



PERENCANAAN SISTEM IRIGASI BERKELANJUTAN ALIRAN BENDUNGAN LAKUANG BURAI DAERAH NAGARI TAEH BUKIK KECAMATAN PAYAKUMBUH

Julien Gesta Lestari¹, Yaumal Arbi²

^{1,2}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Kota Padang, juieneta268@gmail.com

Abstrak

Perencanaan sistem irigasi berkelanjutan merupakan aspek penting dalam mendukung produktivitas pertanian serta menjaga keseimbangan pemanfaatan sumber daya air. Bendungan Lakuang Burai yang berada di Nagari Taeh Bukik, Kecamatan Payakumbuh, memiliki potensi sebagai sumber air irigasi bagi daerah pertanian di sekitarnya. Namun, pemanfaatan air tersebut memerlukan perencanaan yang tepat agar ketersediaan air dapat memenuhi kebutuhan irigasi secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem irigasi berkelanjutan pada aliran Bendungan Lakuang Burai dengan menganalisis kesesuaian antara ketersediaan air dan kebutuhan air irigasi pada daerah irigasi seluas 140 ha. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengumpulan data hidrologi dan klimatologi, analisis debit andalan sungai, perhitungan kebutuhan air irigasi berdasarkan pola tanam, serta penyusunan neraca air. Selanjutnya, neraca air digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air pada setiap periode. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit andalan Bendungan Lakuang Burai secara umum mampu memenuhi kebutuhan air irigasi pada sebagian besar periode tanam. Neraca air memperlihatkan bahwa dengan pengelolaan distribusi air yang baik, sistem irigasi yang direncanakan dapat berfungsi secara optimal dan berkelanjutan. Perencanaan ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan air, mendukung keberlanjutan pertanian, serta menjadi acuan dalam pengembangan sistem irigasi di wilayah sejenis.

Kata Kunci: Sistem Irigasi Berkelanjutan; Kebutuhan Air Irigasi; Debit Andalan; Neraca Air; Saluran Irigasi; Bendungan Lakuang Burai.

Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima hibah khusus dari lembaga pendanaan mana pun di sektor publik, komersial, atau nirlaba.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Dinas Sumber Daya Air dan Bina Konstruksi Provinsi Sumatera Barat atas bantuan



penyediaan data hidrologi, klimatologi, dan informasi teknis yang diperlukan dalam penelitian ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta dukungan teknis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan naskah ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Etika Publikasi

Penelitian ini tidak melibatkan manusia sebagai subjek penelitian dan tidak menggunakan hewan percobaan. Data yang digunakan sepenuhnya berupa data hidrologi, klimatologi, dan data teknis daerah irigasi yang diperoleh melalui pengukuran lapangan serta sumber data sekunder dari instansi terkait. Dengan demikian, penelitian ini tidak memerlukan persetujuan etika sesuai dengan [Deklarasi Helsinki](#) maupun [pedoman ARRIVE](#).

Penyataan AI

Struktur tata bahasa artikel ini diperbaiki dengan menggunakan ChatGPT, dan para penulis telah memeriksa kembali keakuratan dan kebenaran kalimat yang dihasilkan sesuai dengan topik dan data penelitian ini. Penggunaan bahasa dalam artikel ini telah diverifikasi dan divalidasi oleh ahli bahasa Inggris, dan tidak ada kalimat yang dihasilkan oleh AI yang termasuk dalam artikel ini.

1. Pendahuluan

Ketersediaan air irigasi yang berkelanjutan merupakan faktor penting dalam mendukung produktivitas pertanian dan ketahanan pangan. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa analisis debit andalan dan optimasi kebutuhan air irigasi berdasarkan pola tanam merupakan pendekatan efektif dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan air irigasi. Evaluasi ketersediaan air dan kebutuhan air tanaman berbasis pola tanam mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan sistem irigasi di daerah pertanian [1], [2], [3], [4]. Kesesuaian antara kebutuhan air tanaman dan ketersediaan air irigasi berperan penting dalam keberlanjutan sistem irigasi. [5], [6]. Selain itu, penggunaan perangkat lunak *CROPWAT* dalam perhitungan kebutuhan air tanaman semakin banyak diaplikasikan dalam penelitian irigasi karena kemampuannya mengintegrasikan data klimatologi, evapotranspirasi, dan curah hujan efektif. Penelitian membuktikan bahwa metode ini dapat memberikan estimasi kebutuhan air irigasi yang lebih akurat sebagai dasar penyusunan neraca air [7]. Pendekatan perencanaan irigasi yang komprehensif juga menuntut pemahaman terhadap manajemen irigasi dan bangunan air agar sistem yang direncanakan dapat beroperasi secara efisien dan berkelanjutan [8], [9]. Bendungan Lakuang Burai yang terletak di Nagari Taeh Bukik, Kecamatan Payakumbuh memiliki potensi sebagai sumber air irigasi bagi lahan pertanian di sekitarnya. Namun, fluktuasi debit aliran sungai akibat variasi curah hujan dan kondisi iklim menuntut adanya perencanaan sistem irigasi yang berbasis analisis debit andalan dan kebutuhan air irigasi secara kuantitatif. Perencanaan yang tidak tepat berisiko menurunkan efisiensi



pemanfaatan air dan mengganggu keberlanjutan produksi pertanian. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem irigasi berkelanjutan pada aliran Bendungan Lakuang Burai melalui analisis debit andalan, perhitungan kebutuhan air irigasi menggunakan pendekatan *CROPWAT*, serta penyusunan neraca air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan dan pengelolaan sistem irigasi berkelanjutan pada wilayah dengan karakteristik hidrologi yang serupa, serta mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan sumber daya air secara lebih efisien dan berkelanjutan [10], [11], [12].

2. Metode dan Bahan

2.1 Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif. Metode penelitian kuantitatif dipilih karena perencanaan sistem irigasi membutuhkan perhitungan matematis dan teknik analisis numerik yang terukur, seperti estimasi debit andalan, kebutuhan air tanaman, evapotranspirasi, dan perencanaan dimensi saluran irigasi. Proses ini dilakukan secara sistematis dengan dasar teori hidrologi, klimatologi, dan teknik sumber daya air.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian terletak di daerah sekitar bendungan Lakuang Burai Nagari Taeh Bukik, Kecamatan Payakumbuh, Kabupaten Lima Puluh Kota. Dalam penelitian luas bendungan adalah 1,25 ha. Observasi awal penelitian dilaksanakan pada bulan September 2025, kemudian dilanjutkan pengambilan data lapangan pada bulan Oktober – November 2025.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder.

2.3.1 Data Primer

Meliputi pengukuran debit aliran sungai yang dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan metode current meter sesuai dengan ketentuan SNI. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik penampang sungai untuk memperoleh kecepatan aliran dan luas penampang, sehingga debit aliran dapat dihitung secara akurat.

2.3.2 Data sekunder

Meliputi data curah hujan, data klimatologi (suhu udara, kelembapan, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari), serta data teknis daerah irigasi seperti luas areal dan pola tanam. Data sekunder diperoleh dari instansi terkait dan literatur pendukung.

2.4 Metode Analisa Data

Begitu data diperoleh dari survey dan pengamatan, data diolah dan dianalisis untuk mendapatkan nilai yang dibutuhkan:

2.4.1 Analisa Hidrologi

Analisa data hidrologi ini dimaksud untuk memperoleh debit andalan yang dihitung menggunakan metode F.J Mock dan untuk memberikan hasil yang dapat diandalkan, analisa probabilitas harus diawali dengan penyediaan rangkaian data yang relevan, memadai dan teliti.

2.4.2 Analisa Kebutuhan Air

Analisa kebutuhan air pada penelitian ini dihitung menggunakan software cropwat 8.0 yang dikembangkan oleh Divisi Land and Water Development FAO berdasarkan metode Penman-Monteith sesuai dengan kriteria perancangan jaringan irigasi KP-01 dari Direktorat Jenderal Pengairan (2013).

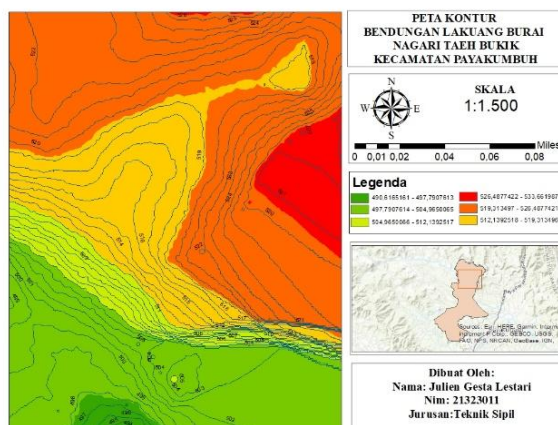
2.4.3 Analisa Hidrolika

Untuk mengevaluasi sejauh mana suatu penampang mampu menyalurkan debit air sesuai dengan debit rencana. Dihitung secara manual menggunakan metode rumus manning yang sudah ditetapkan Departemen Pekerjaan Umum KP-01 dan KP-03.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Peta Topografi

Peta topografi digunakan untuk menggambarkan kondisi permukaan wilayah penelitian berdasarkan nilai elevasi. Peta topografi diperoleh melalui data DEM yang dikonversi kesistem koordinat UTM agar sesuai dengan lokasi penelitian dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS. Berikut ini peta kontur dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Peta Kontur dan Topografi

Gambar 1. menjadi dasar dalam menentukan luas daerah tangkapan hujan untuk analisis hidrologi, seperti perhitungan debit rencana serta digunakan dalam analisis hidrolika untuk menghitung kemiringan saluran. Kondisi topografi juga memengaruhi desain saluran, Dimana daerah yang curam memerlukan saluran yang mampu menampung debit besar, sedangkan daerah datar membutuhkan saluran berdimensi lebih besar untuk mencegah genangan.



3.2 Curah Hujan Andalan

Untuk mengolah data curah hujan yang telah didapat perhitungan menggunakan metode Log Pearson III dengan rumus:

$$\log \bar{X}_T = \bar{Y} + K \cdot S \quad (1)$$

Dengan jumlah data (n) = 10 tahun, maka didapat nilai curah hujan andalan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Curah Hujan Maksimum

No	Periode Ulang	Log Pearson III (mm)
1	5	408,456
2	10	450,262
3	25	500,385
4	50	535,948
5	100	570,743

Tabel 1. Menunjukkan hasil perhitungan data curah hujan yang sudah melalui tahap uji distribusi menggunakan metode Chi-Kuadrat dan Metode Smirnov- Komogorof dengan perbandingan ΔP maksimum < ΔP kritis.

3.3 Analisis Debit Aliran

Analisis debit aliran menggunakan metode current meter sesuai dengan ketentuan SNI 8066:2015 tentang pengukuran kecepatan aliran dan debit aliran sungai pada saluran terbuka dengan rumus sebagai berikut:

Kecepatan rata-rata vertical (V_i):

$$V_i = \frac{V_{0,2h} + V_{0,8h}}{2} \quad (2)$$

Debit aliran dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = A \times V \quad (3)$$

Berikut ini hasil dari debit aliran total dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Debit Aliran Total

Titik Ukur	V_i (m/s)	A_i (m/s)	Q_i (m ³ /s)
Titik 1	0,70	0,77	0,535
Titik 2	0,60	0,77	0,459
Titik 3	0,40	1,53	0,612
Titik 4	0,35	1,53	0,536
Titik 5	0,30	1,53	0,459
Q Total (m ³ /s)			2,601

Tabel 2. Menunjukkan hasil perhitungan debit aliran total tetapi debit dari metode current meter hanya digunakan sebagai debit eksisting/debit pembanding, bukan debit rencana desain saluran.



3.4 Kebutuhan air tanaman

Kebutuhan air tanaman dihitung menggunakan aplikasi cropwatt 8.0 oleh FAO dengan memasukkan data primer atau pengambilan data langsung dan data sekunder yang didapat dari Dinas Sumber Daya Air dan Bina Konstruksi Sumatera Barat. Hasil perhitungan evapotranspirasi dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Evapotranspirasi

Bulan	Rad(MJ/m ² /hari)	ET ₀ (mm/hari)
Januari	18,4	3,65
Februari	19,7	3,98
Maret	21,1	4,22
April	21,8	4,31
Mei	20,6	4,02
Juni	19,8	3,84
Juli	20,4	3,91
Agustus	21,8	4,27
September	22	4,35
Oktober	21,3	4,22
November	19,2	3,80
Desember	18,4	3,70
Rata rata	20,4	4,02

Tabel 3. Menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur udara dan lama penyinaran maka tingkat evapotranspirasi potensial ET_0 semakin tinggi.

3.5 Curah Hujan Efektif

Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan dengan keandalan 80% (R_{80}) dalam periode bulanan selama 13 tahun dengan periode 15 harian menggunakan metode Weibull:

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

$$R_e \text{ (Padi) Jan perd. 1} = \frac{R_{80} \times 0,7}{15} \quad (5)$$

Hasil analisis data curah hujan efektif dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Analisis Data Curah Hujan Efektif

Bln	Periode	R80	Hari	Reff (mm/hari)
				Periode 15 Hari
Jan	1	20,2	15	0,94
	2	47,6	16	2,08
Feb	1	40,8	15	1,90
	2	5,2	13	0,28
Mar	1	56,2	15	2,62
	2	31,2	16	1,37

Apr	1	57,6	15	2,69
	2	93,2	15	4,35
May	1	25,8	15	1,20
	2	42	16	1,84
Jun	1	41	15	1,91
	2	7	15	0,33
Jul	1	24,2	15	1,13
	2	0	16	0,00
Aug	1	5,8	15	0,27
	2	37,8	16	1,65
Sep	1	29,6	15	1,38
	2	46,6	15	2,17
Oct	1	9,2	15	0,43
	2	34	16	1,49
Nov	1	48	15	2,24
	2	58,2	15	2,72
Des	1	27,5	15	1,28
	2	43,4	16	1,90

Tabel 4. Menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas curah hujan maka semakin tinggi pula curah hujan efektif (P_{eff}).

Untuk melihat hasil evapotranspirasi tanaman (ETc) atau disebut juga evapotranspirasi aktual. Satu dekade sama dengan 10 hari, sehingga pemberian air dalam satu bulan dibagi menjadi tiga sesi per 10 hari. Kebutuhan air tanaman dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Nov	1	LandPrep	1.05	4.14	33.1	17.6	57.7
Nov	2	LandPrep	1.05	3.99	39.9	28.0	181.5
Nov	3	LandPrep	1.05	3.96	39.6	24.2	123.1
Dec	1	Init	1.09	4.07	40.7	18.6	22.1
Dec	2	Init	1.10	4.08	40.8	15.5	25.2
Dec	3	Deve	1.08	3.99	43.9	15.7	28.2
Jan	1	Deve	1.04	3.82	38.2	16.7	21.5
Jan	2	Mid	1.01	3.67	36.7	16.8	19.9
Jan	3	Mid	1.00	3.76	41.3	14.7	26.6
Feb	1	Mid	1.00	3.87	38.7	11.1	27.6
Feb	2	Late	0.96	3.81	38.1	8.6	29.5
Feb	3	Late	0.89	3.62	28.9	12.5	16.4
Mar	1	Late	0.85	3.53	7.1	3.3	7.1
					467.0	203.4	586.5

Gambar 2. Kebutuhan Air Tanaman

3.6 Analisis Debit Andalan

Perhitungan debit andalan dilakukan dengan metode F.J. Mock dan metode tahun dasar (*Basic Year*), yaitu mengambil satu pola debit dari tahun tertentu. Peluang kejadian dihitung dengan persamaan Weibull:



$$P = \frac{m}{n+1} \quad (6)$$

Rekapitulasi debit andalan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rekapitulasi Debit Andalan

Bulan	Debit Andalan
Januari	7,938913495
Februari	6,715133258
Maret	8,583837608
April	10,88323378
Mei	7,236576864
Juni	6,524701622
Juli	5,753503823
Agustus	6,485247629
September	8,162735852
Oktober	7,893710268
November	11,99936417
Desember	9,899936462

Tabel 5. Menunjukkan bahwa debit andalan minimum terjadi pada bulan Juli sebesar 5,753 m³/detik dan maksimum pada bulan November sebesar 11,999 m³/detik.

3.7 Neraca Air (Water Balance)

Untuk mengetahui apakah debit yang tersedia cukup atau kurang maka dilakukan perbandingan antara kebutuhan air dengan debit andalan yang sudah dihitung dengan rumus perbandingan:

$$N = Q_{Tersedia} - Q_{Kebutuhan}$$

Analisis neraca air dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Analisis Neraca Air

Bln	Debit Andalan	Kebutuhan Air	Water Balance	Keterangan
Jan	7,9389	0,0891	7,8497	MAMPU
Feb	6,7151	0,0963	6,6187	MAMPU
Mar	8,5838	0,2448	8,3390	MAMPU
Apr	10,883	0,0032	10,879	MAMPU
Mei	7,2365	0,0557	7,1808	MAMPU
Jun	6,5247	0,0512	6,4734	MAMPU
Jul	5,7535	0,5991	5,1543	MAMPU
Ags	6,4852	0,0951	6,3900	MAMPU
Sep	8,1627	0,0499	8,1127	MAMPU
Okt	7,8937	0,0659	7,8277	MAMPU
Nov	11,999	0,4755	11,523	MAMPU
Des	9,8999	0,0989	9,8009	MAMPU



Tabel 6. Menunjukkan bahwa setelah dilakukan analisis neraca air didapatkan debit andalan lebih besar dari kenutuhan air, artinya debit andalan dari bendungan mampu untuk memenuhi kebutuhan air untuk irigasi.

3.8 Perencanaan Penampang Saluran

Standar perencanaan yang digunakan dalam merencanakan saluran irigasi adalah standar irigasi yang dikeluarkan, Direktorat Jenderal Pengairan Kementerian Pekerjaan Umum. Untuk pengairan daerah Taeh Bukik digunakan saluran trapesium dengan lengkung tegelnya (c) sama dengan I (satu) sesuai dengan kriteria perencanaan irigasi yang dipakai di Indonesia, dengan demikian kapasitas saluran dapat di rumuskan,:

$$Q = A \times V \quad (7)$$

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (8)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (9)$$

Dari hasil perhitungan didapat dimensi saluran Primer yang dibuat trapesium sebagai berikut:

Lebar dasar saluran	: 2 m
Tinggi aliran rencana	: 2 m
Kemiringan sisi talud	: 1:1
Freeboard	: 0,30 m

Dimensi untuk saluran sekunder didapat:

Lebar dasar saluran	: 0,80 m
Tinggi aliran rencana	: 0,60 m
Kemiringan sisi talud	: 1:1
Freeboard	: 0,30 m

Dimensi untuk saluran tersier didapat:

Lebar dasar saluran	: 0,40 m
Tinggi aliran rencana	: 0,40 m
Kemiringan sisi talud	: 1:1
Freeboard	: 0,30 m

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis didapatkan debit andalan bendungan Lakuang Burai berada pada kisaran 5,75 m³/det hingga 11,99 m³/det. Kebutuhan air maksimum tercatat pada bulan Juli sebesar 0,599 m³/det sedangkan kebutuhan air minimum terjadi pada bulan April sebesar 0,003 m³/det. Hasil analisis neraca air (Water Balance) menunjukkan bahwa pada seluruh bulan perencanaan, nilai debit andalan selalu lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan irigasi. Nilai keseimbangan air sistem irigasi berada pada kondisi surplus air sepanjang tahun.



Berdasarkan saluran yang sudah direncanakan menurut kriteria Perencanaan Irigasi (KP-01) menunjukkan bahwa sistem mampu menyalurkan air secara aman dan efisien. Serta dimensi saluran yang memadai menjadikan sistem irigasi mudah dioperasikan dan mendukung keberlanjutan pengelolaan sumber daya air dan produksi pertanian dalam jangka panjang. Keberlanjutan lingkungan dengan kondisi neraca air yang surplus menunjukkan bahwa kebutuhan air irigasi dapat dipenuhi tanpa mengurangi aliran lingkungan (*Environmental Flow*). Dengan demikian fungsi ekologis bendungan tetap terjaga, resiko degradasi lingkungan dapat diminimalkan dan keberlanjutan ekosistem perairan disekitar bendungan dapat bertahan dalam jangka waktu yang panjang.

Referensi

- [1] L. Kwoyiga, "Women's Local Knowledge and Engagement in Groundwater Irrigation: Impacts on Household Food Security in the Upper East Region of Ghana," *Int. J. Irrig. Agric. Dev.*, vol. 8, no. 1, pp. 384–398, 2024, doi: 10.47762/2024.964x.136.
- [2] Dian Afraim Sihombing, "Analisis Debit Andalan Untuk Kebutuhan Air Irigasi Didesa Menanga Tengah Kecamatan Semendawai Barat Kabupaten Ogan Komernig Ulu Timur," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., vol. 16, no. 1, pp. 1–23, 2021.
- [3] Mujahid Tabassum, "Precision Irrigation Scheduling using Real-Time Environmental Data," *Int. J. Comput. Model. Appl.*, vol. 1, no. 2, pp. 20–34, 2024, doi: 10.63503/j.ijcma.2024.27.
- [4] A. Internal, P. Studi, and T. Pengairan, "Program Studi Teknik Pengairan Universitas Muhammadiyah Makassar," 2023.
- [5] G. Singh, Harshpreet, and M. Kaundal, "Enhancing Rice Productivity through Sustainable Water Management Practices," *J. Exp. Agric. Int.*, vol. 47, no. 7, pp. 465–480, 2025, doi: 10.9734/jeai/2025/v47i73587.
- [6] Arnab Kundu *et al.*, "Precision Irrigation Systems for Sustainable Water Management in Maize Cultivation: Impact on Yield and Water Use Efficiency," *Indus J. Biosci. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 85–94, 2025, doi: 10.70749/ijbr.v3i1.399.
- [7] Y. Chen *et al.*, "Sustainable management in irrigation water distribution system under climate change: Process-driven optimization modelling considering water-food-energy-environment synergies," *Agric. Water Manag.*, vol. 302, no. July, 2024, doi: 10.1016/j.agwat.2024.108990.
- [8] V. P. Deshpande, I. Ahmad, and C. K. Singh, "Sustainable Groundwater Management Through Micro Irrigation: A Critical Review on Challenges and Solutions," *J. Landsc. Ecol. Republic*, vol. 17, no. 1, pp. 16–34, 2024, doi:



10.2478/jlecol-2024-0002.

- [9]T. Lee *et al.*, “Development of irrigation schedule and management model for sustaining optimal crop production under agricultural drought,” *Paddy Water Environ.*, vol. 21, no. 1, pp. 31–45, 2023, doi: 10.1007/s10333-022-00911-9.
- [10]A. Bounajra, K. El Guemmat, K. Mansouri, and F. Akef, “Towards efficient irrigation management at field scale using new technologies: A systematic literature review,” *Agric. Water Manag.*, vol. 295, no. February, p. 108758, 2024, doi: 10.1016/j.agwat.2024.108758.
- [11]R. Putri, F. Y. Maula, M. R. Arif, I. Maulidi, and V. Apriliani, “Hydrological Assessment and Irrigation Water Optimization Based on Cropping Patterns in the Way Bungur Irrigation Area, Indonesia,” *Int. J. Hydrol. Environ. Sustain.*, vol. 4, no. 3, pp. 120–127, 2025, doi: 10.58524/ijhes.v4i3.926.