



OPTIMASI PEMANFAATAN AIR DI DAERAH IRIGASI SENGGOWAR KABUPATEN NGANJUK

Dwi Novitasari¹⁾, Danayanti Azmi Dewi Nusantara²⁾

¹⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: dwinovitasari364@gmail.com

²⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: danayanti@gmail.com

Abstract

The Senggowar Irrigation Area is one of the irrigation areas in Nganjuk Regency that utilizes water from the Bening Reservoir as its main source to meet irrigation water demand. During certain cropping periods, water availability has been insufficient to meet irrigation needs according to the applied cropping pattern, causing a portion of the existing land area to not be optimally irrigated. This condition highlights the need for a study on more efficient water allocation arrangements so that the available water can provide maximum benefit to farmers in the area. This study aims to analyze the balance between irrigation water availability and demand, and to determine the optimal land area that can be irrigated using the Deterministic Dynamic Programming approach. The data used include dependable discharge, climatological data, cropping patterns, crop coefficients, and service land area. Irrigation water demand was calculated based on crop water requirements minus effective rainfall, while water availability was determined based on the dependable discharge. The optimization process referred to the cropping pattern established in the Global Cropping Pattern Plan (RTTG) of the Senggowar Irrigation Area. The optimization results show that in the Senggowar Right Secondary Canal, the irrigable land area from Cropping Season I to Cropping Season III increased to 1335,24 ha, compared to 1284,89 ha before optimization, an increase of 3,92%. In the Senggowar Left Secondary Canal, the irrigable land area from Cropping Season I to Cropping Season III increased to 806,62 ha, compared to 731,63 ha before optimization, an increase of 10,25%. In the Senggowar Right Secondary Canal, profits increased from Rp40.817.754.602,43 to Rp41.871.929.453,66, while in the Senggowar Left Secondary Canal, profits increased from Rp22.657.251.712,18 to Rp24.985.553.901,83. After the addition of the pump, profits in the Senggowar Right Secondary Canal increased to Rp74.232.085.497,44, and in the Senggowar Left Secondary Canal increased to Rp35.193.570.082,46. The results of this study indicate that the application of Deterministic Dynamic Programming, supported by an additional pump, can optimize irrigation water allocation and significantly increase farming profits across the entire existing land area in accordance with the cropping pattern applied in the Senggowar Irrigation Area.

Keywords: *Senggowar Irrigation Area, water allocation, optimization, Deterministic Dynamic Programming, irrigation pump*

Abstrak

Daerah Irigasi Senggowar merupakan salah satu daerah irigasi di Kabupaten Nganjuk yang memanfaatkan air dari Waduk Bening sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Pada beberapa periode musim tanam, ketersediaan air belum mampu memenuhi kebutuhan air irigasi sesuai dengan pola tata tanam yang diterapkan, sehingga menyebabkan tidak seluruh luas lahan eksisting dapat terairi secara optimal. Kondisi ini mendorong perlunya kajian pengaturan alokasi air secara lebih efisien agar pemanfaatan air yang tersedia dapat memberikan manfaat maksimal bagi petani di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air irigasi, serta menentukan luas lahan optimal yang dapat diairi dengan menggunakan pendekatan Program Dinamik Deterministik. Data yang digunakan meliputi debit andalan, data klimatologi, pola tata tanam, koefisien tanaman, dan luas lahan layanan. Kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan kebutuhan air tanaman dikurangi curah hujan efektif, sedangkan ketersediaan air ditentukan berdasarkan debit andalan. Proses optimasi mengacu pada pola tata tanam yang telah ditetapkan dalam Rencana Tata tanam Global (RTTG) Daerah Irigasi Senggowar. Hasil optimasi menunjukkan bahwa pada Saluran Sekunder Senggowar Kanan, luas lahan yang dapat diairi mulai dari MT I sampai dengan MT III meningkat menjadi 1335,24 ha, dibandingkan dengan kondisi sebelum optimasi sebesar 1284,89 ha, atau meningkat sebesar 3,92%. Pada saluran Sekunder Senggowar Kiri, luas lahan yang dapat diairi pada MT I sampai dengan MT III meningkat menjadi 806,62 ha, dibandingkan dengan kondisi sebelum optimasi sebesar 731,63 ha, atau meningkat 10,25%. Pada Saluran Sekunder Senggowar Kanan menunjukkan bahwa, keuntungan meningkat dari Rp40.817.754.602,43 menjadi Rp41.871.929.453,66, sedangkan pada Saluran Sekunder Senggowar Kiri, keuntungan meningkat dari Rp22.657.251.712,18 menjadi Rp24.985.553.901,83. Setelah adanya penambahan pompa pada Sekunder Senggowar Kanan keuntungan meningkat menjadi Rp74.232.085.497,44 dan pada Sekunder Senggowar Kiri meningkat menjadi Rp35.193.570.082,46. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Program Dinamik Deterministik yang didukung dengan penambahan pompa dapat mengoptimalkan alokasi air irigasi serta meningkatkan keuntungan usaha tani secara signifikan pada seluruh luas lahan eksisting sesuai dengan pola tata tanam yang diterapkan di Daerah Irigasi Senggowar.

Kata Kunci: *Daerah Irigasi Senggowar, alokasi air, optimasi, Program Dinamik Deterministik, pompa irigasi*



PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang berperan penting untuk menunjang keberlangsungan sektor pertanian, keseimbangan ekosistem, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Pada skala global, masalah ketersediaan dan pengelolaan air menjadi fokus utama dalam tujuan Pembangunan berkelanjutan (SDGs), terutama SDG 2 (Zero Hunger) dan SDG 6 (Clean Water And Sanitation). Namun, realita di lapangan menunjukkan bahwa distribusi air sering kali tidak sesuai dengan kebutuhan aktual. Pada musim penghujan, ketersediaan air melimpah tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal. Sementara pada musim kemarau ketersediaan air menurun, sehingga mengakibatkan produktivitas pertanian juga mengalami penurunan (Nalurita S., 2016). Tidak seimbang musim ini menekankan pentingnya strategi pembagian air irigasi yang lebih efektif untuk menjaga keberlanjutan sistem pangan nasional.

Dari aspek regulasi, Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) telah mendorong pembaruan pengelolaan irigasi dengan menekankan efisiensi, distribusi air yang merata, dan kelestarian. Upaya tersebut dijelaskan dalam Peraturan Menteri PUPR No. 12/PRT/M/2015 tentang pemanfaatan dan pemeliharaan jaringan irigasi, serta Peraturan Menteri PUPR No. 30/PRT/M/2015 tentang Pembangunan dan pengaturan sistem irigasi. Kedua regulasi tersebut menyatakan bahwa distribusi air harus memperhitungkan kebutuhan air aktual di lapangan dan kondisi eksisting daerah irigasi. Selain itu, Rencana Strategis Dinas Sumber Daya Air Jawa Timur 2025–2026 menetapkan perbaikan jaringan irigasi dan pengoptimalan pembagian air sebagai prioritas untuk meminimalkan risiko kekeringan dan meningkatkan produktivitas pertanian (Bappeda Provinsi Jawa Timur, 2025; PUPR, 2020).

Salah satu wilayah yang menghadapi tantangan tersebut adalah Daerah Irigasi (DI) Senggowar di Kabupaten Nganjuk, dengan luas layanan sekitar 1209,5 hektar. Wilayah ini masuk dalam Sistem Irigasi Widas dan mendapat pasokan air dari Waduk Bening. Walaupun air cukup banyak pada musim hujan, sebagian besar masih belum dimanfaatkan dengan optimal. Sedangkan pada musim kemarau ketersediaan air menurun, sehingga beberapa lahan tidak dapat diusahakan secara produktif. Selain itu, penerapan sistem rotasi air secara konvensional membuat pembagian air kurang responsif terhadap perubahan debit musiman, sehingga tidak efisien dalam penggunaan air irigasi (Rahayu dkk., 2015).

Penelitian sebelumnya oleh (Rahayu dkk., 2015). memanfaatkan program linier untuk menentukan pola tanam yang menghasilkan keuntungan ekonomi maksimal untuk petani. Meski penelitian tersebut mampu menaikkan pendapatan hingga Rp 490 juta per tahun, sebagian lahan masih belum terairi secara optimal. Hal tersebut menunjukkan bahwa pendekatan linier memiliki keterbatasan dalam mengakomodasi variasi debit air musiman dan dinamika pembagian antar bangunan irigasi, sehingga kurang sesuai untuk kondisi hidrologis yang tidak stabil. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis ketersediaan air dan perkiraan

luas lahan yang dapat diairi dengan memperhitungkan kebutuhan air tanaman.

Program dinamik didefinisikan sebagai pendekatan optimasi matematika yang dirancang untuk menyelesaikan masalah pengambilan keputusan yang bersifat beratahap (multi stage). Metode ini bekerja dengan menguraikan masalah kompleks menjadi tahapan-tahapan yang saling berhubungan dengan menerapkan prinsip optimalitas (Babba dkk., 2021). Penerapannya dalam bidang sumber daya air, khususnya pada optimasi alokasi air irigasi, program dinamik deterministik dimanfaatkan untuk merancang distribusi air yang paling efisien pada setiap periode, dengan menghitung fungsi tujuan serta batasan ketersediaan debit (Aprilia dkk., 2022).

Sebagai perbandingan, berbagai penelitian lain menunjukkan bahwa program dinamik lebih baik dalam menangani sistem irigasi yang bersifat bertahap dan dipengaruhi oleh perubahan debit air. Metode ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi distribusi air pada jaringan irigasi bertingkat (Fidiana E., 2019). Selain itu, program dinamik juga efektif dalam meningkatkan luas tanam dengan mempertimbangkan variasi debit musiman pada Daerah Irigasi Alopohu (Babba dkk., 2021). Secara umum hasil penelitian terdahulu tersebut menegaskan bahwa program dinamik lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lapangan dan lebih tepat untuk memaksimalkan pemanfaatan air irigasi.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan metode teknis yang mampu menyesuaikan pembagian air dengan variasi debit air seiring waktu. Program dinamik dipilih sebagai pendekatan yang memungkinkan analisis alokasi air dilakukan secara bertahap sesuai dengan ketersediaan air pada setiap periode, sehingga dapat ditentukan luas lahan maksimum yang dapat diairi berdasarkan kebutuhan air tanaman dan pola tanam. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan luas lahan terairi yang diharapkan mampu meningkatkan hasil produksi pertanian dan keuntungan maksimum, serta mendukung pencapaian SDGs 2 dan 6 melalui pemanfaatan air yang lebih efisien, berkeadilan, dan berkelanjutan (Fidiana E., 2019). Selain itu, penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan pendekatan statis dinilai belum mampu menyesuaikan fluktuasi ketersediaan dan kebutuhan air secara optimal. Oleh sebab itu, penelitian ini menerapkan metode program dinamik untuk memperoleh alokasi air yang lebih efisien dan menghasilkan produksi yang lebih maksimal dibandingkan penelitian sebelumnya.

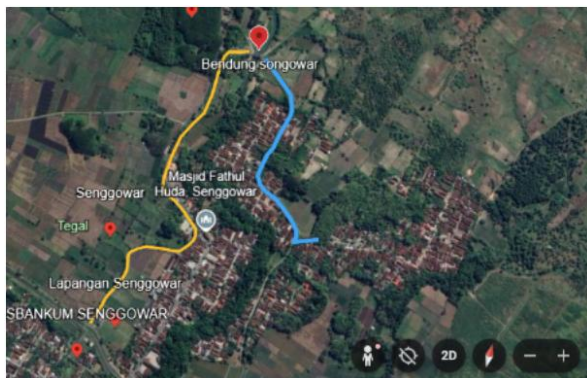
METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam penelitian kuantitatif menggunakan data yang sudah dikumpulkan, kemudian dilakukan analisis data menggunakan program dinamik. Penelitian ini akan memanfaatkan data sekunder yang sudah dikumpulkan dari berbagai sumber atau instansi terkait yang berkepentingan dengan DI Senggowar, serta instansi lain yang memiliki data sesuai keperluan yang dibutuhkan peneliti. Dalam penelitian ini, peneliti akan melakukan simulasi pola operasi Bendung Senggowar dengan meninjau ketersediaan air dan kebutuhan air di DI Senggowar. Program Dinamik ini menggunakan Microsoft



Excel dengan tujuan untuk menetapkan luas lahan optimal berdasarkan keterbatasan ketersediaan air dan pola tata tanam, serta keuntungan ekonomi.

Penelitian ini dilaksanakan di Daerah Irigasi Senggowar Kabupaten Nganjuk pada periode Januari hingga Februari 2026. Penelitian ini berlokasi Daerah Irigasi Senggowar yang terletak di Kecamatan Gondang, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur. Daerah Irigasi Senggowar mempunyai luas lahan irigasi 1322 Ha, yang di koordinir oleh UPTD Pengelolaan Sumber Daya Air Bening Kabupaten Nganjuk. Sumber aliran pada daerah irigasi ini berasal dari Waduk Bening yang dikelola oleh Bendung Senggowar untuk mensuplai air irigasi pada persawahan. Gambar 3.1 merupakan gambar lokasi penelitian yang di dalamnya terdapat Bendung Senggowar, aliran irigasi Sekunder Senggowar Kanan yang ditandai warna kuning dan aliran Sekunder Senggowar kiri dengan warna biru.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian

Penyelesaian studi optimasi air irigasi agar mencapai tujuan yang diharapkan, direncanakan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Penelitian dimulai dengan studi literatur untuk menetapkan dasar teori. Dari literatur yang relevan, diperoleh pemahaman tentang distribusi air irigasi yang efisien. Penerapan program dinamik pada penelitian sebelumnya untuk mengoptimalkan air berdasarkan ketersediaan air dan kebutuhan air tanaman.

2. Pengumpulan Data

- Data Debit Intake
- Skema Jaringan Irigasi
- Curah Hujan
- Data Klimatologi
- Data Rencana Tata Tanam Global (RTTG)
- Data Ekonomi

3. Menghitung Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif ditentukan berdasarkan data curah hujan rata-rata daerah yang dihitung menggunakan metode Polygon Thiessen, sehingga dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan air tanaman secara lebih representatif sesuai luas pengaruh masing-masing stasiun hujan.

4. Analisis Evapotranspirasi

Evapotranspirasi dihitung berdasarkan data klimatologi untuk menentukan besarnya kebutuhan air tanaman akibat kehilangan air melalui proses evaporasi dari permukaan tanah dan transpirasi oleh tanam. Perhitungan evapotranspirasi pada penelitian ini menggunakan metode Penman Modifikasi. Nilai evaporasi kemudian digunakan dalam perhitungan kebutuhan bersih air (NFR) pada setiap periode tanam.

5. Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman

Perhitungan kebutuhan air tanaman dilakukan dengan menggabungkan hasil analisis evapotranspirasi dan curah hujan efektif, serta faktor tambahan seperti kebutuhan air tanaman, perkolasi, dan penggantian lapisan air.

6. Perhitungan kebutuhan Air di Intake

Perhitungan kebutuhan debit intake dilakukan untuk mengetahui besarnya debit air yang tersedia pada bangunan pengambilan agar mampu memenuhi kebutuhan air irigasi pada seluruh daerah layan.

7. Optimasi Program Dinamik

Pengoptimalan pembagian air irigasi dengan metode program dinamik deterministik menggunakan Rencana Tata Tanam Global (RTTG) Daerah Irigasi Senggowar. Pola tanam yang digunakan tidak mengalami perubahan, sedangkan proses optimasi ditujukan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman pada setiap musim tanam. Hasil optimasi digunakan untuk menentukan luas lahan yang dapat diairi secara optimal dengan mempertimbangkan keseimbangan antara ketersediaan air dan kebutuhan air irigasi sesuai dengan pola tata tanam RTTG. Tahapan perhitungan optimasi alokasi air irigasi dengan program dinamik deterministik pada Daerah irigasi Senggowar dilakukan sebagai berikut.

- Menghitung volume air yang tersedia sesuai debit andalan yang dialokasikan di DI Senggowar.
- Menghitung volume air yang dibutuhkan untuk setiap bangunan yang akan dikaji.
- Menganalisis serta menentukan besarnya volume air berdasarkan ketersediaan air irigasi.
- Menghitung luas lahan yang dapat terairi oleh debit pada setiap periode tanam di tiap bangunan. Perhitungan tersebut dapat dilakukan setelah didapatkan hasil volume kebutuhan serta volume tersedia.
- Menentukan keuntungan dari luas lahan yang dapat diairi berdasarkan hasil perhitungan ekonomi per hektar yang berasal dari Dinas Pertanian di daerah setempat.
- Pada tahap akhir diperoleh keuntungan maksimum yang merupakan akumulasi dari keseluruhan pada satu tahun periode tanam berdasarkan jumlah keuntungan maksimal setiap musim tanam.



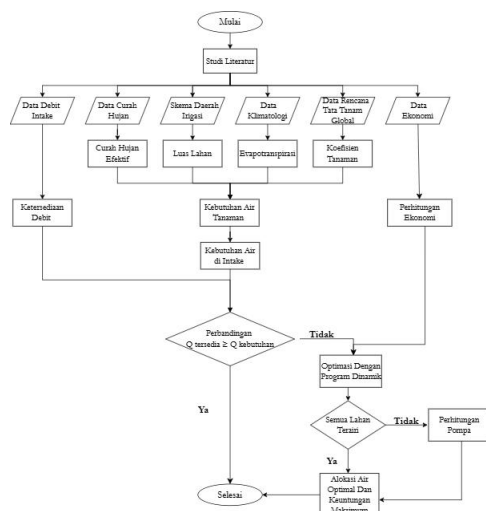
8. Evaluasi Variabel Keputusan

Hasil dari program dinamik kemudian dievaluasi untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi aktual pada wilayah irigasi senggowar. Evaluasi meliputi kecukupan debit dan kesesuaian luas lahan yang terairi, kemudian dilakukan analisis pendukung sebagai evaluasi hasil keuntungan ekonomi berdasarkan optimasi alokasi air. Perhitungan keuntungan ekonomi dilakukan berdasarkan luas lahan hasil optimasi, produktivitas pertanian, harga jual yang telah disesuaikan, dan biaya produksi yang dihitung berdasarkan data aktual yang diperoleh dari instansi terkait. Selain itu, penyesuaian harga dilakukan dengan mempertimbangkan faktor inflasi dalam periode tertentu menggambarkan kondisi ekonomi terkini.

9. Perhitungan Pompa

Perhitungan kebutuhan pompa dilakukan berdasarkan hasil optimasi untuk mengetahui kekurangan air pada lahan yang belum terairi. Kapasitas pompa ditentukan berdasarkan kebutuhan debit tambahan, kemudian ditentukan daya dan spesifikasi pompa dengan mempertimbangkan tinggi angkat dan efisiensi pompa. Hasil perhitungan digunakan untuk menentukan pompa yang sesuai sebagai sumber air tambahan dalam memenuhi kebutuhan air irigasi pada lahan eksisting.

Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Irigasi Senggowar merupakan sistem jaringan yang berfungsi mengalirkan air dari bangunan pengambil menuju area persawahan melalui saluran primer, sekunder, dan tersier. Distribusi air dilakukan secara gravitasi dengan bantuan bangunan bagi dan bangunan sadap untuk mengatur pembagian debit air. Kondisi jaringan dan kapasitas saluran mempengaruhi kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan air irigasi. Pada penelitian ini, jaringan irigasi digunakan sebagai dasar dalam analisis kebutuhan air dan optimasi distribusi air menggunakan program dinamik.

Analisis hidrologi merupakan suatu tahapan yang bertujuan untuk mengolah dan mengevaluasi data hidrologi untuk mengetahui ketersediaan dan distribusi air pada wilayah tertentu. Analisis hidrologi pada Daerah Irigasi Senggowar diperlukan dalam perhitungan optimasi irigasi yang berfungsi untuk menentukan ketersediaan dan kebutuhan air irigasi pada lahan pertanian.

Analisis kebutuhan air dilakukan untuk menghitung besarnya kebutuhan air irigasi pada setiap periode tanam berdasarkan pola tata tanam yang diterapkan. Perhitungan ini meliputi kebutuhan air selama penyiapan lahan, evapotranspirasi tanaman, curah hujan efektif, perkolasi, penggantian lapisan air (Water Level Replacement/WLR), serta efisiensi irigasi. Hasil analisis kebutuhan air digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan debit irigasi dan penyusunan optimasi alokasi air pada Daerah Irigasi Senggowar. Parameter yang digunakan dalam perhitungan kebutuhan air adalah sebagai berikut :

1. Umur tanaman padi yaitu 90 hari
2. Umur tanaman jagung yaitu 90 hari
3. Umur tanaman bawang yaitu 70 hari
4. Umur tanaman kedelai 85 hari
5. Umur tanaman tebu yaitu 360 hari
6. Interval perhitungan yang digunakan yaitu 10 harian
7. Varietas tanaman padi yang digunakan adalah varietas unggul
8. Varietas tanaman jagung, bawang, kedelai, dan tebu menggunakan varietas biasa

Analisis ekonomi dilakukan dengan menghitung seluruh biaya produksi yang dikeluarkan dan penerimaan hasil panen dari setiap jenis tanaman yang dibudidayakan. Keuntungan ekonomi dihitung sebagai selisih antara nilai penerimaan dan total biaya produksi. Nilai keuntungan yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis keuntungan ekonomi pada penelitian ini. Rincian analisis usaha tani untuk perhitungan ekonomi tanaman padi, bawang merah, jagung, kedelai, dan tebu disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 37 Analisa Usaha Tani Tanaman Padi Kabupaten

Padi				
No	Uraian	Volume	Satuan	Biaya Satuan
A. TENAGA KERJA				
(Pra Panen)				
	Persiapan Lahan	1	Ha	Rp. 1.500.000,00
	Tanam	15	HOK	Rp. 140.000,00
	Pemupukan I/II	3	HOK	Rp. 120.000,00
	Pemupukan III	15	HOK	Rp. 120.000,00
	Penyempukan	3	HOK	Rp. 140.000,00
	Pengairan	3	Rp.	135.000,00
(Pasca Panen)				
	Panen	10	HOK	Rp. 210.000,00
	Pengangkutan	30	Kg	Rp. 5.000,00
	Penyimpanan			
	-Lain-lain			
	Jumlah			Rp. 9.735.000,00
B. SARANA PRODUKSI				
	Berih	40	Eg	Rp. 15.000,00
	Urea	300	Eg	Rp. 2.250,00
	ZA	150	Eg	Rp. 3.500,00
	NPK	250	Eg	Rp. 2.300,00
	Pupuk Organik	300	Eg	Rp. 1.000,00
	Insektisida	3	Ltr	Rp. 400.000,00
	Fungisida	1,5	Eg	Rp. 190.000,00
	Herbida	2	Ltr	Rp. 300.000,00
	Rodentisida	2	Eg	Rp. 50.000,00
	-Lain-lain			
	Jumlah			Rp. 5.385.000,00
C. Pengeluaran Lain				
	Sewa Lahan	1	Ha	Rp. 8.500.000,00
	Pajak	1	Ha	Rp. 100.000,00
	-Lain-lain (HPPA, APB Desa, dll)			
	Jumlah			Rp. 8.600.000,00
Total Keleluhan				
	1. Total Biaya Produksi			Rp. 23.910.000,00
	2. Total Produksi			6295
	3. Harga Jual	6295	Eg	Rp. 6.300,00
	4. Pendapatan Bersih			Rp. 17.007.500,00
	5. R/C			1,71



Analisis optimasi ini didasarkan pada kebutuhan air irigasi mengikuti pola tata tanam RTTG periode 2024-2025, yaitu padi-bawang merah, padi-bawang merah-jagung, jagung-kedelai. Penelitian ini menggunakan dua asumsi dasar sebagai berikut :

1. Jika alokasi air yang tersedia melebihi kebutuhan irigasi, maka kelebihan air diasumsikan tidak dimanfaatkan dan mengalir ke daerah irigasi berikutnya.
2. Jika air tidak mencukupi kebutuhan irigasi, maka hanya sejumlah air yang tersedia itulah yang digunakan dan menghasilkan keuntungan. Kekurangan tersebut kemudian dihitung sebagai debit pompa yang diperlukan untuk menutupi selisih antara kebutuhan dan ketersediaan air, sehingga seluruh kebutuhan irigasi dapat terpenuhi.

Pada penelitian ini, model program dinamik deterministik ditentukan oleh beberapa hal sebagai berikut.

- a. Terdapat lima tahapan/Stage yang ditentukan untuk Senggowar Kanan, antara lain BSG KA 1, BSG KA 3, BSG KA 5, BSG KA 7, BSG KA 9, sedangkan untuk Senggowar Kiri yaitu, BSG KI 1, BSG KI 3, BSG KI 5, BSG KI 7
- b. Variabel keputusan yaitu alokasi x untuk setiap saluran.

Metode program dinamik deterministik digunakan pada penelitian ini karena data ketersediaan air irigasi yang dipakai berupa debit andalan Q80, yang nilainya bersifat tetap dan bukan acak (stokastik). Dengan sifat data yang demikian, tidak diperlukan lagi perhitungan probabilitas terhadap selisih antara debit tersedia dan debit yang dibutuhkan pada masing-masing bangunan irigasi.

Penyelesaian model program dinamik ini dilakukan dengan pendekatan (forward recursive), yaitu perhitungan dari tahap awal hingga tahap akhir. Kemudian dilakukan pemeriksaan kembali (control check) melalui perhitungan optimasi dari tahap akhir menuju tahap awal (back tracking), untuk memastikan hasil yang diperoleh konsisten.

Berdasarkan hasil analisis optimasi alokasi air irigasi menggunakan program dinamik deterministik pada sekunder Senggowar Kanan, diperoleh pola alokasi air yang optimal pada setiap periode pengamatan. Hasil perhitungan tersebut kemudian direkapitulasi untuk memberikan gambaran mengenai kondisi alokasi air setelah dilakukan proses optimasi. Rekapitulasi hasil optimasi yang mencakup hasil alokasi air pada masing-masing periode disajikan pada tabel 4.68.

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada tabel 4.68, penerapan program dinamik deterministik menghasilkan alokasi air irigasi yang lebih optimal dibandingkan dengan kondisi sebelum dilakukan optimasi. Optimasi tersebut memberikan perubahan terhadap luas lahan yang dapat terairi pada masing-masing musim tanam sesuai dengan ketersediaan air irigasi pada saluran Sekunder Senggowar Kanan.

Pada Musim Tanam I, luas lahan yang dapat terairi setelah dilakukan optimasi sebesar 906 Ha, sama dengan

kondisi sebelum dilakukan optimasi. Pada Musim Tanam II, luas lahan terairi mencapai 249,58 Ha dengan peningkatan sebesar 1,37%, dan pada Musim Tanam III luas lahan yang dapat terairi sebesar 179,66 Ha dan mengalami peningkatan sebesar 2,54% dibandingkan kondisi sebelum optimasi. Secara keseluruhan luas lahan yang dapat terairi mengalami peningkatan sebesar 50,35 Ha atau sebesar 3,92%.

Peningkatan luas lahan terairi tersebut menunjukkan bahwa alokasi air melalui program dinamik mampu memanfaatkan ketersediaan air pada saluran Sekunder Senggowar Kanan secara lebih optimal. Hasil optimasi juga menunjukkan bahwa keuntungan maksimum yang dapat diperoleh dari pemanfaatan air irigasi pada saluran Sekunder Senggowar Kanan mencapai Rp41.871.929.453,66. Nilai tersebut terdiri atas keuntungan pada Musim Tanam I sebesar Rp29.649.045.000,00, Musim Tanam II sebesar Rp10.519.516.937,64, dan Musim Tanam III sebesar Rp1.703.367.516,66.

Selain menghasilkan alokasi air yang optimal, proses optimasi dilanjutkan dengan backtracking untuk menentukan lintasan keputusan yang memberikan hasil optimum. Dari proses tersebut diperoleh lintasan penyaluran air yang optimal beserta jumlah air yang dapat dialokasikan pada setiap bangunan irigasi sesuai dengan tahapan dalam metode program dinamik. Berikut disajikan tabel pola sebaran air untuk memperoleh keuntungan maksimum pada setiap musim tanam yang menampilkan luas lahan terairi, debit dan keuntungan sebelum dan setelah optimasi pada masing-masing bangunan pada setiap musim tanam.

Berdasarkan tabel 4.69 Pola sebaran air pada musim tanam I berdasarkan Q80, hasil perhitungan menunjukkan distribusi debit yang dapat dialokasikan pada masing-masing bangunan irigasi untuk memenuhi kebutuhan air pada luas lahan yang ditanami pada setiap musim tanam. Penentuan alokasi air tersebut dilakukan melalui proses backtracking pada masing-masing musim tanam, sehingga diperoleh besaran volume air yang dapat disalurkan pada setiap bangunan yang dianalisis. Hasil alokasi tersebut digunakan untuk menentukan pola penyaluran air yang memberikan nilai keuntungan maksimum.

Pada Musim Tanam I keuntungan yang diperoleh tidak mengalami peningkatan. Pada tabel 4.70 Luas lahan yang dapat ditanami, diuraikan hasil optimasi alokasi air yang menunjukkan bahwa luas lahan pada masing-masing jenis tanaman tidak mengalami perubahan, karena seluruh lahannya sudah terairi secara keseluruhan.

Berdasarkan tabel 4.71 Pola sebaran air pada musim tanam II berdasarkan Q80, hasil perhitungan menunjukkan distribusi debit yang dapat dialokasikan pada masing-masing bangunan irigasi untuk memenuhi kebutuhan air pada luas lahan yang ditanami pada setiap musim tanam. Penentuan alokasi air tersebut dilakukan melalui proses backtracking pada masing-masing musim tanam, sehingga diperoleh besaran volume air yang dapat disalurkan pada setiap bangunan yang dianalisis. Hasil alokasi tersebut digunakan untuk menentukan pola penyaluran air yang memberikan nilai keuntungan maksimum.



Pada Musim Tanam II keuntungan yang diperoleh mengalami peningkatan dari Rp9.775.288.526,73 sebelum dilakukan optimasi menjadi Rp10.519.516.937,64 setelah dilakukan optimasi. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penerapan optimasi alokasi air pada saluran Sekunder Senggowar Kanan mampu meningkatkan pemanfaatan ketersediaan air, sehingga luas lahan yang dapat ditanami dapat dimaksimalkan.

Pada tabel 4.72 Luas lahan yang dapat ditanami, diuraikan hasil optimasi alokasi air yang menunjukkan adanya perubahan luas lahan pada masing-masing jenis tanaman. Luas tanaman padi sebelum optimasi sebesar 89,60 Ha meningkat menjadi 96,42 Ha, tanaman palawija (bawang merah) dari 94,47 Ha meningkat menjadi 102,20 Ha, dan tanaman palawija (jagung) dari 47,36 Ha meningkat menjadi 50,96 Ha. Peningkatan luas lahan tersebut menunjukkan bahwa alokasi air pada saluran Senggowar Kanan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal sesuai dengan kebutuhan air masing-masing tanaman.

Berdasarkan tabel 4.73 Pola sebaran air pada musim tanam III berdasarkan Q80, hasil perhitungan menunjukkan distribusi debit yang dapat dialokasikan pada masing-masing bangunan irigasi untuk memenuhi kebutuhan air pada luas lahan yang ditanami pada setiap musim tanam. Penentuan alokasi air tersebut dilakukan melalui proses backtracking pada masing-masing musim tanam, sehingga diperoleh besaran volume air yang dapat disalurkan pada setiap bangunan yang dianalisis. Hasil alokasi tersebut digunakan untuk menentukan pola penyaluran air yang memberikan nilai keuntungan maksimum.

Pada Musim Tanam III keuntungan yang diperoleh mengalami peningkatan dari Rp1.393.421.075,69 sebelum dilakukan optimasi menjadi Rp1.703.367.516,03 setelah dilakukan optimasi. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penerapan optimasi alokasi air pada saluran Sekunder Senggowar Kanan mampu meningkatkan pemanfaatan ketersediaan air, sehingga luas lahan yang dapat ditanami dapat dimaksimalkan.

Pada tabel 4.74 Luas lahan yang dapat ditanami, diuraikan hasil optimasi alokasi air yang menunjukkan adanya perubahan luas lahan pada masing-masing jenis tanaman. Luas tanaman palawija (jagung) sebelum optimasi sebesar 88,13 Ha meningkat menjadi 107,73 Ha, dan tanaman palawija (kedelai) dari 58,84 Ha meningkat menjadi 71,92 Ha. Peningkatan luas lahan tersebut menunjukkan bahwa alokasi air pada saluran Senggowar Kanan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal sesuai dengan kebutuhan air masing-masing tanaman.

Berdasarkan hasil analisis optimasi alokasi air irigasi menggunakan program dinamik deterministik pada sekunder Senggowar Kiri, diperoleh pola alokasi air yang optimal pada setiap periode pengamatan. Hasil perhitungan tersebut kemudian direkapitulasi untuk memberikan gambaran mengenai kondisi alokasi air setelah dilakukan proses optimasi. Rekapitulasi hasil optimasi yang mencakup hasil alokasi air pada masing-masing periode disajikan pada tabel 4.90.

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada tabel 4.90 rekapitulasi hasil optimasi program dinamik deterministik dengan Q80, penerapan program dinamik deterministik menghasilkan alokasi air irigasi yang lebih optimal dibandingkan dengan kondisi sebelum dilakukan optimasi. Optimasi tersebut memberikan perubahan terhadap luas lahan yang dapat terairi pada masing-masing musim tanam sesuai dengan ketersediaan air irigasi pada saluran Sekunder Senggowar Kiri.

Pada Musim Tanam I, luas lahan yang dapat terairi setelah dilakukan optimasi sama dengan kondisi sebelum optimasi. Pada Musim Tanam II, luas lahan terairi mencapai 292,31 Ha dengan peningkatan sebesar 8,42%, dan pada Musim Tanam III luas lahan yang dapat terairi sebesar 98,31 Ha dan mengalami peningkatan sebesar 1,83% dibandingkan kondisi sebelum optimasi. Secara keseluruhan luas lahan yang dapat terairi mengalami peningkatan sebesar 74,99 Ha atau sebesar 10,25%.

Peningkatan luas lahan terairi tersebut menunjukkan bahwa alokasi air melalui program dinamik mampu memanfaatkan ketersediaan air pada saluran Sekunder Senggowar Kiri secara lebih optimal. Hasil optimasi juga menunjukkan bahwa keuntungan maksimum yang dapat diperoleh dari pemanfaatan air irigasi pada saluran Sekunder Senggowar Kiri mencapai Rp24.985.553.901,83. Nilai tersebut terdiri atas keuntungan pada Musim Tanam I sebesar Rp11.733.127.500,00, Musim Tanam II sebesar Rp12.320.312.317,84, dan Musim Tanam III sebesar Rp932.114.083,99.

Selain menghasilkan alokasi air yang optimal, proses optimasi dilanjutkan dengan backtracking untuk menentukan lintasan keputusan yang memberikan hasil optimum. Dari proses tersebut diperoleh lintasan penyaluran air yang optimal beserta jumlah air yang dapat dialokasikan pada setiap bangunan irigasi sesuai dengan tahapan dalam metode program dinamik. Berikut disajikan tabel pola sebaran air untuk memperoleh keuntungan maksimum pada setiap musim tanam yang menampilkan luas lahan terairi, debit dan keuntungan sebelum dan setelah optimasi pada masing-masing bangunan pada setiap musim tanam.

Berdasarkan tabel 4.91 pola sebaran air pada MT I berdasarkan Q80, hasil perhitungan menunjukkan distribusi debit yang dapat dialokasikan pada masing-masing bangunan irigasi untuk memenuhi kebutuhan air pada luas lahan yang ditanami pada setiap musim tanam. Penentuan alokasi air tersebut dilakukan melalui proses backtracking pada masing-masing musim tanam, sehingga diperoleh besaran volume air yang dapat disalurkan pada setiap bangunan yang dianalisis. Hasil alokasi tersebut digunakan untuk menentukan pola penyaluran air yang memberikan nilai keuntungan maksimum. Pada Musim Tanam I keuntungan yang diperoleh sebelum dilakukan optimasi sama dengan setelah dilakukan optimasi.

Berdasarkan tabel 4.93 pola sebaran air pada MT II berdasarkan Q80, hasil perhitungan menunjukkan distribusi debit yang dapat dialokasikan pada masing-masing bangunan irigasi untuk memenuhi kebutuhan air pada luas lahan yang ditanami pada setiap musim tanam.



Penentuan alokasi air tersebut dilakukan melalui proses backtracking pada masing-masing musim tanam, sehingga diperoleh besaran volume air yang dapat disalurkan pada setiap bangunan yang dianalisis. Hasil alokasi tersebut digunakan untuk menentukan pola penyaluran air yang memberikan nilai keuntungan maksimum.

Pada Musim Tanam II keuntungan yang diperoleh mengalami peningkatan dari Rp10.043.179.444,21 sebelum dilakukan optimasi menjadi Rp12.320.312.317,84 setelah dilakukan optimasi. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penerapan optimasi alokasi air pada saluran Sekunder Senggowar Kiri mampu meningkatkan pemanfaatan ketersediaan air, sehingga luas lahan yang dapat ditanami dapat dimaksimalkan.

Pada tabel 4.94 luas lahan yang dapat ditanami, diuraikan hasil optimasi alokasi air yang menunjukkan adanya perubahan luas lahan pada masing-masing jenis tanaman. Luas tanaman padi sebelum optimasi sebesar 76,54 Ha meningkat menjadi 93,90 Ha, tanaman palawija (bawang merah) dari 98,17 Ha meningkat menjadi 120,43 Ha, tanaman palawija (jagung) dari 48,81 Ha meningkat menjadi 59,88 Ha dan tanaman tebu dari 7,21 Ha meningkat menjadi 8,85 Ha. Peningkatan luas lahan tersebut menunjukkan bahwa alokasi air pada saluran Senggowar Kiri dapat dimanfaatkan secara lebih optimal sesuai dengan kebutuhan air masing-masing tanaman.

Berdasarkan tabel 4.95 pola sebaran air pada MT III berdasarkan Q80, hasil perhitungan menunjukkan distribusi debit yang dapat dialokasikan pada masing-masing bangunan irigasi untuk memenuhi kebutuhan air pada luas lahan yang ditanami pada setiap musim tanam.

Pada Musim Tanam III keuntungan yang diperoleh mengalami peningkatan dari Rp880.944.767,96 sebelum dilakukan optimasi menjadi Rp932.114.083,99 setelah dilakukan optimasi. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penerapan optimasi alokasi air pada saluran Sekunder Senggowar Kiri mampu meningkatkan pemanfaatan ketersediaan air, sehingga luas lahan yang dapat ditanami dapat dimaksimalkan.

Pada tabel 4.96 luas lahan yang dapat ditanami, diuraikan hasil optimasi alokasi air yang menunjukkan adanya perubahan luas lahan pada masing-masing jenis tanaman. Luas tanaman palawija (jagung) dari 48,76 Ha meningkat menjadi 51,59 Ha, tanaman palawija (kedelai) dari 32,41 Ha meningkat menjadi 34,29 Ha dan tanaman tebu dari 3,73 Ha meningkat menjadi 3,95 Ha. Peningkatan luas lahan tersebut menunjukkan bahwa alokasi air pada saluran Senggowar Kiri dapat dimanfaatkan secara lebih optimal sesuai dengan kebutuhan air masing-masing tanaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi ketersediaan dan kebutuhan air pada kondisi eksisting Daerah Irigasi Senggowar menunjukkan bahwa debit air yang tersedia belum mampu memenuhi kebutuhan irigasi pada setiap musim tanam. Kekurangan air terjadi mulai dari Musim Tanam I dan berlanjut pada Musim Tanam II serta

Musim Tanam III. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh posisi Saluran Sekunder Senggowar yang berada pada bagian paling hilir jaringan irigasi, sehingga debit yang diterima cenderung lebih terbatas. Pada kondisi eksisting, tingkat pemenuhan kebutuhan air dalam satu tahun hanya mencapai sekitar 19% pada Sekunder Senggowar Kanan dan 25% pada Sekunder Senggowar Kiri, yang menunjukkan masih terdapat defisit pada beberapa periode. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan dan alokasi air yang lebih efektif untuk meningkatkan pemanfaatan ketersediaan air serta memenuhi kebutuhan irigasi pada lahan yang dilayani.

2. Berdasarkan optimasi yang dilakukan, didapatkan jalur pemberian air dan pola sebaran air optimal serta keuntungan maksimum pada tiap masa tanam. Pada optimasi Sekunder Senggowar Kanan :

- a. Pada Musim Tanam I didapatkan jalur optimasi yaitu 10-6-5-4-2-0 dengan pola sebaran air BSG KA 1 sebesar 0,129 m³/dt, BSG KA 3 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KA 5 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KA 7 sebesar 0,064 m³/dt, BSG KA 9 sebesar 0,064 m³/dt dengan keuntungan maksimum sebesar Rp29.649.045.000,00.
- b. Pada Musim Tanam II didapatkan jalur optimasi yaitu 10-9-5-2-1-0 dengan pola sebaran air BSG KA 1 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KA 3 sebesar 0,129 m³/dt, BSG KA 5 sebesar 0,096 m³/dt, BSG KA 7 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KA 9 sebesar 0,032 m³/dt dengan keuntungan maksimum sebesar Rp10.519.516.937,64.
- c. Pada Musim Tanam III didapatkan jalur optimasi yaitu 10-9-3-2-1-0 dengan pola sebaran air BSG KA 1 0,032 m³/dt, BSG KA 3 sebesar 0,193 m³/dt, BSG KA 5 sebesar 0,032 m³/dt, BSG 7 0,032 m³/dt, BSG KA 9 0,032 m³/dt dengan keuntungan maksimum sebesar Rp1.703.367.516,03.

Pada optimasi Sekunder Senggowar Kiri :

- a. Pada Musim Tanam I didapatkan jalur optimasi yaitu 7-3-2-1-0 dengan pola sebaran air BSG KI 1 sebesar 0,129 m³/dt, BSG KI 3 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KI 5 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KI 7 sebesar 0,032 m³/dt dengan keuntungan maksimum sebesar Rp11.733.127.500,00.
- b. Pada Musim Tanam II didapatkan jalur optimasi yaitu 11-10-8-4-0 dengan pola sebaran air BSG KI 1 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KI 3 sebesar 0,064 m³/dt, BSG KI 5 sebesar 0,129 m³/dt, BSG KI 7 sebesar 0,129 m³/dt dengan keuntungan maksimum sebesar Rp 12.320.312.317,84.
- c. Pada Musim Tanam III didapatkan jalur optimasi yaitu 5-4-2-1-0 dengan pola sebaran air BSG KI 1 sebesar 0,032 m³/dt, BSG KI 3 sebesar 0,064 m³/dt, BSG KI 5 sebesar 0,032



- m³/dt, BSG KI 7 sebesar 0,032 m³/dt dengan keuntungan maksimum sebesar Rp932.114.083,99.
3. Berdasarkan optimasi yang dilakukan, didapatkan luas lahan optimal yang dapat dimanfaatkan untuk pertanian. Pada optimasi Sekunder Senggowar Kanan :
 - a. Pada Musim Tanam I luas lahan terairi tetap, yaitu dari 906 ha menjadi 906 ha.
 - b. Pada Musim Tanam II luas lahan terairi dari 231 ha menjadi 249,58 ha.
 - c. Pada Musim Tanam III luas lahan terairi dari 146,97 ha menjadi 179,66 ha

Pada optimasi Sekunder Senggowar Kiri:

 - a. Pada Musim Tanam I luas lahan terairi tetap, yaitu dari 416 Ha menjadi 416 Ha
 - b. Pada Musim Tanam II luas lahan terairi dari 230,73 Ha menjadi 283,05 Ha
 - c. Pada Musim Tanam III luas lahan terairi dari 84,90 Ha menjadi 89,83 Ha
 4. Berdasarkan optimasi yang dilakukan, didapatkan keuntungan total yang dapat diperoleh berdasarkan pemberian air.
 - a. Pada optimasi kebutuhan air Sekunder Senggowar Kanan keuntungan total yang didapat dari Rp40.817.754.602,43 menjadi Rp41.871.929.453,66 meningkat sebesar 3,92% dengan selisih keuntungan sebesar Rp1.054.174.851,24.
 - b. Pada optimasi kebutuhan air Sekunder Senggowar Kiri keuntungan total yang didapat dari Rp22.657.251.712,18 menjadi Rp24.985.553.901,83 meningkat sebesar 10,25%.

Ini menunjukkan optimasi yang dilakukan dengan program dinamik deterministik dapat meningkatkan keuntungan yang dapat diperoleh oleh petani.
 5. Berdasarkan hasil optimasi, ketersediaan debit pada Daerah Irigasi Senggowar belum mampu memenuhi kebutuhan air seluruh lahan meskipun sudah dilakukan optimasi alokasi air. Kondisi tersebut disebabkan oleh keterbatasan debit tersedia dibandingkan dengan kebutuhan irigasi. Oleh karena itu, diperlukan penambahan pompa sebagai suplai air tambahan untuk memenuhi kekurangan debit air. Setelah penambahan pompa, seluruh lahan dapat terairi sehingga pendapatan petani meningkat. Pada Sekunder Senggowar Kanan:
 - a. Pada Musim Tanam I keuntungan total yang didapat tetap, yaitu Rp29.649.045.00,00
 - b. Pada Musim Tanam II keuntungan total yang didapat meningkat menjadi Rp38.866.506.234,00
 - c. Pada Musim Tanam III keuntungan total yang didapat meningkat menjadi Rp5.716.534.263,44

Pada Sekunder Senggowar Kiri:

 - a. Pada Musim Tanam I keuntungan total yang didapat tetap, yaitu Rp11.733.127.500,00
 - b. Pada Musim Tanam II keuntungan total yang didapat meningkat menjadi Rp20.368.994.671,23
 - c. Pada Musim Tanam III keuntungan total yang didapat meningkat menjadi Rp3.107.053.613,63.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Urrea, R. L. (2025). Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements.
- Aprilia, H. D., Sayekti, R. W., & Wahyuni, S. (2022). Studi Optimasi Alokasi Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Sarangan Kabupaten Madiun Dengan Program Dinamik. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 493–506.
- Babba, E. T., Limantara, L. M., & Soetopo, W. (2021). Analisa Optimasi Irigasi Pada Daerah Irigasi Alopohu Kabupaten Gorontalo Dengan Program Dinamik Deterministik. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(2), 186–196.
- Bappeda Provinsi Jawa Timur. (2025). Rencana Pembangunan Daerah. Provinsi Jawa Timur 2025-2026.
- Dirjen Sumber Daya Air, & Kementrian PU. (2013). Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01.
- Fidiana E. (2019). Alokasi Air Sebagai Optimasi Pola Tata Tanam di Daerah Bendungan Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang Menggunakan Program Dinamik.
- Hamdi, S. (214M). MENGENAL LAMA PENYINARAN MATAHARI SEBAGAI SALAH SATU PARAMETER KLIMATOLOGI.
- Hoesein, A. A., Suparmanto, J., & Sugianto, S. (2012). Optimasi Irigasi Dengan Program Dinamik di Metro Hilir. *Jurnal Teknik Pengairan*, (Vol. 1 No. 2 (2010)).
- Koesoemahardja, S. (1997). Irigasi dan Bangunan Air. Penerbit Gunadarma.
- Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi* (R. Utami, Ed.). Penerbit Andi.
- Limantara, L. M., & Soetopo, W. (2020). *Manajemen Air* (Water Management). Penerbit Andi.
- Mubin, A. U., Wahyuni, S., & Limantara, L. M. (2025). Studi Optimasi Alokasi Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Lowayu Kabupaten Gresik Menggunakan Program Dinamik. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 5(2), 950–962.
- Nalurita S. (2016). Studi Optimasi Distribusi Air Irigasi pada Daerah Irigasi Tengoro Kabupaten Banyuwangi dengan Program Dinamik Stokastik. *jurnal unej*, (Vol. 8 No. 1 (2017)).



- Nuf'a, H., Limantara, L. M., & Soetopo, W. (2016). OPTIMASI AIR WADUK GONDANG DENGAN METODE DINAMIK DETERMINISTIK.
- Palupi, K. P. P., Limantara, L. M., & Wahyuni, S. (2023). Studi Optimasi Alokasi Air Irigasi pada Daerah Irigasi Sewu Kabupaten Madiun Menggunakan Program Dinamik. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 4(1), 312–322.
- PUPR. (2020). Modul Pengantar Modernisasi Irigasi Indonesia.
- Rahayu, D. W., Wirosedarmo, R., & Suharto, B. (2015). Optimasi Pola Tanam Di Daerah Irigasi Senggowar Dan Widas. Dalam *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* (Vol. 3, Nomor 3).
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (2003). Hidrologi Untuk Pengairan. Pradnya Paramita.