

OPTIMASI POLA TAMAN DAERAH IRIGAI UWAI PANGOAN KABUPATEN KAMPAR

Lukis Tria, Siswanto, Manyuk Fauzi

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM. 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
email : lukistria@yahoo.com

ABSTRACT

Uwai Pangoan irrigation area is located in Kampar district which one of the rice-producing district in Riau province. The potential area of Muara Jalai irrigation area is 800 Ha, but it is functional area is just 615 Ha. Processing of agricultural land of this irrigation area was done twice in a year with Padi-Bera-Bera cropping pattern.

The functional area is still small and the cropping pattern in such a way, this suggests that the potential of water resources and land owned by the irrigation area is not utilized optimally. Based on the condition, optimization study carried out to maximize the profits of farming results, based on the optimal planting area using a linear program. The mainstay volume and crop water requirements of each alternative cropping pattern planned are used as restrictions/constraints as input for operation of linear program. The results of these calculations are expected to know the optimal planting area according to the cropping pattern and cropping season, also the greatest profits to be obtained.

The results of several planned alternative cropping pattern was obtained which get the greatest profits is Padi/Kacang Hijau – Padi/Kacang Hijau – Kacang Hijau cropping pattern. The cropping pattern is scheduled for early planting December period I with the profits is Rp 5.711.999.000 and 300% cropping intensity.

Key words: mainstay volume, irrigation water requirements, cropping pattern, optimization, linear program

PENDAHULUAN

Pemerintah Republik Indonesia dalam upayanya untuk meningkatkan kesejahteraan hidup rakyat telah memberikan prioritas utama di bidang pertanian. Dalam kegiatan ini, usaha yang dilaksanakan ialah pembangunan jaringan irigasi baru dan perbaikan serta peningkatan jaringan irigasi yang sudah ada dengan tidak terlepas mempertimbangkan sumber daya lahan, sumber daya air dan sumber daya manusia.

Kabupaten Kampar merupakan salah satu kabupaten yang mempunyai banyak Daerah Irigasi (DI). Salah satu Daerah Irigasi tersebut adalah Daerah Irigasi Uwai Pangoan, yang terletak di desa yaitu Desa Uwai, Desa Pangoan kecamatan Bangkinang Seberang dan Desa Sipungguk Kecamatan Salo, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau.. DI Uwai Pangoan

merupakan daerah irigasi yang menggunakan sistem irigasi grafitasi dengan sumber air utama berasal dari Sungai Uwai.

Daerah Irigasi Uwai Pangoan tiap tahun mengalami perbaikan dan peningkatan oleh pemerintah daerah. Hal ini bertujuan untuk peningkatan minat petani dalam mengolah sawahnya, agar tercapai cita-cita pemerintah daerah Riau untuk menjadikan Riau sebagai daerah swasembada beras, sehingga tidak perlu lagi menyuplai beras dari Propinsi tetangga Sumatera Barat.

Namun kondisi ini belum diimbangi oleh kesadaran masyarakat dalam meningkatkan pengelolaan sawahnya. Kondisi ini disebabkan oleh sektor lain yang lebih menguntungkan masyarakat, yaitu sektor perkebunan sawit dan karet.

Karena kondisi tersebut penulis mencoba untuk membuat suatu optimasi pola tata tanam, dengan harapan nantinya dapat memberikan gambaran tentang pengelolaan lahan pertanian dan memberikan keuntungan yang maksimal bagi petani, sehingga petani kembali tertarik dan berusaha untuk meningkatkan usaha pertaniannya. disamping itu penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai acuan dan dasar bagi pemerinatah daerah Kabupaten Kampar dalam upaya meningkatkan kesejahteraan petani yang berada di lokasi Irigasi Uwai Pangoan.

TINJAUAN PUSTAKA

a. Irigasi

Irigasi didefinisikan kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan usaha mendapatkan air untuk sawah, ladang, perkebunan dan lain-lain usaha pertanian (Sudjarwadi, 1979). Usaha tersebut terutama menyangkut pembuatan sarana dan prasarana untuk membagi-bagikan air ke sawah-sawah secara teratur dan membuang air kelebihan yang tidak diperlukan lagi untuk memenuhi tujuan irigasi.

Tujuan irigasi secara langsung adalah membasahi tanah, agar dicapai suatu kondisi tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman dalam hubungannya dengan prosentase kandungan air dan udara di antara butir-butir tanah. Pemberian air juga mempunyai tujuan sebagai pengangkut bahan-bahan pupuk untuk perbaikan tanah. Secara tidak langsung pemberian air dapat menunjang usaha pertanian melalui beberapa cara antara lain:

- Mengatur suhu tanah,
- Membersihkan tanah,
- Memberantas hama,
- Mempertinggi permukaan tanah,
- Kolmatasi.

b. Evapotranspirasi

Peristiwa berubahnya air menjadi uap ke udara bergerak dari permukaan tanah, permukaan air dan penguapan melalui tanaman dinamakan evapotranspirasi. Apabila ketersediaan air tidak terbatas maka evapotranspirasi yang terjadi disebut evapotranspirasi potensial (ET_0). Evapotranspirasi sangat mempengaruhi penggunaan konsumtif untuk tanaman dan debit sungai. Adapun faktor-faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya

evapotranspirasi adalah radiasi matahari, angin, kelembaban relatif, dan suhu.

Sejumlah rumus empiris digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial yang didasarkan pada data klimatologi. Penggunaan rumus-rumus tersebut perlu disesuaikan dengan kondisi daerah yang ditinjau. Untuk perencanaan tata pola tanam di daerah Irigasi Uwai Pangoan penulis menggunakan metode Panman-Modifikasi yang diuraikan sebagai berikut:

$$Eto = C(W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(U) \cdot (e_a - e_d))$$

Keterangan :

e_a = Tekanan uap jenuh (mbar)

e_d = Tekanan uap nyata (mbar)

RH = Kelembaban udara relatif (%)

$f(U)$ = Fungsi angin (m/s), dimana:

U = Kecepatan angin (m/s)

R_n = $R_{ns} - R_{nl}$

R_{ns} = Radiasi gelombang pendek netto

R_{nl} = Radiasi gelombang panjang netto

C = Koefisien bulanan

c. Uji Konsistensi Data

Sebelum data hidrologi tersebut digunakan, harus dilakukan pengujian terhadap konsistensinya. Konsistensi dari pencatatan hujan diperiksa dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{D_y}$$

$$S_0^* = 0 : Sk^* = \sum_{i=1}^k Y_i - Y$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i - Y}{n-1} = \max_{0 \leq k \leq n} Sk^{**}$$

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} Sk^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} Sk^{**}$$

dengan :

Sk^* = penyimpangan kumulatif pada data k. ($k = 0, 1, 2, \dots, n$)

N = jumlah panjang data

Sk^{**} = perbandingan antara penyimpangan kumulatif dengan standar deviasi dari nilai rata-rata (*mean*)

D_y = standar deviasi dari nilai rata-rata (*mean*)

Q & R = nilai kritik sebagai alat penguji kepengangahan data

d. Curah Hujan Andalan

Curah hujan andalan adalah curah hujan rerata daerah minimum untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan dan dapat dipakai untuk keperluan irigasi. Curah hujan andalan digunakan untuk menentukan curah hujan efektif yang merupakan curah hujan yang digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan. Curah hujan andalan untuk tanaman padi ditetapkan sebesar 80%, sedangkan untuk tanaman palawija sebesar 50%. Curah hujan andalan ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1$$

$$R_{50} = \frac{n}{2} + 1$$

dengan :

R_{80} = curah hujan yang terjadi dengan tingkat keandalan 80% (mm)

R_{50} = curah hujan yang terjadi dengan tingkat keandalan 50% (mm)

n = jumlah tahun pengamatan

e. Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang digunakan tanaman untuk pertumbuhan. Apabila curah hujan yang turun intensitasnya rendah, maka jumlah air tersedia tidak mencukupi untuk pertumbuhan tanaman. Untuk tanaman padi nilai curah hujan efektifnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Re = 70\% \times R_{80}$$

Sedangkan untuk tanaman palawija, nilai curah hujan efektifnya dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = R_{50}$$

dengan:

Re = curah hujan efektif (mm)

f. Debit Andalan

Menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986), debit andalan adalah debit

minimum sungai dengan besaran tertentu yang mempunyai kemungkinan terpenuhi yang dapat digunakan untuk keperluan irigasi. Debit aliran sungai harus diketahui sebelum menentukan debit andalan sungai. Untuk mengetahui debit aliran sungai yang tidak diketahui datanya maka dilakukan perhitungan dengan metode tertentu.

➤ Debit Sungai Hujan-Aliran Metode FJ.Mock

Metode ini ditemukan oleh Dr. F.J. Mock pada tahun 1973 dimana metode ini didasarkan atas fenomena alam di beberapa tempat di Indonesia. Dengan metode ini, besarnya aliran dari data curah hujan, karakteristik hidrologi daerah pengaliran dan evapotranspirasi dapat dihitung. Pada dasarnya metode ini adalah hujan yang jatuh pada *catchment area* sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian lagi akan masuk kedalam tanah (infiltrasi), dimana infiltrasi pertama-tama akan menjenuhkan *top soil*, kemudian menjadi perkolasi membentuk air bawah tanah (*ground water*) yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai aliran dasar (*base flow*).

➤ Debit Andalan Metode Weibull

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam perencanaan proyek-proyek penyediaan air terlebih dahulu harus dicari debit andalan (*dependable discharge*), yang tujuannya adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai (Soemarto, 1987).

Debit tersebut digunakan sebagai patokan ketersediaan debit yang masuk ke waduk pada saat pengoperasiannya. Untuk menghitung debit andalan tersebut, dihitung peluang 80 % dari debit *inflow* sumber air pada pencatatan debit pada periode tertentu.

Dalam menentukan besarnya debit andalan dengan peluang 80 % digunakan probabilitas Metode *Weibull*, dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

dengan :

P = peluang (%),

m = nomor urut data,

n = jumlah data.

g. Analisa Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi dipengaruhi berbagai faktor seperti klimatologi, kondisi tanah, koefisien tanaman, pola tanam, pasokan air yang diberikan, luas daerah irigasi, efisiensi irigasi, penggunaan kembali air drainase untuk irigasi, sistem golongan, dan jadwal tanam. Menurut Triatmodjo (2008), kebutuhan air irigasi dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$KAI = \frac{(Etc + IR + WLR + P - Re)}{EI} \times A$$

dengan :

KAI = kebutuhan air irigasi, m³/dtk,

Etc = penggunaan konsumtif, mm/hari

IR = kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan untuk penyiapan lahan, mm/hari

WLR = kebutuhan air untuk mengganti lapisan air, mm/hari,

P = perkolasi, mm/hari,

Re = curah hujan efektif, mm/hari,

A = luas lahan irigasi, Ha,

EI = efisiensi irigasi, %.

Hal yang mempengaruhi tingkat kebutuhan air irigasi selain itu adalah penggunaan konsumtif, perkolasi, kebutuhan air untuk penyiapan lahan, kebutuhan air di sawah dan kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (WLR).

h. Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah angka perbandingan antara jumlah air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan dengan jumlah air yang dimanfaatkan. Efisiensi irigasi terdiri atas efisiensi pengaliran yang pada umumnya terjadi di jaringan utama dan efisiensi di jaringan sekunder yaitu dari bangunan pembagi sampai petak sawah.

Mengacu pada Direktorat Jenderal Pengairan (1986) maka efisiensi irigasi diambil 90% dan tingkat tersier 80%. Angka efisiensi irigasi keseluruhan tersebut dihitung dengan cara mengkonversi efisiensi

di masing-masing tingkat yaitu $0,9 \times 0,9 \times 0,8 = 0,648 \approx 65\%$. Guna menghitung kebutuhan air pada bangunan pengambilan digunakan persamaan di bawah ini.

$$DR = \frac{NFR}{Ef.Primer \times Ef.Sekunder \times Ef.Tersier}$$

dengan :

DR = kebutuhan air di intake (bangunan pengambilan), m³/detik,

Ef = Efisiensi saluran primer, sekunder, dan tersier.

i. Optimasi Menggunakan Program Linier

Model optimasi adalah penyusunan model suatu sistem yang sesuai dengan keadaan nyata, yang nantinya dapat diubah ke dalam model matematis dengan pemisahan elemen-elemen pokok agar suatu penyelesaian sesuai dengan sasaran atau tujuan pengambilan keputusan tercapai (Montarcih, 2008).

Optimasi linier berkaitan dengan penentuan nilai-nilai ekstrim dari sebuah fungsi linier, yang mempunyai ruang definisi ditentukan oleh satu sistem persamaan linier (Widodo, 1989).

Pada dasarnya program linier memiliki tiga unsur penting (Montarcih, 2008), yaitu:

1. Variabel Putusan

Variabel putusan merupakan variabel yang akan dicari dan memberi nilai yang paling baik bagi tujuan yang hendak dicapai.

2. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah fungsi matematika yang harus dimaksimumkan atau diminimumkan, dan mencerminkan tujuan yang hendak dicapai.

3. Fungsi Kendala

Fungsi kendala adalah fungsi matematika yang menjadi kendala bagi usaha untuk untuk memaksimumkan atau meminimumkan fungsi tujuan, mewakili kendala yang harus dicapai.

Bentuk matematika untuk pemecahan masalah dengan program linier adalah sebagai berikut :

Fungsi tujuan = maksimisasi

$$Z_{\max} = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Fungsi kendala :

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

gativity :

dengan :

$$X_n = \text{variabel},$$

a_{mn} = jumlah sumber daya m yang dikonsumsi oleh setiap unit kegiatan n ,

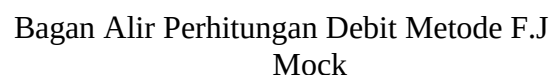
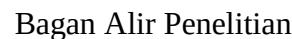
m = jumlah sumber daya yang terbatas,

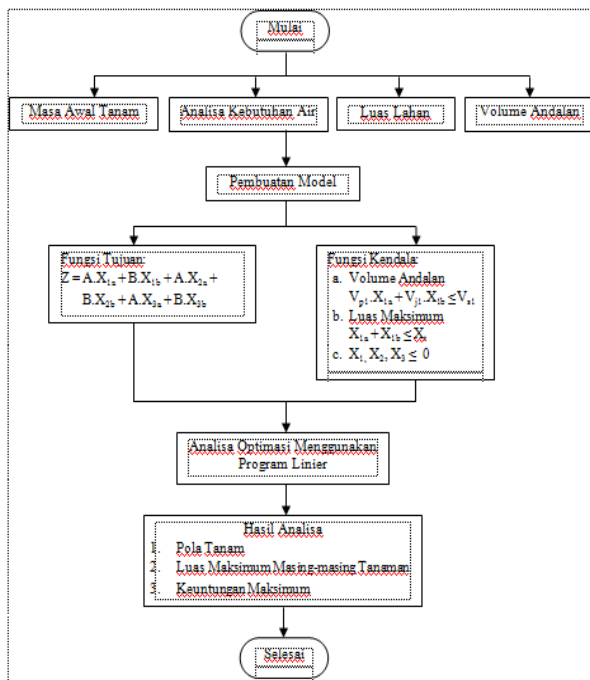
sumber daya yang terbatas.

Lokasi Penelitian Studi kasus untuk penelitian ini berlokasi di DI Uwai Pangoan yang meliputi Desa Uwai, Desa Pangoan kecamatan Bangkinang Seberang dan Desa Sipungguk Kecamatan Salo, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Secara geografis DI Uwai Pangoan terletak pada : 0° 15' LU, 0° 5' BS, 103° 48' BB, 10° 10' BT .



adalah seperti yang digambarkan dalam bagan alir di bawah ini.





Bagan Alir Optimasi Program Linier

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Evapotranspirasi

Analisis evapotranspirasi potensial (ET_0) diperlukan dalam perhitungan ketersediaan air (Q_{80}) dan kebutuhan air (Q_{IR}). Berdasarkan data klimatologi dari stasiun hujan Rambah Utama yang telah dianalisis di atas, maka dapat dihitung besarnya evapotranspirasi Potensial (ET_0). Adapun tahap perhitungan Evapotranspirasi potensial (ET_0) menggunakan metode Penman-Modifikasi adalah berikut ini.

Tabel 1. Evapotranspirasi (ET_0)

No	Uraian	Simbol	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
1	Eto	Eto	mm/hari	4,13	4,61	4,67	4,52	4,62	4,44
2	Eto rata-rata pertengahan bulan	Eto	mm/15 hari	61,38	69,19	70,08	67,79	69,31	66,58
3	Evapotranspirasi rata-rata perbulan	Eto	mm/bulan	123,75	138,39	140,16	135,58	138,62	133,16
No	Uraian	Simbol	Satuan	Juli	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
1	Eto	Eto	mm/hari	4,41	4,77	4,58	4,68	4,39	4,26
2	Eto rata-rata pertengahan bulan	Eto	mm/15 hari	66,19	71,56	68,63	70,23	65,88	63,85
3	Evapotranspirasi rata-rata perbulan	Eto	mm/bulan	132,38	143,13	137,27	140,46	131,75	127,70

(Sumber: Perhitungan)

b. Uji Konsistensi Data

Tabel 2. Pengujian RAPS untuk St. Pasar Kampar

k	Tahun	Y_i	$Y_i - Y_{rata}$	Sk^*	$(Y_i - Y_{rata})^2$	Sk^{**}	$ Sk^{**} $
1	2000	2221,20	-449,08	0,00	201675,84	0,00	0,00
2	2001	2481,50	-188,78	0,00	35639,15	0,00	0,00
3	2002	2089,50	-580,78	0,00	337309,28	0,00	0,00
4	2003	3087,50	417,22	417,22	174069,75	1,22	1,22
5	2004	2591,90	-78,38	0,00	6143,95	0,00	0,00
6	2005	2613,00	-57,28	0,00	3281,38	0,00	0,00
7	2006	2667,50	-2,78	0,00	7,75	0,00	0,00
8	2007	3085,50	415,22	415,22	172404,88	1,22	1,22
9	2008	2401,00	-269,28	0,00	72513,51	0,00	0,00
10	2009	3111,00	440,72	440,72	194231,18	1,29	1,29
11	2010	2941,30	271,02	271,02	73450,03	0,80	0,80
12	2011	2752,50	82,22	82,22	6759,58	0,24	0,24
Jumlah	32043,400			1626,383		4,772447	4,772447
Y rata	2670,283						
S. Deviasi	340,786						
Maks						1,29	
Min						0,00	
R	1,290						
Q	1,293						

(Sumber: Perhitungan)

c. Perhitungan Curah Hujan Andalan

Tabel 3. Curah Hujan Andalan Januari I

No	Data Hujan		Rangking Data	Keterangan
	Tahun	Curah Hujan Rata-rata	Curah Hujan Rata	
1	2000	23,227	9,857	
2	2001	20,400	13,000	
3	2002	19,167	13,750	13,750
4	2003	20,625	19,125	
5	2004	22,083	19,167	
6	2005	28,222	20,400	
7	2006	19,125	20,625	20,625
8	2007	13,000	22,083	
9	2008	29,000	22,714	
10	2009	9,857	23,227	
11	2010	22,714	28,222	
12	2011	13,750	29,000	

(Sumber: Perhitungan)

Langkah pertama adalah mengurutkan curah hujan rata-rata mulai dari nilai terbesar hingga yang terkecil. Kemudian curah hujan andalan ditentukan menggunakan persamaan

$R_{80} = \frac{12}{5} + 1 = 3$, maka diperoleh nilai curah hujan dengan keandalan 80% adalah 13,75 mm, dan $R_{50} = \frac{12}{2} + 1 = 7$, maka diperoleh nilai curah hujan dengan keandalan 50% adalah 20,63 mm. *Perhitungan Curah Hujan Efektif Padi dan Palawija*

Tabel 4. Curah Hujan Efektif

Bulan	Periode	Jumlah hari	Curah Hujan Efektif (Re)				
			R ₈₀	R ₅₀	Padi		Palawija
			mm	mm	mm	mm/hari	mm/hari
Januari	I	15	13,75	20,63	9,63	0,64	1,38
	II	16	13,36	18,31	9,35	0,58	1,14
Februari	I	15	8,80	13,63	6,16	0,41	0,91
	II	13	8,86	15,67	6,20	0,48	1,21
Maret	I	15	13,00	18,00	9,10	0,61	1,20
	II	16	11,67	18,25	8,17	0,51	1,14
April	I	15	11,20	20,68	7,84	0,52	1,38
	II	15	14,83	18,00	10,38	0,69	1,20
Mei	I	15	10,00	12,25	7,00	0,47	0,82
	II	16	1,50	12,13	1,05	0,07	0,76
Juni	I	15	11,50	15,50	8,05	0,54	1,03
	II	15	6,00	15,26	4,20	0,28	1,02
Juli	I	15	3,33	13,17	2,33	0,16	0,88
	II	16	12,25	14,13	8,58	0,54	0,88
Agustus	I	15	8,33	20,00	5,83	0,39	1,33
	II	16	6,00	16,43	4,20	0,26	1,03
September	I	15	7,00	15,20	4,90	0,33	1,01
	II	15	9,72	23,50	6,81	0,45	1,57
Oktober	I	15	12,75	18,56	8,93	0,60	1,24
	II	16	12,30	16,44	8,61	0,54	1,03
November	I	15	9,44	14,75	6,61	0,44	0,98
	II	15	10,13	16,72	7,09	0,47	1,17
Desember	I	15	7,40	17,60	5,18	0,35	1,17
	II	16	16,50	19,44	11,55	0,72	1,27

(Sumber: Perhitungan)

d. Analisa Debit Andalan

Debit andalan Sungai Uwai dianalisis untuk mengetahui kemampuan Sungai Uwai dalam menyediakan air untuk kebutuhan air di DI Uwai Pangoan. Debit andalan dan ketersediaan air Sungai Uwai pada DI Uwai Pangoan dihitung menggunakan metode F.J. Mock untuk tiap tahunnya selama 12 tahun mulai dari tahun 2000 hingga 2011.

➤ Analisis Debit Aliran Menggunakan Metode F.J. Mock

Tahap pertama adalah melakukan kalibrasi antara debit hasil hitungan dan debit terukur di lapangan untuk memperkirakan nilai parameter DAS. Namun disebabkan data debit terukur untuk debit Sungai Uwai yang tidak tersedia, maka karakteristik DAS di lapangan menggunakan karakteristik DAS yang keadaanya hampir sama dengan karakteristik DAS di lapangan yaitu DAS Kampar tahun 2010 yang diperoleh dari penelitian Arini Priastuti (Optimasi Pola Tanam Daerah Irigasi Muara Jalai Kabupaten Kampar Menggunakan Program Linier, 2012). Hal ini dilakukan mengingat kedua sungai memiliki karakteristik das yang hampir sama, sehingga parameter DAS yang akan dikalibrasikan diasumsikan sama.

Tabel 5. Perhitungan Pengalihragaman Hujan menjadi Debit dengan Metode Mock

Parameter DAS	Bulan Ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
N (hari)	31,00	29,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00
P (mm)	299,00	102,00	487,70	215,80	109,00	179,00	101,50	109,30	78,70	137,00	186,30	227,90
PET (mm)	123,75	138,39	140,16	135,58	136,62	133,16	132,38	143,13	137,27	140,46	131,75	127,70
CF	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,90	1,00
AET (mm)	136,13	152,23	154,18	149,14	152,48	119,84	119,14	114,50	109,81	112,36	118,58	127,70
ER (mm)	156,87	-50,23	333,52	66,66	-49,48	59,16	-17,64	-5,20	-31,11	24,64	67,72	100,20
SM (mm)	296,87	206,85	540,17	600,00	550,52	600,00	582,36	577,16	546,05	570,69	600,00	600,00
WS (mm)	-345,13	0,00	0,00	6,83	0,00	9,67	0,00	0,00	0,00	0,00	38,41	100,20
I (mm)	-226,46	0,00	0,00	6,83	0,00	9,67	0,00	0,00	0,00	0,00	25,35	66,13
GWS (mm)	699,77	448,64	305,08	213,19	144,97	106,71	72,56	49,34	33,55	22,82	36,81	60,58
BF (mm)	363,77	211,13	143,57	98,72	68,22	47,94	34,15	23,22	15,79	10,74	11,36	22,86
ORD (mm)	-116,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,06	34,07
TRO (mm)	247,10	211,13	143,57	98,72	68,22	47,94	34,15	23,22	15,79	10,74	24,42	56,43
Q _{ual} (m ³ /det)	3,14	2,86	1,82	1,29	0,87	0,63	0,43	0,29	0,21	0,32	0,42	0,72

(Sumber : Perhitungan)

➤ Analisis Debit Andalan Metode Weibull

Analisis debit andalan Sungai Uwai dihitung menggunakan data debit yang diperoleh melalui perhitungan debit Metode FJ Mock, dengan panjang data 12 tahun mulai dari tahun 2000 hingga tahun 2011. Untuk menentukan besarnya debit andalan dengan peluang 80 % digunakan probabilitas Metode

Weibull. Adapun debit rata-rata tiap bulan Sungai Uwai dapat dilihat pada tabel berikut. Tabel 6. Debit Rata-rata Bulanan Sungai Uwai Menggunakan Metode FJ Mock

No.	Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	Rata2
		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
1	2000	3,14	2,86	1,82	1,29	0,87	0,63	0,43	0,29	0,21	0,14	0,32	0,72	1,06
2	2001	2,89	2,86	1,75	1,23	0,81	0,57	0,38	0,26	0,18	0,50	1,44	1,37	1,19
3	2002	3,01	2,91	1,79	1,26	0,83	0,58	0,38	0,26	0,18	0,12	0,08	0,19	0,97
4	2003	3,13	2,96	1,82	1,79	1,68	1,26	0,91	0,69	1,03	1,44	2,54	2,01	1,77
5	2004	3,06	2,83	1,80	1,27	0,83	0,59	0,39	0,26	0,18	0,49	1,80	1,80	1,27
6	2005	2,93	2,88	1,77	1,24	0,82	0,57	0,38	0,26	0,18	0,44	2,01	1,82	1,28
7	2006	3,18	2,99	1,84	1,29	0,85	0,60	0,39	0,27	0,28	0,39	1,65	2,36	1,34
8	2007	2,94	2,88	1,77	1,24	0,83	0,87	0,87	0,91	1,50	2,04	2,55	2,12	1,71
9	2008	3,52	3,03	1,93	1,35	0,89	0,63	0,41	0,28	0,21	0,39	1,44	1,00	1,26
10	2009	2,27	2,59	1,59	1,16	0,83	0,61	0,48	0,43	0,33	0,49	2,02	4,27	1,42
11	2010	3,96	3,33	2,19	1,62	1,18	0,97	1,18	1,32	1,73	1,68	1,78	1,45	1,86
12	2011	3,70	3,22	1,98	1,39	0,92	0,66	0,43	0,30	0,32	0,84	2,07	2,29	1,51
Q Rerata		m ³ /dt	3,14	2,94	1,84	1,34	0,95	0,71	0,55	0,46	0,53	0,75	1,64	1,39

(Sumber : Perhitungan)

Selanjutnya debit rata-rata bulanan Sungai Uwai tersebut dihitung probabilitasnya menggunakan probabilitas Weibull untuk mendapatkan debit andalan (Q₈₀). Adapun perhitungan debit andalan menggunakan probabilitas Weibull disajikan pada tabel berikut.

Tabel 7. Perhitungan probabilitas Weibull debit Sungai Uwai

No.	Prob.	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1	7,7%	3,96	3,33	2,19	1,79	1,68	1,26	1,09	1,32	1,73	2,04	2,55	4,27
2	15,4%	3,70	3,22	1,98	1,62	1,18	0,97	0,91	0,91	1,50	1,68	2,54	2,36
3	23,1%	3,52	3,03	1,93	1,39	0,92	0,87	0,87	0,69	1,03	1,44	2,07	2,29
4	30,8%	3,18	2,99	1,84	1,35	0,89	0,66	0,48	0,43	0,33	0,84	2,02	2,12
5	38,5%	3,14	2,96	1,82	1,29	0,87	0,63	0,43	0,30	0,32	0,50	2,01	2,01
6	46,2%	3,13	2,91	1,82	1,29	0,85	0,63	0,43	0,29	0,28	0,49	1,80	1,82
7	53,8%	3,06	2,88	1,80	1,27	0,83	0,61	0,41	0,28	0,21	0,49	1,78	1,80
8	61,5%	3,01	2,88	1,79	1,26	0,83	0,60	0,39	0,27	0,21	0,44	1,65	1,45
9	69,2%	2,94	2,86	1,77	1,24	0,83	0,59	0,39	0,26	0,18	0,39	1,44	1,37
10	76,9%	2,93	2,86	1,77	1,24	0,83	0,58	0,38	0,26	0,18	0,39	1,44	1,00
11	84,6%	2,89	2,83	1,75	1,23	0,82	0,57	0,38	0,26	0,18	0,14	0,32	0,72
12	92,3%	2,27	2,59	1,59	1,16	0,81	0,57	0,38	0,26	0,18	0,12	0,08	0,19
Q _{rata2}		3,14	2,94	1,84	1,34	0,95	0,71	0,55	0,46	0,53	0,75	1,64	1,39
Q (m ³ /dt) 80%		2,93	2,86	1,77	1,24	0,83	0,58	0,38	0,26	0,18	0,39	1,44	1,00
Q (m ³ /dt) 50%		3,13	2,91	1,82	1,29	0,85	0,63	0,43	0,29	0,28	0,49	1,80	1,82

(Sumber : Perhitungan)

➤ Hasil Analisis Ketersediaan Air Sungai Uwai

Analisis debit andalan di Sungai Uwai diperoleh dengan menggunakan model transformasi hujan menjadi aliran yaitu metode F.J Mock. Data hujan selama 12 tahun mulai dari tahun 2000 hingga 2011 dan parameter DAS hasil kalibrasi dijadikan data untuk menghitung debit aliran Sungai Uwai.

Selanjutnya untuk mengetahui besarnya debit yang tersedia di bendung, ditentukan debit andalan yaitu debit yang memiliki probabilitas 80%. Debit dengan probabilitas 80% adalah debit yang memiliki kemungkinan terjadi di bendung sebesar 80%

dari 100% kejadian. Metode yang digunakan untuk memperoleh debit dengan tingkat probabilitas 80% adalah menggunakan probabilitas Weibull.

Tabel 8. Debit Andalan Sungai Uwai

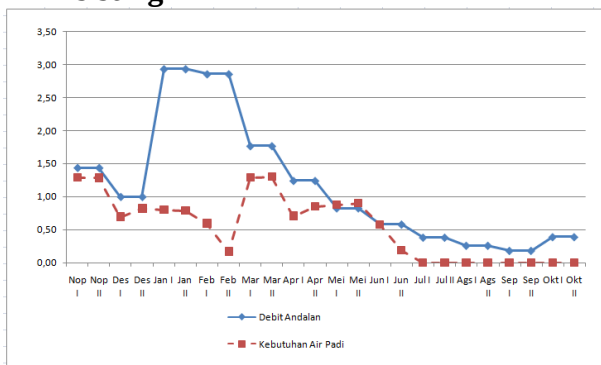
No	Bulan		$Q_{80}\% (m^3/det)$	Volume Andalan (m^3)
1	Januari	I	2,93	3.801.329,13
		II	2,93	3.801.329,13
2	Februari	I	2,86	3.701.724,59
		II	2,86	3.701.724,59
3	Maret	I	1,77	2.290.445,15
		II	1,77	2.290.445,15
4	April	I	1,24	1.609.419,46
		II	1,24	1.609.419,46
5	Mei	I	0,83	1.071.032,15
		II	0,83	1.071.032,15
6	Juni	I	0,58	752.578,59
		II	0,58	752.578,59
7	Juli	I	0,38	495.245,26
		II	0,38	495.245,26
8	Agustus	I	0,26	336.766,78
		II	0,26	336.766,78
9	September	I	0,18	236.634,79
		II	0,18	236.634,79
10	Oktober	I	0,39	505.962,50
		II	0,39	505.962,50
11	November	I	1,44	1.863.712,65
		II	1,44	1.863.712,65
12	Desember	I	1,00	1.294.993,29
		II	1,00	1.294.993,29

(Sumber : Perhitungan)

e. Evaluasi Keseimbangan Air Irigasi

Keseimbangan air merupakan perbandingan antara kondisi ketersediaan air dengan kebutuhan air. Hasil analisis perbandingan antara ketersediaan air dan kebutuhan air pada DI Uwai Pangoan pada kondisi eksisting .

1. Evaluasi Keseimbangan Air Kondisi Eksisting

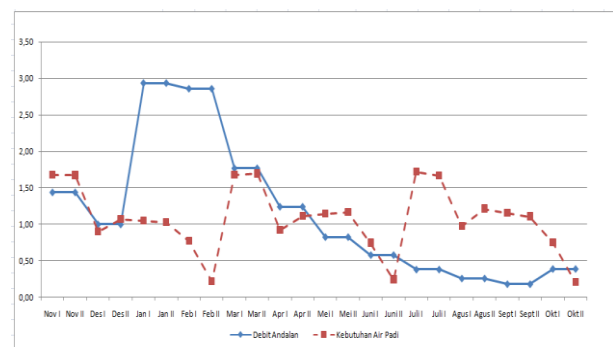


Gambar 1. Keseimbangan Air Kondisi Eksisting dengan pola tanam Padi – Padi – Bera (A = 615 Ha, IP = 200%)

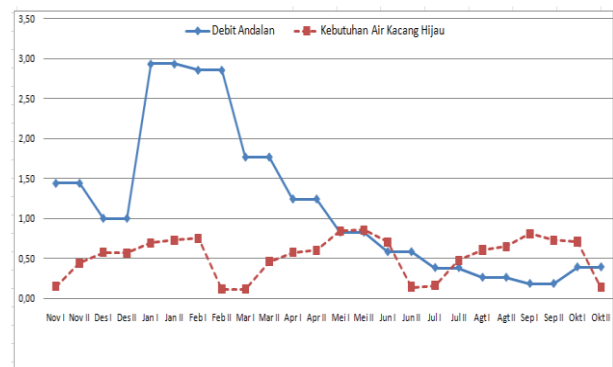
Berdasarkan analisis di atas terlihat terjadinya surplus pada ketersediaan air di Uwai Pangoan. Hal ini terjadi karena pengolahan lahan pertanian hanya dilakukan petani dua kali dalam setahun dengan pola tata tanam Padi-Padi-Bera dengan luas lahan pemanfaatan sebesar 615 ha dari luas potensial 800 ha.

2. Evaluasi Keseimbangan Air Kondisi Rencana

Hasil analisis perbandingan antara ketersediaan air dan kebutuhan air pada DI Uwai Pangoan pada kondisi rencana untuk tanaman padi dan kacang hijau dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Keseimbangan Air Kondisi Rencana Padi dengan pola tanam Padi – Padi – Padi (A = 800 Ha, IP = 300%)



Gambar 3. Keseimbangan Air Kondisi Rencana Palawija dengan pola tanam Palawija – Palawija – Palawija (A = 800 Ha, IP = 300%)

Gambar 2 dan 3 di atas adalah grafik keseimbangan air irigasi apabila dimanfaatkan

seluruh lahan potensial yaitu 800 Ha dengan merencanakan penanaman komoditas padi dan kacang hijau pada setiap musim tanam menggunakan sistem pemberian air secara serempak. Dari Gambar 2 dan 3 dapat dilihat terjadi defisit air terutama pada periode-periode awal penanaman dan penyiapan lahan. Untuk hasil analisis pada waktu awal tanam.

Awal masa tanam dilakukan pada musim peng hujan yaitu pada bulan Nopember. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk mengoptimalkan sistem pemberian air irigasi dengan memanfaatkan seluruh lahan potensial serta pengaturan pola tanam yang optimal.

f. Pemodelan Optimasi Program Linier

Dalam penelitian tugas akhir ini, penggunaan model optimasi merupakan salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan dalam pengelolaan dan pemanfaatan air. Disamping itu juga ditujukan pada pengembangan daerah studi, agar daerah tersebut bisa menghasilkan keuntungan hasil produksi yang maksimum.

Pada pengembangan di DI Uwai Pangoan ini diharapkan mampu mengatasi masalah tidak optimalnya pemanfaatan lahan pada daerah tersebut. Untuk itu diperlukan cara untuk menentukan metode pengembangan, yang dalam hal ini ialah dengan menentukan luasan lahan tiap masing-masing jenis tanaman yang ada di daerah tersebut. Hal ini juga didasarkan pada ketersediaan air irigasi di lokasi yang bersumber pada Bendung Uwai. Selanjutnya akan digunakan analisa optimasi yang bertujuan untuk pembagian luasan tersebut di atas benar-benar optimal dan mendapatkan hasil produksi yang maksimal.

Untuk memperoleh hasil yang optimal tersebut, dapat diselesaikan dengan pendekatan optimasi. Optimasi merupakan suatu cara untuk membuat nilai suatu fungsi agar beberapa variabel yang ada menjadi maksimum atau minimum dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada.

Untuk mendapatkan hasil yang mendekati kondisi wilayah studi, maka analisa dilakukan dengan mengacu pada persyaratan yang sesuai dengan kondisi di lapangan sebagai berikut ini :

1. Luas lahan total DI Uwai Pangoan adalah 800 ha.
2. Hasil usaha tani pada wilayah penelitian tugas akhir disajikan pada tabel berikut :

Tabel 9. Keuntungan usaha tani Kabupaten Kampar

No	Jenis Komoditi	Keuntungan
1	Padi	Rp 2.775.000,00
2	Kacang Hijau	Rp 2.000.000,00

(Sumber : Dinas Pertanian Kab. Kampar)

3. Untuk ketersediaan air yang akan digunakan untuk mengoptimasi luas lahan ialah dengan menjumlahkan volume andalan sungai sesuai dengan musim tanam sebagai berikut :

Tabel 10. Volume Andalan Desember I

Musim Tanam	Bulan		Debit Andalan (m ³ /det)	Volume (m ³)	Volume Andalan (m ³)
MT I	Desember	I	1,00	1.294.993,29	22.176.984,32
		II	1,00	1.294.993,29	
	Januari	I	2,93	3.801.329,13	
		II	2,93	3.801.329,13	
	Februari	I	2,86	3.701.724,59	
		II	2,86	3.701.724,59	
	Maret	I	1,77	2.290.445,15	
		II	1,77	2.290.445,15	
MT II	April	I	1,24	1.609.419,46	7.856.550,91
		II	1,24	1.609.419,46	
	Mei	I	0,83	1.071.032,15	
		II	0,83	1.071.032,15	
	Juni	I	0,58	752.578,59	
		II	0,58	752.578,59	
MT III	Juli	I	0,38	495.245,26	5.886.153,44
		II	0,38	495.245,26	
	Agustus	I	0,26	336.766,78	
		II	0,26	336.766,78	
	September	I	0,18	236.634,79	
		II	0,18	236.634,79	
	Oktober	I	0,39	505.962,50	
		II	0,39	505.962,50	
	November	I	1,44	1.863.712,65	
		II	1,44	1.863.712,65	

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 11. Kebutuhan Air Tiap Musim

Awal Tanam	Musim	Kebutuhan Air Tiap Musim	
		Padi (m ³ /ha)	Kacang Hijau (m ³ /ha)
Nopember I	MT I	13.578,86	6.477,46
	MT II	14.109,87	6.931,82
	MT III	14.255,45	6.920,92
Nopember II	MT I	13.628,78	6.504,50
	MT II	14.172,35	6.963,00
	MT III	14.223,72	6.929,24
Desember I	MT I	13.667,48	6.603,44
	MT II	14.120,46	6.991,52
	MT III	14.240,68	6.806,77
Desember II	MT I	13.743,03	6.639,27
	MT II	14.116,51	6.976,00
	MT III	14.240,68	6.770,91
Januari I	MT I	13.889,42	6.709,53
	MT II	14.218,79	7.052,72
	MT III	13.982,58	6.649,12
Januari II	MT I	13.935,62	6.868,82
	MT II	14.297,90	7.066,58
	MT III	13.823,96	6.495,76
Februari I	MT I	14.030,41	6.953,24
	MT II	14.237,73	6.919,62
	MT III	13.690,17	6.483,68
Februari II	MT I	14.105,15	6.928,77
	MT II	14.263,91	6.885,43
	MT III	13.621,95	6.471,56

(Sumber : Perhitungan)

Adapun model matematis untuk analisa optimasi penelitian tugas akhir ini terdiri dari :

1. Fungsi Tujuan, merupakan suatu rumusan dari tujuan pokok, yaitu hubungan antara peubah-peubah yang akan dioptimalkan. Dalam optimasi ini, yaitu :

- Memaksimalkan : nilai keuntungan dan luas lahan
- Meminimalkan : kebutuhan air

Model yang digunakan sebagai berikut :

$$Z = A.X_{1a} + B.X_{1b} + A.X_{2a} + B.X_{2b} + A.X_{3a} + B.X_{3b}$$

dengan :

A = Pendapatan produksi padi (Rp/Ha)

B = Pendapatan produksi palawija (Rp/Ha)

X_{1a} = Luasan areal tanam padi musim tanam I (Ha)

X_{1b} = Luasan areal tanam palawija musim tanam I (Ha)

X_{2a} = Luasan areal tanam padi musim tanam II (Ha)

X_{2b} = Luasan areal tanam palawija musim tanam II (Ha)

X_{3a} = Luasan areal tanam padi musim tanam III (Ha)

X_{3b} = Luasan areal tanam palawija musim tanam III (Ha)

2. Fungsi Kendala, merupakan persamaan yang membatasi kegunaan utama, yaitu : kapasitas intake bendung dan luas Daerah Irigasi.

Fungsi batasan yang digunakan sebagai berikut :

- a. Luas Maksimum :

$$X_{1a} + X_{1b} \leq X_t$$

$$X_{2a} + X_{2b} \leq X_t$$

$$X_{3a} + X_{3b} \leq X_t$$

dengan :

$$X_t = \text{Luas total Daerah Irigasi}$$

- b. Volume Andalan Sungai :

$$V_{p1}.X_{1a} + V_{j1}.X_{1b} \leq V_{s1}$$

$$V_{p2}.X_{2a} + V_{j2}.X_{2b} \leq V_{s2}$$

$$V_{p3}.X_{3a} + V_{j3}.X_{3b} \leq V_{s3}$$

dengan :

V_{pi} = Kebutuhan air padi tiap musim

V_{ji} = Kebutuhan air palawija tiap musim

V_{s1} = Volume andalan sungai pada musim tanam I

V_{s2} = Volume andalan sungai pada musim tanam II

V_{s3} = Volume andalan sungai pada musim tanam III

Berikut adalah perhitungan optimasi menggunakan program linier untuk jadwal awal tanam Desember I.

- a) Memaksimalkan fungsi tujuan :

$$Z = 2.775.000 X_{1a} + 2.000.000 X_{1b} + 2.775.000 X_{2a} + 2.000.000 X_{2b} + 2.775.000 X_{3a} + 2.000.000 X_{3b}$$

- b) Fungsi kendala :

- $X_{1a} + X_{1b} \leq 800$
- $X_{2a} + X_{2b} \leq 800$
- $X_{3a} + X_{3b} \leq 800$
- $13.578,86.X_{1a} + 6.477,46.X_{1b} \leq 22.176.984,32$
- $14.109,87.X_{2a} + 6.931,82.X_{2b} \leq 7.856.550,91$
- $14.255,45.X_{3a} + 6.920,92.X_{3b} \leq 5.886.153,44$

Selanjutnya persamaan-persamaan tersebut dimasukkan sebagai input pada program bantu *QM for Windows 2*, program bantu ini digunakan untuk membantu menyelesaikan Program Linier. Adapun output dari program bantu *QM for Windows 2* dapat dilihat pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Hasil Model Optimasi Awal Tanam Desember I dengan Program Bantu QM for Windows 2

Linear Programming Results									
optimasi pola tanam solution									
	X1a	X1b	X2a	X2b	X3a	X3b		RHS	Dual
Maximize	2.775.000	2.000.000	2.775.000	2.000.000	2.775.000	2.000.000			
luas lahan 1	1	1	0	0	0	0	<=	800	2.775.000
luas lahan 2	0	0	1	1	0	0	<=	800	1.239.939,0
luas lahan 3	0	0	0	0	1	1	<=	800	1.290.361,0
volume andalan 1	13.967,48	6.603,44	0	0	0	0	<=	22.491,410	0
volume andalan 2	0	0	14.120,46	6.991,52	0	0	<=	7.856,551	106,7118
volume andalan 3	0	0	0	0	14.240,68	6.806,77	<=	5.886,154	104,252
Solution->	800	0	317,4855	482,5145	59,2875	740,7125		5.711.999.000	

(Sumber : Hasil Optimasi QM for Windows 2)

Dari hasil perhitungan program linier menggunakan program bantu QM for Windows 2 di atas, diperoleh hasil optimum sebagai berikut :

1. Pola Tanam : Padi/Kacang Hijau
Padi/Kacang Hijau – Kacang Hijau
2. Luas Lahan :
 - Musim Tanam I : Padi = 800 ha
: Kacang Hijau = 0,0 ha
 - Musim Tanam II : Padi = 317,49 ha
: Kacang Hijau = 482,51
 - Musim Tanam III: Padi = 59,29 ha
: Kacang Hijau = 740,71 ha
3. Keuntungan maksimum : Rp 5.711.999.000

Tabel 13. Hasil Model Optimasi Awal Tanam Eksisting dengan Program Bantu QM for Windows 2

Linear Programming Results									
optimasi pola tanam solution									
	X1a	X1b	X2a	X2b				RHS	Dual
Maximize	2.775.000	2.000.000	2.775.000	2.000.000					
luas lahan 1	1	1	0	0	<=	615		2.775.000	
luas lahan 2	0	0	1	1	<=	615		2.775.000	
volume andalan 1	13.578,68	0	0	0	<=	13.766,750		0	
volume andalan 2	0	0	14.109,87	0	<=	10.835,310		0	
Solution->	615	0	615	0		3.413.250.000			

(Sumber : Hasil Optimasi QM for Windows 2)

Dari hasil perhitungan program linier menggunakan program bantu QM for Windows 2 di atas, diperoleh hasil kondisi eksisting sebagai berikut :

1. Pola Tanam : Padi-Padi-Bera
2. Luas Lahan :
 - Musim Tanam I : Padi = 615 ha
 - Musim Tanam II : Padi = 615ha
 - Musim Tanam III: Padi = 0,00 ha
- Keuntungan maksimum :
Rp 3.413.250.000

KESIMPULAN

Berdasarkan bab hasil pembahasan sebelumnya, maka tugas akhir ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Debit andalan ($Q_{80\%}$) Sungai Uwai diperoleh menggunakan perhitungan debit F.J.Mock, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8.
- 2) Dengan melakukan 8 (delapan) variasi awal tanam (November I – Februari II) diperoleh kebutuhan air yang dapat dilihat pada Tabel 11.
- 3) Dari hasil optimasi diperoleh pola tanam yang paling optimal untuk DI Uwai Pangoan adalah Padi – Kacang Hijau – Padi/Kacang Hijau
- 4) Intensitas tanam yang diperoleh dari hasil optimasi DI Muara Jalai adalah sebesar 300%, meningkat 146,25% dibandingkan dengan kondisi eksisting DI Uwai Pangoan.
- 5) Setelah melakukan optimasi pada 8 alternatif awal tanam (November I – Februari II) diperoleh keuntungan maksimum pertanian selama setahun. Keuntungan terbesar terdapat pada awal tanam Desember I yaitu sebesar Rp 5.711.999.000. Sedangkan pendapatan terendah terdapat pada awal tanam Nopember I sebesar Rp 5.350.058.000 Dari keuntungan maksimum yang didapat, diperoleh keuntungan sebesar Rp 2.298.749.000. dibandingkan dengan kondisi eksisting

SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil perhitungan dan analisa pada pengerjaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

- 1) Jika hasil optimasi ini ingin diterapkan di DI Uwai Pangoan sebaiknya instansi yang terkait mensosialisasikannya terlebih dahulu kepada para petani untuk mendapatkan persetujuan terkait perubahan pola tanam ini.
- 2) Selain perubahan pola tanam, sebaiknya petani bersama instansi terkait memperhatikan dan meningkatkan pengelolaan dan pemeliharaan terhadap bangunan air dan saluran, karena dapat

menghambat dan memperbesar kebutuhan air.

- 3) Kepada mahasiswa lain yang ingin memperdalam lagi studi ini sebaiknya mencoba alternatif pola tanam yang baru menggunakan lebih banyak lagi jenis komoditas tanaman dan mencocokkannya dengan kondisi terbaru di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Pengairan. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi KP-01*. Bandung: C.V. Galang Persada.
- Montarcih, Lily. 2008. *Pengaruh Perubahan Cuaca Terhadap Optimasi Irigasi dengan Program Linier*. Malang: C.V. Citra Malang.
- Sudjarwadi. 1979. *Pengantar Teknik Irigasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Talitha, Juan. 2010. *Studi Optimasi Pola Tanam pada Daerah Irigasi Jatiroto dengan Menggunakan Program Linier*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

