

Studi Optimasi Alokasi Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Sarangan Kabupaten Madiun Dengan Program Dinamik

Hesti Dwi Aprilia¹⁾, Rini Wahyu Sayekti²⁾, Sri Wahyuni³⁾

^{1, 2, 3)}Universitas Brawijaya-Malang

Email: hestidwiapr@gmail.com¹⁾, rini_ws@ub.ac.id²⁾, yuniteknik@ub.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i2.789>

(Received: July 2022 / Revised: August 2022 / Accepted: August 2022)

Abstrak

Daerah Irigasi Sarangan merupakan salah satu daerah irigasi yang memiliki permasalahan ketersediaan air, yaitu air yang ada tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan upaya pengelolaan air secara optimal dengan teknik optimasi. Teknik optimasi yang digunakan adalah program dinamik deterministik. Tujuan penelitian adalah mengoptimalkan alokasi air irigasi sehingga diperoleh keuntungan yang maksimum. Fungsi tujuan optimasi adalah keuntungan maksimum dengan fungsi kendala berupa luas lahan dan ketersediaan debit. Pola tata tanam yang digunakan sesuai dengan Rencana Tata Tanam Global (RTTG) periode 2021-2022. Berdasarkan hasil optimasi, diperoleh peningkatan luas tanam serta keuntungan pada Musim Tanam I sebesar 3%, pada Musim Tanam II sebesar 6%, dan pada Musim Tanam III sebesar 7%. Penelitian ini dapat bermanfaat bagi dinas terkait untuk mengetahui pemberian air optimal yang dapat menghasilkan keuntungan maksimum berdasarkan ketersediaan air yang ada pada Daerah Irigasi Sarangan.

Kata kunci: *optimasi, irigasi, program dinamik, deterministik*

Abstract

The Sarangan Irrigation Area has a problem, namely that there is not enough water to meet irrigation water needs. Optimization techniques are needed based on these problems optimal water management efforts are required. This research aims to optimize irrigation water allocation to obtain maximum profit. The optimization technique used is a deterministic dynamic program. The optimization objective function is the maximum profit with the constraint functions in the form of land area and the availability of discharge. The cropping pattern follows the Global Planting Plan (RTTG) for 2021-2022. Based on the optimization results, it was found that the increase in planted area and profits in the first planting season was 3%, in the second planting season it was 6%, and in the third planting season it was 7%. This research can be useful for the relevant agencies to find out the optimal water supply that can produce maximum profit based on water availability in the Sarangan Irrigation Area.

Keywords: *optimization, irrigation, dynamic programming, deterministic*

1. Latar Belakang

Daerah Irigasi Sarangan merupakan salah satu daerah irigasi yang memiliki permasalahan kekurangan air karena air yang tersedia tidak dapat memenuhi kebutuhan air irigasi, oleh karena itu, pada musim kemarau I atau musim tanam II hanya mampu mengairi daerah irigasi bagian hulu. Daerah Irigasi Sarangan melayani luas lahan sebesar 1273 Ha dengan memanfaatkan air dari Waduk Dawuhan yang terletak di Kecamatan Wonoasri Kabupaten Madiun. Berdasarkan pemberian air *eksisting*, air irigasi melalui intake dialirkan ke saluran primer dawuhan kiri serta didistribusikan ke saluran sekunder dawuhan kiri, saluran sekunder serut, saluran sekunder suwatu, dan mensuplesi bendung sarangan (Gambar 1). Bendung sarangan dibangun di saluran pembuang sarangan kemudian dialirkan ke saluran sekunder sarangan serta didistribusikan ke saluran sekunder pucung, saluran sekunder blado, dan saluran sekunder sepat.

Kekurangan air irigasi yang terjadi dapat mengurangi keuntungan hasil tani yang diperoleh dan memicu potensi konflik antar pengguna air (Zhang *et al.*, 2019). Selain itu, kekurangan air dapat menyebabkan kegagalan hasil panen sehingga dibutuhkan strategi penggunaan air yang efektif untuk menanggulangi dampak negatif tersebut (Zhang *et al.*, 2021).

Berdasarkan permasalahan yang terjadi pada Daerah Irigasi Sarangan, maka diperlukan perhitungan optimasi untuk mengetahui keuntungan maksimum yang dapat diperoleh berdasarkan debit yang dialirkan pada daerah irigasi tersebut. Model optimasi merupakan salah satu teknik yang efektif untuk menentukan alokasi air irigasi yang efisien dan telah banyak diminati untuk diteliti dalam beberapa tahun terakhir (Li *et al.*, 2020). Model optimasi pada penelitian ini merupakan program dinamik deterministik. Hasil yang diperoleh dapat membantu untuk menentukan kebijakan pengelolaan sumber daya air dengan memaksimalkan keuntungan yang diperoleh dan meminimalisir resiko yang dapat terjadi (Gong *et al.*, 2020).

Penelitian ini ditekankan pada masalah berapa kebutuhan air irigasi kondisi *eksisting*; bagaimana jalur pemberian air yang optimal berdasarkan prosedur *back tracking*; bagaimana pola sebaran air yang dapat dialirkan; berapa luas lahan optimal yang dapat dimanfaatkan; dan berapa keuntungan maksimum yang dapat diperoleh berdasarkan debit yang dialirkan.

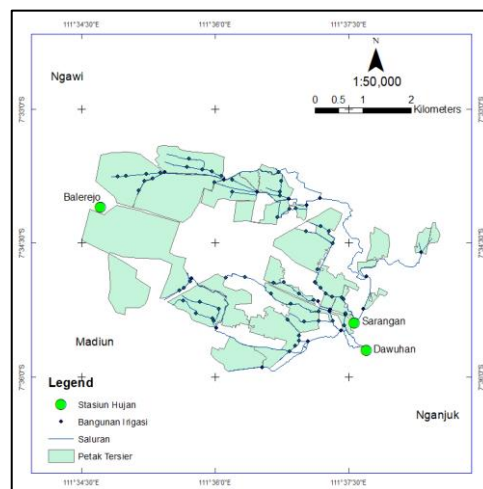
Beberapa peneliti terdahulu telah membahas terkait penggunaan metode program dinamik untuk optimasi irigasi. Penggunaan metode program dinamik untuk optimasi pada Daerah Irigasi Gembleng Kanan dapat meningkatkan keuntungan sebesar 11,5% dari sebelum optimasi (Juwono, Limantara and Putra, 2021). Penggunaan metode program dinamik untuk optimasi pada Daerah Irigasi Tengoro dapat meningkatkan keuntungan sebesar 20,84% pada Musim Tanam I dan 0,85% pada Musim Tanam II (Nalurita, Limantara and Prayogo, 2017). Selain itu, diketahui terjadi peningkatan keuntungan irigasi sebesar 10,7% dengan menerapkan program dinamik sebagai metode optimasi irigasi di daerah aliran sungai Amu Darya (Zhou *et al.*, 2022). Kemudian, ditunjukkan pula bahwa optimasi dengan program dinamik dapat menghasilkan peningkatan keuntungan sebesar 8% sesuai ketersediaan debit yang ada pada daerah tersebut (Berbel and Exposito, 2022).

Tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan alokasi air irigasi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi sehingga diperoleh keuntungan hasil tani yang maksimum.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Studi

Lokasi studi pada penelitian ini merupakan Daerah Irigasi Sarangan yang terletak di Kecamatan Wonoasri Kabupten Madiun, Provinsi Jawa Timur. Daerah Irigasi Sarangan memiliki luas areal irigasi sebesar 1273 Ha yang memanfaatkan air dari Waduk Dawuhan. Berikut ditampilkan peta lokasi studi pada Daerah Irigasi Sarangan seperti pada Gambar 1 dengan tiga stasiun hujan yang berpengaruh.



Gambar 1 Peta Lokasi Studi Daerah Irigasi Sarangan

2.2 Data Studi

Kebutuhan data yang dipersiapkan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian
Data curah hujan harian yang digunakan berdasarkan 3 stasiun hujan yaitu Stasiun Dawuhan, Stasiun Sarangan, dan Stasiun Balerejo pada tahun 2011-2020 yang didapatkan dari Dinas PU Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur
2. Data debit
Data debit yang digunakan merupakan data debit intake yang tersedia pada Daerah Irigasi Sarangan pada tahun 2011-2020 yang didapatkan dari UPT PSDA WS Bengawan Solo Korwil Madiun
3. Data klimatologi
Data klimatologi yang digunakan merupakan data klimatologi pada Stasiun Geofisika Sawahan Nganjuk pada tahun 2011-2020 berupa temperature, kelembaban udara, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin
4. Data Rencana Tata Tanam Global (RTTG)
Data RTTG yang digunakan adalah RTTG periode tahun 2021-2022 dan diperoleh dari Dinas PU Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur
5. Skema jaringan irigasi
Skema jaringan irigasi pada Daerah Irigasi Sarangan didapatkan dari Dinas PU Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur

6. Data hasil usaha tani

Data hasil usaha tani berupa hasil produksi pertanian yang diperoleh dari Dinas Pertanian Kabupaten Madiun.

2.3 Metode

2.3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada studi ini adalah data sekunder yang didapatkan dari instansi terkait. Jenis data yang dibutuhkan untuk digunakan dalam analisa selanjutnya adalah data hidrologi berupa data curah hujan pada 3 stasiun hujan yang berpengaruh selama 10 tahun dan data debit intake selama 10 tahun, data klimatologi selama 10 tahun berupa lama penyinaran matahari, suhu rata-rata, kelembapan rata-rata dan kecepatan angin. Selain itu, dibutuhkan data penunjang lainnya seperti data Rencana Tata Tanam Global (RTTG), skema jaringan irigasi, dan data hasil usaha tani.

2.3.2 Analisa Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan merupakan curah hujan 10 harian pada 3 stasiun hujan yang berpengaruh diantaranya Stasiun Hujan Dawuhan, Stasiun Hujan Balerejo, dan Stasiun Hujan Sarangan. Kemudian, analisa dilanjutkan untuk menghitung curah hujan efektif pada setiap jenis tanaman yang digunakan.

Curah hujan dapat menjadi faktor penting adanya perbedaan kebutuhan air irigasi dalam satu musim tanam, dan dapat digunakan sebagai solusi penghematan air dalam produksi pertanian (Luo *et al.*, 2022). Penentuan curah hujan efektif berbeda-beda pada setiap jenis tanaman sesuai dengan rumus berikut (Juwono, Limantara and Putra, 2021):

$$Re_{padi} = 0,7 \times R_{80} \quad (1)$$

$$Re_{palawija} = 0,5 \times R_{80} \quad (2)$$

$$Re_{tebu} = 0,6 \times R_{80} \quad (3)$$

Keterangan

Re = curah hujan efektif

R₈₀ = curah hujan andalan dengan keandalan 80%

2.3.3 Debit Andalan

Ketersediaan air irigasi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi adalah debit andalan dengan peluang kegagalan 20% atau dengan keandalan 80%. Berikut merupakan rumus Weibull yang digunakan untuk menghitung keandalan debit dengan probabilitas kejadian tertentu (Limantara, 2018):

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

P% = peluang kejadian yang diharapkan (%)

m = data yang diurutkan

n = jumlah data

2.3.4 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi merupakan jumlah air yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman dengan luasan tertentu (Damayanti and Santosa, 2022). Berikut merupakan rumus perhitungan kebutuhan air irigasi pada suatu daerah irigasi (Juwono *et al.*, 2018):

$$NFR = E_{tc} + P - Re + WLR \quad (5)$$

Keterangan:

NFR = kebutuhan air di sawah (mm/hari)

Etc = kebutuhan air untuk konsumtif tanaman (mm/hari)

P = perkolasi (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)

2.3.5 Volume Air Tersedia

Perhitungan volume air tersedia pada suatu daerah irigasi menggunakan rumus berikut (Nuf'a, Limantara and Soetopo, 2016):

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

Keterangan:

V_t = volume air tersedia (m^3)

Q_{80} = debit andalan (m^3/dt)

n = jumlah hari dalam satu musim tanam (hari)

2.3.6 Volume Air Kebutuhan

Perhitungan volume air yang dibutuhkan dipengaruhi oleh jumlah hari dalam satu periode musim tanam seperti rumus berikut (Nuf'a, Limantara and Soetopo, 2016):

$$V_k = \frac{q \times n \times 24 \times 60 \times 60}{1000} \quad (7)$$

Keterangan:

V_k = volume air yang dibutuhkan untuk irigasi (m^3/ha)

q = kebutuhan air irigasi tiap periode (l/det/ha)

n = jumlah hari tiap periode (1 periode = 10 hari)

2.3.7 Luas Tanam

Luas lahan yang dapat ditanami berdasarkan debit yang ada pada daerah irigasi dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Nuf'a, Limantara and Soetopo, 2016):

$$L = \frac{V_t}{V_k} \quad (8)$$

Keterangan:

L = luas lahan yang dapat ditanami (Ha)

V_t = volume air tersedia sesuai grid yang ditentukan (m^3)

V_k = volume air yang dibutuhkan dalam satu musim tanam (m^3/ha)

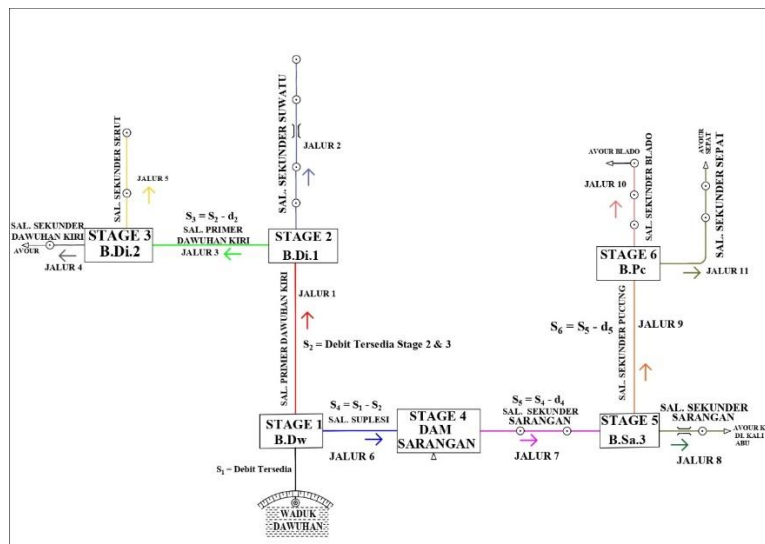
2.3.8 Optimasi dengan Program Dinamik Deterministik

Prosedur perhitungan dengan program dinamik deterministik dimulai dengan menentukan besar 1 unit volume berdasarkan volume air yang tersedia pada daerah studi. Yang dimaksud 1 unit volume air adalah jumlah unit air yang tersedia berdasarkan ketersediaan air yang ada pada daerah studi dengan interval tertentu. Pada studi ini, ditentukan 1 unit volume air sebesar 500.000 m^3 . Kemudian, dilakukan perhitungan luas lahan yang dapat ditanami pada setiap pemberian air yang diberikan dalam satuan unit volume air. Apabila luas lahan yang dapat ditanami telah maksimum maka, perhitungan dapat dilanjutkan ke tahap/stage selanjutnya hingga tahap akhir. Setelah itu, dapat dilakukan prosedur backward

recursive untuk mengetahui jalur pemberian air yang optimal dari tahap akhir menuju tahap awal.

2.4 Program Dinamik Deterministik

Secara umum, konsep model dinamik deterministik adalah mengalokasikan sejumlah x sumber daya ke n sasaran dengan tujuan mengoptimalkan keuntungan yang dapat diperoleh (Limantara and Soetopo, 2020). Program dinamik memiliki karakteristik problem yang dipecah menjadi beberapa tahap dan terdapat variabel keputusan pada setiap tahapnya. Tahap-tahap tersebut merupakan bangunan irigasi yang akan dikaji. Oleh karena itu, hal tersebut sesuai dengan bangunan bagi, bagi sadap, dan sadap yang berurutan dan saling bergantung antara satu bangunan dan bangunan lainnya dalam sistem jaringan irigasi pada sebuah daerah irigasi (Hoesein, Suparmanto and Sugianto P.R, 2012). Pada gambar 2 disajikan skema Daerah Irigasi Sarangan sesuai dengan elemen-elemen program dinamik yang digunakan pada penelitian terdapat tahap/*stage*, variabel keputusan (d_n), variabel status (S_n), dan akibat tahap (r_n) (Juwono, Limantara and Putra, 2021).



Gambar 2 Skema daerah irigasi sarangan berdasarkan elemen-elemen program dinamik

2.4.1 Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan pada studi ini yaitu memaksimalkan keuntungan berdasarkan alokasi air yang diberikan. Keuntungan untuk satu tahun periode tanam:

$$\sum f^* = F_{MT I}^* + F_{MT II}^* + F_{MT III}^* \tag{9}$$

Persamaan forward recursive pada setiap musim tanam adalah sebagai berikut:

$$F_{Si}^* = \max_{d_i} [R_i + F_{(Si-1)}^*] \tag{10}$$

Keterangan:

- F_{Si}^* = tujuan yang ingin dicapai berupa jumlah keuntungan berdasarkan air yang dialokasikan pada bangunan setiap bangunan/tahap dalam satu musim tanam, satuan Rupiah
- R_i = keuntungan berdasarkan air yang dialokasikan pada tahap/bangunan, satuan Rupiah

$F_{(si-1)}^*$ = jumlah keuntungan berdasarkan air yang dialokasikan pada bangunan sebelumnya, satuan Rupiah

2.4.2 Fungsi Kendala

Fungsi kendala pada studi ini adalah ketersediaan air irigasi dan luas lahan daerah irigasi sehingga dibuat persamaan sebagai berikut:

- Volume air tersedia:

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 \leq A \quad (11)$$

- Luas lahan tiap musim tanam:

$$X_1 \leq (L_p + L_{pl} + L_t) \leq 1273 \quad (12)$$

$$X_2 \leq (L_p + L_{pl} + L_t) \leq 1273 \quad (13)$$

$$X_3 \leq (L_p + L_{pl} + L_t) \leq 607 \quad (14)$$

- Luas lahan tiap bangunan:

$$L_p, L_{pl}, L_t > 0 \quad (15)$$

$$Y_1 \leq L_1 \leq 19 \quad (16)$$

$$Y_2 \leq L_2 \leq 201 \quad (17)$$

$$Y_3 \leq L_3 \leq 484 \quad (18)$$

$$Y_4 \leq L_4 \leq 108 \quad (19)$$

$$Y_5 \leq L_5 \leq 45 \quad (20)$$

$$Y_6 \leq L_6 \leq 416 \quad (21)$$

Keterangan:

A = volume air yang tersedia dalam satu musim tanam (unit volume)

V = volume air yang dialokasikan pada setiap bangunan dalam satu musim tanam (unit volume)

1,2,3,4,5,6 = tahap/bangunan

L = luas lahan daerah irigasi pada setiap musim tanam (dalam ha)

L_p = luas lahan yang ditanami padi pada setiap musim tanam (dalam ha)

L_{pl} = luas lahan yang ditanami palawija pada setiap musim tanam (dalam ha)

L_t = luas lahan yang ditanami tebu pada setiap musim tanam (dalam ha)

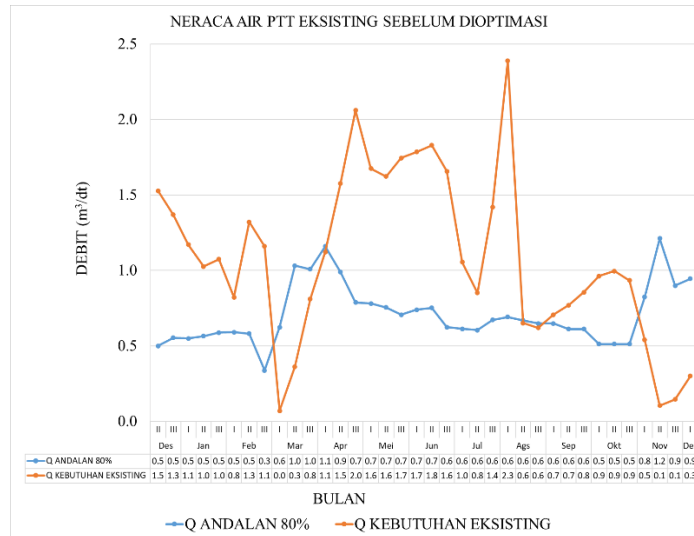
X = luas lahan yang ditanami berdasarkan unit volume air yang dialokasikan tiap musim tanam (dalam ha)

Y = luas lahan yang ditanami berdasarkan unit volume air yang dialokasikan tiap bangunan (dalam ha)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi pada sebuah daerah irigasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya pola tata tanam yang digunakan dalam setiap musim tanamnya. Pada Daerah Irigasi Sarangan, pola tata tanam yang digunakan sesuai dengan Rencana Tata Tanam Global (RTTG) Periode 2021-2022 yaitu padi-padi-padi/palawija dan tebu. Pada gambar 3 disajikan neraca air sebelum optimasi yang menampilkan kesesuaian antara kebutuhan air irigasi dan ketersediaan air yang ada pada Daerah Irigasi Sarangan. Terdapat kekurangan air terutama pada musim tanam II dan III. Pada awal musim tanam III terjadi peningkatan kebutuhan air irigasi yang signifikan karena pada periode tersebut dimulai penyiapan lahan untuk tanaman padi, pembibitan untuk tanaman palawija, dan penanaman tebu.



Gambar 3 Neraca air sebelum optimasi

3.2 Volume Air Tersedia

Pada dinamik deterministik input yang digunakan merupakan nilai rerata dalam setiap musim tanam (Limantara and Soetopo, 2020). Pada Tabel 1 ditunjukkan volume air tersedia yang didapatkan berdasarkan nilai rerata debit tersedia pada Daerah Irigasi Sarangan. Volume air tersedia yang digunakan disajikan dalam satuan unit volume air dengan 1 unit volume air sebesar 500.000 m³. Yang dimaksud 1 unit volume air adalah jumlah unit air yang tersedia berdasarkan ketersediaan air yang ada pada daerah studi dengan interval tertentu. Penentuan 1 unit volume didasarkan pada ketelitian dalam proses perhitungan sehingga untuk memudahkan dipilih 1 unit volume mewakili sebesar 500.000 m³ air. Berdasarkan perhitungan, didapatkan unit volume air tersedia pada Musim Tanam II dan III lebih besar dibandingkan dengan Musim Tanam I karena dipengaruhi oleh penggunaan pompa yang dimulai pada musim tanam II.

Tabel 1 Volume air tersedia pada setiap musim tanam

Musim Tanam	Volume Air Tersedia (unit volume)
I	11
II	12
III	12

3.3 Volume Air Kebutuhan

Volume air kebutuhan didapatkan berdasarkan perhitungan kebutuhan air irigasi pada Daerah Irigasi Sarangan yang kemudian dijumlahkan dan digunakan untuk menghitung luas tanam atau luas lahan yang dapat ditanami. Pada Tabel 2 disajikan jumlah volume air yang dibutuhkan pada setiap musim tanamnya. Perhitungan luas tanam dilakukan pada masing-masing bangunan yang akan dikaji yaitu bangunan bagi sadap B.Dw, bangunan bagi B.Di.1, bangunan bagi sadap B.Di.2, Dam Sarangan, bangunan bagi sadap B.Sa.3, dan bangunan bagi B.Pc hingga luas lahan maksimum yang dapat diairi berdasarkan ketersediaan air pada Daerah Irigasi Sarangan.

Tabel 2 Volume air Kebutuhan pada setiap musim tanam

Musim Tanam	Volume Air Kebutuhan (m ³ /ha)
I	9.164,12
II	18.299,06
III	29.426,77

3.4 Keuntungan Berdasarkan Pemberian Air

Keuntungan disajikan pada setiap tahap/bangunan untuk mengetahui keuntungan yang dapat diperoleh akibat setiap pemberian air irigasi pada masing-masing bangunan hingga luas lahan dapat terairi maksimum. Pada Tabel 3 hingga 5 menunjukkan setiap pemberian airnya menghasilkan keuntungan yang berbeda, namun apabila luas lahan telah terairi maksimum pada pemberian air minimum maka menghasilkan keuntungan yang sama. Tahap yang dimaksud merupakan bangunan yang akan dikaji dimulai dari bangunan bagi sadap B.Dw, bangunan bagi B.Di.1, bangunan bagi sadap B.Di.2, Dam Sarangan, bangunan bagi sadap B.Sa.3, dan bangunan bagi B.Pc. Pada Musim Tanam I pemberian air berakhir dengan unit volume air ke 11 karena unit volume air tersedia pada musim tanam I hanya sebesar 11 unit volume sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 3 Keuntungan berdasarkan pemberian air pada musim tanam I

Pemberian Air (unit)	Tahap					
	1	2	3	4	5	6
1	279.048.716	801.319.635	801.319.635	801.319.635	660.904.855	801.319.635
2	279.048.716	1.602.639.271	1.602.639.271	1.586.171.651	660.904.855	1.602.639.271
3	279.048.716	2.403.958.906	2.403.958.906	1.586.171.651	660.904.855	2.403.958.906
4	279.048.716	2.952.041.684	3.205.278.542	1.586.171.651	660.904.855	3.205.278.542
5	279.048.716	2.952.041.684	4.006.598.177	1.586.171.651	660.904.855	4.006.598.177
6	279.048.716	2.952.041.684	4.807.917.813	1.586.171.651	660.904.855	4.807.917.813
7	279.048.716	2.952.041.684	5.609.237.448	1.586.171.651	660.904.855	5.609.237.448
8	279.048.716	2.952.041.684	6.410.557.083	1.586.171.651	660.904.855	6.109.698.212
9	279.048.716	2.952.041.684	7.108.398.881	1.586.171.651	660.904.855	6.109.698.212
10	279.048.716	2.952.041.684	7.108.398.881	1.586.171.651	660.904.855	6.109.698.212
11	279.048.716	2.952.041.684	7.108.398.881	1.586.171.651	660.904.855	6.109.698.212

Pada Tabel 4 pemberian air yang diberikan pada Musim Tanam II berakhir pada unit volume air ke 12 karena unit volume air yang tersedia pada Musim Tanam II sebesar 12 unit volume air sesuai dengan Tabel 1. Hal ini juga ditunjukkan pada Tabel 5 yang memiliki ketersediaan air sebesar 12 unit volume dengan 1 unit volume merupakan 500.000 m³.

Tabel 4 Keuntungan berdasarkan pemberian air pada musim tanam II

Pemberian Air (unit)	Tahap					
	1	2	3	4	5	6
1	279.048.716	401.298.526	401.298.526	401.298.526	401.298.526	401.298.526
2	279.048.716	802.597.052	802.597.052	802.597.052	660.904.855	802.597.052

3	279.048.716	1.203.895.578	1.203.895.578	1.203.895.578	660.904.855	1.203.895.578
4	279.048.716	1.605.194.104	1.605.194.104	1.586.171.651	660.904.855	1.605.194.104
5	279.048.716	2.006.492.629	2.006.492.629	1.586.171.651	660.904.855	2.006.492.629
6	279.048.716	2.407.791.155	2.407.791.155	1.586.171.651	660.904.855	2.407.791.155
7	279.048.716	2.809.089.681	2.809.089.681	1.586.171.651	660.904.855	2.809.089.681
8	279.048.716	2.952.041.684	3.210.388.207	1.586.171.651	660.904.855	3.210.388.207
9	279.048.716	2.952.041.684	3.611.686.733	1.586.171.651	660.904.855	3.611.686.733
10	279.048.716	2.952.041.684	4.012.985.259	1.586.171.651	660.904.855	4.012.985.259
11	279.048.716	2.952.041.684	4.414.283.785	1.586.171.651	660.904.855	4.414.283.785
12	279.048.716	2.952.041.684	4.815.582.311	1.586.171.651	660.904.855	4.815.582.311

Tabel 5 Keuntungan berdasarkan pemberian air pada musim tanam III

Pemberian Air (unit)	Tahap					
	1	2	3	4	5	6
1	213.623.429	213.623.429	213.623.429	213.623.429	213.623.429	213.623.429
2	238.877.390	427.246.859	427.246.859	427.246.859	427.246.859	427.246.859
3	238.877.390	640.870.288	640.870.288	640.870.288	565.762.241	640.870.288
4	238.877.390	854.493.717	854.493.717	854.493.717	565.762.241	854.493.717
5	238.877.390	1.068.117.147	1.068.117.147	1.068.117.147	565.762.241	1.068.117.147
6	238.877.390	1.281.740.576	1.281.740.576	1.281.740.576	565.762.241	1.281.740.576
7	238.877.390	1.495.364.006	1.495.364.006	1.357.829.377	565.762.241	1.495.364.006
8	238.877.390	1.708.987.435	1.708.987.435	1.357.829.377	565.762.241	1.708.987.435
9	238.877.390	1.922.610.864	1.922.610.864	1.357.829.377	565.762.241	1.922.610.864
10	238.877.390	2.136.234.294	2.136.234.294	1.357.829.377	565.762.241	2.136.234.294
11	238.877.390	2.349.857.723	2.349.857.723	1.357.829.377	565.762.241	2.349.857.723
12	238.877.390	2.527.071.341	2.563.481.152	1.357.829.377	565.762.241	2.563.481.152

Kemudian dilakukan prosedur *forward recursive* dari awal tahap menuju akhir tahap. Langkah selanjutnya adalah menghitung keuntungan dengan prosedur *back tracking* dari tahap akhir menuju tahap awal untuk mendapatkan jalur pemberian air yang optimal dan jumlah unit air yang akan diberikan pada setiap tahap/bangunan yang akan dikaji berdasarkan variabel keputusan pada setiap tahapnya.

3.5 Optimasi Program Dinamik Deterministik

Berdasarkan prosedur *forward recursive* dan *back tracking*, pada Tabel 6 didapatkan keuntungan maksimum yang dapat diperoleh pada Musim Tanam I meningkat sebesar 3%, pada Musim Tanam II meningkat sebesar 6%, dan pada Musim Tanam III meningkat sebesar 7%. Meningkatnya keuntungan yang diperoleh, meningkatkan pula luas lahan yang dapat terairi dibandingkan sebelum optimasi dengan program dinamik deterministik. Jalur pemberian air optimal pada setiap musim tanamnya digunakan untuk mengetahui jumlah unit air yang akan diberikan pada setiap bangunan yang dikaji.

Tabel 6 Hasil optimasi dinamik deterministik

Musim Tanam	Jalur Pemberian Air Optimal	Keuntungan (Rp)		Luas lahan yang terairi (ha)	
		sebelum optimasi	setelah optimasi	sebelum optimasi	setelah optimasi
MT 1	11-11-8-3-2-1-0	8.410.097.474	8.674.101.209	572,63	590,61
MT 2	12-12-5-2-1-1-0	4.535.583.987	4.815.582.311	308,82	327,89
MT 3	12-11-5-2-1-1-0	2.384.742.105	2.563.481.152	189,68	203,90
Jumlah		15.330.423.566	16.053.164.672	1.071,13	1.122,39
Selisih		722.741.106		51,26	

Berdasarkan keuntungan maksimum yang diperoleh, didapatkan pola sebaran air yang dapat dialirkan pada masing-masing bangunan yang dikaji. Pola sebaran air digunakan untuk mengetahui alokasi air yang diberikan pada setiap bangunan serta keuntungan yang dapat diperoleh berdasarkan pemberian air pada setiap bangunannya. Pada Tabel 7 ditunjukkan alokasi air yang diberikan pada setiap keuntungan serta luas lahan yang dapat terairi meningkat dibandingkan sebelum optimasi dengan program dinamik deterministik. Dengan diketahuinya besar alokasi air yang diberikan pada masing-masing bangunan yang dikaji dapat memudahkan implementasi di lapangan.

Tabel 7 Pola sebaran air pada musim tanam I

Bangunan	Luas terairi (ha)		Debit 10 Harian (m ³ /dt)		Keuntungan (Rp)	
	sebelum optimasi	setelah optimasi	Kebutuhan	Alokasi	sebelum optimasi	setelah optimasi
B.Dw	19,00	0,00	0,00	0,00	279.048.716	0
B.Di.1	201,00	163,68	1,45	1,45	2.952.041.684	2.403.958.906
B.Di.2	352,63	272,80	2,41	2,41	5.179.007.073	4.006.598.177
Dam Sarangan	0,00	54,56	0,48	0,48	0	801.319.635
B.Sa.3	0,00	45,00	0,40	0,48	0	660.904.855
B.Pc	0,00	54,56	0,48	0,48	0	801.319.635
Jumlah	572,63	590,61	5,22	5,30	8.410.097.474	8.674.101.209

Secara umum, program dinamik deterministik memperhitungkan pemberian air dengan keuntungan maksimum yang dapat diperoleh tanpa mempertimbangkan kebijakan pemberian air yang diterapkan. Hal ini menyebabkan pada Musim tanam I dan II terdapat bangunan yang sebelumnya terairi menjadi tidak dialirkan air sehingga menyebabkan keuntungan yang dapat diperoleh lebih kecil dibandingkan sebelum optimasi. Namun, secara keseluruhan terjadi peningkatan keuntungan dibandingkan sebelum optimasi.

Pada Tabel 8 disajikan pola sebaran air yang dapat dialirkan pada masing-masing bangunan yang dikaji di musim tanam II dengan peningkatan keuntungan sebesar 6%. Dengan ketersediaan air yang ada sebesar 12 unit volume mampu mengairi luas lahan sebesar 327,89 Ha.

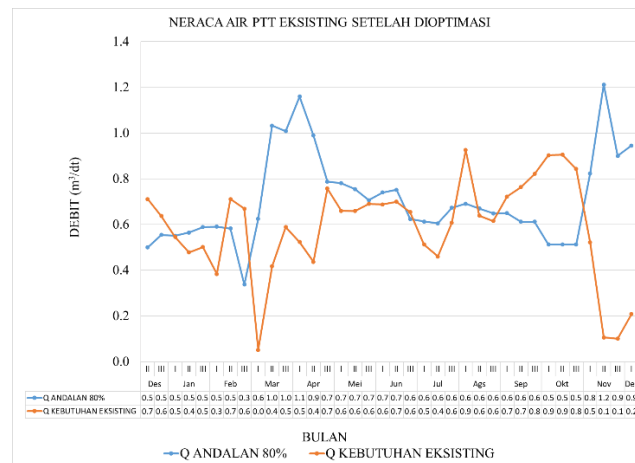
Tabel 8 Pola sebaran air pada musim tanam II

Bangunan	Luas terairi (ha)		Debit 10 Harian (m ³ /dt)		Keuntungan (Rp)	
	sebelum optimasi	setelah optimasi	Kebutuhan	Alokasi	sebelum optimasi	setelah optimasi
B.Dw	19,00	0,00	0,00	0,00	279.048.716	0
B.Di.1	201,00	191,27	3,38	3,38	2.952.041.684	2.809.089.681
B.Di.2	88,82	81,97	1,45	1,45	1.304.493.587	1.203.895.578
Dam Sarangan	0,00	27,32	0,48	0,48	0	401.298.526
B.Sa.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
B.Pc	0,00	27,32	0,48	0,48	0	401.298.526
Jumlah	308,82	327,89	5,79	5,79	4.535.583.987	4.815.582.311

Pada Tabel 9 disajikan pola sebaran air yang dapat dialirkan pada masing-masing bangunan yang dikaji di musim tanam III dengan peningkatan keuntungan secara keseluruhan sebesar 7%. Maka, dengan ketersediaan air sebesar 12 unit volume mampu mengairi luas lahan sebesar 203,90 Ha.

Tabel 9 Pola sebaran air pada musim tanam III

Bangunan	Luas terairi (ha)		Debit 10 Harian (m ³ /dt)		Keuntungan (Rp)	
	sebelum optimasi	setelah optimasi	Kebutuhan	Alokasi	sebelum optimasi	setelah optimasi
B.Dw	19,00	16,99	0,48	0,48	238.877.390	213.623.429
B.Di.1	170,68	101,95	2,89	2,89	2.145.864.715	1.281.740.576
B.Di.2	0,00	50,97	1,45	1,45	0	640.870.288
Dam Sarangan	0,00	16,99	0,48	0,48	0	213.623.429
B.Sa.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
B.Pc	0,00	16,99	0,48	0,48	0	213.623.429
Jumlah	189,68	203,90	5,79	5,79	2.384.742.105	2.563.481.152



Gambar 4 Neraca air setelah optimasi

Berdasarkan pola sebaran air yang diberikan pada setiap bangunannya di masing-masing musim tanam, dapat diperoleh neraca air setelah optimasi. Hal ini digunakan untuk mengetahui kesesuaian antara kondisi ketersediaan air dan kebutuhan air yang ada pada Daerah Irigasi Sarangan setelah dilakukan optimasi dengan dinamik deterministik. Pada gambar 4 ditunjukkan bahwa secara keseluruhan terjadi peningkatan periode musim tanam yang mampu terpenuhi oleh debit andalan. Namun, masih terdapat kekurangan pada beberapa periode dalam satu tahun musim tanam. Hal ini dapat terjadi karena pada awal Musim Tanam I dan III merupakan masa pembibitan dan garap tanah yang membutuhkan air lebih banyak dibandingkan saat masa pertumbuhan tanaman

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan neraca air kondisi eksisting dengan pola tata tanam sesuai Rencana Tata Tanam Global (RTTG) Periode 2021-2022 yaitu padi-padi-padi/palawija dan tebu terdapat kekurangan air pada periode musim tanam di Daerah Irigasi Sarangan. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya pengelolaan sumber daya air yang optimal dengan teknik optimasi dibutuhkan untuk memaksimalkan keuntungan berdasarkan ketersediaan air yang ada pada Daerah Irigasi Sarangan.

Hasil analisa optimasi dengan program dinamik deterministik menunjukkan secara keseluruhan diperoleh peningkatan keuntungan sebesar 4,70%. Pada musim tanam I peningkatan keuntungan yang diperoleh sebesar 3%, pada Musim Tanam II sebesar 6%, dan pada musim Tanam III sebesar 7%. Selain itu, berdasarkan hasil analisa didapatkan pula pola sebaran air yang dapat diberikan pada masing-masing bangunan irigasi di setiap musim tanamnya sehingga hal ini dapat memudahkan proses implementasi di lapangan. Pola sebaran air yang dialirkan pada masing-masing bangunan sesuai dengan ketersediaan air yang ada di setiap musim tanam.

Pada neraca air setelah optimasi dengan program dinamik deterministik, secara keseluruhan terjadi peningkatan periode musim tanam yang dapat terpenuhi. Namun, masih terdapat kekurangan pada beberapa periode dalam satu tahun musim tanam. Hal ini dapat terjadi karena pada awal Musim Tanam I dan III merupakan masa pembibitan dan garap tanah yang membutuhkan air lebih banyak dibandingkan saat masa pertumbuhan tanaman.

4.2 Saran

Pada analisa neraca air masih ditemukan kondisi defisit untuk beberapa periode musim tanam sehingga disarankan apabila kondisi di lapangan mendukung untuk dilakukan pergerseran awal musim tanam sehingga dapat berdampak pada keuntungan yang dapat diperoleh.

Daftar Kepustakaan

- Berbel, J. and Exposito, A, 2022. A decision model for stochastic optimization of seasonal irrigation-water allocation, *Agricultural Water Management*, 262(September 2021), pp. 1–6. doi: 10.1016/j.agwat.2021.107419.

- Damayanti, I. and Santosa, B., 2022. Analisis Optimasi Pola Tata Tanam Jaringan Irigasi Daerah Irigasi Cidurian Tangerang Menggunakan Program Linier, *Teras Jurnal*, 12(1), pp. 281–294.
- Gong, X. et al, 2020. Optimization allocation of irrigation water resources based on crop water requirement under considering effective precipitation and uncertainty, *Agricultural Water Management*. Elsevier, 239(126), p. 106264. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106264.
- Hoesein, A. A., Suparmanto, J. and Sugianto P.R,S, 2012. Optimasi Irigasi Dengan Program Dinamik DI Metro Hilir, *Jurnal Teknik Pengairan*, 1(2).
- Juwono, P. T. et al, 2018. Optimization of Irrigation Cropping Patern (Case Study on Karang Anyar Irrigation Area, Malang Regency, Indonesia), *International Journal of GEOMATE*, 15(50), pp. 197–204.
- Juwono, P. T., Limantara, L. M. and Putra, A. R, 2021. Optimizing Irrigation Benefits In The Water System Using Dynamic Programming, *Journal of Southwest Jiaotong University*, 56(4).
- Li, M. et al, 2020. Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty, *Journal of Hydrology*, 586(March). doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124888.
- Limantara, L. M, 2018. *Rekayasa Hidrologi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Limantara, L. M. and Soetopo, W, 2020 *Manajemen Air (Water Management)*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Luo, W. et al, 2022. Analysis of crop water requirements and irrigation demands for rice : Implications for increasing effective rainfall, *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 260(October 2021), p. 107285. doi: 10.1016/j.agwat.2021.107285.
- Nalurita, S., Limantara, L. M. and Prayogo, T. B, 2017. Studi Optimasi Distribusi Air Irigasi pada Daerah Irigasi Tengoro Kabupaten Banyuwangi dengan Program Dinamik, *Jurnal Teknik Pengairan*, 8(1), pp. 72–78.
- Nu'fa, H., Limantara, L. M. and Soetopo, W, 2016. Optimasi Air Waduk Gondang dengan Metode Dinamik Deterministik, *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(1), pp. 25–34.
- Zhang, F. et al, 2019. Planning seasonal irrigation water allocation based on an interval multiobjective multi-stage stochastic programming approach, *Agricultural Water Management*. Elsevier, 223(17), p. 105692. doi: 10.1016/j.agwat.2019.105692.
- Zhang, X. et al, 2021. Optimal irrigation water allocation in Hetao Irrigation District considering decision-makers' preference under uncertainties, *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V., 246(17), p. 106670. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106670.
- Zhou, Y. X. et al, 2022. A fixed-mix stochastic fractional programming method for optimizing agricultural irrigation and hydropower generation in Central Asia, *Journal of Contaminant Hydrology*, 248(March). doi: 10.1016/j.jconhyd.2022.104004.