993.402,67 \\
 &= \text{US\$ } 370.284,79
 \end{aligned}$$

Tabel 4.22 Benefit PLTM tiap Tahun dengan Alternatif 1

No	Tahun	Energi kWh	Harga Jual Listrik Rp.	Manfaat tahunan Rp.	Manfaat tahunan USD
0	2015	0.00	782.00	0.00	USD -
1	2016	4,544,748.60	782.00	Rp3,553,993,402.67	USD 370,284.79
2	2017	4,544,748.60	782.00	Rp3,553,993,402.67	USD 370,284.79
3	2018	4,544,748.60	875.84	Rp3,980,472,610.99	USD 414,718.96
4	2019	4,544,748.60	875.84	Rp3,980,472,610.99	USD 414,718.96
5	2020	4,544,748.60	980.94	Rp4,458,129,324.31	USD 464,485.24

No	Tahun	Energi kWh	Harga Jual Listrik Rp.	Manfaat tahunan Rp.	Manfaat tahunan USD
6	2021	4,544,748.60	980.94	Rp4,458,129,324.31	USD 464,485.24
7	2022	4,544,748.60	1,098.65	Rp4,993,104,843.23	USD 520,223.47
8	2023	4,544,748.60	1,098.65	Rp4,993,104,843.23	USD 520,223.47
9	2024	4,544,748.60	1,230.49	Rp5,592,277,424.42	USD 582,650.28
10	2025	4,544,748.60	1,230.49	Rp5,592,277,424.42	USD 582,650.28
11	2026	4,544,748.60	1,378.15	Rp6,263,350,715.34	USD 652,568.32
12	2027	4,544,748.60	1,378.15	Rp6,263,350,715.34	USD 652,568.32
13	2028	4,544,748.60	1,543.53	Rp7,014,952,801.19	USD 730,876.52
14	2029	4,544,748.60	1,543.53	Rp7,014,952,801.19	USD 730,876.52
15	2030	4,544,748.60	1,728.75	Rp7,856,747,137.33	USD 818,581.70
16	2031	4,544,748.60	1,728.75	Rp7,856,747,137.33	USD 818,581.70
17	2032	4,544,748.60	1,936.20	Rp8,799,556,793.81	USD 916,811.50
18	2033	4,544,748.60	1,936.20	Rp8,799,556,793.81	USD 916,811.50
19	2034	4,544,748.60	2,168.55	Rp9,855,503,609.07	USD 1,026,828.88
20	2035	4,544,748.60	2,168.55	Rp9,855,503,609.07	USD 1,026,828.88
21	2036	4,544,748.60	2,428.77	Rp11,038,164,042.15	USD 1,150,048.35
22	2037	4,544,748.60	2,428.77	Rp11,038,164,042.15	USD 1,150,048.35
23	2038	4,544,748.60	2,720.23	Rp12,362,743,727.21	USD 1,288,054.15
24	2039	4,544,748.60	2,720.23	Rp12,362,743,727.21	USD 1,288,054.15
25	2040	4,544,748.60	3,046.65	Rp13,846,272,974.48	USD 1,442,620.65
26	2041	4,544,748.60	3,046.65	Rp13,846,272,974.48	USD 1,442,620.65
27	2042	4,544,748.60	3,412.25	Rp15,507,825,731.41	USD 1,615,735.13
28	2043	4,544,748.60	3,412.25	Rp15,507,825,731.41	USD 1,615,735.13
29	2044	4,544,748.60	3,821.72	Rp17,368,764,819.18	USD 1,809,623.34
30	2045	4,544,748.60	3,821.72	Rp17,368,764,819.18	USD 1,809,623.34
			Total	Rp264,983,719,913.57	USD 27,608,222.54
			Rerata	Rp8,832,790,663.79	USD 920,274.08

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.23 Benefit PLTM tiap Tahun dengan Alternatif 2

No	Tahun	Energi kWh	Harga Jual Listrik Rp.	Manfaat tahunan Rp.	Manfaat tahunan USD
0	2015	0.00	1,000.00	0.00	USD -
1	2016	4,544,748.60	1,000.00	Rp4,544,748,597	USD 473,509.96
2	2017	4,544,748.60	1,000.00	Rp4,544,748,597	USD 473,509.96
3	2018	4,544,748.60	1,120.00	Rp5,090,118,428	USD 530,331.16
4	2019	4,544,748.60	1,120.00	Rp5,090,118,428	USD 530,331.16
5	2020	4,544,748.60	1,254.40	Rp5,700,932,640	USD 593,970.89
6	2021	4,544,748.60	1,254.40	Rp5,700,932,640	USD 593,970.89
7	2022	4,544,748.60	1,404.93	Rp6,385,044,557	USD 665,247.40
8	2023	4,544,748.60	1,404.93	Rp6,385,044,557	USD 665,247.40

No	Tahun	Energi kWh	Harga Jual Listrik Rp.	Manfaat tahunan Rp.	Manfaat tahunan USD
9	2024	4,544,748.60	1,573.52	Rp7,151,249,903	USD 745,077.09
10	2025	4,544,748.60	1,573.52	Rp7,151,249,903	USD 745,077.09
11	2026	4,544,748.60	1,762.34	Rp8,009,399,892	USD 834,486.34
12	2027	4,544,748.60	1,762.34	Rp8,009,399,892	USD 834,486.34
13	2028	4,544,748.60	1,973.82	Rp8,970,527,879	USD 934,624.70
14	2029	4,544,748.60	1,973.82	Rp8,970,527,879	USD 934,624.70
15	2030	4,544,748.60	2,210.68	Rp10,046,991,224	USD 1,046,779.66
16	2031	4,544,748.60	2,210.68	Rp10,046,991,224	USD 1,046,779.66
17	2032	4,544,748.60	2,475.96	Rp11,252,630,171	USD 1,172,393.22
18	2033	4,544,748.60	2,475.96	Rp11,252,630,171	USD 1,172,393.22
19	2034	4,544,748.60	2,773.08	Rp12,602,945,792	USD 1,313,080.41
20	2035	4,544,748.60	2,773.08	Rp12,602,945,792	USD 1,313,080.41
21	2036	4,544,748.60	3,105.85	Rp14,115,299,287	USD 1,470,650.06
22	2037	4,544,748.60	3,105.85	Rp14,115,299,287	USD 1,470,650.06
23	2038	4,544,748.60	3,478.55	Rp15,809,135,201	USD 1,647,128.07
24	2039	4,544,748.60	3,478.55	Rp15,809,135,201	USD 1,647,128.07
25	2040	4,544,748.60	3,895.98	Rp17,706,231,425	USD 1,844,783.44
26	2041	4,544,748.60	3,895.98	Rp17,706,231,425	USD 1,844,783.44
27	2042	4,544,748.60	4,363.49	Rp19,830,979,196	USD 2,066,157.45
28	2043	4,544,748.60	4,363.49	Rp19,830,979,196	USD 2,066,157.45
29	2044	4,544,748.60	4,887.11	Rp22,210,696,700	USD 2,314,096.34
30	2045	4,544,748.60	4,887.11	Rp22,210,696,700	USD 2,314,096.34
Total				Rp338,853,861,782	USD 35,304,632.40
Rerata				Rp11,295,128,726	USD 1,176,821.08

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.24 Harga Jual Listrik PLTM Tiap Tahun dengan B/C = 1

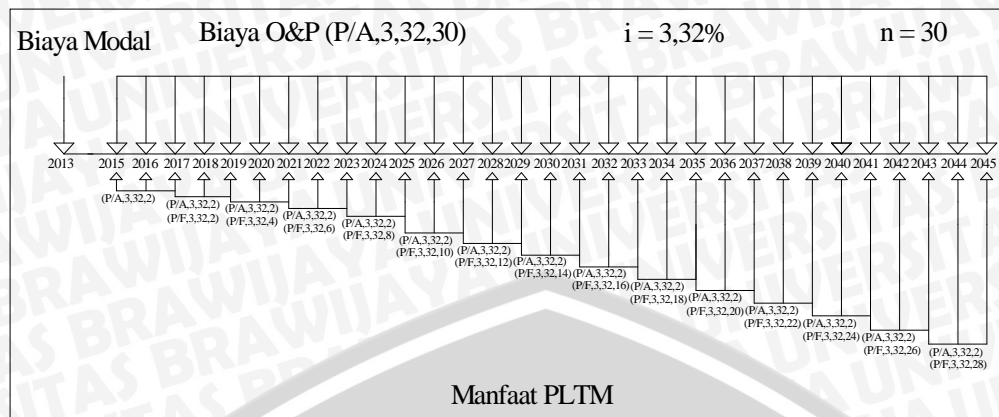
No	Tahun	Energi kWh	Harga Jual Listrik Rp.	Manfaat tahunan Rp.	Manfaat tahunan USD
0	2015	0.00	201.00	0.00	USD -
1	2016	4,544,748.60	201.00	Rp913,494,468	USD 95,175.50
2	2017	4,544,748.60	201.00	Rp913,494,468	USD 95,175.50
3	2018	4,544,748.60	225.12	Rp1,023,113,804	USD 106,596.56
4	2019	4,544,748.60	225.12	Rp1,023,113,804	USD 106,596.56
5	2020	4,544,748.60	252.13	Rp1,145,887,461	USD 119,388.15
6	2021	4,544,748.60	252.13	Rp1,145,887,461	USD 119,388.15
7	2022	4,544,748.60	282.39	Rp1,283,393,956	USD 133,714.73
8	2023	4,544,748.60	282.39	Rp1,283,393,956	USD 133,714.73
9	2024	4,544,748.60	316.28	Rp1,437,401,231	USD 149,760.49
10	2025	4,544,748.60	316.28	Rp1,437,401,231	USD 149,760.49
11	2026	4,544,748.60	354.23	Rp1,609,889,378	USD 167,731.75

No	Tahun	Energi kWh	Harga Jual Listrik Rp.	Manfaat tahunan Rp.	Manfaat tahunan USD
12	2027	4,544,748.60	354.23	Rp1,609,889,378	USD 167,731.75
13	2028	4,544,748.60	396.74	Rp1,803,076,104	USD 187,859.56
14	2029	4,544,748.60	396.74	Rp1,803,076,104	USD 187,859.56
15	2030	4,544,748.60	444.35	Rp2,019,445,236	USD 210,402.71
16	2031	4,544,748.60	444.35	Rp2,019,445,236	USD 210,402.71
17	2032	4,544,748.60	497.67	Rp2,261,778,664	USD 235,651.04
18	2033	4,544,748.60	497.67	Rp2,261,778,664	USD 235,651.04
19	2034	4,544,748.60	557.39	Rp2,533,192,104	USD 263,929.16
20	2035	4,544,748.60	557.39	Rp2,533,192,104	USD 263,929.16
21	2036	4,544,748.60	624.28	Rp2,837,175,157	USD 295,600.66
22	2037	4,544,748.60	624.28	Rp2,837,175,157	USD 295,600.66
23	2038	4,544,748.60	699.19	Rp3,177,636,175	USD 331,072.74
24	2039	4,544,748.60	699.19	Rp3,177,636,175	USD 331,072.74
25	2040	4,544,748.60	783.09	Rp3,558,952,516	USD 370,801.47
26	2041	4,544,748.60	783.09	Rp3,558,952,516	USD 370,801.47
27	2042	4,544,748.60	877.06	Rp3,986,026,818	USD 415,297.65
28	2043	4,544,748.60	877.06	Rp3,986,026,818	USD 415,297.65
29	2044	4,544,748.60	982.31	Rp4,464,350,037	USD 465,133.36
30	2045	4,544,748.60	982.31	Rp4,464,350,037	USD 465,133.36
Total				Rp68,109,626,218	USD 7,096,231.11
Rerata				Rp2,270,320,874	USD 236,541.04

Sumber: Hasil Perhitungan

4.7.3 PV (*Present Value*/ Nilai Sekarang)

Agar perhitungan analisa ekonomi lebih mudah dan mendekati kenyataan maka harus dihitung pada titik waktu yang sama. Dalam studi ini baik analisa biaya ataupun analisa manfaat dijadikan nilai sekarang (*present value*). Tahun dasar yang digunakan adalah tahun selesainya pengerjaan proyek, yaitu tahun 2015. Pelaksanaan proyek diperkirakan selama tiga tahun, dimulai tahun 2013 sedangkan manfaat yang dihasilkan dari adanya proyek ini (minihidro) selama 30 tahun. Apabila suku bunga yang berlaku saat ini sebesar 3,32% (berdasarkan *world bank* oktober tahun 2012) maka *present value* untuk biaya dan manfaat adalah sebagai berikut.



Gambar 4.7 Diagram Aliran *Cost-Benefit*

a. Biaya modal

Untuk memperoleh *present value* biaya modal digunakan faktor konversi F/P, karena biaya modal merupakan pembayaran tunggal/*Single-Payment Present Worth Factor* (Pujawan, 2004:35), hal ini ditandai dengan masa konstruksi selama tiga tahun. Besarnya nilai faktor konversi diketahui dari tabel faktor bunga pada bunga kompon (terlampir).

Apabila besar biaya modal US\$ 2.333.904,04 dan faktor konversi (F/P,3,32,3) adalah 1,103, maka

$$\begin{aligned}
 PV \text{ biaya modal} &= \text{biaya modal} \times (F/P,3,32,3) \\
 &= \text{US\$ } 2.333.904,04 \times 1,103 \\
 &= \text{US\$ } 2.574.296,16
 \end{aligned}$$

b. Biaya O&P

Biaya O&P dikeluarkan setiap tahun atau disebut *Annuity* dengan periode 30 tahun dan bunga 3,32 %. Sehingga untuk mendapatkan *present value*nya digunakan faktor konversi P/A.

Apabila besar biaya O&P tiap tahun US\$ 70.017,12 dan faktor konversi (P/A,3,32,30) adalah 18,861, maka

$$\begin{aligned}
 PV \text{ biaya O\&P} &= \text{biaya O\&P} \times (P/A,3,32,30) \\
 &= \text{US\$ } 70.017,12 \times 18,861 \\
 &= \text{US\$ } 1.320.592,92
 \end{aligned}$$

c. Manfaat

Manfaat PLTM diperoleh setiap tahun atau disebut *Annuity* dengan periode 30 tahun dan bunga 3,32 %. Karena besar manfaat berbeda tiap dua tahun maka untuk memperoleh *present value*nya digunakan faktor konversi P/A terlebih dahulu dengan periode 2 tahun kemudian digunakan juga P/F untuk mengembalikan nilai tersebut ke tahun dasar.

Sebagai contoh digunakan manfaat PLTM per dua tahun (tahun kedua) untuk memperoleh PV manfaat sebagai berikut.

- Manfaat per dua tahun US\$ 414.718,96 (berdasarkan Tabel 4.22)
- $(P/A,3,32,2) = 1,904$
- $(P/F,3,32,2) = 0,943$

maka manfaat PLTM dari tahun 2017-2019 adalah

$$\begin{aligned} PV \text{ manfaat}_1 &= \text{manfaat} \times (P/A,3,32,2) \\ &= \text{US\$ } 414.718,96 \times 1,904 \\ &= \text{US\$ } 789.624,91 \end{aligned}$$

Nilai PV manfaat diatas merupakan nilai *present* pada saat tahun 2017, agar nilai tersebut menjadi nilai *present* pada tahun dasar (tahun 2015) maka digunakan faktor konversi P/F dengan periode 2 tahun, sehingga

$$\begin{aligned} PV \text{ manfaat}_2 &= PV \text{ manfaat}_1 \times (P/F,3,32,2) \\ &= \text{US\$ } 789.624,91 \times 0,943 \\ &= \text{US\$ } 744.616,29 \end{aligned}$$

Jadi PV manfaat untuk manfaat PLTM per dua tahun (tahun kedua) sebesar US\$ 744.61629. Besar PV manfaat untuk tahun berikutnya tertera pada tabel 4.25. dan tabel 4.26.

Tabel 4.25 PV Manfaaat PLTM dengan Alternatif 1

No	Manfaat PLTM Per tahun	Tahun Manfaat PLTM	Faktor Konversi		PV Manfaat
1	USD 370,284.79	2015-2017	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 705,022.24
2	USD 414,718.96	2017-2019	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 744,616.29
			(P/F,3,32,2)	0.943	
3	USD 464,485.24	2019-2021	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 776,485.55
			(P/F,3,32,4)	0.878	
4	USD 520,223.47	2021-2023	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 814,195.51
			(P/F,3,32,6)	0.822	
5	USD 582,650.28	2023-2025	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 855,321.29
			(P/F,3,32,8)	0.771	
6	USD 652,568.32	2025-2027	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 897,077.84
			(P/F,3,32,10)	0.722	
7	USD 730,876.52	2027-2029	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 942,105.68
			(P/F,3,32,12)	0.677	
8	USD 818,581.70	2029-2031	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,002,166.65
			(P/F,3,32,14)	0.643	
9	USD 916,811.50	2031-2033	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,038,637.41
			(P/F,3,32,16)	0.595	
10	USD 1,026,828.88	2033-2035	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,088,980.78
			(P/F3,32,18)	0.557	
11	USD 1,150,048.35	2035-2037	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,145,208.94
			(P/F,3,32,20)	0.523	

No	Manfaat PLTM Per	Tahun Manfaat	Faktor Konversi		PV Manfaat
			(P/A,3,32,2)	1.904	
12	USD 1,288,054.15	2037-2039	(P/F,3,32,22)	0.490	USD 1,201,703.00
			(P/A,3,32,2)	1.904	
13	USD 1,442,620.65	2039-2041	(P/F,3,32,24)	0.459	USD 1,260,758.12
			(P/A,3,32,2)	1.904	
14	USD 1,615,735.13	2041-2043	(P/F,3,32,26)	0.431	USD 1,325,911.02
			(P/A,3,32,2)	1.904	
15	USD 1,809,623.34	2043-2045	(P/F,3,32,28)	0.404	USD 1,391,991.23
			(P/A,3,32,10)	1.904	
Total					USD 15,190,181.54

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.26 PV Manfaaat PLTM dengan Alternatif 2

No	Manfaat PLTM Per tahun	Tahun Manfaat PLTM	Faktor Konversi		PV Manfaat
			(P/A,3,32,2)	1.904	
1	USD 473,509.96	2015-2017	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 901,562.96
2	USD 530,331.16	2017-2019	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 952,194.74
			(P/F,3,32,2)	0.943	
3	USD 593,970.89	2019-2021	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 992,948.27
			(P/F,3,32,4)	0.878	
4	USD 665,247.40	2021-2023	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,041,170.72
			(P/F,3,32,6)	0.822	
5	USD 745,077.09	2023-2025	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,093,761.25
			(P/F,3,32,8)	0.771	
6	USD 834,486.34	2025-2027	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,147,158.36
			(P/F,3,32,10)	0.722	
7	USD 934,624.70	2027-2029	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,204,738.72
			(P/F,3,32,12)	0.677	
8	USD 1,046,779.66	2029-2031	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,281,543.03
			(P/F,3,32,14)	0.643	
9	USD 1,172,393.22	2031-2033	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,328,180.84
			(P/F,3,32,16)	0.595	
10	USD 1,313,080.41	2033-2035	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,392,558.54
			(P/F,3,32,18)	0.557	
11	USD 1,470,650.06	2035-2037	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,464,461.57
			(P/F,3,32,20)	0.523	
12	USD 1,647,128.07	2037-2039	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,536,704.60
			(P/F,3,32,22)	0.490	
13	USD 1,844,783.44	2039-2041	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,612,222.66
			(P/F,3,32,24)	0.459	
14	USD 2,066,157.45	2041-2043	(P/A,3,32,2)	1.904	USD 1,695,538.39
			(P/F,3,32,26)	0.431	
15	USD 2,314,096.34	2043-2045	(P/A,3,32,10)	1.904	USD 1,780,039.93
			(P/F,3,32,28)	0.404	
Total					USD 19,424,784.58

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.27 PV Manfaat PLTM dengan B/C = 1

No	Manfaat PLTM Per tahun		Tahun Manfaat PLTM	Faktor Konversi		PV Manfaat	
	USD					USD	
1	USD	95,175.50	2015-2017	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	181,214.16
2	USD	106,596.56	2017-2019	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	191,391.14
				(P/F,3,32,2)	0.943		
3	USD	119,388.15	2019-2021	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	199,582.60
				(P/F,3,32,4)	0.878		
4	USD	133,714.73	2021-2023	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	209,275.32
				(P/F,3,32,6)	0.822		
5	USD	149,760.49	2023-2025	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	219,846.01
				(P/F,3,32,8)	0.771		
6	USD	167,731.75	2025-2027	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	230,578.83
				(P/F,3,32,10)	0.722		
7	USD	187,859.56	2027-2029	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	242,152.48
				(P/F,3,32,12)	0.677		
8	USD	210,402.71	2029-2031	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	257,590.15
				(P/F,3,32,14)	0.643		
9	USD	235,651.04	2031-2033	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	266,964.35
				(P/F,3,32,16)	0.595		
10	USD	263,929.16	2033-2035	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	279,904.27
				(P/F,3,32,18)	0.557		
11	USD	295,600.66	2035-2037	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	294,356.77
				(P/F,3,32,20)	0.523		
12	USD	331,072.74	2037-2039	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	308,877.63
				(P/F,3,32,22)	0.490		
13	USD	370,801.47	2039-2041	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	324,056.75
				(P/F,3,32,24)	0.459		
14	USD	415,297.65	2041-2043	(P/A,3,32,2)	1.904	USD	340,803.22
				(P/F,3,32,26)	0.431		
15	USD	465,133.36	2043-2045	(P/A,3,32,10)	1.904	USD	357,788.03
				(P/F,3,32,28)	0.404		
Total						USD	3,904,381.70

Sumber: Hasil Perhitungan

4.7.4 BCR

Besarnya *benefit-cost ratio* berdasarkan nilai biaya dan manfaat diatas adalah sebagai

berikut:

$$\begin{aligned}
 B/C \text{ (Alternatif 1)} &= \frac{PV \text{ manfaat}}{PV \text{ biaya modal} + PV \text{ biaya O\&P}} \\
 &= \frac{US\$ 15.190.181,54}{US\$ 2.574.296,16 + US\$ 1.320.592,92} \\
 &= 3,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B/C \text{ (Alternatif 2)} &= \frac{PV \text{ manfaat}}{PV \text{ biaya modal} + PV \text{ biaya O\&P}} \\
 &= \frac{US\$ 19.424.784,58}{US\$ 2.574.296,16 + US\$ 1.320.592,92} \\
 &= 4,99
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B/C &= \frac{PV \text{ manfaat}}{PV \text{ biaya mod} + PV \text{ biaya C\&P}} \\
 &= \frac{US\$ 3.904.391,70}{US\$ 2.574.296,16 + US\$ 1.320.592,92} \\
 &= 1,00
 \end{aligned}$$

Dengan *trial and error* didapat harga jual listrik minimum pada tahun pertama sebesar Rp. 201 untuk mendapatkan nilai $B/C = 1$

4.7.5 NPV

Besarnya *Net Present Value* berdasarkan nilai biaya dan manfaat diatas adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 NPV \text{ (Alternatif 1)} &= PV \text{ manfaat} - (PV \text{ biaya modal} + PV \text{ biaya O\&P}) \\
 &= US\$ 15.190.181,54 - (US\$ 2.574.296,16 + 1.320.592,92) \\
 &= US\$ 15.190.181,54 - US\$ 3.894.889,08 \\
 &= US\$ 11.295.292,46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NPV \text{ (Alternatif 2)} &= PV \text{ manfaat} - (PV \text{ biaya modal} + PV \text{ biaya O\&P}) \\
 &= US\$ 19.424.784,58 - (US\$ 2.574.296,16 + 1.320.592,92) \\
 &= US\$ 19.424.784,58 - US\$ 3.894.889,08 \\
 &= US\$ 15.529.895,50
 \end{aligned}$$

4.7.6 IRR

Internal Rate of Return (Tingkat Pengembalian Internal) didefinisikan sebagai tingkat suku bunga yang membuat manfaat dan biaya mempunyai nilai yang sama ($B - C = 0$) atau tingkat suku bunga yang membuat $B/C = 1$ (Kodoatie, 1995:112).

Suatu proyek dikatakan rugi apabila memiliki nilai IRR lebih kecil dari tingkat suku bunga yang berlaku. Namun akan untung apabila memiliki nilai IRR yang lebih besar dari tingkat suku bunga yang berlaku.

Biasanya untuk mendapatkan nilai IRR digunakan cara coba-coba dengan menggunakan dua atau lebih tingkat suku bunga. Dari beberapa tingkat suku bunga tersebut diinterpolasi, yaitu suku bunga yang memiliki B/C diantara 1 ($0 < B/C < 1$).

Berdasarkan tabel 4.28 nilai IRR pembangunan PLTM sebesar 14,26% sedangkan tabel 4.29 nilai IRR pembangunan PLTM sebesar 16,30%

Tabel 4.28 Nilai IRR Pembangunan PLTM dengan Alternatif 1

Tingkat Suku Bunga	3.32%	4%	8%	12%	16%	14.26%
BENEFIT						
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun pertama)	370,284.79	370,284.79	370,284.79	370,284.79	370,284.79	370,284.79
P/A(i,2)	1.904	1.886	1.783	1.690	1.605	1.642
PV manfaat	705,022.24	698,357.11	660,217.78	625,781.29	594,307.09	607,837.29
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kedua)	414,718.96	414,718.96	414,718.96	414,718.96	414,718.96	414,718.96
P/F(i,2)	0.943	0.925	0.857	0.797	0.743	0.766
PV manfaat	744,616.29	723,185.10	633,925.27	558,737.59	494,691.71	521,494.15
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun ketiga)	464,485.24	464,485.24	464,485.24	464,485.24	464,485.24	464,485.24
P/F(i,4)	0.878	0.855	0.735	0.636	0.552	0.587
PV manfaat	776,485.55	748,821.18	608,710.23	498,854.82	411,738.99	447,784.79
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun keempat)	520,223.47	520,223.47	520,223.47	520,223.47	520,223.47	520,223.47
P/F(i,6)	0.822	0.790	0.630	0.507	0.410	0.450
PV manfaat	814,195.51	775,396.10	584,547.33	445,391.40	342,667.04	384,175.27
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kelima)	582,650.28	582,650.28	582,650.28	582,650.28	582,650.28	582,650.28
P/F(i,8)	0.771	0.731	0.540	0.404	0.305	0.345
PV manfaat	855,321.29	802,950.47	561,299.01	397,711.84	285,221.88	330,168.21
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun keenam)	652,568.32	652,568.32	652,568.32	652,568.32	652,568.32	652,568.32
P/F(i,10)	0.722	0.676	0.463	0.322	0.227	0.265
PV manfaat	897,077.84	831,490.54	538,946.78	355,114.63	237,439.27	283,456.87
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun ketujuh)	730,876.52	730,876.52	730,876.52	730,876.52	730,876.52	730,876.52
P/F(i,12)	0.677	0.625	0.397	0.257	0.169	0.203
PV manfaat	942,105.68	860,969.32	517,481.99	317,071.04	197,660.07	243,754.66
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kedelapan)	818,581.70	818,581.70	818,581.70	818,581.70	818,581.70	818,581.70
P/F(i,14)	0.643	0.578	0.341	0.205	0.125	0.156
PV manfaat	1,002,166.65	891,570.54	496,970.36	283,044.27	164,490.72	209,204.70
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kesembilan)	916,811.50	916,811.50	916,811.50	916,811.50	916,811.50	916,811.50
P/F(i,16)	0.595	0.534	0.292	0.163	0.093	0.120
PV manfaat	1,038,637.41	923,169.96	477,161.61	252,709.01	136,847.87	180,244.26
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kesepuluh)	1,026,828.88	1,026,828.88	1,026,828.88	1,026,828.88	1,026,828.88	1,026,828.88

Tingkat Suku Bunga	3.32%	4%	8%	12%	16%	14.26%
P/F(i,18)	0.557	0.494	0.250	0.130	0.069	0.092
PV manfaat	1,088,980.78	955,905.40	458,075.14	225,594.31	113,880.97	155,117.25
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kesebelas)	1,150,048.35	1,150,048.35	1,150,048.35	1,150,048.35	1,150,048.35	1,150,048.35
P/F(i,20)	0.523	0.456	0.215	0.104	0.051	0.071
PV manfaat	1,145,208.94	989,927.58	439,840.02	201,549.42	94,875.54	133,180.29
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun duabelas)	1,288,054.15	1,288,054.15	1,288,054.15	1,288,054.15	1,288,054.15	1,288,054.15
P/F(i,22)	0.490	0.422	0.184	0.083	0.038	0.054
PV manfaat	1,201,703.00	1,025,151.99	422,344.84	179,804.63	78,971.89	114,473.21
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun ketigabelas)	1,442,620.65	1,442,620.65	1,442,620.65	1,442,620.65	1,442,620.65	1,442,620.65
P/F(i,24)	0.459	0.390	0.158	0.066	0.028	0.042
PV manfaat	1,260,758.12	1,061,377.27	405,634.78	160,666.10	65,757.53	98,831.10
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun keempatbelas)	1,615,735.13	1,615,735.13	1,615,735.13	1,615,735.13	1,615,735.13	1,615,735.13
P/F(i,26)	0.431	0.361	0.135	0.053	0.021	0.032
PV manfaat	1,325,911.02	1,099,152.61	389,491.69	143,356.10	54,717.68	84,366.81
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kelimabelas)	1,809,623.34	1,809,623.34	1,809,623.34	1,809,623.34	1,809,623.34	1,809,623.34
P/F(i,28)	0.404	0.334	0.116	0.042	0.016	0.025
PV manfaat	1,391,991.23	1,138,218.70	373,958.12	128,141.24	45,599.79	73,260.18
TOTAL BENEFIT	15,190,181.54	13,525,643.87	7,568,604.93	4,773,527.69	3,318,868.03	3,867,349.03
COST						
Biaya Modal	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04
F/P (i,3)	1.103	1.125	1.260	1.405	1.561	1.492
PV Biaya Modal	2,574,296.16	2,625,642.05	2,940,719.09	3,279,135.18	3,643,224.21	3,482,511.58
Biaya Operasi dan Pemeliharaan	70,017.12	70,017.12	70,017.12	70,017.12	70,017.12	70,017.12
P/A (i,30)	18.861	17.292	11.258	8.055	6.177	6.910
PV Biaya O&P	1,320,592.92	1,210,736.06	788,252.75	563,987.91	432,495.76	483,825.31
TOTAL COST	3,894,889.08	3,836,378.11	3,728,971.85	3,843,123.09	4,075,719.97	3,966,336.89
B/C RATIO	3.900	3.526	2.030	1.242	0.814	1.000

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.29 Nilai IRR Pembangunan PLTM dengan Alternatif 2

Tingkat Suku Bunga	3.32%	4%	8%	12%	16%	16.30%
BENEFIT						
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun pertama)	473,509.96	473,509.96	473,509.96	473,509.96	473,509.96	473,509.96
P/A(i,2)	1.904	1.886	1.783	1.690	1.605	1.600
PV manfaat	901,562.96	893,039.78	844,268.26	800,231.83	759,983.49	757,615.94
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kedua)	530,331.16	530,331.16	530,331.16	530,331.16	530,331.16	530,331.16
P/F(i,2)	0.943	0.925	0.857	0.797	0.743	0.740
PV manfaat	952,194.74	924,789.14	810,646.12	714,498.19	632,598.09	627,564.19
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun ketiga)	593,970.89	593,970.89	593,970.89	593,970.89	593,970.89	593,970.89
P/F(i,4)	0.878	0.855	0.735	0.636	0.552	0.548
PV manfaat	992,948.27	957,571.84	778,401.83	637,921.77	526,520.45	520,432.55
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun keempat)	665,247.40	665,247.40	665,247.40	665,247.40	665,247.40	665,247.40
P/F(i,6)	0.822	0.790	0.630	0.507	0.410	0.405
PV manfaat	1,041,170.72	991,555.11	747,502.98	569,554.22	438,193.14	431,587.68
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kelima)	745,077.09	745,077.09	745,077.09	745,077.09	745,077.09	745,077.09
P/F(i,8)	0.771	0.731	0.540	0.404	0.305	0.301
PV manfaat	1,093,761.25	1,026,790.89	717,773.66	508,582.92	364,733.86	358,244.99
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun keenam)	834,486.34	834,486.34	834,486.34	834,486.34	834,486.34	834,486.34
P/F(i,10)	0.722	0.676	0.463	0.322	0.227	0.223
PV manfaat	1,147,158.36	1,063,287.14	689,190.25	454,110.78	303,630.78	297,597.86
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun ketujuh)	934,624.70	934,624.70	934,624.70	934,624.70	934,624.70	934,624.70
P/F(i,12)	0.677	0.625	0.397	0.257	0.169	0.165
PV manfaat	1,204,738.72	1,100,983.79	661,741.67	405,461.69	252,762.24	247,284.25
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kedelapan)	1,046,779.66	1,046,779.66	1,046,779.66	1,046,779.66	1,046,779.66	1,046,779.66
P/F(i,14)	0.643	0.578	0.341	0.205	0.125	0.123
PV manfaat	1,281,543.03	1,140,115.77	635,511.97	361,949.19	210,346.19	205,593.11
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kesembilan)	1,172,393.22	1,172,393.22	1,172,393.22	1,172,393.22	1,172,393.22	1,172,393.22
P/F(i,16)	0.595	0.534	0.292	0.163	0.093	0.091
PV manfaat	1,328,180.84	1,180,524.24	610,181.08	323,157.30	174,997.27	171,181.92
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kesepuluh)	1,313,080.41	1,313,080.41	1,313,080.41	1,313,080.41	1,313,080.41	1,313,080.41
P/F(i,18)	0.557	0.494	0.250	0.130	0.069	0.068

Tingkat Suku Bunga	3.32%	4%	8%	12%	16%	16.30%
PV manfaat	1,392,558.54	1,222,385.42	585,773.84	288,483.77	145,627.84	142,442.96
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kesebelas)	1,470,650.06	1,470,650.06	1,470,650.06	1,470,650.06	1,470,650.06	1,470,650.06
P/F(i,20)	0.523	0.456	0.215	0.104	0.051	0.050
PV manfaat	1,464,461.57	1,265,892.04	562,455.26	257,735.84	121,324.22	118,687.34
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kedubelas)	1,647,128.07	1,647,128.07	1,647,128.07	1,647,128.07	1,647,128.07	1,647,128.07
P/F(i,22)	0.490	0.422	0.184	0.083	0.038	0.038
PV manfaat	1,536,704.60	1,310,936.05	540,082.92	229,929.20	100,987.07	98,915.53
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun ketigabelas)	1,844,783.44	1,844,783.44	1,844,783.44	1,844,783.44	1,844,783.44	1,844,783.44
P/F(i,24)	0.459	0.390	0.158	0.066	0.028	0.028
PV manfaat	1,612,222.66	1,357,259.94	518,714.55	205,455.38	84,088.92	82,420.00
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun keempatbelas)	2,066,157.45	2,066,157.45	2,066,157.45	2,066,157.45	2,066,157.45	2,066,157.45
P/F(i,26)	0.431	0.361	0.135	0.053	0.021	0.021
PV manfaat	1,695,538.39	1,405,566.00	498,071.22	183,319.82	69,971.46	68,794.78
Manfaat PLTM per 2 tahun (2 tahun kelimabelas)	2,314,096.34	2,314,096.34	2,314,096.34	2,314,096.34	2,314,096.34	2,314,096.34
P/F(i,28)	0.404	0.334	0.116	0.042	0.016	0.016
PV manfaat	1,780,039.93	1,455,522.63	478,207.32	163,863.48	58,311.76	57,525.35
TOTAL BENEFIT	19,424,784.58	17,296,219.78	9,678,522.93	6,104,255.36	4,244,076.77	4,185,888.44
COST						
Biaya Modal	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04	2,333,904.04
F/P (i,3)	1.103	1.125	1.260	1.405	1.561	1.574
PV Biaya Modal	2,574,296.16	2,625,642.05	2,940,719.09	3,279,135.18	3,643,224.21	3,673,253.78
Biaya Operasi dan Pemeliharaan	70,017.12	70,017.12	70,017.12	70,017.12	70,017.12	70,017.12
P/A (i,30)	18.861	17.292	11.258	8.055	6.177	6.111
PV Biaya O&P	1,320,592.92	1,210,736.06	788,252.75	563,987.91	432,495.76	427,898.90
TOTAL COST	3,894,889.08	3,836,378.11	3,728,971.85	3,843,123.09	4,075,719.97	4,101,152.68
B/C RATIO	4.987	4.508	2.595	1.588	1.041	1.000

Sumber: Hasil Perhitungan

4.7.7 Payback Periode

Payback Periode merupakan jangka waktu periode yang diperlukan untuk membayar kembali semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek.

Apabila biaya modal PLTM US\$ 2.333.904,04 dan biaya O&P US\$ 70.017,12 dan manfaat rerata tahunan alternatif 1 US\$ 920.274,68 sedangkan pada alternatif 2 US\$ 1.176.821,08 maka dengan menggunakan Persamaan (2-100) diperoleh nilai *Payback Periode* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Payback Period (Alternatif 1)} &= \frac{I}{Ab} \\
 &= \frac{\text{biaya modal} + \text{biaya O\&P}}{\text{manfaat}} \\
 &= \frac{\text{US\$ 2.333.904,04} + \text{US\$ 70.017,12}}{\text{US\$ 920.274.68}} \\
 &= 2,61 \\
 \text{Payback Period (Alternatif 2)} &= \frac{I}{Ab} \\
 &= \frac{\text{biaya modal} + \text{biaya O\&P}}{\text{manfaat}} \\
 &= \frac{\text{US\$ 2.333.904,04} + \text{US\$ 70.017,12}}{\text{US\$ 1.176.821.08}} \\
 &= 2,04
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui, biaya modal dapat terbayar seluruhnya pada tahun ke-3 .