

Evaluasi Luas Daerah Irigasi Optimum dengan Model Program Linier dan Model Risiko Gagal Lahan pada Daerah Irigasi Cimulu

Shinta Awaliyah¹⁾, Asep Kurnia Hidayat^{2),*)}, dan Pengki Irawan³⁾

^{2), *)}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Galuh, Ciamis, INDONESIA

^{1), 3)}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, INDONESIA

*Corresponding authors: asepkih@unigal.ac.id

Diserahkan 16 Juli 2025. Direvisi 05 Agustus 2025. Diterima 03 September 2025

ABSTRAK Daerah Irigasi Cimulu seluas 1.546,2 ha merupakan daerah irigasi pertanian di Kota Tasikmalaya dengan sumber air berasal dari Sungai Ciloseh. Ketersediaan air menjadi faktor utama dalam mendukung keberhasilan produksi pertanian di wilayah ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan luas lahan dan keuntungan pertanian dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu model program linier dan model risiko gagal lahan. Model program linier digunakan untuk mengestimasi luas lahan optimal berdasarkan kecukupan air dengan faktor keandalan $k = 1$, sedangkan model risiko gagal lahan mempertimbangkan variasi nilai k sebagai representasi ketidakpastian ketersediaan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model program linier menghasilkan keuntungan maksimal sebesar Rp54.276.548.310 dengan luas lahan optimum 3.759,95 ha pada awal tanam November-1 dengan pola tanam padi-padi-palawija. Sementara itu, model risiko gagal lahan menghasilkan keuntungan tertinggi sebesar Rp96.165.135.900 dengan luas lahan optimum 4.638,60 ha pada sepuluh skenario awal tanam menggunakan debit bangkitan dan pola tanam padi-padi-padi. Kondisi optimum tercapai pada awal tanam November-1 dengan pola tanam padi-padi-palawija, baik pada debit eksisting maupun debit bangkitan, yang sesuai dengan pola tanam RTTG dan memberikan keuntungan sebesar Rp72.737.886.600 dengan luas lahan 4.638,60 ha. Temuan ini menandai pentingnya perencanaan waktu tanam dan pemanfaatan sumber daya air secara efisien. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi panduan bagi petani dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi pengelolaan lahan di Daerah Irigasi Cimulu.

KATA KUNCI irigasi, optimasi, risiko gagal lahan

ABSTRACT The Cimulu Irrigation Area, covering 1,546.2 hectares, is an agricultural irrigation region in Tasikmalaya City, sourced from the Ciloseh River. Water availability is a key factor in ensuring successful agricultural production in the area. This study aims to optimize land area and agricultural profit using two approaches: a linear programming model and a land failure risk model. The linear programming model estimates the optimal land area based on water adequacy with a reliability factor of $k = 1$, while the risk model incorporates variations in the k factor to account for uncertainties in water availability. The results show that the linear programming model yields a maximum profit of IDR 54,276,548,310 with an optimal land area of 3,759.95 ha, assuming a planting start in early November-1 and a cropping pattern of rice-rice-secondary crops. Meanwhile, the land failure risk model produces the highest profit of IDR 96,165,135,900 with an optimal land area of 4,638.60 ha across ten planting start scenarios using generated discharge and a rice-rice-rice cropping pattern. The best condition occurs with a November-1 planting start under both existing and generated discharge conditions, following the RTTG cropping pattern (rice-rice-secondary crops), resulting in a total profit of IDR 72,737,886,600 and an optimal land area of 4,638.60 ha. These findings highlight the importance of strategic planting schedules and efficient water resource utilization. The study is expected to provide guidance for farmers in managing the Cimulu Irrigation Area and improving agricultural efficiency and productivity.

KEYWORDS irrigation, optimization, land failure risk

1. PENDAHULUAN

Daerah Irigasi Cimulu seluas 1.546,2 ha di Kota Tasikmalaya berperan penting sebagai sumber irigasi pertanian melalui saluran suplesi dari Sungai Ciloseh (Tsani et al., 2024). Ketersediaan air menjadi faktor penentu dalam memaksimalkan hasil produksi pertanian. Ketergantungan terhadap air permukaan menjadikan daerah ini rentan terhadap dampak musim kemarau yang menyebabkan keterbatasan air, yang pada gilirannya memicu kekeringan di lahan pertanian. Selain itu, ketidakseimbangan distribusi air akibat perbedaan luas daerah irigasi antara Kecamatan Manonjaya dan Cibereum turut memperburuk kondisi kekeringan di lapangan (Nurdiansyah et al., 2022).

Beberapa studi terdahulu menunjukkan bahwa kegagalan lahan di Daerah Irigasi Cimulu menghasilkan estimasi luas lahan yang berbeda, mencerminkan adanya ketidakkonsistenan dalam metode dan pendekatan analisis. (Hidayat, Akbar dan

Kosnayani, 2019) mengusulkan penggunaan model program linier untuk mengoptimalkan luas lahan berdasarkan keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Di sisi lain, (Sholihah et al., 2022) mengembangkan model risiko gagal lahan yang mempertimbangkan faktor ketidakpastian air, terutama pada kondisi ekstrem seperti kekeringan. Kedua pendekatan ini memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan air dan lahan, namun masih terdapat keterbatasan dalam integrasi model tersebut secara komprehensif dan spesifik pada konteks Cimulu.

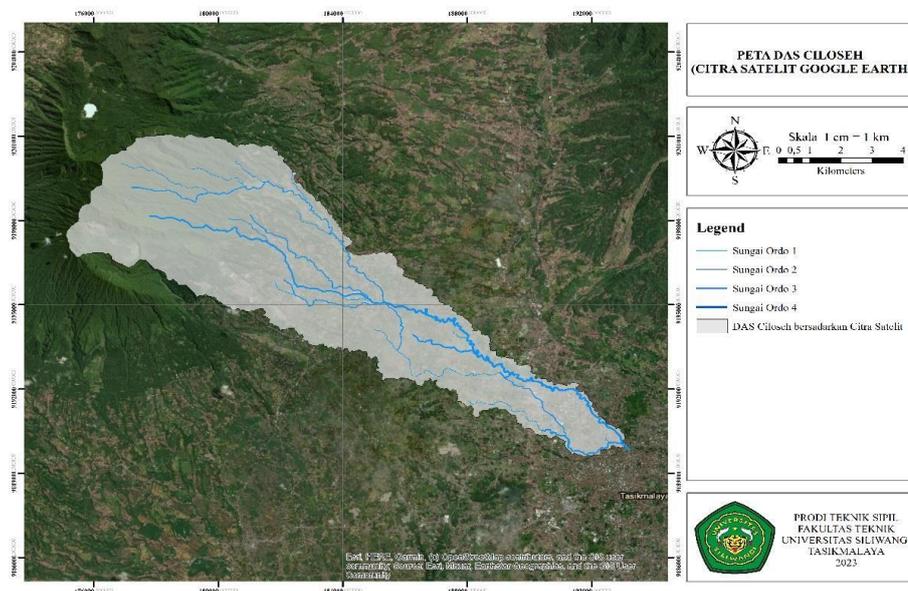
Hingga saat ini, belum ada studi yang secara bersamaan mengevaluasi dan membandingkan efektivitas model program linier dan model risiko gagal lahan dalam menentukan luas irigasi optimum dan keuntungan pertanian di Daerah Irigasi Cimulu. Hal ini menciptakan kesenjangan pengetahuan yang penting untuk diteliti, terutama mengingat kondisi hidrologi lokal yang unik dan tantangan distribusi air yang dihadapi petani setempat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja model program linier dan model risiko gagal lahan dalam menentukan luas irigasi optimum serta meningkatkan keuntungan pertanian di Daerah Irigasi Cimulu. Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap literatur mengenai pengelolaan irigasi berbasis model optimasi serta mendukung peningkatan produktivitas pertanian secara berkelanjutan di wilayah irigasi yang memiliki keterbatasan air.

2. METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini yaitu Daerah Irigasi Cimulu seluas 1546,2 ha di Kota Tasikmalaya yang merupakan sumber irigasi untuk pertanian melalui saluran suplesi air dari Sungai Ciloseh (Gambar 1).



Gambar 1. Peta DAS Ciloseh

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa data sekunder. Karena penelitian ini memerlukan parameter perhitungan yang tidak diuji secara langsung di laboratorium maupun di lapangan, maka digunakan data sekunder untuk keperluan analisis. Data yang dikumpulkan meliputi data curah hujan, data klimatologi, dan data debit sungai. Rincian data dan sumbernya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data dan sumber data penelitian

No.	Data yang diperlukan	Sumber data	Jenis Data dan Peiode	Keterangan Tambahan
1	Data curah hujan Cimulu, Cibureum, dan Manonjaya	Balai PSDA Citanduy Hulu, Stasiun Klimatologi	Data bulanan, 2010-2019	Digunakan untuk analisis hidrologi dan kebutuhan air irigasi

No.	Data yang diperlukan	Sumber data	Jenis Data dan Peiode	Keterangan Tambahan
		Wiriadinata, dan BPP Manonjaya		
2	Data klimatologi Kota Tasikmalaya	Stasiun Klimatologi Lapangan Udara Wiriadinata Tasikmalaya	Data bulanan, 2010-2019	Mewakili kondisi iklim daerah Cimulu
3	Data debit sungai Citanduy	Balai PSDA Citanduy Hulu	Data harian	Guna menghitung ketersediaan air
4	Data Rencana Tata Tanam Global (RTTG)	Balai PSDA Citanduy Hulu atau referensi mahasiswa Universitas Siliwangi	Dokumen tahunan	Guna menunjukkan pola tanam daerah irigasi
5	Data pola tanam petani sekitar daerah irigasi	Survei dan studi pustaka dari laporan mahasiswa Universitas Siliwangi	Data kualitatif	Menggambarkan pola tanam actual petani
5	Analisis usaha tani Tasikmalaya	Dinas ketahanan pangan, pertanian, dan perikanan Kab. Tasikmlaya	Data tahunan	Guna analisis kelayakan usaha tani
6	Data pendukung sistem irigasi Cimulu	Studi literatur dan tugas akhir mahasiswa	Dokumen teknis	Mendukung perhitungan system irigasi dan efisiensinya

2.3. Analisis Data

2.3.1 Analisis Ketersediaan Air

Ketersediaan air merujuk pada volume air (debit) yang diperkirakan akan tetap ada secara kontinu di suatu lokasi, seperti bendung atau struktur air lainnya di Sungai. Ketersediaan air irigasi perlu mempertimbangkan debit bangkitan yang dapat diandalkan (Hidayat et al., 2023). Pembangkitan data debit dimaksudkan untuk memperoleh perkiraan nilai di masa depan melalui proses peramalan (*forecasting*). Metode Thomas-Fiering digunakan untuk pembangkitan data debit, dengan persamaan (1).

$$Q_{i+1} = \bar{Q}_j + 1 + b_j (Q_i - \bar{Q}_j) + t_i s_j + 1\sqrt{1-r_j^2} \quad (1)$$

di mana adalah debit hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke (i+1); adalah data observasi atau data lapangan; dan adalah rerata debit pada bulan J+1 dan bulan j tahun; adalah koefisien korelasi antara data observasi bulan j dengan bulan j+1; dan adalah standar deviasi; adalah faktor skokastik yang diambil dari bilangan *random* (Irawan et al., 2024).

Data debit yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari laporan Balai PSDA Citanduy Hulu. Data tersebut merupakan hasil rekapitulasi pengamatan debit sungai yang dilakukan secara periodik oleh petugas di lapangan, tanpa menggunakan alat pencatat otomatis seperti AWLR.

Metode rangking Weibull akan digunakan untuk membangkitkan debit andalan dengan mempertimbangkan kesetimbangan air yang bergerak maju (SNI 6738: 2015 Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit). Persamaan yang digunakan persamaan (2) sebagai berikut:

$$P = \frac{m}{(n+1)} \times 100\% \quad (2)$$

di mana P merupakan probabilitas yang dinyatakan dalam presentasi, m merupakan nomor urut data debit, dan n merupakan jumlah total data pengamatan debit.

2.3.2 Analisis Kebutuhan Air

Analisis kebutuhan air irigasi melibatkan faktor-faktor seperti jenis tanaman dan kondisi lahan (Fitriansyah, Widuri dan Ulmi, 2020). Selain itu, untuk menghitung kebutuhan air tersebut diperlukan analisis curah hujan, evapotranspirasi, penyiapan lahan, Penggunaan air konsumtif tanaman, perkolasi, dan penggantian lapisan air.

2.3.3 Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan melibatkan pemeriksaan dan evaluasi data curah hujan di suatu wilayah untuk memahami karakteristik hidrologis, termasuk pola curah hujan, debit air, dan potensi banjir. Penting untuk mempertimbangkan kedua jenis curah hujan, yaitu curah hujan kawasan dan curah hujan efektif, karena keduanya memengaruhi karakteristik hidrologis wilayah dan potensi banjir. Metode rata-rata aritmatika/aljabar dapat digunakan untuk menghitung curah hujan kawasan. Metode rata-rata aritmatika/aljabar dapat digunakan untuk menghitung curah hujan di Daerah Irigasi Cimulu, yang mencakup luas dari 250 hingga 50.000 ha dengan dua hingga tiga titik stasiun hujan (titik pengamatan) (Mori, 2003). Perhitungan curah hujan kawasan menggunakan persamaan (3).

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (3)$$

di mana R merupakan curah hujan kawasan, n merupakan jumlah titik pengamatan/stasiun hujan, dan R_1, R_2, R_n merupakan curah hujan di setiap titik pengamatan.

Curah hujan efektif merujuk pada jumlah curah hujan yang secara langsung dapat dimanfaatkan oleh tanaman selama periode musim tanamnya. Untuk menghitung curah hujan efektif, digunakan rumus Hazra yang mengacu pada urutan curah hujan yang terkecil (Hidayat dan Empung, 2016). Penelitian ini akan digunakan metode Rangkings Weibull untuk menghitung curah hujan efektif.

Tanaman padi membutuhkan 70% curah hujan R_{80} . R_{80} merupakan curah hujan yang terjadi dengan Tingkat keandalan 80%. Persamaan yang digunakan adalah persamaan (4) sebagai berikut:

$$R_{e(padi)} = 70\% R_{80} \quad (4)$$

Tanaman palawija membutuhkan jumlah air yang lebih sedikit daripada tanaman padi, curah hujan efektif untuk tanaman palawija diambil sebesar 50% dari nilai R_{80} . Persamaan yang digunakan untuk menghitung curah hujan efektif untuk tanaman palawija adalah persamaan (5) sebagai berikut:

$$R_{e(palawija)} = 50\% R_{80} \quad (5)$$

2.3.4 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah hasil dari dua proses, yaitu evaporasi (penguapan air dari permukaan lahan) dan transpirasi (pelepasan uap air oleh tanaman melalui stomata pada daunnya). Efek evapotranspirasi sebanding dengan jumlah air konsumtif yang diperlukan tanaman untuk tumbuh (Triatmodjo, 2008). Penelitian ini menggunakan metode Penman Modifikasi karena melibatkan lebih banyak parameter meteorologi, dianggap lebih mendekati kondisi lapangan, dan memberikan perkiraan yang lebih akurat tentang tingkat evapotranspirasi aktual. Persamaan yang digunakan adalah:

di mana ETo adalah evapotranspirasi potensial (mm/hari), c adalah angka koreksi Penman untuk kompensasi efek kondisi cuaca siang dan malam hari, W adalah faktor pemberat untuk pengaruh penyinaran matahari pada evapotranspirasi potensial, $1 - W$ adalah faktor pemberat untuk pengaruh kecepatan angin dan kelembaban, $f(u)$ adalah fungsi pengaruh angin pada $ETo = 0,27 \times (1 + U_2/100)$, U_2 merupakan kecepatan angin selama 24 jam dalam km/hari di ketinggian 2 m, e_a adalah tekanan uap air jenuh pada suhu udara rata-rata, dan e_d adalah tekanan uap air nyata rata-rata di udara (Irawan et al., 2024).

Evapotranspirasi yang sering disebut sebagai penggunaan air oleh tanaman, bervariasi bergantung pada koefisien dan tanaman referensi yang pada akhirnya dipengaruhi oleh jadwal penanaman (Hidayat et al., 2023). Berikut ini adalah beberapa rumus yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah air yang diperlukan untuk irigasi:

- Kebutuhan air selama penyiapan lahan (persamaan (6))

$$IR = \frac{M e^k}{e^k - 1} \quad (6)$$

- Kebutuhan air bersih di sawah untuk padi (persamaan (7))

$$NFR = ETc + P + WLR - Re \quad (7)$$

- Kebutuhan air bersih di sawah untuk palawija (persamaan (8))

$$NFR = ETc + P - Re \tag{8}$$

- Kebutuhan bersih air di pintu pengambilan (*intake*) (persamaan (9))

$$DR = \frac{NFR \cdot A}{8,64EI} \tag{9}$$

Dimana IR merupakan kebutuhan air selama penyiapan lahan (mm/hari), NFC (*Net Field Water Requirement*) melambangkan kebutuhan air bersih di lapangan (mm/hari), Etc merupakan evapotranspirasi tanaman (mm/hari), P merupakan perkolasi (mm/hari), WLR (*Water Layer Requirement*) melambangkan lapisan air yang diganti (mm/hari), dan DR merupakan kebutuhan air di intake (lt/det/ha).

2.3.5 Evapotranspirasi

Perhitungan neraca air dilakukan dengan rentang waktu mingguan atau bulanan untuk menilai ketersediaan air dalam sistem irigasi. Tahap perencanaan melibatkan evaluasi kebutuhan air dan ketersediaan air yang dapat berubah selama operasional (Yusuf et al., 2024). Hasil perhitungan neraca air memberikan panduan untuk tata tanam dan alokasi air. Setelah dilakukan optimalisasi, neraca air dihitung untuk menentukan apakah sistem mengalami defisit atau surplus. Defisit terjadi jika kebutuhan air melebihi ketersediaan air, sedangkan surplus terjadi jika kebutuhan air kurang dari ketersediaan air. Langkah-langkah penyesuaian diperlukan untuk mengatasi ketidakseimbangan terutama saat pasokan air terbatas.

2.3.6 Analisis Model Program Linier

Secara umum bentuk matematis dari program linier terdiri dari fungsi tujuan untuk mencapai maksimum atau minimum dan fungsi pembatas untuk membatasi penggunaan sumber daya untuk mencapai kondisi optimum (Syahputra, 2015). Prosedur Optimasi dilakukan dengan menggunakan program linier dan perangkat lunak POM-QM untuk Windows 5.3. persamaan model matematik yang digunakan adalah sebagai berikut:

Fungsi Tujuan (*Objective Function*) (persamaan (10))

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

$$Z = X_{1a} + X_{1b} + X_{1a} + X_{1b} + X_{2a} + X_{2b} + X_{3a} + X_{3b} \text{ (pemuhan kebutuhan air)} \tag{10}$$

$$Z = X_p \cdot X_{1a} + X_j \cdot X_{1b} + X_p \cdot X_{2a} + X_j \cdot X_{2b} + X_p \cdot X_{3a} + X_j \cdot X_{3b} \text{ (keuntungan)}$$

di mana Z merupakan nilai tujuan (ha atau Rp), X_p merupakan pendapatan produksi padi (Rp/ha), X_j merupakan pendapatan produksi palawija (Rp/ha), X_{1a} merupakan luas lahan tanaman padi masa tanam 1 (ha), X_{1b} merupakan luas lahan tanaman palawija masa tanam 1 (ha), X_{2a} merupakan luas lahan tanaman padi masa tanam 2 (ha), X_{2b} merupakan luas lahan tanaman palawija masa tanam 2 (ha), X_{3a} merupakan luas lahan tanaman padi masa tanam 3 (ha), dan X_{3b} merupakan luas lahan tanaman palawija masa tanam 3 (ha).

Fungsi Kendala/Pembatas (persamaan (11))

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

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

..... ..

$$a_{m1}X_{m1} + a_{m2}X_{m2} + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

Luas Lahan Maksimum (persamaan (12))

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

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

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

Cimulu (1.546,2 ha)

Volume Air Tersedia (persamaan (13))

$$V_{1p} \cdot X_{1a} + V_{1j} \cdot X_{1b} \leq V_1$$

$$V_{2p} \cdot X_{1a} + V_{2j} \cdot X_{1b} \leq V_2$$

$$V_{3p} \cdot X_{1a} + V_{3j} \cdot X_{1b} \leq V_3$$

(13)

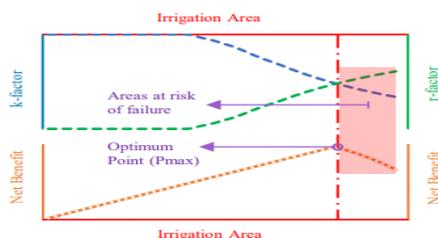
di mana A merupakan luas Daerah Irigasi, V_{1p} merupakan kebutuhan air tanaman padi masa tanam 1 (m^3/ha) (periode 1 s.d. 8), V_{2p} merupakan kebutuhan air tanaman padi masa tanam 2 (m^3/ha) (periode 9 s.d. 16), V_{3p} merupakan kebutuhan air tanaman padi masa tanam 3 (m^3/ha) (periode 17 s.d. 24), V_{1j} merupakan kebutuhan air tanaman padi masa tanam 1 (m^3/ha), V_{2j} merupakan kebutuhan air tanaman padi masa tanam 2 (m^3/ha), V_{3j} merupakan kebutuhan air tanaman padi masa tanam 3 (m^3/ha), V_1 merupakan volume andalan Sungai Ciloseh pada masa tanam 1 (m^3), V_2 merupakan volume andalan Sungai Ciloseh pada masa tanam 2 (m^3), dan V_3 merupakan volume andalan Sungai Ciloseh pada masa tanam 3 (m^3) (Salsabila et al., 2023).

2.3.7 Analisis Model Risiko Gagal Lahan

Optimalisasi dapat dicapai ketika ada keseimbangan air antara kebutuhan air untuk irigasi dan jumlah air yang tersedia (Hidayat, Akbar dan Kosnayani, 2019). Mencapai Optimasi harus mempertimbangkan kemungkinan gagal lahan, untuk pengoptimalan dengan mempertimbangkan risiko gagal lahan menggunakan persamaan berikut:

di mana P_{max} merupakan keuntungan maksimum dari produksi pertanian (R_p), X_{ijT} merupakan variabel Keputusan, LF_{RijT} merupakan biaya penilaian risiko kegagalan lahan irigasi (R_p), P_{ijT} merupakan keuntungan dari produksi pertanian (R_p/ha), DR merupakan kebutuhan air di pintu pengambilan dengan pengaruh faktor, Φ (senilai 0-1) merupakan indeks risiko kegagalan irigasi, WFR merupakan risiko kegagalan air, R merupakan reliabilitas, dan P merupakan keuntungan per hektar (R_p/ha).

Penelitian ini menggunakan pendekatan dengan bantuan dua diagram grafik. Diagram pertama mengilustrasikan hubungan antara luas lahan, faktor k , dan risiko gagal lahan. Sementara itu, diagram kedua menunjukkan hubungan antara luas lahan dan *net benefit* (Hidayat et al., 2023). Secara skematis, model optimasi yang diinginkan dapat digambarkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Skema pemodelan risiko gagal lahan

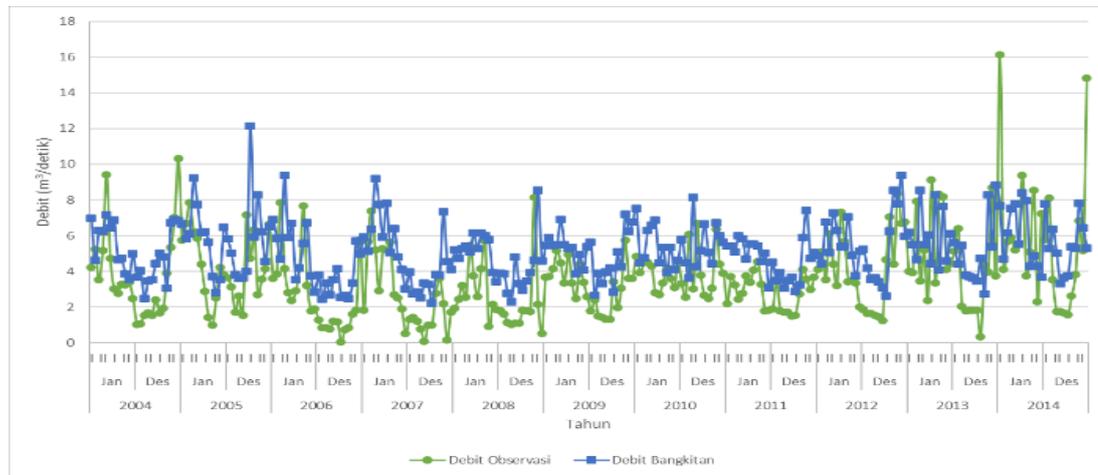
Pola Tata Tanam Globa (TTG) yang digunakan dalam penelitian ini adalah pad-padi-palawija dalam tiga musim tanam (MT-1 hingga MT-3), disusun berdasarkan distribusi hujan, ketersediaan air irigasi, dan kapasitas lahan. Kebutuhan air dari kombinasi tanaman dan waktu tanam dibandingkan dengan debit eksisting maupun debit bangkitan. Model risiko gagal lahan dioptimalkan untuk memaksimalkan keuntungan bersih per hektar dengan Batasan ketersediaan air, kebutuhan tanaman, dan indeks pertanian maksimum (IP 300). Risiko kekurangan air diakomodasi melalui parameter reliabilitas (R), risiko gagal irigasi (WFR), dan faktor ketersediaan air (K), sehingga hasil model mencerminkan keseimbangan antara keuntungan, efisiensi air, dan keberlanjutan pola tanam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Ketersediaan Air

Pembangkitan data debit bertujuan mengevaluasi ketersediaan air di Sungai Ciloseh di masa depan menggunakan metode Thomas-Fiering dengan pendekatan stokastik berdasarkan data historis. Simulasi awal melibatkan percobaan pada data debit historis hingga tahun 2100, dengan penggunaan bilangan *random* distribusi normal (Box-Muller) untuk memastikan ketersediaan air positif, mengambil nilai $0 m^3/detik$ jika $Q < 0$. Hasil pembangkitan data debit tahun 2004-2014 dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada 2011, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air merilis panduan validasi data hidrologi, terutama debit bangkitan, menekankan langkah kritis untuk memeriksa kepatuhan data terhadap kriteria yang ditetapkan. Tujuannya adalah memastikan identifikasi sumber data dan menjelaskan keabsahan data yang dimasukkan ke basis data. Pengujian validitas hasil pembangkitan data melibatkan beberapa uji, dengan kesimpulan dari pengujian tersebut pada Tabel 2.

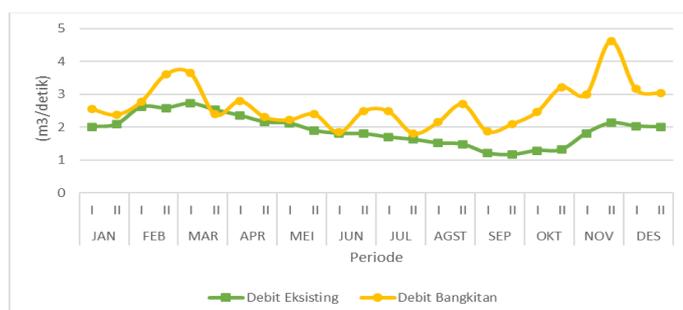


Gambar 3. Hasil pembangkitan data debit tahun 2004-2014

Tabel 2. Rekapitulasi uji validitas debit bangkitan

Jenis Uji	Metode	Statistik Uji	Nilai Kritis	Status
Kalibrasi dan Verifikasi	NSE	NSE = 0,63	0,36	Qualified
Uji Korelasi	Koefisien Korelasi	R = 0,45	0,40	Moderate
Uji Ketiadaan <i>Trend</i>	Spearman	T = 0,39	1,66	Independent
Uji Konsistensi	RAPS	Q = 2,7	11,0	Ok!
		R = 2,6	14,1	Ok!
Uji Homogenitas	Uji-F	F = 0,65	1,43	Ok!
	Uji-T	T = 2,32	1,66	Ok!

Data dari tahap sebelumnya dimanfaatkan untuk mengevaluasi ketersediaan air menggunakan metode peringkat Weibull dalam menentukan debit andalan. Tahapan ini mencakup pengurutan data debit bangkitan secara menurun serta penentuan nilai probabilitasnya. Nilai probabilitas yang lebih tinggi menunjukkan kemungkinan lebih kecil terjadinya debit andalan, karena ekspektasi keberhasilan debit dengan nilai tertentu juga menurun. Apabila nilai probabilitas yang diperoleh tidak tepat, seperti tidak tepat berada pada 80%, maka digunakan interpolasi linier untuk mendapatkan nilai debit andalan yang sesuai. Proses perhitungan ini dapat dilakukan secara berulang hingga parameter peringkat (m) mencapai nilai tertinggi. Hasil perhitungan debit andalan baik untuk kondisi debit eksisting maupun debit bangkitan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil perhitungan debit andalan debit eksisting dan debit bangkitan

3.2. Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air untuk irigasi bergantung pada beberapa faktor, termasuk evapotranspirasi tanaman, perkolasi, kebutuhan penggenangan, dan curah hujan efektif (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013). Evapotranspirasi tanaman yang juga dikenal sebagai penggunaan konsumtif, tergantung pada koefisien tanaman dan evapotranspirasi referensi, yang pada akhirnya dipengaruhi oleh jadwal tanam.

Analisis evapotranspirasi potensial pada penelitian ini menggunakan metode Penman modifikasi dengan mempertimbangkan kelengkapan parameter dibanding rumus-rumus lainnya. Data iklim yang digunakan merupakan data historis yang diperoleh dari Lapangan Udara Wiriadinata Tasikmalaya dari tahun 2010 hingga 2019 (10 tahun). Rekapitulasi dan grafik evapotranspirasi potensial disajikan pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Evapotranspirasi potensial Daerah Irigasi Cimulu

3.3. Analisis Model Program Linier

Penelitian ini bertujuan menghasilkan fungsi tujuan yang mencerminkan hubungan optimal, khususnya nilai keuntungan bagi petani. Fungsi kendala melibatkan batasan seperti kapasitas maksimum bendung, luas lahan Daerah Irigasi Cimulu, dan volume air di Sungai Ciloseh. Setelah mengetahui fungsi tujuan dan kendala, langkah berikutnya adalah menyusun model matematika yang mencakup fungsi tujuan yang dimaksimalkan dan fungsi kendala yang mencerminkan batasan-batasan. Simulasi berfokus pada keuntungan optimum dan melibatkan variabel pendapatan dari hasil analisis usaha pertanian, baik dari tanaman padi maupun palawija.

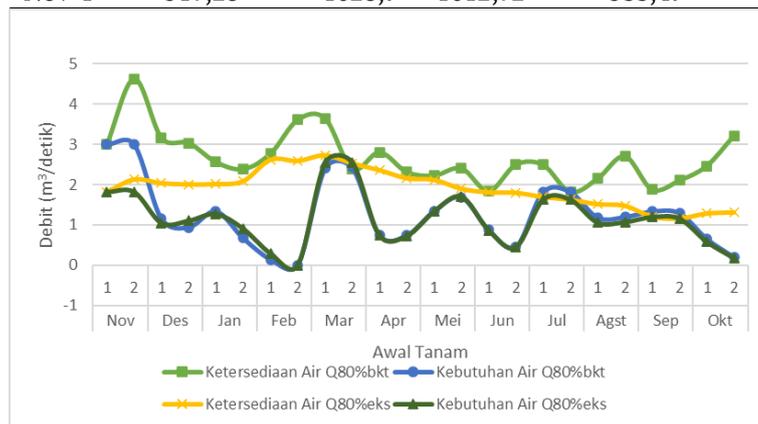
Rincian perhitungan optimalisasi luas lahan untuk setiap alternatif jadwal tanam berbasis keuntungan dengan menggunakan debit bangkitan serta debit eksisting dapat ditemukan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi luas lahan optimum berbasis keuntungan menggunakan debit bangkitan

Awal Tanam	Luas Padi MT1 (ha)	Luas Palawija MT1 (ha)	Luas Padi MT2 (ha)	Luas Palawija MT2 (ha)	Luas Padi MT3 (ha)	Luas Palawija MT3 (ha)	Pemenuhan Kebutuhan Air (Z)	Keuntungan (Z) (Rp)
Apr-2	809,45	736,75	407,36	1138,84	1016,28	0,00	4108,68	56.761.097.535
Mei-1	747,30	735,62	707,05	0,00	850,90	695,30	3736,17	55.775.823.975
Mei-2	761,00	0,00	556,67	989,53	925,30	620,90	3853,40	55.486.331.955
Jun-1	761,00	0,00	916,13	0,00	1027,01	519,20	3223,34	58.958.014.410
Jun-2	1021,31	0,00	1048,26	450,73	1399,71	146,49	4066,50	75.255.865.920
Sep-1	707,05	0,00	850,90	695,30	747,30	735,62	3736,17	55.775.823.975
Sep-2	791,03	0,00	863,49	682,71	761,00	0,00	3098,23	53.886.874.680
Okt-1	916,13	0,00	1027,01	519,20	761,00	0,00	3223,34	58.958.014.410
Okt-2	1065,01	399,53	1399,71	146,49	1021,31	0,00	4032,05	75.317.422.545
Nov-1	1049,27	496,93	953,10	593,10	745,24	0,00	3837,64	63.044.444.115

Tabel 4. Rekapitulasi luas lahan optimum berbasis keuntungan menggunakan debit eksisting

Awal Tanam	Luas Padi MT1 (ha)	Luas Palawija MT1 (ha)	Luas Padi MT2 (ha)	Luas Palawija MT2 (ha)	Luas Padi MT3 (ha)	Luas Palawija MT3 (ha)	Pemenuhan Kebutuhan Air (Z)	Keuntungan (Z) (Rp)
Apr-2	759,33	786,87	256,24	757,15	794,39	0,00	3353,98	46,138,817,340
Mei-1	617,40	725,97	438,42	0,00	694,61	851,59	3327,99	45,091,824,345
Mei-2	748,26	0,00	349,60	375,04	802,40	743,80	3019,10	45,638,367,390
Jun-1	744,21	0,00	479,26	0,00	932,53	613,67	2769,67	48,121,392,600
Jun-2	695,49	0,00	489,96	0,00	943,44	602,76	2731,65	47,498,483,835
Sep-1	438,42	0,00	694,61	851,59	601,00	747,12	3332,74	44,869,844,745
Sep-2	438,42	0,00	728,36	817,84	748,26	0,00	2732,88	44,265,198,960
Okt-1	479,26	0,00	932,53	613,67	744,21	0,00	2769,67	48,121,392,600
Okt-2	489,96	0,00	943,44	602,76	695,49	0,00	2731,65	47,498,483,835
Nov-1	517,28	1028,9	1012,72	533,49	667,54	0,00	3759,95	54,276,548,310



Gambar 6. Neraca air awal tanam November-1 berbasis keuntungan optimum luas lahan potensial 1546,2 ha potensial Daerah Irigasi Cimulu

Grafik pada Gambar 6 merupakan hasil analisis kondisi neraca air dengan luas lahan optimum pada debit eksisting dan debit bangkitan hasil optimasi menggunakan model program linier dengan awal tanam November-1 untuk luas lahan 1.546,2 ha.

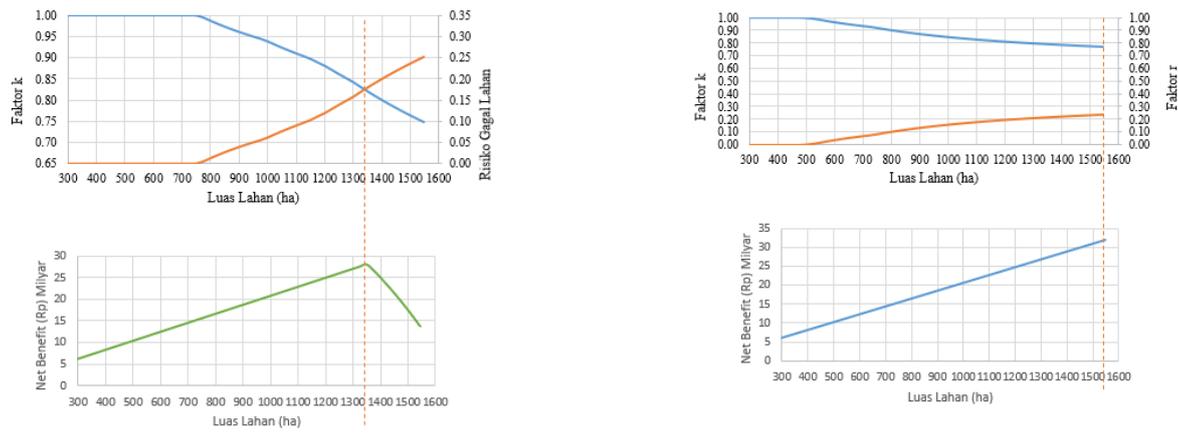
3.4. Analisis Model Risiko Gagal Lahan

Perhitungan kegagalan lahan dari kegagalan panen melibatkan transformasi hasil produksi yang diharapkan menjadi hasil aktual. Metode Risiko Gagal Lahan diterapkan pada jadwal tanam Mei-2 musim tanam 1 (padi), dengan luas lahan mencapai 1546,2 hektar pada kondisi kering (Q_{80}) dan menggunakan debit air eksisting. Dampak risiko gagal lahan mempengaruhi keuntungan petani, karena pendapatan keseluruhan dikurangi biaya risiko gagal lahan. Analisis luas optimal dilakukan dengan memeriksa pertemuan kurva faktor k dan faktor r, serta titik di mana grafik hubungan net benefit dengan luas lahan mulai menurun. Perhitungan dilakukan pada interval luas lahan tiap 25 ha, menghasilkan luas lahan optimum yang lebih rinci dan spesifik.

Disimpulkan bahwa pada musim tanam pertama (MT-1) terdapat risiko gagal lahan. Luas optimal yang menghasilkan keuntungan maksimum terletak pada 1350 ha. Kesimpulan ini didukung oleh grafik pertemuan kurva faktor k dengan faktor r, serta penurunan grafik hubungan antara luas lahan dan *net benefit* setelah mencapai luas optimum, yaitu 1350 ha dan sisa lahan sebesar $(1546,2 - 1350 = 196,2 \text{ ha})$ berisiko mengalami gagal lahan.

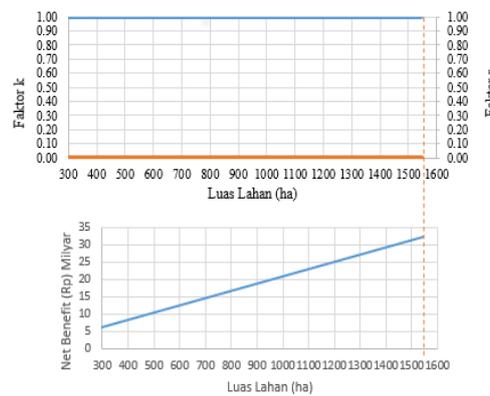
Sedangkan, perhitungan risiko gagal lahan untuk musim tanam kedua (MT-2) dan musim tanam ketiga (MT-3) menunjukkan bahwa tidak ada risiko gagal lahan. Grafik faktor k dan faktor r serta grafik hubungan luas lahan dengan *Net Benefit* menunjukkan bahwa tidak ada pertemuan atau penurunan, sehingga lahan dapat ditanami sepenuhnya tanpa risiko gagal lahan pada kedua musim tanam tersebut.

Grafik pada Gambar 8 di bawah merupakan hasil analisis kondisi neraca air dengan luas lahan optimum pada pola tanam eksisting dan pola tanam RTTG hasil optimasi menggunakan model risiko gagal lahan dengan awal tanam November-1 untuk luas lahan 1.546,2 ha.



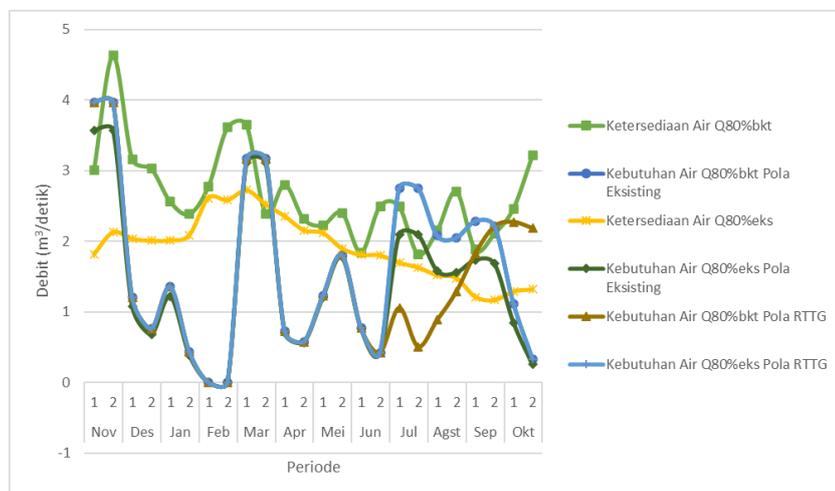
(a)

(b)



(c)

Gambar 7. Hubungan luas lahan, faktor K, dan faktor r dan grafik hubungan luas lahan dan net benefit untuk (a) MT-1, (b) MT-2, dan (c) MT-3



Gambar 8. Neraca air awal tanam November-1 debit eksisting dan debit bangkitan pola tanam eksisting dan pola tanam RTTG

3.5. Evaluasi Hasil Optimasi

Model program linier dan model risiko gagal lahan berbeda dalam pendekatan optimasi. Model program linier fokus pada mencari luas lahan optimum berdasarkan kebutuhan air irigasi, sehingga menghasilkan luas lahan irigasi dan komposisi jenis tanaman. Sebaliknya, model risiko gagal lahan memprioritaskan jenis tanaman dan luas lahan potensial untuk mendapatkan nilai faktor k sebagai indikator risiko gagal lahan.

Optimasi luas lahan dari kedua model bertujuan untuk mencapai keuntungan maksimum. Keuntungan ini dihasilkan dari perkalian hasil analisis usaha tani padi dan palawija dengan luas lahan optimum untuk setiap jenis tanaman.

Analisis luas lahan 1546,2 ha menunjukkan bahwa kondisi optimum terjadi pada November-1 baik debit eksisting maupun debit bangkitan, karena menandai awal musim hujan berdasarkan data historis. Pola tanam yang digunakan adalah padi-padi-palawija (sesuai RTTG), karena pola tanam padi-padi-padi tidak memberikan "istirahat" pada daerah irigasi jangka panjang.

Optimisasi hasil dengan menggunakan metode program linear dapat membantu merumuskan kebijakan pola tanam yang memenuhi kebutuhan air tanpa menghadapi risiko yang signifikan. Di sisi lain, evaluasi risiko gagal lahan membantu menganalisis tingkat tanam dan potensi keuntungan. Meskipun keberhasilan tidak dapat dijamin sepenuhnya, pemegang kebijakan harus siap mengatasi risiko gagal lahan, terutama saat seluruh area tanam terlibat dalam proses tanam.

Regulasi cara pembagian dan pemberian air memiliki tujuan untuk mencapai tingkat keberhasilan panen yang maksimal. Upaya ini dilakukan untuk menganalisis kondisi eksisting terkait ketersediaan air yang memiliki sifat terbatas. Hasil dari analisis regulasi pembagian dan pemberian air dengan debit bangkitan menggunakan pola tanam RTTG dan pola tanam eksisting. Faktor k bernilai 1 distribusi air irigasi dilakukan terus menerus, sementara saat nilai faktor k kurang dari 1 distribusi air irigasi dilakukan terus menerus serta rotasi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan luas lahan dan keuntungan pertanian di Daerah Irigasi Cimulu dengan mempertimbangkan kecukupan air irigasi melalui pendekatan model program linier dan model risiko gagal lahan. Berdasarkan hasil analisis, rata-rata debit air tersedia sebesar $1,92 \text{ m}^3/\text{detik}$, dengan debit tertinggi $2,73 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada Maret-1 dan terendah $1,17 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada September-2, sementara debit bangkitan menunjukkan rata-rata $2,67 \text{ m}^3/\text{detik}$, tertinggi pada November-2 sebesar $4,63 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan terendah pada Juli-2 sebesar $1,82 \text{ m}^3/\text{detik}$. Kebutuhan air irigasi pada awal tanam November-1 adalah $2,66 \text{ liter/detik/ha}$. Model program linier menghasilkan keuntungan Rp54.276.548.310 dengan luas lahan optimum 3.759,95 ha, sedangkan model risiko gagal lahan dengan debit eksisting memberikan hasil lebih tinggi, yaitu Rp72.737.886.600 dan luas lahan 4.638,60 ha untuk pola tanam padi-padi-palawija. Sementara itu, pola tanam padi-padi-padi memberikan keuntungan maksimum sebesar Rp96.165.135.900 dengan luas lahan 4.442,40 ha. Temuan utama menunjukkan bahwa awal tanam November-1 merupakan waktu paling optimal baik dengan debit eksisting maupun bangkitan, dan pola tanam padi-padi-palawija sesuai RTTG memberikan efisiensi penggunaan air yang tinggi. Studi ini berkontribusi dalam memberikan dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan dan air irigasi. Keterbatasan studi ini terletak pada ketergantungan terhadap data hidrologi dan klimatologi historis, sehingga disarankan adanya pembaruan data, perhitungan kebutuhan air secara dasarian, serta evaluasi teknis pendistribusian air untuk pengembangan skenario optimal di masa mendatang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan luas lahan dan keuntungan pertanian di Daerah Irigasi Cimulu dengan mempertimbangkan ketersediaan air irigasi dan risiko gagal lahan. Besar debit rata-rata yang tersedia sebesar $1,92 \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan debit tertinggi mencapai $2,73 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit terendah $1,17 \text{ m}^3/\text{detik}$. Kebutuhan air irigasi tanaman padi dan palawija pada awal tanam November-1 sebesar $2,66 \text{ liter/detik/ha}$. Penggunaan model program linier pada lahan potensial 1546,2 ha per musim tanam menghasilkan total keuntungan Rp54,28 miliar dengan luas lahan optimum 3.769 ha untuk tiga musim tanam dalam satu tahun.

Model risiko gagal lahan menggunakan debit eksisting dan lahan potensial yang sama menunjukkan keuntungan yang lebih tinggi sebesar Rp72,74 miliar dengan luas lahan optimum 4.639 ha, terbagi merata pada tiga musim tanam. Model ini juga menghasilkan efisiensi pemanfaatan air sebesar Rp118,35 per meter kubik air yang digunakan. Perbedaan utama kedua model terletak pada fokus optimasi, yaitu model linier mengutamakan kebutuhan air dan komposisi tanaman, sementara model risiko gagal lahan memprioritaskan penghindaran risiko dengan pola tanam padi-padi-palawija yang sesuai kondisi iklim dan musim.

3 REFERENSI

- Fitriansyah, F., Widuri, E.S. dan Ulmi, E.I., 2020. Analisa Kebutuhan Air Irigasi Untuk Tanaman Padi Dan Palawija Pada Daerah Irigasi Rawa (DIR) Danda Besar Kabupaten Barito Kuala. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 8(2), hal.79–87. <https://doi.org/10.33084/mits.v8i2.1405>.
- Hidayat, A.K., Akbar, R.R. El dan Kosnayani, A.S., 2019. Initial Dynamic System Design for Optimization of Gravity Irrigation Water Management (Open Gravitation Irrigation). *APTİKOM Journal on Computer Science and Information Technologies*, 4(2), hal.74–80. <https://doi.org/10.11591/aptikom.j.csit.32>.
- Hidayat, A.K., Dharma, G.B.S., Yekti, M.I. dan Putera, G.A.A., 2023. Revitalization of Irrigation Area Based on Optimization and Risk of Land Failure. *Universal Journal of Agricultural Research*, 11(6), hal.967–984. <https://doi.org/10.13189/ujar.2023.110605>.
- Hidayat, A.K. dan Empung, 2016. Analisis Curah Hujan Efektif Dan Curah Hujan Dengan Berbagai Periode Ulang Untuk Wilayah Kota Tasikmalaya Dan Kabupaten Garut. *Jurnal Siliwangi*, 2(2), hal.121–126. <https://doi.org/10.37058/jssainstek.v2i2.99>.
- Irawan, P., Setiawan, J., Alfaridzi, M.W., Awaliyah, S., Hidayat, A.K. dan Hendra, H., 2024. Prediksi Debit Andalan DAS Ciloseh Menggunakan FJ. Mock dan Bangkitan Data Debit Thomas Fiering Untuk Analisa Ketersediaan Air Daerah Irigasi Cimulu. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 5(1), hal.65–71. <https://doi.org/10.37058/aks.v5i2.10234>.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2013. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01*.
- Mori, K., 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Cetakan Ke ed. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Nurdiansyah, A., Hidayat, A.K., Irawan, P. dan Sari, N.K., 2022. *Optimalisasi Sistem Irigasi Berbasis Reliabilitas Luas Tanam di Daerah Irigasi Cimulu*. Universitas Siliwangi.
- Salsabila, U.A., Hidayat, A.K., Irawan, P., Empung dan Sari, N.K., 2023. *Deteksi Gagal Lahan Daerah Irigasi Cimulu Menggunakan Metode Risiko Gagal Lahan dan Metode Simpleks*. Universitas Siliwangi.
- Sholihah, T., Hidayat, A.K., Irawan, P. dan Sari, N.K., 2022. *Bandingan Analisis Gagal Lahan pada Daerah Irigasi Cimulu Tugas Akhir*. Universitas Siliwangi.
- SNI 6738: 2015 *Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit*. Badan Standardisasi Nasional.
- Syahputra, E., 2015. *Program Linier*. Unimed Press.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Edisi Pert ed. Beta Offset. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Tsani, F.M., Irawan, P., Sari, N.K., Hidayat, A.K. dan Hendra, 2024. *Analisis HSS Gama I Berdasarkan Bandingan Karakteristik DAS dari SRTM dan DEMNAS*. Universitas Siliwangi.
- Yusuf, M.F., Hidayat, A.K., Irawan, P., Sari, N.K. dan Hendra, 2024. *Optimalisasi Daerah Irigasi Lakkok Utara Menggunakan Program Linear*. Universitas Siliwangi.