

Optimasi Pola Tanam Menggunakan Program Linier (Waduk Batu Tegi, Das Way Sekampung, Lampung)

Anindita Hanalestari Setiawan dan Nadjadji Anwar

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail:nadjadji@ce.its.ac.id

Abstrak—Waduk Batu Tegi terletak di DAS Way Sekampung, SWS Way Seputih-Way Sekampung, Batu Tegi, Kecamatan Air Naningan, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Waduk ini berfungsi sebagai penyedia air untuk irigasi, penyedia air baku, dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Dengan keterbatasan volume air yang tersedia di waduk, dilakukan optimasi agar dapat mengoptimalkan kebutuhan air untuk irigasi yang menentukan intensitas tanam suatu lahan, air baku untuk sektor domestik dan non-domestik, dan potensi PLTA. Tujuan dari optimasi pola tanam adalah menentukan harga maksimal hasil panen yang dapat dihasilkan suatu lahan dengan jenis tanaman yang berbeda. Optimasi dalam kasus ini dilakukan dengan menggunakan program linier program bantu *Quantity Methods for Windows*. Perhitungan optimasi dengan pola tanam rencana dilakukan agar optimasi berupa intensitas tanam menghasilkan panen yang lebih maksimal jika dibandingkan dengan pola tanam eksisting. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa debit andalan 80% waduk yang terbesar adalah $76,7 \text{ m}^3/\text{detik}$ yang terjadi pada Bulan Februari dan yang terkecil adalah $4,30 \text{ m}^3/\text{detik}$ yang terjadi pada Bulan Oktober, model alternatif pola tanam yang menghasilkan luas lahan dan keuntungan hasil panen paling optimum adalah Alternatif 5, besar kebutuhan air untuk irigasi dari alternatif 5 adalah $346,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ dalam satu tahun, besar kebutuhan air untuk air baku saat kondisi jam puncak pada tahun 2010 adalah $27,69 \text{ m}^3 \times 10^6 \text{ m}^3$ dan kebutuhan air untuk PLTA adalah $734,8 \text{ m}^3 \times 10^6 \text{ m}^3$, serta keuntungan maksimal yang didapatkan dari hasil produksi lahan sawah dengan menggunakan pola tanam alternatif 5 adalah Rp 1.890.843.057.506,00.

Kata kunci – Bendungan Batu Tegi, intensitas tanam, pola tanam, studi optimasi.

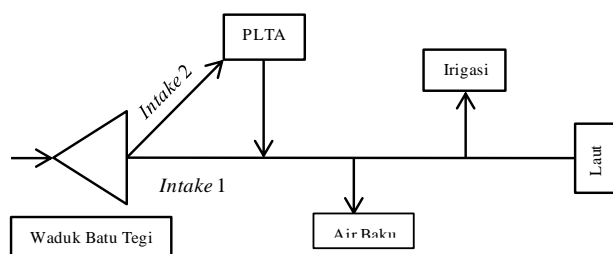
I. PENDAHULUAN

KAPASITAS tampungan air Waduk Batu Tegi dipengaruhi oleh *inflow* dari Sungai Way Sekampung dengan volume efektif waduk adalah $665 \times 10^6 \text{ m}^3$. Waduk Batu Tegi menyediakan 2.250 lt/dt air baku untuk air minum dan daya listrik sebesar $2 \times 14 \text{ MW}$ dari PLTA Batu Tegi. Karena dipengaruhi oleh musim kemarau dan kurangnya curah hujan, maka waduk mengalami kekurangan debit air. Diperlukan elevasi muka air setinggi 274 mdpl untuk dapat memenuhi kebutuhan irigasi dengan lahan seluas 46.108 Ha yang mengairi 7 kabupaten/kota di Provinsi Lampung Sedangkan untuk keperluan PLTA diperlukan elevasi muka air setinggi 253 mdpl.

Kebutuhan akan hasil pertanian, energi listrik, dan air baku semakin meningkat dengan bertambahnya penduduk, oleh karena itu diperlukan peningkatan produksi pertanian, suplai energi listrik, dan sumber air baku. Salah satu upaya untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut, baik di musim hujan atau musim kemarau yang mempengaruhi ketersediaan air waduk, adalah dengan melakukan studi optimasi. Dampak terbesar dari ketersediaan air waduk berpengaruh pada hasil pertanian. Dari Waduk Batu Tegi, daerah irigasi yang diairi adalah Daerah Irigasi Sekampung dan Daerah Irigasi Seputih (Gambar 1). Dalam studi ini akan dilakukan optimasi Waduk

Batu Tegi untuk menghitung intensitas tanam di Daerah Irigasi Sekampung dengan total luas area 46.108 Ha untuk menghasilkan nilai hasil panen maksimal. Untuk mengoptimasi volume waduk dalam pemenuhan kebutuhan irigasi akan

digunakan *Linear Programming*. Berikut adalah skema keseimbangan air Waduk Batu Tegi:



Gambar 1. Skema Keseimbangan Air Waduk

(Sumber: Katalog Badan Pelaksana Proyek Bendungan Batu Tegi, 2014)

A. Perumusan Masalah

Dengan adanya batas volume air yang dimiliki waduk, maka permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Berapa debit andalan operasional Waduk Batu Tegi yang digunakan untuk pemanfaatan kebutuhan irigasi, air baku, dan potensi PLTA?
2. Berapa besar kebutuhan air untuk kebutuhan irigasi dari tiap-tiap alternatif pola tanam?
3. Berapa besar kebutuhan air untuk air baku dan PLTA?
4. Berapa keuntungan maksimal (Rp) yang diperoleh dari hasil produksi lahan sawah setelah dilakukan optimasi pola tanam berdasarkan hasil luas tanam optimum?

B. Tujuan

Tujuan yang didapat dari penulisan penelitian ini adalah:

1. Menghitung debit andalan Waduk Batu Tegi.
2. Menghitung kebutuhan air untuk kebutuhan irigasi dari tiap-tiap alternatif pola tanam.
3. Menghitung kebutuhan air untuk air baku dan PLTA.
4. Menghitung hasil produksi lahan sawah yang paling menguntungkan (Rp) setelah dilakukan optimasi pola tanam berdasarkan hasil luas tanam optimum.

D. Manfaat

Optimasi pola tanam ini dilakukan agar intensitas tanam baru yang dihasilkan melalui optimasi pola tanam rencana dapat menghasilkan keuntungan berupa hasil panen yang maksimal. Karena hasil panen meningkat, maka diharapkan ketersediaan bahan pangan dan kondisi ekonomi masyarakat sekitar akan meningkat.

pengolahan lahan dapat menggunakan metode Van de Goor dan Ziljstra (1968) [2], berikut adalah rekap tabel perhitungan:

Tabel 5. Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

No	Parameter	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ag	Sep	Okt	Nov	Des
1	Es	mm/hari	2.50	2.32	2.47	2.43	2.34	2.29	2.34	3.24	3.75	3.20	2.50	2.34
2	So 11 x Es	mm/hari	2.75	2.55	2.71	2.67	2.58	2.52	2.57	3.56	4.12	3.53	2.75	2.46
3	Perbaikan	mm/hari	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	NB&C-P	mm/hari	4.75	4.55	4.71	4.67	4.58	4.52	4.57	5.56	6.12	5.53	4.75	4.46
5	T	hari	3100	2900	3100	3000	3100	3000	3100	3100	3000	3100	3000	3100
6	S	mm/hari	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
7	K=Ms TS		0.49	0.44	0.49	0.47	0.47	0.46	0.47	0.57	0.61	0.57	0.48	0.46
8	K=(Ms x K)/(w x k)	mm/hari	12.24	12.72	12.22	12.52	12.15	12.45	12.14	12.72	12.37	12.70	12.56	12.08

(Sumber Hasil Perhitungan)

1. Musim tanam hujan : Nopember – Maret.
2. Musim tanam kemarau I : April – Juli.
3. Musim tanam kemarau II : Agustus – Oktober.

Alternatif pola tanam yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Alternatif 1 : Awal tanam Bulan Nopember I.
2. Alternatif 2 : Awal tanam Bulan Nopember II.
3. Alternatif 3 : Awal tanam Bulan Desember I.
4. Alternatif 4 : Awal tanam Bulan Desember II.
5. Alternatif 5 : Awal tanam Bulan Januari I.

Berikut adalah perhitungan alternatif pola tanam 5 dengan masa awal tanam Bulan Januari I.

B.3. Perhitungan Alternatif Pola Tanam

Musim tanam yang digunakan dalam perencanaan pola tanam ini adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Perhitungan Alternatif Pola Tanam 5

Bulan	Periode	ETo	P	R	WLR	Padi										Palawija Kedelai									
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc	ETc	NFR	NFR	DR	DR	Re pal	kc1	kc2	kc3	kc	ETc	NFR	NFR	DR		
																								mm/hari	mm/hari
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)			
NOV	I	2.50	2.00	1.88	1.10	0.00	0.95	1.05	0.67	1.67	2.89	0.33	0.51	0.74	0.82	1.00	1.00	0.94	2.35	3.61	0.42	0.64			
	II	2.50	2.00	2.86	0.85	0.00	0.00	0.95	0.32	0.79	0.78	0.09	0.14	0.14	1.11	0.45	0.82	1.00	0.76	1.89	2.79	0.32	0.50		
DES	I	2.24	2.00	2.42			0.00	0.00	0.00	0.00	-0.42	-0.05	-0.07	0.00	1.24	0.00	0.45	0.82	0.42	0.95	1.71	0.20	0.31		
	II	2.24	2.00	2.94							-0.94	-0.11	-0.17	0.00	1.24	0.00	0.00	0.45	0.15	0.34	1.10	0.13	0.20		
JAN	I	2.50	2.00	5.02		LP	LP	LP	LP	12.24	9.22	1.07	1.64	1.64	2.04	0.50	0.00	0.00	0.17	0.42	0.37	0.04	0.07		
	II	2.50	2.00	4.45		1.10	LP	LP	LP	12.24	9.80	1.13	1.74	1.74	2.04	0.75	0.50	0.00	0.42	1.04	1.00	0.12	0.18		
FEB	I	2.32	2.00	3.75		1.10	1.10	LP	LP	12.79	11.04	1.28	1.97	1.97	1.67	1.00	0.75	0.50	0.75	1.74	2.07	0.24	0.37		
	II	2.32	2.00	3.76	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	2.55	1.89	0.22	0.34	0.34	1.67	1.00	1.00	0.75	0.92	2.12	2.46	0.29	0.44		
MAR	I	2.47	2.00	3.58	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	2.71	2.23	0.26	0.40	0.40	1.37	0.82	1.00	1.00	0.94	2.32	2.95	0.34	0.53		
	II	2.47	2.00	2.44	2.20	1.10	1.10	1.10	1.10	2.71	4.48	0.52	0.80	0.80	1.37	0.45	0.82	1.00	0.76	1.87	2.50	0.29	0.45		
APR	I	2.43	2.00	2.42	1.10	1.05	1.10	1.10	1.08	2.63	3.31	0.38	0.59	0.59	1.15	0.00	0.45	0.82	0.42	1.03	1.88	0.22	0.34		
	II	2.43	2.00	2.52	1.10	0.95	1.05	1.10	1.03	2.51	3.09	0.36	0.55	0.55	1.15	0.00	0.45	0.15	0.36	1.22	0.14	0.22			
MEI	I	2.34	2.00	1.64	1.10	0.00	0.95	1.05	0.67	1.56	3.02	0.35	0.54	0.54	0.79	0.50	0.00	0.45	0.17	0.39	1.60	0.19	0.28		
	II	2.34	2.00	1.67	0.85	0.00	0.00	0.95	0.32	0.74	1.93	0.22	0.34	0.34	0.79	0.75	0.50	0.00	0.42	0.98	2.18	0.25	0.39		
JUN	I	2.29	2.00	0.40			0.00	0.00	0.00	1.60	0.18	0.28	0.28	0.14	1.00	0.75	0.50	0.75	1.72	3.58	0.42	0.64			
	II	2.29	2.00	0.29			0.00	0.00	0.00	1.71	0.20	0.30	0.30	0.14	1.00	1.00	0.75	0.92	2.10	3.96	0.46	0.71			
JUL	I	2.34	2.00	0.99		LP	LP	LP	LP	12.14	13.15	1.52	2.34	2.34	0.54	0.82	1.00	1.00	0.94	2.20	3.66	0.42	0.65		
	II	2.34	2.00	1.21		1.10	LP	LP	LP	12.14	12.93	1.50	2.30	2.30	0.54	0.45	0.82	1.00	0.76	1.77	3.23	0.37	0.58		
AGU	I	3.24	2.00	0.78		1.10	1.10	LP	LP	12.72	13.95	1.61	2.48	2.48	0.40	0.00	0.45	0.82	0.42	1.37	2.97	0.34	0.53		
	II	3.24	2.00	0.89	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	3.56	5.78	0.67	1.03	1.03	0.40	0.00	0.00	0.45	0.15	0.49	2.08	0.24	0.37		
SEP	I	3.75	2.00	0.18	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	4.12	7.05	0.82	1.26	1.26	0.20	0.50	0.00	0.17	0.62	2.42	0.28	0.43			
	II	3.75	2.00	0.74	2.20	1.10	1.10	1.10	1.10	4.12	7.58	0.88	1.35	1.35	0.20	0.75	0.50	0.00	0.42	1.56	3.36	0.39	0.60		
OKT	I	3.20	2.00	1.41	1.10	1.05	1.10	1.10	1.08	3.47	5.16	0.60	0.92	0.92	0.77	1.00	0.75	0.50	0.75	2.40	3.64	0.42	0.65		
	II	3.20	2.00	1.78	1.10	0.95	1.05	1.10	1.03	3.31	4.63	0.54	0.82	0.82	0.77	1.00	1.00	0.75	0.92	2.94	4.17	0.48	0.74		

(Sumber: Hasil Perhitungan)

C. Analisis Kebutuhan Air untuk Air Baku

C.1. Proyeksi Jumlah Penduduk

Perhitungan proyeksi jumlah penduduk yang mengonsumsi air baku dari Waduk Batu Tegi diperlukan untuk mengetahui banyaknya kebutuhan air baku. Berikut adalah perhitungan proyeksi jumlah penduduk tahun 2010 – 2020.

Tabel 7. Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk Tahun 2010 – 2020.

Tahun	n	Proyeksi Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	2	3
2010	0	719603
2011	1	726502
2012	2	733468
2013	3	740501
2014	4	747601
2015	5	754769
2016	6	762005
2017	7	769311
2018	8	776688
2019	9	784134
2020	10	791653

(Sumber: Hasil Perhitungan)

C.2. Perhitungan Kebutuhan Air Baku

Dari hasil perhitungan kebutuhan air baku untuk domestik dan non-domestik wilayah DAS Sekampung, maka didapatkan total kebutuhan air baku untuk proyeksi sepuluh tahun sebagai berikut:

Tabel 8.

Jumlah Kebutuhan Air Baku Penduduk Wilayah DAS Sekampung

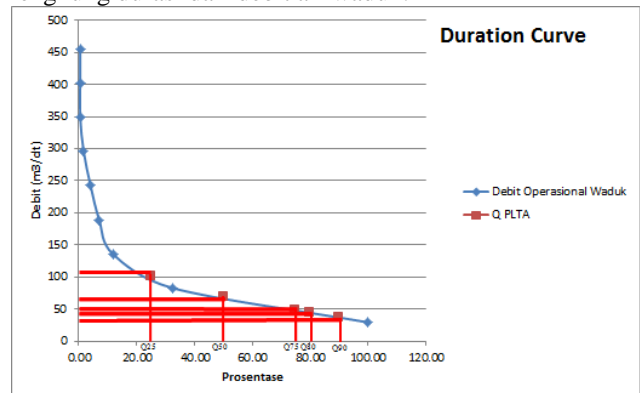
Tahun	Rumah Tangga	Hidran	Sekolah	Pasar	Masjid	Total	TOTAL
(1)	(2)	lt/dt	lt/dt	lt/dt	lt/dt	lt/dt	m3/det
2010	674.63	74.96	10.70	2.08	1.04	763.41	0.76
2011	681.10	75.68	10.74	2.08	1.04	770.64	0.77
2012	687.63	76.40	10.78	2.08	1.04	777.94	0.78
2013	694.22	77.14	10.83	2.08	1.04	785.31	0.79
2014	700.88	77.88	10.87	2.08	1.04	792.75	0.79
2015	707.60	78.62	10.91	2.08	1.04	800.25	0.80
2016	714.38	79.38	10.96	2.08	1.04	807.84	0.81
2017	721.23	80.14	11.00	2.08	1.04	815.49	0.82
2018	728.14	80.90	11.04	2.08	1.04	823.22	0.82
2019	735.13	81.68	11.08	2.08	1.04	831.02	0.83
2020	742.17	82.46	11.13	2.08	1.04	838.89	0.84

(Sumber: Hasil Perhitungan)

D. Analisis Kebutuhan Air untuk Potensi PLTA

D.1. Lengkung Durasi

Lengkung durasi atau Duration Curve digunakan untuk menentukan debit air Q90, Q80, Q75, dan Q50. Berikut adalah lengkung durasi dari debit air waduk:



Gambar 3. Lengkung Durasi Debit PLTA (Sumber: Hasil Perhitungan)

Dari hasil kurva di atas, didapatkan:

- Q90% = 37,32 m³/detik.
- Q80% = 45,24 m³/detik.
- Q75% = 49,20 m³/detik.
- Q50% = 69,01 m³/detik.

D.2. Tinggi Jatuh Efektif, Heff

Tinggi jatuh adalah selisih antara elevasi dari permukaan air di *upstream* dan di *downstream* pada Bendungan. Elevasi *Upstream* Bendungan Batu Tegi berada pada ketinggian +274 mdpl, sedangkan *downstream* berada pada ketinggian +122 mdpl.

$$H_{\text{eff}} \text{ bruto} = \text{Elevasi } \textit{upstream} - \textit{downstream}$$

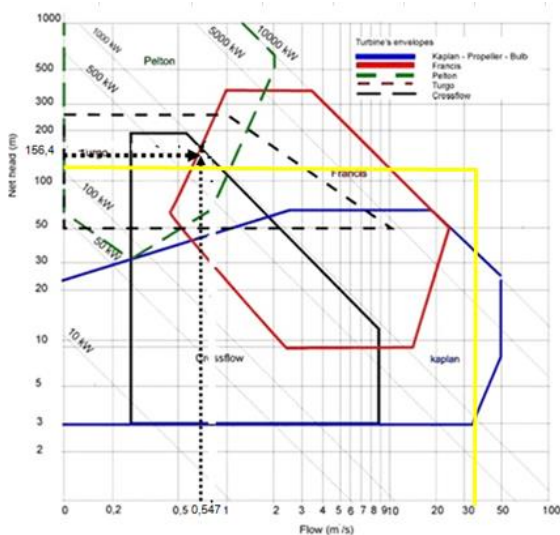
$$H_{\text{eff}} \text{ bruto} = 253 - 122 = 131 \text{ m}$$

$$H_{\text{eff}} \text{ losses} = 10\% \times H_{\text{eff}} \text{ bruto} = 0,10 \times 131 = 13,1 \text{ m}$$

$$H_{\text{eff}} = H_{\text{eff}} \text{ bruto} - H_{\text{eff}} \text{ losses} = 131 - 13,1 = 117,9 \text{ m}$$

D.3. Pemilihan Jenis Turbin

Jenis turbin ditentukan oleh tinggi jatuh efektif bendungan dan debit air di waduk. Pemilihan kategori jenis turbin yang dapat digunakan di PLTA Waduk Batu Tegi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh dan Debit PLTA (Sumber: Hasil Perhitungan)

Berdasarkan Gambar 4, turbin yang dipilih dengan tinggi jatuh efektif 117,9 m dan debit air sebesar 37,32 m³/detik adalah Turbin Francis (efisiensi 85%).

D.4. Daya Listrik

$$P = \eta \times \rho \times g \times H_{\text{eff}} \times Q_{90}$$

$$P_{90} = 0,85 \times 1 \times 9,8 \times 117,9 \times 37,32 = 36.652,2 \text{ kW.}$$

$$P_{80} = 0,85 \times 1 \times 9,8 \times 117,9 \times 45,24 = 44.430,5 \text{ kW.}$$

$$P_{75} = 0,85 \times 1 \times 9,8 \times 117,9 \times 49,20 = 48.319,7 \text{ kW.}$$

$$P_{50} = 0,85 \times 1 \times 9,8 \times 117,9 \times 69,01 = 67.775,2 \text{ kW.}$$

D.5. Energi Listrik

$$E = P \times t$$

$$= 36.652,2 \text{ kW} \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}$$

$$= 321.073.272 \text{ kWh.}$$

Jadi, energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA Batu Tegi adalah 321.073.272 kWh = 321.073,3 mWh.

E. Optimasi Kebutuhan Air Irigasi dengan Program Linear

Optimasi yang dilakukan berupa pemilihan keputusan dari berbagai alternatif yang telah diperhitungkan berdasarkan kebutuhan air tanaman. Digunakan program aplikasi *POM-QM for Windows* yang menggunakan tabel simpleks untuk

membantu dalam pengoptimalan air waduk untuk irigasi. Metode simpleks mengiterasikan beberapa persamaan yang mewakili fungsi tujuan dan fungsi- fungsi kendala pada program linear yang telah disesuaikan menjadi bentuk standar [3].

Hasil dari perhitungan Alternatif Pola Tanam 1 – 5 dimasukkan ke dalam tabel simpleks untuk dilakukan iterasi dengan menggunakan program bantu *POM-QM* (Gambar 5). Setelah memasukkan variabel, tekan “Solve” pada *taskbar* dan akan muncul hasil perhitungan optimasi pola tanam (Gambar 6).

	PADI MT I	PADI MT II	PADI MT III	PAL MT I	PAL MT II	PAL MT III	RHS	Equation form
Maximize	1	1	1	1	1	1		Max PADI MT I + PADI MT II +
nop 1	0	0	0.51	0	0	0.64	7480	51PADI MT II + 64PAL MT
nop 2	0	0	0.14	0	0	0.5	12600	14PADI MT II + 50PAL MT III
des 1	0	0	0	0	0	0.31	23100	31PAL MT II <= 23100
des 2	0	0	0	0	0	0.2	37400	2PAL MT II <= 37400
jan 1	1.64	0	0	0.07	0	0	48400	1.64PADI MT I + 0.07PAL MT
jan 2	1.74	0	0	0.18	0	0	55170	1.74PADI MT I + 0.18PAL MT
feb 1	1.97	0	0	0.37	0	0	55900	1.97PADI MT I + 0.37PAL MT
feb 2	0.34	0	0	0.44	0	0	76700	0.34PADI MT I + 0.44PAL MT
mar 1	0.4	0	0	0.53	0	0	58400	0.4PADI MT I + 0.53PAL MT
mar 2	0.8	0	0	0.45	0	0	46400	0.8PADI MT I + 0.45PAL MT
apr 1	0.59	0	0	0.34	0	0	46100	0.59PADI MT I + 0.34PAL MT
apr 2	0.55	0	0	0.22	0	0	29400	0.55PADI MT I + 0.22PAL MT
mei 1	0	0.54	0	0	0.28	0	34500	0.54PADI MT II + 0.28PAL MT
mei 2	0	0.34	0	0	0.39	0	29700	0.34PADI MT II + 0.39PAL MT
jun 1	0	0.28	0	0	0.64	0	31020	0.28PADI MT II + 0.64PAL MT
jun 2	0	0.3	0	0	0.71	0	26300	0.3PADI MT II + 0.71PAL MT
jul 1	0	2.34	0	0	0.65	0	23730	2.34PADI MT II + 0.65PAL MT
jul 2	0	2.3	0	0	0.58	0	27400	2.3PADI MT II + 0.58PAL MT
ags 1	0	2.48	0	0	0.53	0	19100	2.48PADI MT II + 0.53PAL MT
ags 2	0	1.03	0	0	0.37	0	14300	1.03PADI MT II + 0.37PAL MT
sept 1	0	0	1.26	0	0	0.43	15200	1.26PADI MT III + 0.43PAL
sept 2	0	0	1.35	0	0	0.6	12600	1.35PADI MT III + 0.6PAL
okt 1	0	0	0.92	0	0	0.65	8230	0.92PADI MT III + 0.65PAL
okt 2	0	0	0.82	0	0	0.74	4300	0.82PADI MT III + 0.74PAL
LUAS1	1	0	0	1	0	0	46108	PADI MT I + PAL MT I <=
LUAS2	0	1	0	0	1	0	46108	PADI MT II + PAL MT II <=
LUAS3	0	0	1	0	0	1	46108	PADI MT III + PAL MT III <=
LUASB	0	0	1	0	0	1	46108	PADI MT III + PAL MT III <=

Gambar 5. Model Optimasi Alternatif Pola Tanam 5 untuk Luas Optimum Masa Tanam Januari Periode 1 (sumber: output POM QM)

	PADI MT I	PADI MT II	PADI MT III	PAL MT I	PAL MT II	PAL MT III	RHS	Dual
nop 1	0	0	0.51	0	0	0.64	7480	0
nop 2	0	0	0.14	0	0	0.5	12600	0
des 1	0	0	0	0	0	0.31	23100	0
des 2	0	0	0	0	0	0.2	37400	0
jan 1	1.64	0	0	0.07	0	0	48400	0
jan 2	1.74	0	0	0.18	0	0	55170	0
feb 1	1.97	0	0	0.37	0	0	55900	0
feb 2	0.34	0	0	0.44	0	0	76700	0
mar 1	0.4	0	0	0.53	0	0	58400	0
mar 2	0.8	0	0	0.45	0	0	46400	0
apr 1	0.59	0	0	0.34	0	0	46100	0
apr 2	0.55	0	0	0.22	0	0	29400	0
mei 1	0	0.54	0	0	0.28	0	34500	0
mei 2	0	0.34	0	0	0.39	0	29700	0
jun 1	0	0.28	0	0	0.64	0	31020	0
jun 2	0	0.3	0	0	0.71	0	26300	0
jul 1	0	2.34	0	0	0.65	0	23730	0
jul 2	0	2.3	0	0	0.58	0	27400	0
ags 1	0	2.48	0	0	0.53	0	19100	1.8868
ags 2	0	1.03	0	0	0.37	0	14300	0
sept 1	0	0	1.26	0	0	0.43	15200	0
sept 2	0	0	1.35	0	0	0.6	12600	0
okt 1	0	0	0.92	0	0	0.65	8230	0
okt 2	0	0	0.82	0	0	0.74	4300	1.3514
LUAS1	1	0	0	1	0	0	46108	1
LUAS2	0	1	0	0	1	0	46108	0
LUAS3	0	0	1	0	0	1	46108	0
Solution->	24275.03	0	0	21832.97	36037.74	5810.811	87956.55	

Gambar 6. Hasil Optimasi Luas Lahan Optimum pada Model Alternatif 5 (sumber: output POM QM)

Dari hasil optimasi menggunakan program bantu *POM-QM*, didapatkan luas lahan, intensitas tanam, dan harga hasil panen alternatif 1 – 5 yang ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9.
Luas Lahan Pertanian dan Keuntungan Hasil Produksi Tiap Alternatif

ALT	Musim Tanam	Luas Lahan (Ha)		Intensitas Tanam (%)			Produktivitas (kg/ha)		Harga (Rp)		
		Padi	Palawija	Padi	Palawija	Total	Padi	Palawija	Padi	Palawija	Total
1	Musim Hujan	0	24933.33	0.00	54.08						
	Musim Kemarau 1	12408	0	26.91	0.00	58.24	54.08	112.314	143660554	30593195.91	Rp 1,221,114,709,000.00
	Musim Kemarau 2	14444.44	0	31.33	0.00						Rp 226,389,649,734.00
2	Musim Hujan	1078.47	45029.54	2.34	97.66						
	Musim Kemarau 1	10436.51	0	22.63	0.00	52.22	97.66	149.880	128811736	55251245.58	Rp 1,094,899,756,000.00
	Musim Kemarau 2	12561.98	0	27.24	0.00						Rp 408,859,217,292.00
3	Musim Hujan	7382.13	38725.87	16.01	83.99						
	Musim Kemarau 1	9298.35	4481.48	20.17	9.72	61.19	99.71	154.896	150934253.5	53015418.45	Rp 1,282,941,154,750.00
	Musim Kemarau 2	11531.53	0	25.01	0.00						Rp 392,314,096,530.00
4	Musim Hujan	15830.56	30277.44	34.33	65.67						
	Musim Kemarau 1	10141.03	0	21.99	0.00	71.37	65.67	137.036	176052824.5	37150418.88	Rp 1,496,449,008,250.00
	Musim Kemarau 2	6935.48	0	15.04	0.00						Rp 274,913,099,712.00
5	Musim Hujan	24275.03	21832.97	52.65	47.35						
	Musim Kemarau 1	7701.61	0	16.70	0.00	128.08	47.35	175.428	199129889	26789054.19	Rp 1,692,604,056,500.00
	Musim Kemarau 2	5243.9	0	11.37	0.00						Rp 198,239,001,006.00

(Sumber: Hasil Optimasi POM-QM dan Hasil Perhitungan)

Dari perhitungan Tabel 9, berdasarkan luas lahan dan harga panen paling optimal dan lebih menguntungkan dari keuntungan hasil panen dipilih Alternatif 5 yang menghasilkan harga hasil eksisting.

Tabel 10.
Total Kebutuhan Air Irigasi untuk Alternatif Pola Tanam 5

Bulan	Periode	Jumlah Hari	Padi				Palawija			Total Q irigasi	Total Q irigasi	Total Kebutuhan Irigasi
			DR	DR	Luas daerah	Q perlu	DR	Luas daerah	Q perlu			
			lt/dt/ha	lt/dt/ha	Ha	lt/dt	lt/dt/ha	Ha	lt/dt			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(11)	
NOV	I	15	0.51	0.51	24275.03	12481.38	0.64	21832.97	14080.97	26562.35	26.56	34.42
	II	15	0.14	0.14	24275.03	3365.30	0.50	21832.97	10856.10	14221.40	14.22	18.43
DES	I	15	-0.07	0.00	24275.03	0.00	0.31	21832.97	6668.98	6668.98	6.67	8.64
	II	16	-0.17	0.00	24275.03	0.00	0.20	21832.97	4285.91	4285.91	4.29	5.92
JAN	I	15	1.64	1.64	24275.03	39857.74	0.07	21832.97	1455.34	41313.08	41.31	53.54
	II	16	1.74	1.74	24275.03	42345.04	0.18	21832.97	3886.98	46232.02	46.23	63.91
FEB	I	15	1.97	1.97	24275.03	47705.54	0.37	21832.97	8068.63	55774.16	55.77	72.28
	II	14	0.34	0.34	24275.03	8162.60	0.44	21832.97	9573.30	17735.90	17.74	21.45
MAR	I	15	0.40	0.40	24275.03	9645.97	0.53	21832.97	11486.76	21132.73	21.13	27.39
	II	16	0.80	0.80	24275.03	19352.02	0.45	21832.97	9724.45	29076.48	29.08	40.20
APR	I	15	0.59	0.59	0	0.00	0.34	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	II	15	0.55	0.55	0	0.00	0.22	0	0.00	0.00	0.00	0.00
MEI	I	15	0.54	0.54	0	0.00	0.28	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	II	16	0.34	0.34	0	0.00	0.39	0	0.00	0.00	0.00	0.00
JUN	I	15	0.28	0.28	0	0.00	0.64	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	II	15	0.30	0.30	0	0.00	0.71	0	0.00	0.00	0.00	0.00
JUL	I	15	2.34	2.34	0	0.00	0.65	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	II	16	2.30	2.30	0	0.00	0.58	0	0.00	0.00	0.00	0.00
AGU	I	15	2.48	2.48	0	0.00	0.53	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	II	16	1.03	1.03	0	0.00	0.37	0	0.00	0.00	0.00	0.00
SEP	I	15	1.26	1.26	0	0.00	0.43	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	II	15	1.35	1.35	0	0.00	0.60	0	0.00	0.00	0.00	0.00
OKT	I	15	0.92	0.92	0	0.00	0.65	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	II	16	0.82	0.82	0	0.00	0.74	0	0.00	0.00	0.00	0.00
									MAX	55774.16	55.77	72.28
									MIN	0.00	0.00	0.00
									Jumlah	263003.02	263.00	346.20

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Total kebutuhan air untuk irigasi dalam satu tahun masing-masing alternatif terdapat pada Tabel 11 berikut:

Tabel 11.
Kebutuhan Air Untuk Irigasi pada Tiap Alternatif

Alternatif	Total Kebutuhan Irigasi juta m ³ /tahun
1	156.15
2	249.64
3	524.85
4	352.97
5	346.20

(Sumber: Hasil Perhitungan)

F. Analisis Water Balance Air Waduk

Perhitungan *water balance* berkaitan dengan kebutuhan air yang dikonsumsi dan ketersediaan air di waduk. Jadi, jumlah air yang masuk ke suatu sistem badan air dikurangi dengan jumlah air yang keluar atau hilang dari sistem badan air tersebut, dan tampungan waduk yang tersimpan tidak boleh habis. Berikut adalah perhitungan *water balance* Waduk Batu Tegi yang terdapat pada Tabel 12.

Tabel 12.
Perhitungan *Water Balance* Tampungungan Waduk Batu Tegi

Tahun ke	Bulan	Periode	No periode	Jumlah hari	Q inflow		Q outflow		I-O	spill out	Q inflow untuk irigasi	Q out					I-O	Tampungungan waduk	Spill out	Ket		
					debit sungai		PLTA		PLTA	PLTA	PLTA	Q out PLTA+spill out	irigasi		air baku		Total Q out				irigasi & air baku	EVAPORA SI
					Hari	m3/dt	10 ⁶ m3	m3/dt	10 ⁶ m3	10 ⁶ m3	10 ⁶ m3	10 ⁶ m3	m3/dt	m3/dt	10 ⁶ m3	10 ⁶ m3	10 ⁶ m3				10 ⁶ m3	10 ⁶ m3
					4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				17	18
0	DES	I	1	15	44.60	57.80	37.3	48.34	9.46	9.46	57.80	8.46	8.46	10.96	0.76	0.99	11.95	45.85	0.27	633.89	0.0	
		II	2	16	123.90	171.28	37.3	51.56	119.72	119.72	171.28	5.80	5.80	8.02	0.76	1.06	9.07	162.21	0.33	642.64	0.0	
1	JAN	I	1	15	167.81	217.49	37.3	48.34	169.15	169.15	217.49	53.83	53.83	69.76	0.77	1.00	70.76	146.73	0.34	665.00	0.0	sukses
		II	2	16	0.00	0.00	37.3	51.56	-51.56	0.00	51.56	64.21	64.21	88.76	0.77	1.07	89.83	-89.83	0.32	574.85	0.0	sukses
	FEB	I	3	15	24.04	31.15	37.3	48.34	-17.19	0.00	48.34	72.59	72.59	94.08	0.77	1.00	95.08	-63.92	0.25	510.67	0.0	sukses
		II	4	14	38.81	46.95	37.3	45.12	1.83	1.83	46.95	21.40	21.40	25.88	0.77	0.93	26.81	20.14	0.24	530.57	0.0	sukses
	MAR	I	5	15	13.37	17.33	37.3	48.34	-31.01	0.00	48.34	27.31	27.31	35.39	0.77	1.00	36.39	-19.06	0.27	511.24	0.0	sukses
		II	6	16	61.17	84.56	37.3	51.56	33.00	33.00	84.56	40.42	40.42	55.88	0.77	1.07	56.94	27.62	0.30	538.56	0.0	sukses
	APR	I	7	15	42.93	55.64	37.3	48.34	7.30	7.30	55.64	5.93	5.93	7.69	0.77	1.00	8.68	46.96	0.30	585.22	0.0	sukses
		II	8	15	74.11	96.04	37.3	48.34	47.70	47.70	96.04	5.53	5.53	7.17	0.77	1.00	8.16	87.88	0.33	665.00	87.5	sukses
	MEI	I	9	15	0.00	0.00	37.3	48.34	-48.34	0.00	48.34	5.41	5.41	7.01	0.77	1.00	8.01	-8.01	0.32	656.67	0.0	sukses
		II	10	16	42.08	58.17	37.3	51.56	6.61	6.61	58.17	3.68	3.68	5.09	0.77	1.07	6.15	52.02	0.34	665.00	51.7	sukses
	JUN	I	11	15	49.84	64.59	37.3	48.34	16.25	16.25	64.59	2.86	2.86	3.71	0.77	1.00	4.71	59.88	0.32	665.00	59.6	sukses
		II	12	15	49.92	64.69	37.3	48.34	16.35	16.35	64.69	3.07	3.07	3.97	0.77	1.00	4.97	59.72	0.32	665.00	59.4	sukses
	JUL	I	13	15	45.52	58.99	37.3	48.34	10.65	10.65	58.99	23.35	23.35	30.26	0.77	1.00	31.26	27.73	0.32	665.00	27.4	sukses
		II	14	16	34.75	48.04	37.3	51.56	-3.53	0.00	51.56	24.50	24.50	33.87	0.77	1.07	34.93	13.10	0.34	665.00	12.8	sukses
	AGU	I	15	15	39.25	50.87	37.3	48.34	2.53	2.53	50.87	16.74	16.74	21.69	0.77	1.00	22.69	28.18	0.45	665.00	27.7	sukses
		II	16	16	33.36	46.11	37.3	51.56	-5.45	0.00	51.56	7.46	7.46	10.31	0.77	1.07	11.37	34.74	0.48	665.00	34.3	sukses
	SEP	I	17	15	18.97	24.59	37.3	48.34	-23.75	0.00	48.34	8.53	8.53	11.05	0.77	1.00	12.05	12.53	0.52	665.00	12.0	sukses
		II	18	15	36.89	47.80	37.3	48.34	-0.54	0.00	48.34	9.18	9.18	11.89	0.77	1.00	12.89	34.91	0.52	665.00	34.4	sukses
	OKT	I	19	15	27.81	36.04	37.3	48.34	-12.31	0.00	48.34	6.25	6.25	8.10	0.77	1.00	9.10	26.94	0.44	665.00	26.5	sukses
		II	20	16	44.62	61.68	37.3	51.56	10.11	10.11	61.68	5.97	5.97	8.26	0.77	1.07	9.33	52.35	0.47	665.00	51.9	sukses
NOV	I	21	15	1.74	2.26	37.3	48.34	-46.08	0.00	48.34	34.35	34.35	44.51	0.77	1.00	45.51	-43.25	0.32	621.42	0.0	sukses	
	II	22	15	0.00	0.00	37.3	48.34	-48.34	0.00	48.34	18.22	18.22	23.61	0.77	1.00	24.61	-24.61	0.31	596.50	0.0	sukses	
DES	I	23	15	0.00	0.00	37.3	48.34	-48.34	0.00	48.34	8.46	8.46	10.96	0.77	1.00	11.96	-11.96	0.27	584.27	0.0	sukses	
	II	24	16	87.72	121.26	37.3	51.56	69.70	69.70	121.26	5.80	5.80	8.02	0.77	1.07	9.08	112.18	0.33	665.00	111.8	sukses	

(Sumber: Hasil Perhitungan)

G. Hasil Optimasi

Analisis yang dilakukan terhadap optimasi pola tanam, perhitungan kebutuhan air baku, dan potensi PLTA menghasilkan nilai baru yang berpengaruh terhadap hasil keuntungan (RP), berikut adalah hasil yang didapatkan setelah melakukan perhitungan dalam studi ini:

Tabel 13.

Keuntungan Terhadap Hasil Panen, Air Baku, dan Listrik dari Waduk Batu Tegi

Jenis Produksi	Hasil Produktivitas	Harga	Satuan	Jumlah Harga
Hasil Panen padi	199129889	IDR 8.500.00	kg/ha	IDR 1.692.604.056.500.00
Hasil Panen palawija	26789054.19	IDR 7.400.00	kg/ha	IDR 198.239.001.006.00
Air Baku	24070000	IDR 1.250.00	m3	IDR 30.087.500.000.00
Listrik	321073272	IDR 8.36	kWh	IDR 2.683.080.904.80
			TOTAL	IDR 1.923.613.638.410.80

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa keuntungan hasil panen dari optimasi menggunakan alternatif pola tanam 5, yaitu Rp 1.890.843.058, 00 menghasilkan nilai keuntungan sebesar 100% lebih besar jika dibandingkan dengan nilai keuntungan eksisting (Tabel 4.24). Sedangkan hasil keuntungan dari air baku dan daya listrik yang dihasilkan PLTA yang telah dihitung berdasarkan data harga dan satuan dari ‘Berita Resmi Statistik, BPS Lampung 2015’ menghasilkan keuntungan sebesar Rp 30.087.500,00 dan Rp 2.683.080.904,80 dalam satu tahun.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Dari debit operasional waduk selama sepuluh tahun, didapatkan debit andalan 80% terbesar adalah 76,70 m³/detik yang terjadi pada Bulan Februari, sedangkan debit andalan yang terkecil adalah 4,30 m³/detik yang terjadi pada Bulan Oktober untuk memenuhi kebutuhan irigasi, air baku, dan potensi PLTA.
- Besar kebutuhan air untuk kebutuhan irigasi dari tiap-tiap alternatif pola tanam dalam satu tahun adalah sebagai berikut:
 - Alternatif pola tanam 1 = 156,15 x 10⁶ m³.
 - Alternatif pola tanam 2 = 249,64 x 10⁶ m³.
 - Alternatif pola tanam 3 = 524,85 x 10⁶ m³.
 - Alternatif pola tanam 4 = 352,97 x 10⁶ m³.
 - Alternatif pola tanam 5 = 346,20 x 10⁶ m³.

Alternatif pola tanam yang paling optimal adalah alternatif pola tanam 5, karena menghasilkan model optimasi dengan luas lahan dan keuntungan (Rp) paling maksimal.

- Besar kebutuhan untuk air baku pada tahun 2010 saat kondisi normal adalah sebesar 24,07 x 10⁶ m³, sedangkan saat kondisi jam puncak adalah 42,13 x 10⁶ m³. Besar kebutuhan air untuk potensi PLTA tahun 2010 dengan menggunakan debit andalan 90% sebesar 37,3 m³/detik adalah 734,8 x 10⁶ m³ yang dapat menghasilkan energi listrik sebesar 321.073,3 MWh dan menggunakan daya terpasang 2x19 mW.
- Dari alternatif 5, dihasilkan intensitas tanam padi sebesar 128,08% dan intensitas tanam palawija sebesar 47,35% dalam satu tahun. Dengan intensitas tanam tersebut, dihasilkan keuntungan hasil panen sebesar Rp 1.890.843.057.506,00.

B. Saran

Berikut adalah saran yang dapat diberikan setelah melakukan analisis dan perhitungan tentang optimasi Waduk Batu Tegi:

- Jika hasil optimasi ini akan diterapkan pada wilayah studi, maka perlu dilakukan peninjauan ulang untuk *water balance* dalam menghitung keseimbangan air yang masuk dan keluar dari waduk.
- Untuk pihak lain yang berminat dalam meninjau lebih lanjut subjek ini dapat memperhitungkan debit *inflow* waduk dari perhitungan data curah hujan.
- Untuk pihak lain yang akan melakukan optimasi pada wilayah studi, diperlukan adanya koreksi ulang dalam penelitian ini untuk perhitungan dengan ketelitian yang baik untuk dapat menghasilkan hasil analisis yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Tumiar, Katarina Manik, 2012. “Evaluasi Metode Penman-Monteith dalam Menduga Laju Evapotranspirasi Standar di Dataran Rendah Propinsi Lampung, Indonesia”. Jurnal Keteknikan Pertanian, 26:2.
 [2] Departemen Pekerjaan Umum. 1986. Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01. Jakarta: Dirjen Pengairan.
 [3] Anwar, Nadjadji. 2001. Analisis Sistem Untuk Teknik Sipil. Surabaya: Teknik Sipil ITS.