

OPTIMASI AIR WADUK GONDANG DENGAN METODE DINAMIK DETERMINISTIK

Hilma Nuf'a¹, Lily Montarcih L², Widandi Soetopo²

¹ Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang

² Pengajar, Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang
m3e_m@yahoo.co.id

Abstrak: Waduk Gondang mempunyai fungsi utama sebagai penyedia air untuk kebutuhan irigasi selain itu juga untuk pemenuhan kebutuhan air baku yang masyarakatnya sangat bergantung pada keberadaan Waduk Gondang ini terutama pada waktu musim kemarau. Waduk Gondang mempunyai kapasitas tampungan efektif $23,7 \times 10^6 \text{ m}^3$. Tesis ini hanya menganalisis fungsi irigasi saja. Melalui tesis diharapkan dapat memperbaiki pola operasi waduk sehingga dapat meningkatkan intensitas irigasi dan keuntungan irigasi yang optimal. Daerah irigasi Gondang mempunyai 3 (tiga) musim tanam dengan 5 (lima) pola tata tanam antara lain Padi - Padi - Padi & Palawija, Padi - Padi & Palawija - Palawija, Padi - Padi & Palawija - Padi & Palawija, Padi - Padi - Padi & Palawija + Tambak, Padi - Padi - Padi + Tambak. Luas daerah irigasi yang dilayani 10.651 Ha, dengan intensitas irigasinya 175%, keuntungan irigasi Rp. 539.371.000,00. Studi optimasi pengoperasian Waduk Gondang dengan menggunakan program dinamik deterministik ini berguna untuk merencanakan konsep distribusi potensi air yang dapat diandalkan. Variabel yang digunakan adalah tampungan waduk (m^3), debit inflow waduk (m^3/dt), debit outflow waduk (m^3/dt), dan keuntungan irigasi (Rp). Hasil analisis menunjukkan bahwa optimasi program dinamik menghasilkan intensitas irigasi 228,57%, keuntungan irigasi Rp. 702.830.000,00.

Kata Kunci: Optimasi, Pola Tata Tanam, *Inflow*, *Outflow*, Keuntungan irigasi, Dinamik Deterministik

Abstract: Gondang reservoir has the main function as a provider of water for irrigation needs and also to meet the needs of the community raw water reservoir relies heavily on the presence of this Gondang especially during the dry season. Gondang reservoir has a storage capacity effective $23 \times 10^6 \text{ m}^3$. This thesis only analyzed the irrigation function only. Through the thesis is expected to improve the pattern of reservoir operations so as to increase the intensity of irrigation and irrigation optimal advantage. Irrigation area Gondang has three (3) growing season with five (5) the system of planting, among others Rice - Rice - Rice & Crops, Rice - Rice & Crops - Crops, Rice - Rice & Crops - Rice & Crops, Rice - Rice - i & Crops + Pad Pond, Rice - Rice - Rice + Pond. The total area of 10 651 hectares of irrigation are served, with the irrigation intensity of 175%, the advantage of irrigation Rp. 539,371,000.00. Gondang reservoir operation optimization studies using deterministic dynamic program is useful for planning the concept of the potential distribution of reliable water. The variables used are the storage reservoir (m^3), discharge reservoir inflow (m^3 / s), reservoir outflow discharge (m^3 / s), and the advantage of irrigation (Rupiah) Results of the analysis showed that the dynamic yield optimization program the irrigation intensity of 228.57%, the advantage of irrigation Rp. 702,830,000.00.

Keywords: Optimization, Planning and Planting Pattern, Inflow, Outflow, Gain irrigation, Dynamic Deterministic

Waduk merupakan salah satu sarana pemanfaatan sumber daya air yang mempunyai fungsi sebagai penyimpan dan penyedia air, baik sebagai bahan baku air bersih maupun untuk irigasi. Banyaknya air yang dibutuhkan

untuk suatu sistem irigasi ditentukan oleh beberapa faktor antara lain, cara pemberian air, cara pengelolaan dan pemeliharaan saluran serta bangunan yang ada, banyaknya turun hujan, waktu penanaman dan pengolahan tanah,

dan pola tanam yang digunakan. Agar kebutuhan-kebutuhan tersebut terpenuhi, maka jumlah air yang dikeluarkan harus sesuai dengan ketersediaan air yang tersedia.

Waduk Gondang berada di kabupaten Lamongan, tepatnya di desa Gondang Lor kecamatan Sugio. Waduk Gondang mempunyai fungsi utama sebagai penyedia air untuk kebutuhan irigasi selain itu juga untuk pemenuhan kebutuhan air baku terutama pada waktu musim kemarau. Dalam perencanaan suatu bendungan diusahakan agar air yang tersedia dapat mencukupi luas daerah pengairan dan kebutuhan tanaman sehingga produksi pangan dapat mencapai keuntungan maksimal. Untuk itu perlu dilakukan pengaturan, perencanaan dan pengoperasian air waduk yang optimal. Salah satu model optimasi yang dapat digunakan adalah dengan program dinamik.

Program dinamik (*dynamic programming*, disingkat DP) adalah suatu pendekatan untuk mengoptimasi proses-proses keputusan multi tahap. Program dinamik terdiri dari dinamik deterministik dan stokastik. Pada studi ini, program dinamik yang digunakan adalah dinamik deterministik.

Sifat-sifat dasar yang menjadi karakteristik problem program dinamik diantaranya adalah problem dipecah menjadi tahap-tahap (*stages*) dengan variabel-variabel keputusan (*decision variables*) pada setiap tahap (Limantara, LM, 2009).

Rumusan Masalah

Permasalahan dalam studi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Apakah debit andalan pada musim kemarau dapat memenuhi kebutuhan air di sawah dengan pola tata tanam yang ada?
2. Berdasarkan pola tata tanam yang ada berapa luas optimal lahan yang bisa diairi dan berapa keuntungan sesuai dengan hasil optimasi?
3. Apakah terjadi peningkatan intensitas irigasi dan keuntungan irigasi di Daerah Irigasi Gondang dari kondisi sebelum optimasi ke kondisi setelah optimasi?

Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah :

1. Dengan menggunakan program dinamik deterministik akan didapatkan penjatahan air yang paling optimal.

2. Mendapatkan luas areal optimal lahan yang bisa diairi sehingga didapat keuntungan yang optimal.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya air.
2. Memberikan gambaran pembagian debit air irigasi yang tersedia di daerah layanan Waduk Gondang dengan program dinamik deterministik.
3. Dapat digunakan sebagai salah satu bahan masukan dan alternatif acuan dalam pembagian kebijaksanaan operasi irigasi bagi instansi terkait.

TINJAUAN PUSTAKA

Evapotranspirasi

Evaporasi (penguapan) merupakan peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara (Sosrodarsono, 1976). Dalam menghitung besarnya evapotranspirasi kita bisa menggunakan beberapa rumus empiris seperti Penman Modifikasi, Blane-Cliddle. Dalam studi ini perhitungan besarnya evaporasi dipakai rumus empiris Penman Modifikasi sebagai berikut :

$$ET_0^* = W \cdot (0,75 R_s - R_{n1}) + (1 - W) \cdot f_{(u)} \cdot (e_a - e_d) \quad (1)$$

dengan :

- t : suhu bulanan rata-rata ($^{\circ}C$)
- RH : kelembaban relatif bulanan rata-rata (%)
- $\frac{n}{N}$: kecerahan matahari bulanan (%)
- u : kecepatan angin bulanan rata-rata (m/dt)
- Letak lintang daerah yang ditinjau
- Angka koreksi c
- W : faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi
- R_s : radiasi gelombang pendek dalam setahun evaporasi ekuivalen (mm/hari) = $(0,25 + 0,54 n/N) R_a$
- R : radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer atau angka angot (mm/hari)
- R_{n1} : radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari): $f_{(t)} \cdot f_{(ed)} \cdot f_{(n/N)}$
- $f_{(t)}$: fungsi suhu : $\sigma \cdot T a^4$
- $f_{(ed)}$: fungsi tekanan uap : $0,34 - (0,44 \cdot e_d^{0,5})$
- $f_{(n/N)}$: $0,1 + (0,9 \cdot n/N)$
- $f_{(U)}$: fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2 meter (m/dt)

- U : 0,27 (1 + 0,864 U)
- ea : tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya
- ed : $ea \cdot RH$
- RH : kelembaban udara relatif (%)

Pengolahan lahan

Besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah didekati dengan metode yang didasarkan pada laju air konstan dalam l/dt selama periode penyimpanan lahan, dengan persamaan sebagai berikut (anonim, 1986):

$$IR = \frac{Mxe^k}{e^k - 1} \quad (2)$$

dengan:

IR : Kebutuhan air untuk pengolahan lahan (mm/hari)

M : Kebutuhan air untuk penggantian kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm/hari)

M : $E_o + P$ (mm/hari)

E_o : evaporasi air terbuka yang diambil 1,1 E_t selama penyiapan lahan (mm/hari)

P : Perkolasi (mm/hari)

K : $(M \times T) / S$

T : Jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S : Kebutuhan air untuk penjenuhan yang besarnya berdasar dari tekstur tanah

e : Bilangan eksponensial (2,71828)

Kebutuhan air irigasi

Perhitungan kebutuhan air irigasi didasarkan pada prinsip keseimbangan air (*water balance*) yang dinyatakan dalam persamaan :

a. Untuk tanaman padi:

$$NFR = Cu + Pd + NR + P - R_{eff} \quad (3)$$

b. Untuk tanaman palawija

$$NFR = Cu + P - R_{eff} \quad (4)$$

dengan:

NFR : kebutuhan air di sawah ($l/dt/ha$)

Cu : kebutuhan air tanaman (mm/hari)

Pd : kebutuhan air untuk pengolahan tanah (mm/hari)

NR : kebutuhan air untuk pembibitan (mm/hari)

P : perkolasi (mm/hari)

R_{eff} : curah hujan efektif (mm/hari)

Volume air irigasi

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 15 harian yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$VB = \frac{q \times n \times 86400}{1000} \quad (5)$$

dengan:

V_B : volume air yang dibutuhkan untuk irigasi (m^3/Ha)

q : kebutuhan air irigasi tiap periode pada masing-masing petak ($l/dt/ha$)

n : jumlah hari tiap periode (misal: 10 hari)

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 ada selama periode tanam mengacu pada debit merata dari debit andalan. Perhitungan volume irigasi dari setiap perubahan debit selama satu musim tanam menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_T = Q_{80} \times n \times 24 \times 60 \times 60 \quad (6)$$

dengan:

V_T : volume air tersedia untuk irigasi (m^3)

Q_{80} : debit andalan berdasarkan grid (m^3/dt)

n : jumlah hari dalam satu musim tanam

: (1 musim tanam: 4 bulan x 30 hari = 120 hari)

Luas Lahan Yang Dapat Ditanami

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

$$L = \frac{V_T}{V_B} \quad (7)$$

dengan:

L : luas lahan yang dapat ditanam (Ha)

V_T : volume air tersedia untuk irigasi (m^3)

V_B : volume air yang dibutuhkan untuk irigasi (m^3/Ha)

Biaya Produksi dan Manfaat Bersih Per Hektar dari Pemakai Irigasi

Persamaan yang digunakan untuk menghitung biaya produksi pertanian dan tambak adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Produksi} = \text{volume} \times \text{harga satuan} \quad (8)$$

dengan:

Biaya produksi : (Rp/Ha)

Volume : (satuan/Ha)

Harga satuan : (Rp/satuan)

Catatan : satuan dalam Kg, liter dan lain-lain

Manfaat kotor = produksi tanaman x harga jual tanaman (9)

dengan:

Manfaat kotor : (Rp/Ha)

Produksi tanaman : (ton/Ha)

Harga jual tanaman : (Rp/ton)

Manfaat bersih = manfaat kotor – biaya produksi (10)

Dengan:

Manfaat bersih : (Rp/Ha)

Manfaat kotor : (Rp/Ha)

Biaya produksi : (Rp/Ha)

Keuntungan Sebagai Fungsi Debit

Keuntungan sebagai fungsi debit merupakan debit yang dialirkan pada tiap petak tersier selanjutnya dapat diketahui berapa luas yang terairi dengan membandingkan antara air yang dialirkan dengan kebutuhan air sawah. Setelah didapat luas sawah yang terairi (Ha) maka dengan mengalikan manfaat bersih produksi (Rp/Ha) didapat keuntungan.

Keuntungan sebagai fungsi debit = L x manfaat bersih produksi (11)

dengan:

Keuntungan sebagai fungsi debit : (Rp)

L : Luas lahan terairi (Ha)

Manfaat bersih produksi : (Rp/Ha)

Model Optimasi

Penyelesaian suatu model optimasi umumnya mempunyai banyak alternative. Setiap penyelesaian harus bersifat layak (*feasible*) yang artinya masih berada dalam batas-batas kendala (*constraint*).

Problem optimasi dalam pengelolaan sumber daya air lebih sering bersifat non-linier. Salah satu metode untuk menyelesaikannya adalah dengan menggunakan Program Dinamik (*Dynamic Programming*).

Elemen-elemen dari model program dinamik adalah (Limantara, LM dan Soetopo, W. 2009):

1. Tahap/*stage* (n)
2. Variabel Keputusan/*Decision Variable* (dn)
3. *State Variable* (Sn)
4. *Stage Return* (rn)
5. *Stage Transformation* atau *State Transition* (tn)

Sedangkan kareakteristik operasional program dinamik dapat diuraikan sebagai berikut (Limantara, LM dan Soetopo, W. 2009):

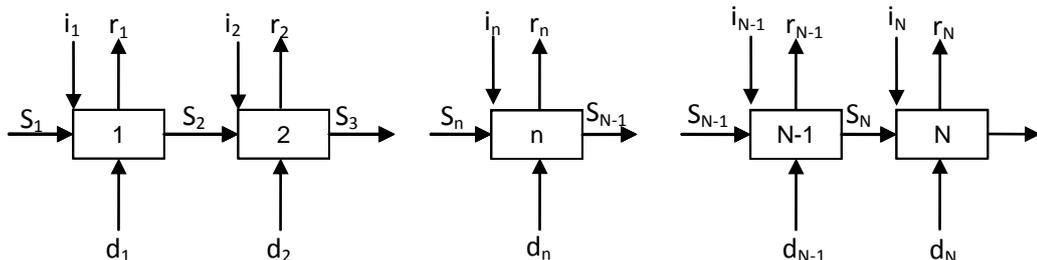
1. Problem dipecahkan menjadi tahap-tahap (*stage*) dan ada variabel keputusan pada setiap tahap.
2. Setiap tahap mempunyai sejumlah srage.
3. Efek dari keputusan di tiap tahap adalah :
 - a. Menghasilkan *return* berdasarkan fungsi *stage return*,
 - b. Mentransformasikan *stage variable* untuk tahap berikutnya lewat *stage transformation*.
4. Keputusan untuk tahap berikutnya tidak tergantung dari keputusan yang telah diambil (pada tahap sebelumnya). Penyelesaian *Dynamic Programming* dimulai dari tahap awal dan bergerak ketahap akhir (*forward recursive*) atau sebaliknya (*backward recursive*).
5. Pada *forward recursiv*, untuk setiap tahap ditentukan kebijakan optimal berdasarkan kebijakan optimal dari tahap sebelumnya dan fungsi tujuan. Persamaan *forward recursive* dapat ditulis sebagai berikut:

$$f^*_n(S_n) = \text{opt}_{d_n}[r_n(S_n, d_n) + f^*_{n-1}(S_{n-1})]$$

dengan *O* menyatakan suatu operasi aljabar yang bisa berupa penambahan, pengurangan, perkalian ataupun lainnya sesuai dengan yang dimaksudkan dalam problem yang bersangkutan.

Untuk prosedur *backward recursive* persamaannya sebagai berikut:

$$f^*_n(S_n) = \text{opt}_{d_n}[r_n(S_n, d_n) + f^*_{n+1}(S_{n+1})]$$



Gambar 1. Model program dinamik sistem n tahap

TINJAUAN DAERAH STUDI

Deskripsi Daerah Studi

Waduk Gondang di bangun pada kali Gondang, anak sungai Bengawan Solo pada tahun 1987 di kabupaten Lamongan yaitu sekitar 25 KM sebelah baratdaya Kota Lamongan. Dengan dibangunnya waduk ini, diharapkan dapat mengairi areal irigasi seluas 10.651 Ha, terutama pada waktu musim kemarau. Karena pada musim hujan airnya di suplai dari air hujan. Selain untuk suplai kebutuhan irigasi juga untuk kebutuhan baku dan saat ini juga dikembangkan untuk budidaya ikan dan pariwisata, yaitu dengan dilengkapi fasilitas perahu motor, taman dan kandang satwa.

Batas wilayah lokasi studi adalah:

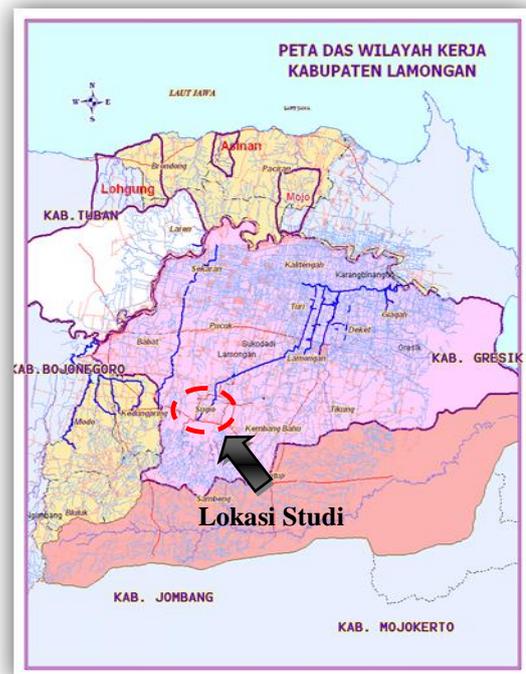
- Batas Utara : Desa GondangLor, kec.Sugio
- Batas Timur : Desa Deket Agung, Desa Lawangan Agung, kec.Sugio Desa Sukobendu, kec.Mantup
- Batas Selatan : Desa Kalitengah, kec. Sugio Desa Wudi, Desa Sekidang, kec. Sambeng
- Batas Barat : Desa Sidorejo, kec. Sugio

Langkah-langkah Pengerjaan Studi

Untuk dapat menyelesaikan optimasi pola operasi waduk, maka diperlukan langkah pengerjaan studi secara sistematis sebagai berikut:

1. Kebutuhan air irigasi
 - a. Data klimatologi dihitung secara rerata untuk mendapatkan nilai evapotranspirasi potensial dengan metode Penman Modifikasi.
 - b. Menghitung kebutuhan air tanaman yaitu koefisien tanaman dikalikan evapotranspirasi potensial.
 - c. Menentukan laju perkolasi lahan
 - d. Menentukan kebutuhan untuk pengolahan lahan
 - e. Menghitung curah hujan efektif
 - f. Menentukan efisiensi jaringan irigasi
 - g. Perhitungan kebutuhan air bersih di sawah
 - h. Perhitungan kebutuhan air irigasi di bangunan pengambilan.
2. Menghitung besarnya volume air yang dibutuhkan

3. Menghitung besar volume air yang tersedia dari debit andalan untuk masing-masing musim tanam.
4. Menghitung luas lahan yang terairi berdasarkan pembagian antara volume air yang tersedia dengan volume air yang dibutuhkan.
5. Menghitung biaya produksi berdasarkan jenis tanaman yaitu perkalian antara volume dan harga satuan.
6. Menghitung manfaat kotor berdasarkan jenis tanaman yaitu perkalian antara produksi tanaman dengan harga jual tanaman.
7. Menghitung manfaat bersih dari selisih antara manfaat kotor dengan biaya produksi.
8. Untuk mendapatkan keuntungan irigasi berdasarkan jenis tanaman yaitu perkalian antara luas lahan yang terairi dengan manfaat bersih
9. Menentukan tampungan awal berdasarkan tampungan efektif Waduk Gondang.
10. Melakukan optimasi operasi waduk.
11. Hasil dari optimasi berupa keuntungan hasil produksi pertanian.



Gambar 2. Lokasi Studi

HASIL ANALISA

Analisa Manfaat

Operasi pemanfaatan potensi air untuk irigasi dapat diartikan sebagai pengaturan debit

guna dialokasikan pada tiap-tiap periode tanam sesuai dengan kebutuhan. Dengan optimasi pemanfaatan air waduk pada suatu periode tertentu akan diperoleh manfaat berupa keuntungan produksi pertanian. Manfaat air adalah besarnya pemberian air irigasi yang digunakan untuk menghasilkan hasil produksi pertanian. Untuk mendapatkan nilai manfaat air irigasi pada tiap pemberian air dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Volume air yang ada diwaduk mengacu pada data volume Waduk Gondang yang selanjutnya digunakan sebagai volume tersedia (Tabel 1).
2. Menghitung total kebutuhan air irigasi dan besar volume air dalam tiap periode.
3. Data biaya produksi padi dan palawija digunakan untuk menghitung manfaat bersih tanaman (Tabel 2).
4. Menentukan keuntungan fungsi debit tiap pola tata tanam, sebagai contoh pola tata tanam I dengan luas fungsional 2.829 Ha dapat dilihat pada Tabel 3.
5. Menghitung nilai keuntungan bersih air irigasi pada tiap musim tanam, sebagai

contoh musim tanam I dapat dilihat pada Tabel 4.

Perumusan Fungsi Tujuan

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

Perumusan Fungsi Kendala

Pada studi ini keterbatasan sumber daya berupa volume air waduk dan luas lahan yang dapat diairi. Untuk volume air yang tersedia diambil dari volume air waduk, sedangkan luas lahan yang ditanami maksimal adalah seluas baku 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, maka akan dialokasikan ke musim tanam berikutnya dan keuntungan produksi ketika mengairi luas lahan yang maksimal. Batas maksimal pemberian air irigasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 1. Volume Air 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 : Perhitungan

Tabel 2. 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

Sumber : Perhitungan

Tabel 3. Keuntungan Fungsi Debit

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
	0,704	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
	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
	0,569	5.900.000	2133,5	2.765,4	12.319,3
	0,579	6.000.000	2133,5	2.812,3	12.528,1

Sumber : Perhitungan

Tabel 4. Total Keuntungan untuk Musim Tanam I (MT I)

Tampungan Juta m ³	PTT 1	PTT 2	PTT 3	PTT 4	PTT 5	Total
	Rp					
0,1	238	242	203	176	189	1.048
0,2	477	484	407	351	377	2.096
0,3	715	726	610	527	566	3.143
0,4	953	968	813	702	755	4.191
23,4	17.639	3.870	2.033	29.666	6.604	59.812
23,5	17.639	3.870	2.033	29.666	6.604	59.812
23,6	17.639	3.870	2.033	29.666	6.604	59.812
23,7	17.639	3.870	2.033	29.666	6.604	59.812

Sumber : Perhitungan

Tabel 5. Batas Maksimum Pemberian Air Irigasi

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
II	23.288	9978	232,365	220
III	15.104	9978	151	63,5

Sumber : Perhitungan

Optimasi dengan Program Dinamik

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 m³. Variabel keputusannya (*decision*) adalah banyaknya volume air waduk yang digunakan dan skedul muka air waduk

yang menghasilkan keuntungan produksi pertanian yang optimal. Contoh perhitungan program dinamik dapat dilihat pada lampiran 1.

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. Hasil optimasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Keseluruhan hasil pada program dinamik, jika dilakukan pelacakan balik akan mendapatkan jalur optimasi pada masing-masing musim tanam. Jalur optimasi yang dihasilkan adalah volume air waduk yang pada awal dan akhir tanam harus penuh yaitu sebesar 23,7 juta m³, 11 juta m³, 12,7 juta m³ dan kembali pada volume 23,7 juta m³. Hasil yang dicapai dalam optimasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari perhitungan optimasi alokasi air dengan program dinamik tersebut, maka dapat dibandingkan keuntungan produksi sebelum dan sesudah optimasi seperti pada Tabel 7.

Tabel 6 . Hasil Optimasi

No	Uraian	Satuan	MT 1	MT 2	MT 3
1	Luas Areal	Ha	10.651	10.651	10.651
2	Alokasi Pemberian Air	Juta m ³	158	220	63
3	Manfaat Air Irigasi	Rp/m ³	2070	1312	1402
4	Volume Kebutuhan Air Irigasi	m ³ /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 m ³	13,50	23,73	11,00

Sumber : Perhitungan

Tabel 7 . 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	8174	7241	3224	10651	9434	4201
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%		

Sumber : Perhitungan



Gambar 3. Diagram Hasil Optimasi

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 Tampungan 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 3.

Perbandingan keuntungan sebelum optimasi / eksisting dan sesudah optimasi dapat dilihat pada tabel 7. Dari perbandingan keuntungan pada tabel 7. dapat dihitung selisih keuntungan irigasi, yaitu keuntungan setelah optimasi dikurangi dengan keuntungan sebelum

optimasi. Selisih keuntungan = Rp 702.789 Juta - Rp 539.371 Juta = Rp 163.418 Juta.

Dari perbandingan intensitas irigasi pada tabel 6. terjadi peningkatan setelah dilakukan optimasi sebesar, Peningkatan intensitas sebesar = 228% - 175% = 53%

Kesimpulan

Dari uraian hasil pembahasan pada bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketersediaan debit Waduk Gondang dapat memenuhi kebutuhan air di sawah seluas :
 - a. Musim Tanam I debit tersedia 157.601.654 m³ luas areal yang dapat terairi sebesar 10.651 Ha.
 - b. Musim Tanam II debit tersedia 219.729.641 m³ luas areal yang dapat terairi sebesar 9.435 Ha.
 - c. Musim Tanam III debit tersedia 63.460.428 m³ luas areal yang dapat terairi sebesar 4.202 Ha.
2. Luas optimal lahan yang bisa diairi dan berapa keuntungan sesuai dengan hasil optimasi adalah sebagai berikut:
 - a. Musim Tanam I luas optimal lahan yang bisa diairi sebesar 10.651 Ha, dan keuntungannya sebesar Rp. 325.570.000,00
 - b. Musim Tanam II luas optimal lahan yang bisa diairi sebesar 9.435 Ha, dan keuntungannya sebesar Rp. 288.276.000,00
 - c. Musim Tanam III luas optimal lahan yang bisa diairi sebesar 4.202 Ha, dan keuntungannya sebesar Rp. 88.944.000,00
3. Peningkatan intensitas dan keuntungan sebelum dan sesudah optimasi adalah sebagai berikut:
 - a. Intensitas irigasi sebelum optimasi 175%, keuntungan irigasi Rp. 539.371.000,00
 - b. Intensitas irigasi setelah optimasi 228,57%, keuntungan irigasi Rp. 702.830.000,00.

Daftar Pustaka

- Anonim. 1986, *StandarPerencanaan Irigasi (Kriteria Perencanaan 01)*. Bandung: CV Galang Persada.
- Montarcih, Lily. 2009, *Hidrologi Teknik Sumber Daya Air -1*, Malang : CV Citra
- Montarcih, Lily. & Soetopo Widandi. 2009, *Pengantar Manajemen Teknik Sumber Daya Air*, Malang : CV Citra

Suhardjono. 1994. *Kebutuhan Air Tanaman*.
Malang: Institut Teknologi Nasional.

Sosrodarsono, S dan Takeda, K. 1978.
Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta:
Pradnya Paramita