

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kebutuhan Air di Bangunan Pengambilan

Air irigasi adalah sejumlah air yang diambil dari sungai atau waduk yang dialirkan melalui sistem jaringan irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian. Jumlah kebutuhan air di bangunan pengambilan untuk memenuhi air irigasi dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

1. Menghitung evapotranspirasi potensial dengan menggunakan rumus Penman modifikasi (Eto)
2. Menghitung penggunaan air konsumtif tanaman atau air tanaman (ET)
3. Memperkirakan laju perkolasi lahan yang dipakai (P)
4. Memperkirakan kebutuhan air untuk pengolahan lahan (IR)
5. Menganalisa curah hujan efektif untuk tanaman padi dan palawija (Re)
6. Menghitung kebutuhan air bersih di sawah (NFR)
7. Menentukan nilai efisiensi irigasi (η)
8. Menghitung kebutuhan air irigasi pada bangunan utama (DR)

4.1.1 Menghitung Evapotranspirasi Potensial

Perhitungan evapotranspirasi potensial menggunakan metode Penman Modifikasi. Data klimatologi diambil dari Stasiun Klimatologi Karangploso. Data klimatologi yang digunakan adalah selama 12 tahun yaitu tahun 1997-2008 yang disajikan pada Lampiran II.

Langkah – langkah berikut merupakan contoh perhitungan dalam menentukan nilai evapotranspirasi potensial dengan Penman Modifikasi (pada bulan Januari):

1. Suhu rerata ($^{\circ}\text{C}$) = 23,29 $^{\circ}$ C
2. Kecepatan angin (u) = 1,5 m/dt
3. Kelembaban relatif (RH) = 65,50%
4. Kecerahan matahari (n/N) = 48,75%
5. Nilai angot radiasi matahari yang mencapai atmosfer (Ra) lihat lampiran III-3, untuk letak lokasi studi 7 $^{\circ}$ 57'', Ra = 16,036 mm/hari
6. Nilai tekanan uap rerata nyata (ea) pada temperature rerata t = 23,29 $^{\circ}$ C dari lampiran III-3 diperoleh 28,061 mbar

7. Tekanan uap jenuh rerata (e_d) didapat dengan :

$$\begin{aligned} e_d &= e_a \cdot (\text{RH rerata} / 100) = 28,061 \cdot (65,50 / 100) \\ &= 18,380 \text{ mbar} \end{aligned}$$

8. Nilai w dapat dilihat pada lampiran III-3, dengan $t = 23,29^\circ \text{ C}$ maka diperoleh nilai $w = 0,728$

9. Nilai $1-w$ dapat dilihat pada lampiran III-3, dengan $t = 23,29^\circ \text{ C}$ maka dengan interpolasi diperoleh nilai $1 - w = 0,272$

10. Dari lampiran diperoleh nilai $f(t)$, dengan $t = 23,29^\circ \text{ C}$ maka nilai $f(t) = 15,237$

11. Radiasi gelombang pendek (R_s)

$$\begin{aligned} R_s &= (0,25 + 0,54 \cdot n/N) \cdot R_a \\ &= (0,25 + 0,54 \cdot 0,4875) \cdot 16,036 = 8,230 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

12. Perbedaan tekanan uap diperoleh dari :

$$\begin{aligned} e_a - e_d &= 28,061 - 18,380 \\ &= 9,681 \text{ mbar} \end{aligned}$$

13. $f(e_d)$ diperoleh dari :

$$\begin{aligned} f(e_d) &= 0,34 - 0,044 \cdot e_d^{0,5} \\ &= 0,34 - 0,044 \cdot 18,380^{0,5} \\ &= 0,151 \text{ mbar} \end{aligned}$$

14. Sedangkan nilai $f(n/N)$ diperoleh dari hitungan :

$$\begin{aligned} f(n/N) &= 0,1 + 0,9(n/N / 100) \\ &= 0,1 + 0,9 (48,75 / 100) \\ &= 0,539 \end{aligned}$$

15. Fungsi angin diperoleh dari :

$$\begin{aligned} f(u) &= 0,27 (1 + u \cdot 0,864) \\ &= 0,27 (1 + 1,5 \cdot 0,864) \\ &= 0,620 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

16. Kemudian nilai R_{n1} dapat diperoleh dengan :

$$\begin{aligned} R_{n1} &= f(t) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N) \\ &= 15,237 \cdot 0,151 \cdot 0,539 \\ &= 1,243 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 17. \text{Eto}^* &= w \cdot (0,75 \cdot R_s - R_{n1}) + (1-w) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) \\ &= 0,728 \cdot (0,75 \cdot (8,230 - 1,243)) + (0,272) \cdot 0,620 \cdot 9,681 \\ &= 5,222 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

18. Faktor koreksi dapat diperoleh dari table c untuk bulan Januari adalah 1,1

19. Evapotranspirasi potensial diperoleh dari :

$$ETo = c * Eto^*$$

$$= 1,1 * 5,222$$

$$= 5,744 \text{ mm/hari}$$

Perhitungan evapotranspirasi potensial metode Penman Modifikasi

selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Metode Penman Modifikasi

No	Parameter	Satuan	Bulan														
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des			
I	Data																
1	Suhu, T	(°C)	23,81	24,13	24,14	24,24	23,96	23,63	23,09	22,75	23,62	24,37	24,49	24,16			
2	Kelembaban Relatif, RH	(%)	81,38	80,33	81,95	77,64	74,38	73,93	73,20	75,06	75,76	74,70	77,60	79,59			
3	Lama Penyinaran, n/N	(%)	52,00	48,10	47,60	61,50	70,30	71,20	74,50	73,63	76,50	72,40	68,20	55,10			
4	Kecepatan angin, u	(km/hr)	4,97	5,39	4,04	4,76	5,05	4,85	5,72	5,50	6,24	5,37	5,53	4,43			
		(m/dt)	1,38	1,50	1,12	1,32	1,40	1,35	1,59	1,53	1,73	1,49	1,54	1,23			
II	Perhitungan																
1	Tekanan uap jenuh, ea	(mbar)	29,148	29,820	29,840	30,050	29,463	28,771	27,638	26,925	28,750	30,323	30,575	29,882			
2	Tekanan uap nyata, ed	(mbar)	23,721	23,954	24,454	23,331	21,915	21,270	20,231	20,210	21,781	22,651	23,726	23,783			
3	Perbedaan tekanan uap, ea - ed	(mbar)	5,427	5,865	5,386	6,719	7,548	7,501	7,407	6,715	6,969	7,672	6,849	6,099			
4	Fungsi angin, f(u)	(km/hr)	0,592	0,619	0,532	0,578	0,597	0,584	0,641	0,626	0,675	0,618	0,628	0,557			
5	Faktor pembobot (1 - W)		0,267	0,264	0,264	0,263	0,265	0,269	0,274	0,278	0,269	0,261	0,260	0,263			
6	Radiasi ekstra terestrial, Ra	(mm/hr)	16,093	16,098	15,503	14,408	13,108	12,410	12,710	13,708	14,903	15,798	15,995	15,993			
7	Radiasi gelombang pendek, Rs	(mm/hr)	8,542	8,206	7,860	8,387	8,253	7,874	8,291	8,877	9,882	10,126	9,889	8,757			
8	Radiasi netto gelombang pendek, Rns	(mm/hr)	6,406	6,154	5,895	6,290	6,190	5,905	6,218	6,658	7,411	7,594	7,417	6,567			
9	Radiasi netto gelombang panjang, Rnl	(mm/hr)	1,096	1,025	0,998	1,287	1,511	1,555	1,663	1,639	1,626	1,519	1,391	1,153			
10	Radiasi netto, Rn	(mm/hr)	5,310	5,129	4,897	5,003	4,678	4,350	4,555	5,019	5,786	6,075	6,026	5,414			
11	Faktor pembobot untuk Rn, W		0,733	0,736	0,736	0,737	0,735	0,731	0,726	0,723	0,731	0,739	0,740	0,737			
12	Faktor koreksi, c		1,100	1,100	1,000	1,000	0,950	0,950	1,000	1,000	1,100	1,100	1,150	1,150			
13	Potensial Evapotranspirasi, ETo	(mm/hr)	5,226	5,208	4,361	4,710	4,402	4,141	4,607	4,793	6,044	6,299	6,414	5,615			

Sumber : Hasil Perhitungan

4.1.2. Penggunaan Air Konsumtif Tanaman

Kebutuhan air untuk penggunaan konsumtif tanaman merupakan kedalaman air yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman yang bebas penyakit, tumbuh di areal pertanian pada kondisi yang cukup air, memiliki kesuburan tanah dengan potensi pertumbuhan yang baik dan tingkat pertumbuhan yang baik.

Kebutuhan air untuk tanaman tergantung dari besarnya evapotranspirasi dikalikan dengan faktor koefisien tanaman. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan kebutuhan air untuk penggunaan konsumtif pada bulan November periode 3 adalah sebagai berikut:

$$k = 0,95$$

$$E_{to} = 6,351 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} E_t &= k \cdot E_{to} = 0,95 * 6,351 \\ &= 6,034 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.1.3. Perkolasi

Perkolasi terjadi pada saat lahan ditanami padi. Lahan digenangi air terus-menerus sehingga kondisi tanah menjadi jenuh. Pada kondisi tanah jenuh, pergerakan air dalam lapisan tanah menuju arah vertikal dan horisontal. Pergerakan air arah vertikal disebut perkolasi dan arah horisontal disebut rembesan. Rembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah.

Pada daerah studi yaitu Daerah Irigasi Gondang mempunyai nilai perkolasi sebesar 2,00 mm/hr.

4.1.4. Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

Penyiapan lahan adalah pengolahan lahan pada tahap persiapan tanah untuk keperluan tanaman agar sesuai dengan pertumbuhannya, kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi untuk perencanaan pemberian air irigasi.

Faktor – faktor yang penting dalam menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan adalah:

- a. Lamanya waktu penyiapan lahan
- b. Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan

Dalam perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1986) metode ini didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama metode penyiapan lahan.

Contoh perhitungan kebutuhan air untuk penyiapanlahan untuk bulan Januari adalah sebagai berikut :

1. $E_{to} = 5,226 \text{ mm/hari}$
2. $E_o = 1,1 * E_{to} = 1,1 * 5,226 = 5,748$
3. $P = 2,0 \text{ mm/hari}$
4. $M = E_o + P = 5,748 + 2,0 = 7,748$
5. $T = 31 \text{ hari}$
6. $S = 250 \text{ mm}$
7. $k = MT / S = 7,748 * 31 / 250 = 0,930$
8. $LP = (Me^k) / (e^k - 1)$
 $= (7,748 * 2,71828^{0,930}) / (2,71828^{0,930} - 1)$

= 12,78 mm/hari. Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kebutuhan Air untuk Pengolahan Lahan

No	Parameter	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
1	E_{to}	(mm/hr)	5,226	5,208	4,361	4,710	4,402	4,141	4,607	4,793	6,044	6,299	6,444	5,615
2	$E_o = E_{to} \times 1,10$	(mm/hr)	5,748	5,729	4,798	5,181	4,842	4,555	5,068	5,273	6,648	6,929	7,056	6,177
3	P	(mm/hr)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
4	$M = E_o + P$	(mm/hr)	7,748	7,729	6,798	7,181	6,842	6,555	7,068	7,273	8,648	8,929	9,056	8,177
5	T	hari	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
6	S	mm	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	$k = (M \times T) / S$	-	0,930	0,927	0,816	0,862	0,821	0,787	0,848	0,873	1,038	1,071	1,087	0,981
8	$LP = Me^k / (e^k - 1)$	(mm/hr)	12,78	12,77	12,17	12,41	12,20	12,02	12,34	12,47	13,37	13,56	13,65	13,06
		(t/dt/ha)	1,479	1,478	1,408	1,437	1,412	1,391	1,428	1,443	1,548	1,569	1,579	1,512

Sumber: Hasil Perhitungan

4.1.5. Penggantian Lapisan Air (WLR)

Penggenangan air irigasi dapat dilakukan secara terus-menerus dengan ketinggian yang sama sepanjang pertumbuhan tanaman. Keadaan ini dapat dilakukan apabila jumlah air yang tersedia dalam kondisi cukup. Tinggi genangan yang paling baik adalah kurang dari atau sama dengan 5 cm, karena akan diperoleh produksi yang tinggi dan penggunaan air lebih efisien. Penggantian lapisan air hanya diperlukan untuk tanaman padi, sedangkan pada tanaman palawija, proses ini tidak diperlukan.

Penggantian lapisan air dilakukan satu kali, yaitu pada saat tanaman berumur 20-30 hari setelah pemindahan tanaman. Tinggi lapisan air yang direncanakan adalah 50 mm selama 30 hari. Perhitungan penggantian lapisan air adalah sebagai berikut:

$$WLR = \frac{50mm}{30hari} = 1,67mm/hari$$

4.1.6. Analisis Curah Hujan

a. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Sebelum digunakan dalam analisa, data curah hujan terlebih dahulu diuji konsistensinya untuk mengetahui apakah data tersebut mengalami perubahan atau tidak yaitu dengan menggunakan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Data curah hujan tahunan jangka waktu yang panjang dari suatu stasiun penakar hujan dibandingkan dengan data curah hujan rata-rata sekelompok stasiun penakar hujan lain dalam periode yang sama.

Data curah hujan yang digunakan dalam uji konsistensi adalah data curah hujan tahunan dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2011. Uji konsistensi dilakukan pada 3 (tiga) stasiun hujan, yaitu

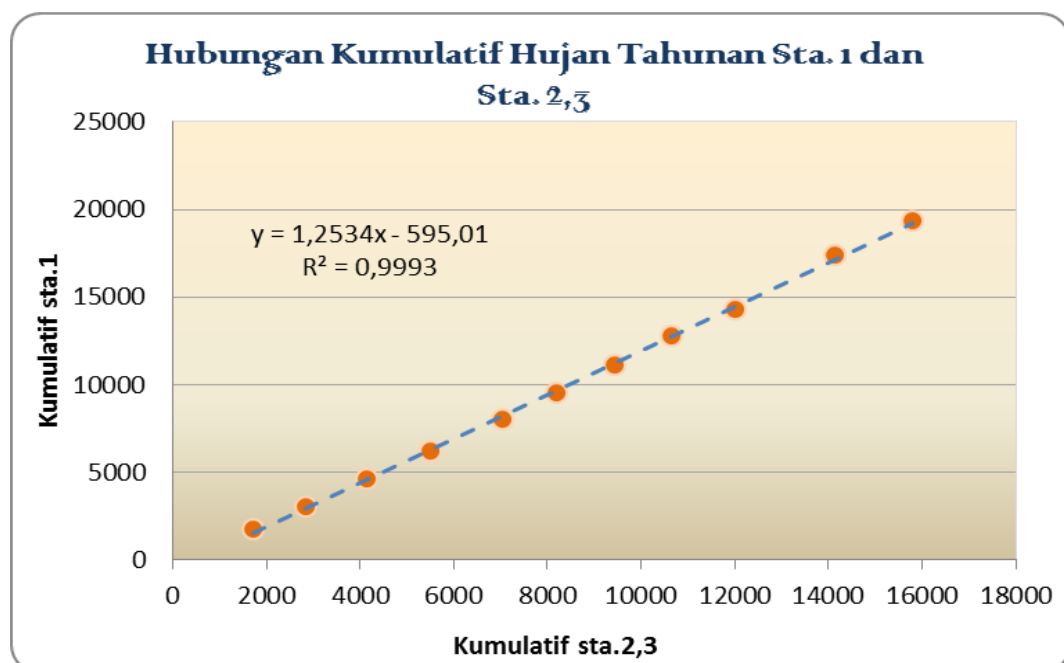
1. Stasiun Hujan Gondang,
2. Stasiun Hujan Kembangbahu dan
3. Stasiun Hujan Sukodadi.

Dari hasil uji konsistensi data hujan diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 99% dari seluruh stasiun hujan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh curah hujan pada suatu stasiun hujan terhadap stasiun lainnya adalah sebesar 99% dan hubungannya adalah sangat kuat.

Data curah hujan dari ketiga stasiun tidak mengalami penyimpangan akibat pengaruh lingkungan maupun kesalahan pengukuran sehingga dianggap baik karena nilai koefisien determinasi mendekati 100%. Uji konsistensi data curah hujan dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan Gambar 4.1.

Tabel 4.3 Uji Konsistensi Data Hujan Tahunan Stasiun Gondang (St.1)

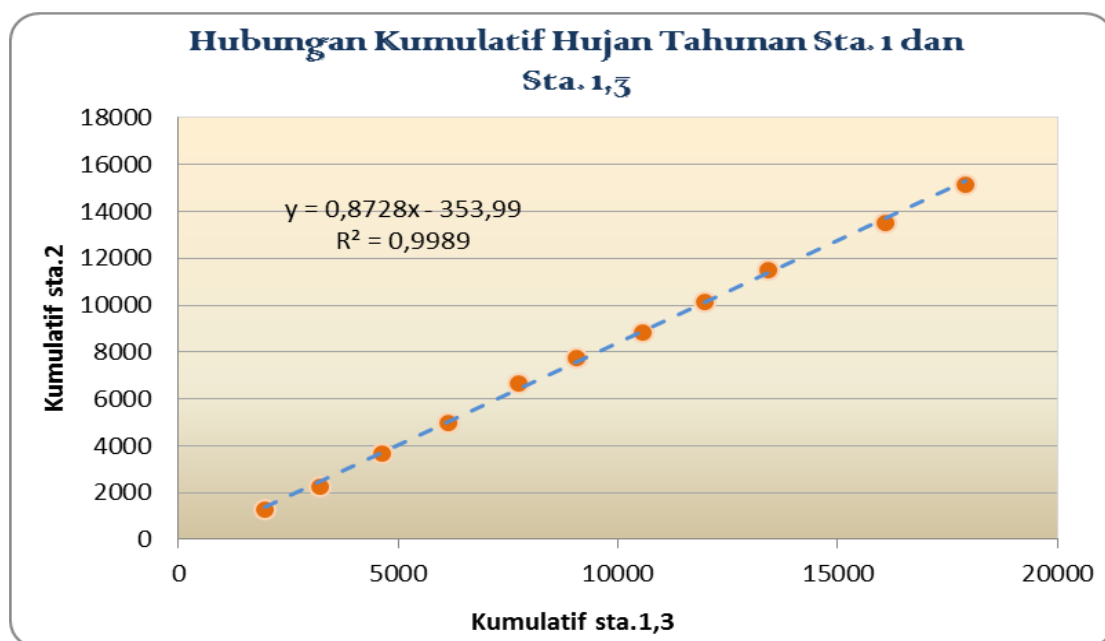
Tahun	CH. STA.1 (mm)	Kumulatif STA. 1	CH. Stasiun lain (mm)		Rerata	Kumulatif Rerata
			STA. 2	STA. 3		
2001	1766	1766	1287	2166	1726,5	1726,5
2002	1283	3049	971	1238	1104,5	2831
2003	1616	4665	1429	1203	1316	4147
2004	1552	6217	1274	1458	1366	5513
2005	1828	8045	1671	1397	1534	7047
2006	1470	9515	1123	1152	1137,5	8184,5
2007	1614	11129	1105	1393	1249	9433,5
2008	1640	12769	1305	1145	1225	10658,5
2009	1523	14292	1351	1362	1356,5	12015
2010	3077	17369	1983	2289	2136	14151
2011	1975	19344	1638	1670	1654	15805



Gambar 4.1 Uji Konsistensi Stasiun Gondang

Tabel 4.4 Uji Konsistensi Data Hujan Tahunan Stasiun Kembangbahu (St.2)

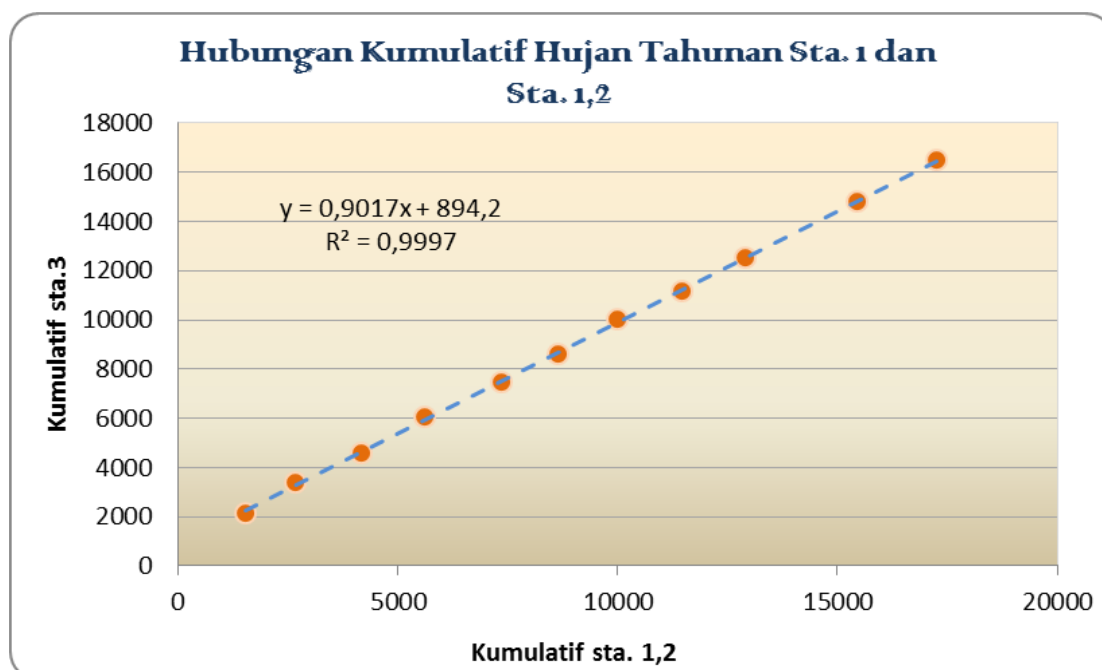
Tahun	CH. STA.2	Kumulatif STA. 2	CH. Stasiun lain (mm)		Rerata	Kumulatif Rerata
	(mm)		STA. 1	STA. 3		
2001	1287	1287	1766	2166	1966,0	1966,0
2002	971	2258	1283	1238	1260,5	3226,5
2003	1429	3687	1616	1203	1409,5	4636,0
2004	1274	4961	1552	1458	1505,0	6141,0
2005	1671	6632	1828	1397	1612,5	7753,5
2006	1123	7755	1470	1152	1311,0	9064,5
2007	1105	8860	1614	1393	1503,5	10568,0
2008	1305	10165	1640	1145	1392,5	11960,5
2009	1351	11516	1523	1362	1442,5	13403,0
2010	1983	13499	3077	2289	2683,0	16086,0
2011	1638	15137	1975	1670	1822,5	17908,5



Gambar 4.2 Uji Konsistensi Stasiun Kembangbahu

Tabel 4.5 Uji Konsistensi Data Hujan Tahunan Stasiun Sidodadi (St.3)

Tahun	CH. STA.3	Kumulatif STA. 3	CH. Stasiun lain (mm)		Rerata	Kumulatif Rerata
	(mm)		STA. 1	STA. 2		
2001	2166	2166	1766	1287	1526,5	1526,5
2002	1238	3404	1283	971	1127,0	2653,5
2003	1203	4607	1616	1429	1522,5	4176,0
2004	1458	6065	1552	1274	1413,0	5589,0
2005	1397	7462	1828	1671	1749,5	7338,5
2006	1152	8614	1470	1123	1296,5	8635,0
2007	1393	10007	1614	1105	1359,5	9994,5
2008	1145	11152	1640	1305	1472,5	11467,0
2009	1362	12514	1523	1351	1437,0	12904,0
2010	2289	14803	3077	1983	2530,0	15434,0
2011	1670	16473	1975	1638	1806,5	17240,5



Gambar 4.3 Uji Konsistensi Stasiun Sidodadi

b. Curah Hujan Rerata Daerah

Perhitungan curah hujan rerata daerah menggunakan metode poligon thiesen. Dengan jumlah stasiun hujan sebanyak tiga buah, dengan luas sub DAS Corong 1.108 Km². Prosentase luas pengaruh poligon thiesen tiap stasiun hujan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Persentase Luas Pengaruh Poligon Thiesen

Stasiun Hujan	Luas (km ²)	Koefisien Thiesen	Luas (%)
Gondang	252,977	0,228	22,825
Kembangbahu	498,757	0,450	45,000
Sidodadi	356,604	0,322	32,175
Total	1.108,00	1,000	100,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Contoh perhitungan curah hujan rerata sub DAS Corong, Bulan Januari periode 1 tahun 2001 dengan metode Poligon thiesen, adalah sebagai berikut

1. Data curah hujan masing-masing stasiun hujan:
 - Stasiun Hujan Gondang : 17,00 mm
 - Stasiun Hujan Kembangbahu : 30,00 mm
 - Stasiun Hujan Sidodadi : 76,00 mm
2. Data koefisien thiesen masing-masing stasiun hujan, seperti yang telah disajikan pada Tabel 4.6 kolom 3.
3. Hitung curah hujan rerata tiap stasiun dengan mengalikan koefisien thiesen masing-masing stasiun dan curah hujan. Penjumlahan dari ketiga curah hujan rerata tersebut merupakan curah hujan rerata daerah sub DAS Corong.

Untuk lebih jelasnya contoh perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 4.7., sedangkan untuk perhitungan semua data disajikan pada Tabel 4.8

Tabel 4.7 Perhitungan Curah Hujan Rerata Sub DAS Corong Metode Poligon Thiesen (Bulan Januari Tahun 2001)

Stasiun Hujan	CH (mm)	Koefisien Thiesen	CHR (mm)
Gondang	17,00	0,228	3,880
Kembangbahu	30,00	0,450	13,500
Sidodadi	76,00	0,322	24,453
Total		1,000	41,833

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka curah hujan rerata sub DAS Corong bulan Januari periode I tahun 2001 sebesar 41,833 mm

c. Curah Hujan Andalan dan Curah Hujan Efektif

Dasar perhitungan kebutuhan air tanaman untuk tanaman padi dan palawija didasarkan atas curah hujan efektif, sedangkan curah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman tergantung dari jenis tanaman tersebut serta jenis tanahnya.

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi ditentukan dari hujan andalan 80% (R_{80}). Sedangkan untuk tanaman palawija dihitung berdasarkan hujan andalan 50% (R_{50}).



Gambar 4.4 Poligon Thiesen Sub DAS Corong

Tabel 4.8 Curah Hujan Rerata Daerah Sub DAS Corong dengan metode Poligon Thiessen

Bulan	Periode	Curah Hujan (mm)												Rarata (mm)
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
Jan	1	41,83	81,01	100,61	72,17	29,25	66,73	5,39	40,15	61,97	85,94	71,59	59,69	
	2	34,23	96,58	90,79	66,86	76,33	126,87	20,69	85,89	31,66	57,07	21,07	64,37	
	3	159,42	144,30	102,45	138,59	99,06	54,80	79,93	78,72	118,82	112,76	94,24	107,55	
Feb	1	127,40	65,39	134,78	56,96	73,34	70,06	76,14	42,02	89,04	89,92	113,84	85,35	
	2	17,67	118,54	71,08	19,15	36,09	50,15	34,93	16,72	167,58	69,35	76,02	61,57	
	3	100,31	53,16	30,09	59,79	87,80	109,96	102,95	53,99	91,99	26,15	54,43	70,06	
Mar	1	145,89	96,06	74,81	168,90	124,73	54,04	66,12	103,57	111,75	150,64	107,88	109,49	
	2	129,39	33,83	87,29	32,78	34,66	64,87	45,05	63,41	54,21	64,06	43,95	57,61	
	3	54,86	15,68	5,40	103,14	116,94	64,87	55,14	67,21	31,04	144,80	185,91	76,82	
Apr	1	77,30	114,82	24,32	41,48	111,27	55,95	105,75	75,21	25,93	153,32	40,70	75,09	
	2	42,12	24,82	10,15	52,84	90,30	49,42	101,84	5,92	88,65	63,39	64,17	53,97	
	3	19,17	4,03	3,38	1,78	2,80	54,34	70,57	44,83	43,20	88,81	54,19	35,19	
Mei	1	12,48	8,37	64,73	18,91	51,79	90,43	12,10	38,96	2,15	63,03	103,17	42,37	
	2	7,40	18,43	81,44	56,87	11,70	19,60	14,60	19,46	57,43	76,02	59,33	38,39	
	3	1,69	0,00	15,13	78,87	0,00	21,35	0,23	1,61	17,43	91,39	0,90	20,78	
Jun	1	61,18	0,00	0,00	0,00	7,89	5,47	14,48	2,97	50,45	29,13	0,00	15,60	
	2	14,49	0,00	0,00	50,97	6,12	0,00	1,69	16,17	4,83	78,32	0,00	15,69	
	3	7,61	0,00	2,56	0,00	79,42	0,00	35,61	0,32	0,00	5,47	19,17	13,65	
Jul	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,08	0,00	0,00	17,88	0,64	3,24	
	2	26,43	0,00	0,00	15,57	17,99	0,00	8,47	0,00	0,00	3,57	19,17	8,29	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,69	49,39	0,00	7,10	
Ags	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	19,15	0,00	1,90	
	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	2,90	0,00	0,00	0,00	7,78	4,56	1,44	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	13,77	0,00	0,00	12,40	0,00	2,50	
Sep	1	0,00	0,00	0,00	0,00	4,35	0,00	0,64	1,22	0,00	38,63	0,00	4,08	
	2	0,00	0,00	6,85	0,00	41,96	0,00	0,00	0,00	0,00	91,21	0,00	12,73	
	3	0,00	0,00	1,29	0,00	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	21,15	0,00	2,45	
Okt	1	1,29	0,00	12,33	23,77	3,22	0,00	6,13	28,67	38,37	102,34	0,00	19,65	
	2	54,13	0,00	19,83	3,65	103,25	0,00	18,05	3,88	0,00	92,45	0,46	26,88	
	3	34,37	0,00	32,23	0,00	63,02	0,00	1,93	42,60	1,83	27,04	4,49	18,86	
Nov	1	36,14	6,09	7,98	0,00	0,64	0,00	80,02	140,91	0,00	135,37	120,05	47,93	
	2	83,87	11,44	119,67	4,73	42,90	0,45	11,68	27,73	36,75	7,50	31,90	34,42	
	3	107,52	32,69	116,85	154,60	56,78	64,47	38,88	0,32	77,62	45,22	154,43	79,22	
Des	1	103,33	84,12	54,56	81,72	60,80	51,04	55,44	137,19	43,91	101,45	100,00	79,42	
	2	90,13	39,02	95,72	12,75	102,70	72,07	133,59	126,08	25,18	26,73	78,38	72,94	
	3	87,48	79,72	32,66	79,81	75,10	79,72	84,98	64,24	93,33	82,34	100,58	78,18	

sumber: Dinas PU Pengairan Kabupaten Lamongan

Langkah-langkah perhitungan curah hujan andalan untuk tanaman padi (R_{80}) dan tanaman palawija (R_{50}) adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan Tabel 4.8, curah hujan rerata bulanan dijumlahkan menjadi curah hujan tahunan.
2. Curah hujan tahunan selama n tahun diurutkan dari kecil ke besar
3. Menghitung R_{80} (padi) dan R_{50} (palawija) sebagai tahun dasar perencanaan, dengan:

$$\begin{aligned} R_{80} &= (n/5)+1 \\ &= (11/5)+1 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{50} &= (n/2)+1 \\ &= (11/2)+1 \\ &= 7 \end{aligned}$$

Sehingga data yang digunakan sebagai tahun dasar perencanaan CH andalan untuk padi adalah data dengan urutan ke-3 yang jatuh pada tahun 2007 dan data dengan urutan ke-7 yang jatuh pada tahun 2003 untuk tanaman palawija.

Dengan probabilitas peluang kejadian 80%, dapat dihitung curah hujan efektif untuk tanaman padi dan palawija pada Bulan Januari periode I tahun 2001 adalah sebagai berikut:

➤ Padi

$$\begin{aligned} \text{Re padi} &= 0,7 \times R_{80} \\ &= 0,7 \times 5,39 \\ &= 3,77 \text{ mm} = 0,38 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

➤ Palawija

$$\begin{aligned} \text{Re palawija} &= R_{50} \\ &= 100,61 \text{ mm} = 10,06 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan curah hujan andalan dan curah hujan efektif disajikan pada Tabel 4.9 dan 4.10

Tabel 4.9 Curah Hujan Andalan Sub DAS Corong

No	Data Hujan (mm)		Rangking Data		Keterangan
	Tahun	R	Tahun	R	
1	2001	1679,15	2002	1128,12	R 80%, untuk padi
2	2002	1128,12	2006	1211,53	
3	2003	1398,97	2007	1313,84	
4	2004	1396,65	2008	1329,98	
5	2005	1618,68	2009	1393,80	
6	2006	1211,53	2004	1396,65	
7	2007	1313,84	2003	1398,97	R 50%, untuk palawija
8	2008	1329,98	2005	1618,68	
9	2009	1393,80	2001	1679,15	
10	2010	2331,16	2011	1725,22	
11	2011	1725,22	2010	2331,16	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.10 Curah Hujan Efektif Sub DAS Corong

Bulan	Periode	Hari	R 80	Re padi		Re palawija	
				(mm)	(mm/hr)	(mm)	(mm/hr)
Jan	1	10	5,39	3,77	0,38	100,61	10,06
	2	10	20,69	14,48	1,45	90,79	9,08
	3	11	79,93	55,95	5,09	102,45	9,31
Feb	1	10	76,14	53,30	5,33	134,78	13,48
	2	10	34,93	24,45	2,45	71,08	7,11
	3	8	102,95	72,06	9,01	30,09	3,76
Mar	1	10	66,12	46,28	4,63	74,81	7,48
	2	10	45,05	31,53	3,15	87,29	8,73
	3	11	55,14	38,60	3,51	5,40	0,49
Apr	1	10	105,75	74,02	7,40	24,32	2,43
	2	10	101,84	71,29	7,13	10,15	1,02
	3	10	70,57	49,40	4,94	3,38	0,34

Bulan	Periode	Hari	R 80	Re padi		Re palawija	
				(mm)	(mm/hr)	(mm)	(mm/hr)
Mei	1	10	12,10	8,47	0,85	64,73	6,47
	2	10	14,60	10,22	1,02	81,44	8,14
	3	11	0,23	0,16	0,01	15,13	1,38
Jun	1	10	14,48	10,13	1,01	0,00	0,00
	2	10	1,69	1,18	0,12	0,00	0,00
	3	10	35,61	24,93	2,49	2,56	0,26
Jul	1	10	17,08	11,96	1,20	0,00	0,00
	2	10	8,47	5,93	0,59	0,00	0,00
	3	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ags	1	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	11	13,77	9,64	0,88	0,00	0,00
Sep	1	10	0,64	0,45	0,05	0,00	0,00
	2	10	0,00	0,00	0,00	6,85	0,68
Okt	3	10	0,00	0,00	0,00	1,29	0,13
	1	10	6,13	4,29	0,43	12,33	1,23
	2	10	18,05	12,63	1,26	19,83	1,98
Nov	3	11	1,93	1,35	0,12	32,23	2,93
	1	10	80,02	56,01	5,60	7,98	0,80
	2	10	11,68	8,17	0,82	119,67	11,97
Des	3	10	38,88	27,21	2,72	116,85	11,69
	1	10	55,44	38,81	3,88	54,56	5,46
	2	10	133,59	93,51	9,35	95,72	9,57
	3	11	84,98	59,48	5,41	32,66	2,97

Sumber: Hasil Perhitungan

4.1.7. Efisiensi Irigasi

Efisiensi adalah persentase jumlah air yang keluar dibanding yang masuk.

Besarnya efisiensi irigasi sesuai dengan kondisi daerah studi adalah sebagai berikut:

- Jaringan tersier, sekunder dan primer : 0,85
- Di waduk : 0,98

Jadi besarnya efisiensi = $0,70 \times 0,90 = 0,833$

4.1.8. Perhitungan Kebutuhan Air Bersih di Sawah

Contoh perhitungan kebutuhan bersih air di sawah (NFR) pada bulan November periode III untuk tanaman padi adalah sebagai berikut:

- ✓ Kebutuhan Air Tanaman (Et) dan perkolasi : 5,14 mm
- ✓ Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (IR) : 4,21 mm
- ✓ Kebutuhan air untuk pembibitan : 0,03 mm
- ✓ Kebutuhan air untuk WLR : 0
- ✓ Curah hujan efektif padi (Re padi) : 2,72 mm

$$NFR_{\text{padi}} = Et + IR + \text{Pembibitan} + WLR - Re_{\text{padi}}$$

$$NFR_{\text{padi}} = 1,49 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan kebutuhan bersih air di sawah (NFR) pada bulan Agustus periode 2 untuk tanaman palawija adalah sebagai berikut:

$$Et = 0,98 \text{ mm}$$

$$Re_{\text{palawija}} = 0,00 \text{ mm}$$

$$NFR_{\text{plw}} = Et - Re_{\text{plw}}$$

$$NFR_{\text{plw}} = 0,98 \text{ mm}$$

4.1.9. Kebutuhan TOR (Tersier Offtake Requirement)

Kebutuhan air irigasi di petak tersier adalah kebutuhan bersih air irigasi di lahan sawah seluas layanan petak tersier yang dibagi dengan besarnya nilai efisiensi saluran irigasi. Perhitungan kebutuhan air TOR selengkapnya akan disajikan pada lampiran VI. Tabel Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi.

Contoh perhitungan di Daerah Irigasi Gondang, Bulan November periode III adalah sebagai berikut:

Diketahui:

- ✓ A : 854 Ha
- ✓ NFRpadi : 1,49 mm/hari
- ✓ Efisiensi : 83%
- ✓ DR : $((1,49 \times 10000)/(24 \times 60 \times 60)) / 83\%$
: 0,21 l/dt/ha
- ✓ TOR : 0,21 x 854
: 177,0 l/dt
: 0,18 m³/dt

4.1.10. Kebutuhan Air untuk Tambak

Penggunaan air untuk perikanan diperhitungkan hanya untuk tambak. Tambak memerlukan salinitas air antara 15 s/d 25 ppt. Salinitas air laut rata-rata berkisar 35 ppt, untuk itu diperlukan pengenceran dengan menggunakan air tawar.

Perhitungan air tawar untuk tambak berdasarkan tambak intensif, setengah intensif dan tambak sederhana yang terdapat pada D.P.S. / S.W. S sebagai berikut.

Standar kebutuhan air tawar rata-rata adalah :

- a. Tambak sederhana : 0,5 L/det/ha
- b. Tambak semi intensif : 3,9 L/det/ha
- c. Tambak intensif : 5,9 L/det/ha

Penggunaan air diperhitungkan dalam 1 tahun terdiri atas 2 musim

Rumus penggunaan air tawar untuk tambak

$$A = L \times I \times a$$

dengan:

A = Penggunaan air tawar dalam L/det/ha

L = Luas tambak dalam ha

I = Intensitas pertambakan per tahun = musim/ tahun

a = Standar kebutuhan air L/det/ha

Pada studi ini digunakan tambak sederhana, sehingga kebutuhan air tiap hektarnya adalah 0,5 l/dt.

4.2. Perhitungan Ketersediaan Debit

Ketersediaan debit adalah besarnya debit yang tersedia untuk keperluan tertentu sepanjang tahun dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam studi ini debit inflow merupakan debit historis 10 harian selama 12 tahun. Debit andalan merupakan debit rerarata selama 12 tahun tersebut, atau merupakan debit tahun normal. Inflow waduk Gondang selain dari debit andalan juga mendapat suplai dari Waduk German, Waduk Bolonggangan dan Waduk Gempol. Debit andalan dan inflow Waduk Gondang dalam studi ini disajikan pada **Tabel 4.11**

Tabel 4.11 Ketersediaan Debit Waduk Gondang

Satuan m³

Bulan	Periode	Hari	Volume tersedia Gondang
Jan	I	10	8.686.410
	II	10	10.323.452
	III	11	13.420.447
Feb	I	10	16.792.487
	II	10	19.217.701
	III	8	20.135.254
Mar	I	10	21.322.384
	II	10	21.673.670
	III	11	22.541.348
Apr	I	10	23.016.092
	II	10	22.449.128
	III	10	21.249.549
Mei	I	10	19.950.726
	II	10	19.577.871
	III	11	18.033.633
Jun	I	10	16.904.560
	II	10	15.760.344
	III	10	14.863.723
Jul	I	10	13.704.903
	II	10	11.677.763
	III	11	10.008.253
Agust	I	10	8.839.024
	II	10	7.134.086
	III	11	5.350.982
Sep	I	10	4.507.132
	II	10	4.185.149
	III	10	3.373.937

Okt	I	10	3.163.445
	II	10	3.566.347
	III	11	4.241.273
Nop	I	10	4.536.865
	II	10	4.553.936
	III	10	5.269.189
Des	I	10	5.902.614
	II	10	6.900.213
	III	11	7.957.834

Sumber: hasil perhitungan

4.3. Analisis Optimasi

Optimasi adalah suatu cara untuk membuat nilai suatu fungsi beberapa variabel menjadi maksimum atau minimum dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada.

Dalam suatu analisis sumberdaya yang akan dianalisis harus dalam keadaan terbatas. Keterbatasan sumberdaya (keterbatasan debit irigasi) tersebut dinamakan sebagai kendala.

4.3.1. Analisis Manfaat

Operasi pemanfaatan potensi air irigasi dapat diartikan sebagai suatu pengaturan debit air guna dibagikan kepada masing-masing daerah irigasi yang membutuhkan. Manfaat penggunaan penyediaan air untuk irigasi pada masing-masing petak kajian dapat dihitung berdasarkan keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk yang dihasilkan dikurangi dengan biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk tersebut.

a. Volume air yang dibutuhkan

Untuk mengetahui volume air yang dibutuhkan pada tiap petak dalam satu periode, harus diketahui terlebih dahulu volume air yang dibutuhkan pada tiap 10 harian, yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_B = \frac{q \times n \times 86.400}{1000}$$

dengan:

V = volume air irigasi (m³/dt)

q = kebutuhan air irigasi tiap periode, masing-masing petak (lt/dt/Ha)

n = jumlah hari satu periode

contoh perhitungan volume air yang dibutuhkan di daerah irigasi Gondang, Bulan Januari periode I, yaitu:

$$q = 0,21 \text{ lt/dt/ha}$$

$$n = 10 \text{ harian}$$

$$V_B = \frac{0,21 \times 10 \times 86.400}{1000}$$

$$V_B = 179,09 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

b. Volume air yang tersedia

Luas lahan yang ditanami tergantung dari debit yang ada atau debit yang tersedia. Debit yang ada pada setiap saluran tidak selamanya tetap. Hal ini terjadi karena adanya perubahan musim.

Volume air dari debit yang tersedia selama periode tanam mengacu pada ketersediaan debit. Berdasarkan **Tabel 4.11** volume air yang tersedia dari Waduk Gondang yang tersedia tiap masa tanam disajikan pada **Tabel 4.12**

Tabel 4.12 Volume Air Yang Tersedia

Bulan	Periode	Hari	Volume Tersedia		
			MT I	MT II	MT III
Jan	I	10	8.686.410		
	II	10	10.323.452		
	III	11	13.420.447		
Feb	I	10	16.792.487		
	II	10	19.217.701		
	III	8	20.135.254		
Mar	I	10	21.322.384		
	II	10	21.673.670		
	III	11		22.541.348	
Apr	I	10		23.016.092	
	II	10		22.449.128	
	III	10		21.249.549	
Mei	I	10		19.950.726	

	II	10		19.577.871	
	III	11		18.033.633	
Jun	I	10		16.904.560	
	II	10		15.760.344	
	III	10		14.863.723	
Jul	I	10		13.704.903	
	II	10		11.677.763	
	III	11			10.008.253
Agust	I	10			8.839.024
	II	10			7.134.086
	III	11			5.350.982
Sep	I	10			4.507.132
	II	10			4.185.149
	III	10			3.373.937
Okt	I	10			3.163.445
	II	10			3.566.347
	III	11			4.241.273
Nop	I	10			4.536.865
	II	10			4.553.936
	III	10	5.269.189		
Des	I	10	5.902.614		
	II	10	6.900.213		
	III	11	7.957.834		
Jumlah Volume yang tersedia			157.601.654	219.729.641	63.460.428

Sumber: hasil perhitungan

c. Luas lahan yang dapat diairi

Luas lahan yang dapat diairi dari debit yang tersedia dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L = \frac{V_T}{V_B}$$

Dengan:

L = luas lahan yang dapat diairi (Ha)

Contoh perhitungan luas lahan yang dapat diairi Padi – Padi – Padi&Palawija (Musim Tanam I: padi), yaitu:

$$L = \frac{100000}{2636,9}$$

$$L = 37,9 \text{ Ha}$$

d. Biaya produksi dan manfaat bersih dari pemakaian irigasi

Biaya produksi adalah semua pengeluaran yang dikeluarkan untuk memperoleh hasil dari aktivitas nilai produksi. Besarnya biaya produksi pertanian tergantung dari faktor-faktor produksi yang digunakan. Faktor-faktor produksi yang mempengaruhi biaya produksi adalah:

- Bibit
- Pupuk
- Obat-obatan dan Insektisida
- Tenaga Kerja

Sedangkan manfaat bersih dari air irigasi adalah besarnya keuntungan yang diperoleh dari penjualan hasil pertanian dengan biaya yang diperlukan selama musim tanam.

Besarnya biaya produksi dapat dilihat pada tabel 4.13 sampai tabel 4.15 sedangkan manfaat bersih dapat dilihat pada tabel 4.16 dan tabel 4.19.

Tabel 4.13. Biaya Produksi Tanaman Padi per-Ha Tahun 2013

no	Komponen	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total
A	Sarana Produksi				
	Benih	Kg	25	10.000	250.000
	Urea	Kg	150	1.700	255.000
	SP 36/TSP	Kg	150	2.000	300.000
	KCL	Kg	50	2.300	115.000
	Pestisida	lt	2	126.000	252.000
B	Lain-Lain	LS	1	65.000	65.000
C	Tenaga Kerja	m/d	175	30.000	5.250.000
D	Traktor/Kerbau	LS	1	700.000	700.000
	Total Biaya Produksi				7.187.000

Tabel 4.14. Biaya Produksi Tanaman Jagung per-Ha Tahun 2013

no	Komponen	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total
A	Sarana Produksi				
	Benih	Kg	20	8.000	160.000
	Urea	Kg	254	1.700	431.800
	SP 36/TSP	Kg	100	2.000	200.000
	KCL	Kg	50	2.300	115.000
	Pestisida	lt	1	126.000	126.000
	Kalsium	Kg	100	500	50.000
B	Lain-Lain	LS	1	50.000	50.000
C	Tenaga Kerja	m/d	175	25.000	4.375.000
D	Traktor/Kerbau	LS	1	500.000	500.000
	Total Biaya Produksi				6.007.800

Tabel 4.15. Biaya Produksi Tambak per-Ha Tahun 2013

Keterangan	Satuan	Nilai
Biaya produksi	Rp/Ha	4.645.000
Jumlah produksi	Kg/Ha	164,63
Harga jual	Rp/Kg	42.100
Penerimaan bersih	Rp/Ha	6.930.923

Tabel 4.16. Perhitungan Manfaat Bersih Tanaman

Tanaman	Produksi (kw/Ha)	Harga Jual (Rp/kw)	Manfaat Kotor (Rp/Ha)	Biaya Produksi (Rp/Ha)	Manfaat Bersih (Rp/Ha)
Padi	376,85	35750	13.472.388	7.187.000	6.285.388
Jagung	293,28	26000	7.625.280	6.007.800	1.617.480
Tambak	164,63	42.100	6.930.923	4.645.000	2.285.923

e. Keuntungan Fungsi Debit

Dengan diketahui luas lahan yang dapat ditanami dan besarnya manfaat produksi per hektar pada tiap petak pertanian, maka dapat dihitung besarnya keuntungan debit yang dialirkan pada tiap petak pertanian dan selanjutnya dinyatakan sebagai keuntungan fungsi debit. Besarnya keuntungan sebagai fungsi debit pada tiap periode tanam dapat dilihat pada Tabel 4.17 sampai dengan Tabel 4.21

Besar keuntungan irigasi sebagai fungsi debit tergantung oleh alternatif besarnya debit yang dialirkan (volume air yang tersedia) dengan batasan bila debit yang diberikan untuk tiap petak kajian sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan irigasi yang sama dengan luas lahan maksimal.

Tabel 4.17 Luas Lahan (padi-padi-padi&palawija) yang dapat diairi dengan Luas Fungsional 2.829 Ha

Musim Tanam	Debit	Volume Tersedia	Volume dibutuhkan	Luas Lahan	Keuntungan
	(m ³ /dt)	(m ³)	(m ³ /Ha)	(Ha)	(Rp. 10 ⁶)
Padi I	0,010	100.000	2636,9	37,9	238,4
	0,019	200.000	2636,9	75,8	476,7
	0,029	300.000	2636,9	113,8	715,1
	0,039	400.000	2636,9	151,7	953,5
	0,048	500.000	2636,9	189,6	1191,8
	0,058	600.000	2636,9	227,5	1430,2
	0,627	6.500.000	2636,9	2465,1	15493,8
	0,637	6.600.000	2636,9	2503,0	15732,2
	0,646	6.700.000	2636,9	2540,9	15970,6
	0,656	6.800.000	2636,9	2578,8	16208,9
	0,666	6.900.000	2636,9	2616,8	16447,3
	0,675	7.000.000	2636,9	2654,7	16685,7
	0,685	7.100.000	2636,9	2692,6	16924,0
	0,694	7.200.000	2636,9	2730,5	17162,4
	0,704	7.300.000	2636,9	2768,4	17400,8
	0,714	7.400.000	2636,9	2806,4	17639,1

Padi II	0,010	100.000	4690,8	21,3	134,0
	0,019	200.000	4690,8	42,6	268,0
	0,029	300.000	4690,8	64,0	402,0
	0,039	400.000	4690,8	85,3	536,0
	0,048	500.000	4690,8	106,6	670,0
	0,058	600.000	4690,8	127,9	804,0
	0,068	700.000	4690,8	149,2	938,0
	1,215	12.600.000	4690,8	2.686,1	16.883,3
	1,225	12.700.000	4690,8	2.707,4	17.017,3
	1,235	12.800.000	4690,8	2.728,8	17.151,3
	1,244	12.900.000	4690,8	2.750,1	17.285,2
	1,254	13.000.000	4690,8	2.771,4	17.419,2
	1,264	13.100.000	4690,8	2.792,7	17.553,2
	1,273	13.200.000	4690,8	2.814,0	17.687,2

Padi III & Palawija	0,010	100.000	2133,5	46,9	208,8
	0,019	200.000	2133,5	93,7	417,6
	0,029	300.000	2133,5	140,6	626,4
	0,039	400.000	2133,5	187,5	835,2
	0,048	500.000	2133,5	234,4	1.044,0
	0,058	600.000	2133,5	281,2	1.252,8
	0,068	700.000	2133,5	328,1	1.461,6
	0,077	800.000	2133,5	375,0	1.670,4
	0,087	900.000	2133,5	421,8	1.879,2
	0,096	1.000.000	2133,5	468,7	2.088,0
	0,222	2.300.000	2133,5	1.078,0	4.802,4
	0,231	2.400.000	2133,5	1.124,9	5.011,2
	0,241	2.500.000	2133,5	1.171,8	5.220,0
	0,251	2.600.000	2133,5	1.218,6	5.428,8
	0,260	2.700.000	2133,5	1.265,5	5.637,6
0,270	2.800.000	2133,5	1.312,4	5.846,4	

	0,280	2.900.000	2133,5	1.359,3	6.055,2
	0,289	3.000.000	2133,5	1.406,1	6.264,0
	0,299	3.100.000	2133,5	1.453,0	6.472,8
	0,309	3.200.000	2133,5	1.499,9	6.681,6
	0,318	3.300.000	2133,5	1.546,7	6.890,4
	0,328	3.400.000	2133,5	1.593,6	7.099,2
	0,338	3.500.000	2133,5	1.640,5	7.308,0
	0,347	3.600.000	2133,5	1.687,4	7.516,8
	0,357	3.700.000	2133,5	1.734,2	7.725,6
	0,367	3.800.000	2133,5	1.781,1	7.934,4
	0,376	3.900.000	2133,5	1.828,0	8.143,2
	0,386	4.000.000	2133,5	1.874,8	8.352,0
	0,395	4.100.000	2133,5	1.921,7	8.560,9
	0,405	4.200.000	2133,5	1.968,6	8.769,7
	0,415	4.300.000	2133,5	2.015,4	8.978,5
	0,424	4.400.000	2133,5	2.062,3	9.187,3
	0,434	4.500.000	2133,5	2.109,2	9.396,1
	0,444	4.600.000	2133,5	2.156,1	9.604,9
	0,453	4.700.000	2133,5	2.202,9	9.813,7
	0,463	4.800.000	2133,5	2.249,8	10.022,5
	0,473	4.900.000	2133,5	2.296,7	10.231,3
	0,482	5.000.000	2133,5	2.343,5	10.440,1
	0,492	5.100.000	2133,5	2.390,4	10.648,9
	0,502	5.200.000	2133,5	2.437,3	10.857,7
	0,511	5.300.000	2133,5	2.484,2	11.066,5
	0,521	5.400.000	2133,5	2.531,0	11.275,3
	0,530	5.500.000	2133,5	2.577,9	11.484,1
	0,540	5.600.000	2133,5	2.624,8	11.692,9
	0,550	5.700.000	2133,5	2.671,6	11.901,7
	0,559	5.800.000	2133,5	2.718,5	12.110,5
	0,569	5.900.000	2133,5	2.765,4	12.319,3
	0,579	6.000.000	2133,5	2.812,3	12.528,1

Tabel 4.18 Luas Lahan (padi-padi&palawija-palawija) yang dapat diairi dengan Luas Fungsional 631 Ha

Musim Tanam	Debit	Volume Tersedia	Volume dibutuhkan	Luas Lahan	Keuntungan
	(m ³ /dt)	(m ³)	(m ³ /Ha)	(Ha)	(Rp. 10 ⁶)
Padi I	0,010	100.000	2598,5	38,5	242
	0,019	200.000	2598,5	77,0	484
	0,029	300.000	2598,5	115,4	726
	0,039	400.000	2598,5	153,9	968
	0,048	500.000	2598,5	192,4	1.209
	0,058	600.000	2598,5	230,9	1.451
	0,068	700.000	2598,5	269,4	1.693
	0,077	800.000	2598,5	307,9	1.935
	0,087	900.000	2598,5	346,3	2.177
	0,096	1.000.000	2598,5	384,8	2.419
	0,106	1.100.000	2598,5	423,3	2.661
	0,116	1.200.000	2598,5	461,8	2.903
	0,125	1.300.000	2598,5	500,3	3.144
	0,135	1.400.000	2598,5	538,8	3.386
	0,145	1.500.000	2598,5	577,2	3.628
0,154	1.600.000	2598,5	615,7	3.870	
Padi II & Palawija	0,010	100.000	1971,4	50,7	301
	0,019	200.000	1971,4	101,5	601
	0,029	300.000	1971,4	152,2	902
	0,039	400.000	1971,4	202,9	1202
	0,048	500.000	1971,4	253,6	1503
	0,058	600.000	1971,4	304,4	1803
	0,068	700.000	1971,4	355,1	2104
	0,077	800.000	1971,4	405,8	2404
	0,087	900.000	1971,4	456,5	2705
	0,096	1.000.000	1971,4	507,3	3005

	0,106	1.100.000	1971,4	558,0	3306
	0,116	1.200.000	1971,4	608,7	3606
Palawija	0,010	100.000	2461,0	40,6	65,724
	0,019	200.000	2461,0	81,3	131,448
	0,029	300.000	2461,0	121,9	197,172
	0,039	400.000	2461,0	162,5	262,897
	0,048	500.000	2461,0	203,2	328,621
	0,106	1.100.000	2461,0	447,0	722,965
	0,116	1.200.000	2461,0	487,6	788,690
	0,125	1.300.000	2461,0	528,2	854,414
	0,135	1.400.000	2461,0	568,9	920,138
	0,145	1.500.000	2461,0	609,5	985,862

Tabel 4.19 Luas Lahan (padi-padi&palawija-padi&palawija) yang dapat diairi dengan Luas Fungsional 324 Ha

Musim Tanam	Debit	Volume Tersedia	Volume dibutuhkan	Luas Lahan	Keuntungan
	(m ³ /dt)	(m ³)	(m ³ /Ha)	(Ha)	(Rp. 10 ⁶)
Padi I	0,010	100.000	3092,1	32,3	203
	0,019	200.000	3092,1	64,7	407
	0,029	300.000	3092,1	97,0	610
	0,039	400.000	3092,1	129,4	813
	0,048	500.000	3092,1	161,7	1.016
	0,058	600.000	3092,1	194,0	1.220
	0,068	700.000	3092,1	226,4	1.423
	0,077	800.000	3092,1	258,7	1.626
	0,087	900.000	3092,1	291,1	1.829
	0,096	1.000.000	3092,1	323,4	2.033

Padi II & Palawija I	0,010	100.000	4207,3	23,8	148
	0,019	200.000	4207,3	47,5	296
	0,029	300.000	4207,3	71,3	444
	0,039	400.000	4207,3	95,1	593
	0,048	500.000	4207,3	118,8	741
	0,058	600.000	4207,3	142,6	889
	0,068	700.000	4207,3	166,4	1037
	0,077	800.000	4207,3	190,1	1185
	0,087	900.000	4207,3	213,9	1333
	0,096	1.000.000	4207,3	237,7	1481
	0,106	1.100.000	4207,3	261,5	1629
	0,116	1.200.000	4207,3	285,2	1778
	0,125	1.300.000	4207,3	309,0	1926

Padi III & Palawija II	0,010	100.000	2250,4	44,4	188,459
		200.000	2250,4	88,9	376,918
		300.000	2250,4	133,3	565,378
		400.000	2250,4	177,7	753,837
		500.000	2250,4	222,2	942,296
		600.000	2250,4	266,6	1130,755
		700.000	2250,4	311,1	1319,215

Tabel 4.20 Luas Lahan (padi-padi-padi&palawija + Tambak) yang dapat diairi dengan Luas Fungsional 5.059 Ha

Musim Tanam	Debit	Volume Tersedia	Volume dibutuhkan	Luas Lahan	Keuntungan
	(m ³ /dt)	(m ³)	(m ³ /Ha)	(Ha)	(Rp. 10 ⁶)
Padi I & Tambak	0,010	100.000	3345,3	29,9	176
	0,019	200.000	3345,3	59,8	351
	0,029	300.000	3345,3	89,7	527
	0,039	400.000	3345,3	119,6	702

	0,048	500.000	3345,3	149,5	878
	0,058	600.000	3345,3	179,4	1.053
	1,582	16.400.000	3345,3	4902,4	28.788
	1,591	16.500.000	3345,3	4932,3	28.963
	1,601	16.600.000	3345,3	4962,2	29.139
	1,611	16.700.000	3345,3	4992,1	29.315
	1,620	16.800.000	3345,3	5022,0	29.490
	1,630	16.900.000	3345,3	5051,9	29.666

Padi II & Tambak	0,010	100.000	6013,2	16,6	101
	0,019	200.000	6013,2	33,3	201
	0,029	300.000	6013,2	49,9	302
	0,039	400.000	6013,2	66,5	402
	0,048	500.000	6013,2	83,2	503
	0,058	600.000	6013,2	99,8	604
	2,228	23.100.000	6013,2	3.841,6	23241
2,238	23.200.000	6013,2	3.858,2	23341	
2,247	23.300.000	6013,2	3.874,8	23442	
2,257	23.400.000	6013,2	3.891,5	23542	
2,267	23.500.000	6013,2	3.908,1	23643	
2,276	23.600.000	6013,2	3.924,7	23744	
2,286	23.700.000	6013,2	3.941,3	23844	

Padi III, Palawija & Tambak	0,010	100.000	2081,5	48,0	230,615
	0,019	200.000	2081,5	96,1	461,230
	0,029	300.000	2081,5	144,1	691,845
	0,039	400.000	2081,5	192,2	922,460
	0,048	500.000	2081,5	240,2	1153,075
	0,965	10.000.000	2081,5	4.804,3	23061,501
	0,974	10.100.000	2081,5	4.852,3	23292,116
0,984	10.200.000	2081,5	4.900,4	23522,731	

	0,993	10.300.000	2081,5	4.948,4	23753,346
	1,003	10.400.000	2081,5	4.996,5	23983,961
	1,013	10.500.000	2081,5	5.044,5	24214,576

Tabel 4.21 Luas Lahan (padi-padi-padi + Tambak) yang dapat diairi dengan Luas Fungsional 1.135 Ha

Musim Tanam	Debit	Volume Tersedia	Volume dibutuhkan	Luas Lahan	Keuntungan	
	(m ³ /dt)	(m ³)	(m ³ /Ha)	(Ha)	(Rp. 10 ⁶)	
Padi I & Tambak	0,010	100.000	3094,2	32,3	189	
	0,019	200.000	3094,2	64,6	377	
	0,029	300.000	3094,2	97,0	566	
	0,039	400.000	3094,2	129,3	755	
	0,048	500.000	3094,2	161,6	943	
	0,280	2.900.000	3094,2	937,2	5.472	
	0,289	3.000.000	3094,2	969,6	5.661	
	0,299	3.100.000	3094,2	1001,9	5.850	
	0,309	3.200.000	3094,2	1034,2	6.038	
	0,318	3.300.000	3094,2	1066,5	6.227	
	0,328	3.400.000	3094,2	1098,8	6.416	
	0,338	3.500.000	3094,2	1131,2	6.604	
	Padi II & Tambak	0,010	100.000	6405,1	15,6	95
		0,019	200.000	6405,1	31,2	189
		0,029	300.000	6405,1	46,8	284
0,039		400.000	6405,1	62,5	379	
0,048		500.000	6405,1	78,1	473	
0,058		600.000	6405,1	93,7	568	
0,637		6.600.000	6405,1	1.030,4	6249	
0,646		6.700.000	6405,1	1.046,0	6343	

	0,656	6.800.000	6405,1	1.061,7	6438
	0,666	6.900.000	6405,1	1.077,3	6533
	0,675	7.000.000	6405,1	1.092,9	6627
	0,685	7.100.000	6405,1	1.108,5	6722
	0,694	7.200.000	6405,1	1.124,1	6817

Padi III & Tambak	0,010	100.000	6177,6	16,2	98,063
	0,019	200.000	6177,6	32,4	196,125
	0,029	300.000	6177,6	48,6	294,188
	0,039	400.000	6177,6	64,8	392,250
	0,048	500.000	6177,6	80,9	490,313
	0,627	6.500.000	6177,6	1.052,2	6374,066
	0,637	6.600.000	6177,6	1.068,4	6472,129
	0,646	6.700.000	6177,6	1.084,6	6570,191
	0,656	6.800.000	6177,6	1.100,8	6668,254
	0,666	6.900.000	6177,6	1.116,9	6766,317
	0,675	7.000.000	6177,6	1.133,1	6864,379

4.3.2. Perumusan fungsi tujuan

Fungsi tujuan adalah fungsi suatu sasaran yang akan dicapai untuk dimaksimumkan atau diminimumkan. Dalam tesis ini yang dimaksud dengan fungsi tujuan adalah memaksimumkan keuntungan produksi pertanian dengan mengalokasikan tampungan air di waduk untuk setiap musim tanam.

4.3.3. Perumusan fungsi kendala

Pada tesis ini keterbatasan sumber daya berupa volume air waduk dan luas lahan yang dapat diairi. Volume air yang tersedia diambil dari volume air waduk yang mengacu ketersediaan debit selama periode pengoperasian, sedangkan luas lahan yang diairi maksimal adalah luas sawah yang ada yaitu sebesar 10.651 Ha. Bila debit yang bisa diberikan pada tiap musim tanam sudah mampu mengairi keseluruhan luas lahan yang tersedia akan dialokasikan ke musim tanam berikutnya dan keuntungan produksinya adalah sama dengan keuntungan produksi ketika mengairi luas lahan yang

maksimum. Batas maksimum pemberian air irigasi yang tergantung dari luas lahan yang ditanami dapat dilihat pada tabel 4.22, sebagai berikut:

Tabel 4.22 Batas Maksimum Pemberian Air

Musim Tanam	Volume Kebutuhan (m ³ /Ha)	Luas Lahan Max (Ha)	Batas Pemberian Air (Juta m ³)	Q tersedia
				(Juta m ³)
I	14.767	9978	147,35	158
II	23.288	9978	232,365	220
III	15.104	9978	151	63,5

4.3.4. Program dinamik dalam optimasi

Sebelum menerapkan program dinamik dalam optimasi potensi air suatu daerah irigasi, perlu ditentukan terlebih dahulu aturan-aturan dasarnya. Berdasarkan perhitungan-perhitungan sebelumnya maka dapat dibuat aturan sebagai berikut:

- Kapasitas Efektif Waduk sebesar 23,70 Juta m³
- Luas total lahan irigasi Gondang yang akan diairi seluas 10.651 Ha.
- Petak-petak sawah yang mempunyai pola tata tanam sama dikumpulkan masing-masing

Luas Daerah Irigasi berdasarkan pola tata tanam yang sama, yaitu:

- Pola tata tanam (Padi – Padi – Padi&Palawija) = 2829 Ha
 - Pola tata tanam (Padi – Padi&Palawija – Palawija) = 631 Ha
 - Pola tata tanam (Padi – Padi&Palawija – Padi&Palawija) = 324 Ha
 - Pola tata tanam (Padi – Padi – Padi&Palawija + tambak) = 5059 Ha
 - Pola tata tanam (Padi – Padi – Padi + tambak) = 1135 Ha
- Bila debit yang diberikan untuk tiap petak kajian (luasan) sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan luas lahan maksimal.
 - Debit yang tersedia merupakan debit inflow periode (10 harian) dalam satu musim tanam dan harus dialokasikan seluruhnya untuk semua petak kajian (luasan).
 - State variable* merupakan debit air yang tersedia dengan grid 100.000 m³.
 - Hasil optimasi berupa keuntungan bersih dari kegiatan luas lahan yang mampu diairi tiap musim tanam.

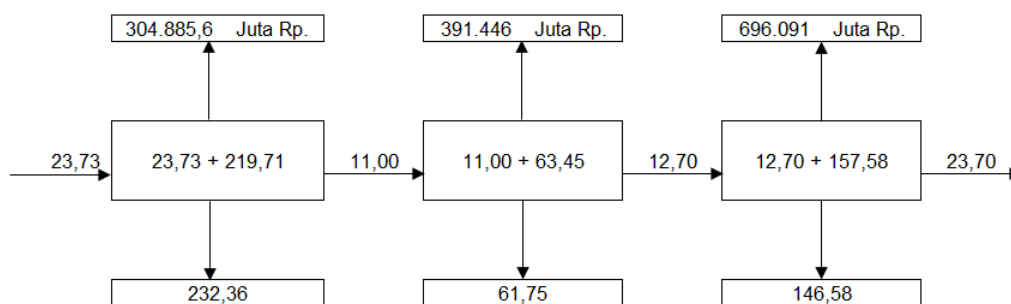
Dalam studi ini proses optimasi dibagi menjadi 3 tahap, pada setiap tahap kita mengalokasikan sejumlah volume air. Variabel yang menghubungkan antara tahap satu dengan lain adalah perubahan tampungan waduk sebelum maupun sesudah suatu tahap dengan grid 100.000 m^3 . Variabel keputusannya (*decision*) adalah banyaknya volume air waduk yang digunakan dan skedul muka air waduk yang menghasilkan keuntungan produksi pertanian yang optimal.

Dalam studi ini, sebagai dasar perhitungan optimasi waduk, seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, operasi waduk sesuai dengan pola tata tanam, yaitu 10 harian, dengan menggunakan tahun dasar perencanaan yaitu tahun normal dan awal operasi waduk pada saat waduk penuh (23 juta m^3) yaitu pada awal Bulan April.

4.3.5. Hasil optimasi

Dengan memasukkan nilai-nilai fungsi sasaran dan fungsi kendala, akan diperoleh suatu keputusan. Keputusan tersebut, jika dilakukan pelacakan balik akan diperoleh jalur optimal berupa pengalokasian tampungan waduk yang menyebabkan keuntungan produksi pertanian yang optimal.

Keseluruhan hasil pada program dinamik, jika dilakukan pelacakan balik maka akan mendapatkan jalur optimal pada masing-masing musim tanam. Jalur optimal yang dihasilkan adalah volume air waduk yang ada pada awal dan akhir tanam harus penuh yaitu dengan volume sebesar $23,70 \text{ juta m}^3$, $11,00 \text{ juta m}^3$, $12,70 \text{ juta m}^3$ dan kembali pada volume $23,70 \text{ juta m}^3$. Hasil yang dicapai dalam optimasi dapat dilihat pada diagram berikut ini:



Perhitungan optimasi dinamik deterministik pola operasi waduk seperti yang telah diuraikan sebelumnya dapat dibandingkan intensitas tanaman dan keuntungan produksi sebelum optimasi yang disajikan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.23 Hasil Optimasi Pemanfaatan Air Waduk

No	Uraian	Satuan	MT 1	MT 2	MT 3
1	Luas Areal	Ha	10.651	10.651	10.651
2	Alokasi Pemberian Air	Juta m3	158	220	63
3	Manfaat Air Irigasi	Rp/m3	2070	1312	1402
4	Volume Kebutuhan Air Irigasi	m3/Ha	14767,0	23287,7	15104,0
5	Luas Terairi	Ha	10651,00	9434,42	4201,12
6	Total Intensitas Tanam	%	228%		
7	Manfaat Produksi	Rp/Ha	30.567.040	30.555.779	21.171.413
8	Keuntungan Produksi	Juta Rp	325.570	288.276	88.944
9	Keuntungan Produksi Total	Juta Rp	702.789		
10	Tampungan Efektif Waduk	Juta m3	12,70	23,73	11,00

Tabel 4.24 Perbandingan Keuntungan Irigasi Sebelum dan Sesudah Optimasi

No	Uraian	Satuan	Sebelum Optimasi			Setelah Optimasi		
			MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3
1	Baku Sawah	Ha	10.651	10.651	10.651	10.651	10.651	10.651
2	Manfaat Produksi	Rp/Ha	30.567.040	30.555.779	21.171.413	30.567.040	30.555.779	21.171.413
3	Luas Tercapai	Ha	8.174	7.241	3.224	10.651	9.434	4.201
4	Keuntungan Produksi	Juta Rp	249.866	221.244	68.262	325.570	288.276	88.944
5	Keuntungan Produksi Total	Juta Rp	539.371			702.789		
6	Total Intensitas Tanam	%	175%			228%		

Kondisi eksisting di Daerah Irigasi Gondang adalah sebagai berikut:

1. Luas Lahan DI. Gondang adalah 10.651 Ha.
2. Intensitas tanaman 175%, dengan rincian sebagai berikut :
 - a. Musim hujan/ musim tanam I seluas 8.174 Ha (77%);
 - b. Musim kemarau I/ musim tanam II seluas 7.240 Ha (68%);
 - c. Musim kemarau II/ musim tanam III seluas 3.224 Ha (30%).
3. Kapasitas Tampungan Waduk sebesar 23,7 Juta m³.

4. Pola tata tanam yang digunakan, yaitu:
 - a. Pola tata tanam (Padi – Padi – Padi&Palawija) = 2829 Ha
 - b. Pola tata tanam (Padi – Padi&Palawija – Palawija) = 631 Ha
 - c. Pola tata tanam (Padi – Padi&Palawija – Padi&Palawija) = 324 Ha
 - d. Pola tata tanam (Padi – Padi – Padi&Palawija + tambak) = 5059 Ha
 - e. Pola tata tanam (Padi – Padi – Padi + tambak) = 1135 Ha
5. Alokasi air diberikan sesuai dengan permintaan air dilapangan.
6. Keuntungan produksi sebesar Rp. 539.371 Juta

Karena kecilnya intensitas tanam yang dicapai maka proses optimasi sangat diperlukan. Dengan menggunakan data Luas lahan, Kapasitas Tampung Waduk dan Pola Tata Tanam yang sama dengan kondisi eksisting, optimasi pada studi ini dilakukan dengan cara pengaturan alokasi pemberian air, dimana air diberikan sesuai dengan kebutuhan lahan dan akan diberikan untuk tiap petak (luasan) sampai memenuhi luas maksimal yang ada. Debit yang diperlukan adalah hubungan antara volume tersedia dibagi dengan waktu dan luas lahan merupakan perbandingan volume tersedia dibagi dengan volume yang dibutuhkan. Dengan hubungan tersebut akan didapatkan debit yang diberikan untuk tiap petak (luasan) agar mampu memenuhi luas maksimal yang ada. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.17 sampai dengan Tabel 4.21.

Perbandingan keuntungan sebelum optimasi / eksisting dan sesudah optimasi dapat dilihat pada tabel 4.24. Dari perbandingan keuntungan pada tabel 4.24. dapat dihitung selisih keuntungan irigasi, yaitu keuntungan setelah optimasi dikurangi dengan keuntungan sebelum optimasi.

$$\begin{aligned} \text{Selisih keuntungan} &= \text{Rp } 702.789 \text{ Juta} - \text{Rp } 539.371 \text{ Juta} \\ &= \text{Rp } 163.418 \text{ Juta} \end{aligned}$$

Dari perbandingan intensitas irigasi pada tabel 4.23. terjadi peningkatan setelah dilakukan optimasi sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Intensitas irigasi sebelum optimasi} &= 175\% \\ \text{Intensitas setelah optimasi} &= 228\% \\ \text{Peningkatan intensitas sebesar} &= 228\% - 175\% \\ &= 53\% \end{aligned}$$