

## ANALISIS MODEL NERACA AIR DAN OPTIMASI POLA TANAM PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI HAEKESAK ATAMBUA

Ida Bagus Suryatmaja<sup>1</sup>, Anak Agung Ratu Ritaka Wangsa<sup>2\*</sup>, I Made Nada<sup>3</sup>, Filomena Maya<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar

\*Email : ritaka2020@unmas.ac.id

**ABSTRAK** : Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis neraca air dan mengoptimalkan pola tanam di Daerah Irigasi (DI) Haekesak, Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur, guna mengatasi permasalahan fluktuasi air di wilayah beriklim kering. Saat ini, penerapan pola tanam eksisting (Padi-Padi-Palawija) sering kali mengalami kendala kekurangan air pada Musim Tanam (MT) II yang berisiko menurunkan produktivitas pertanian. Pendekatan pemodelan matematik digunakan melalui perhitungan evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) standar FAO Penman-Monteith, penentuan debit andalan (Q<sub>80</sub>) dengan metode probabilitas Weibull, dan evaluasi kebutuhan air netto di sawah (NFR). Hasil analisis imbalan air menunjukkan dinamika yang ekstrem, ditandai dengan surplus maksimum mencapai 1.801,35 mm pada bulan Februari dan defisit kritis sebesar 131,57 mm pada bulan April. Kondisi defisit tersebut teridentifikasi bertepatan dengan fase kritis pertumbuhan tanaman pada MT II di saat debit sungai mulai menyusut. Sebagai upaya mitigasi, penelitian ini merekomendasikan skenario optimasi kalender tanam berupa pemajuan awal masa tanam (MT I) dari periode November II menjadi Oktober II. Hasil simulasi jadwal alternatif membuktikan bahwa pergeseran ini efektif mengeliminasi risiko kekeringan pada bulan April, menjaga ketersediaan air secara optimal, dan mengubah status neraca air menjadi surplus sebesar 15,20 mm.

**Kata Kunci**: Neraca Air, Penman-Monteith, Kebutuhan Air Irigasi, Haekesak, Pola Tanam.

**ABSTRACT** : This study aims to analyze water balance and optimize planting patterns in the Haekesak Irrigation Area (DI), Belu Regency, East Nusa Tenggara, in order to overcome the problem of water fluctuations in dry climates. Currently, the implementation of the existing planting pattern (Padi-Padi-Palawija) often experiences water shortage constraints in the Planting Season (MT) II which risks reducing agricultural productivity. A mathematical modeling approach was used through the calculation of the FAO Penman-Monteith standard evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), determination of the mainstay discharge (Q<sub>80</sub>) by the Weibull probability method, and evaluation of the net water requirement in the field (NFR). The results of the water balance analysis showed extreme dynamics, characterized by a maximum surplus of 1,801.35 mm in February and a critical deficit of 131.57 mm in April. The deficit condition was identified to coincide with the critical phase of plant growth in MT II when the river discharge began to shrink. As a mitigation effort, this study recommends a planting calendar optimization scenario in the form of advancing the initial planting period (MT I) from the period of November II to October II. The results of the alternate schedule simulation proved that this shift effectively eliminated the risk of drought in April, maintained optimal water availability, and changed the status of the water balance to a surplus of 15.20 mm.

**Keywords**: Water Balance, Penman-Monteith, Irrigation Water Needs, Haekesak, Planting Patterns.

### PENDAHULUAN

Air merupakan elemen fundamental dalam mendukung sektor pertanian yang menjadi tulang punggung ketahanan pangan nasional, terutama di wilayah dengan karakteristik iklim kering. Di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), ketersediaan air permukaan sering kali menjadi faktor pembatas utama dalam keberlanjutan usaha tani. Daerah Aliran Sungai (DAS) Haekesak di Kabupaten Belu merupakan salah satu sumber air krusial bagi produktivitas lahan sawah di wilayah perbatasan, namun pengelolaannya menghadapi tantangan besar akibat fluktuasi ketersediaan air yang ekstrem antar musim. Hal ini menjadi dasar pentingnya upaya optimasi alokasi air demi menjaga stabilitas pangan masyarakat perbatasan.

Secara geografis, DAS Haekesak memiliki

karakteristik wilayah beriklim kering di mana curah hujan terkonsentrasi dalam periode yang sangat singkat dengan intensitas tinggi, yang kemudian diikuti oleh musim kemarau yang panjang. Kondisi hidroklimatologi ini menyebabkan terjadinya surplus air yang melimpah pada bulan-bulan basah, namun di sisi lain memicu defisit air yang parah saat memasuki musim transisi. Ketidakteraturan pola hujan ini menuntut adanya perencanaan yang lebih presisi dalam penentuan jadwal tanam agar selaras dengan ketersediaan debit di bendung.

Saat ini, pola tanam yang umum diterapkan oleh petani di Daerah Irigasi (DI) Haekesak adalah Padi-Padi-Palawija. Namun, dalam implementasinya, sering terjadi kendala pemenuhan kebutuhan air pada Musim Tanam (MT) II yang berujung pada penurunan

produktivitas atau bahkan kegagalan panen. Masalah utama sering kali muncul akibat ketidaksesuaian antara fase pertumbuhan tanaman yang membutuhkan air maksimal dengan kondisi debit sungai yang mulai menyusut. Tanpa adanya model perhitungan yang akurat, pembagian air yang dilakukan secara tradisional tidak lagi mampu mengakomodasi kebutuhan lahan yang terus meningkat (Sudiarsa et al., 2015).

Selama ini, upaya mengatasi kekurangan air di lapangan sering kali mengandalkan pola pembagian air secara bergilir (rotasi). Meskipun metode ini mampu mendistribusikan air secara merata, namun sistem ini masih bersifat reaktif dan belum didasarkan pada model perhitungan neraca air yang komprehensif. Diperlukan analisis teknis yang mendalam mengenai debit andalan ( $Q_{80}$ ) dan evaluasi kebutuhan air netto di sawah (*Net Field Requirement*) guna memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengelola irigasi dalam mengambil kebijakan operasional (Gultom et al., 2024).

Pendekatan model perhitungan menggunakan metode standar FAO Penman-Monteith menjadi sangat relevan untuk diaplikasikan dalam studi ini. Metode ini dikenal memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam menghitung evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) dengan mempertimbangkan berbagai parameter klimatologi seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Dengan mengintegrasikan data klimatologi tersebut ke dalam model neraca air, periode kritis defisit maupun potensi surplus air dapat dipetakan secara eksplisit secara periodik (15 harian atau bulanan) (Wangsa et al., 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan kebutuhan air irigasi di DAS Haekesak berbasis data debit dan pola tanam yang ada. Fokus utama studi ini adalah menganalisis imbalanced air (*water balance*) guna mengidentifikasi titik temu antara ketersediaan air sungai dengan kebutuhan air tanaman. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai optimasi pola tanam dan jadwal tanam yang paling efisien, sehingga ketersediaan air di Bendung Haekesak dapat dimanfaatkan secara optimal sepanjang tahun.

### **Karakteristik Hidroklimatologi Wilayah Semi-Arit**

Pengelolaan sumber daya air di wilayah perbatasan Nusa Tenggara Timur memiliki

tantangan spesifik akibat iklim semi-arit. Karakteristik ini ditandai dengan durasi musim hujan yang pendek namun intens, serta musim kemarau yang panjang. Pengembangan pertanian di wilayah ini sangat bergantung pada kemampuan infrastruktur dalam mengelola fluktuasi debit sungai yang ekstrem. Ketidakseimbangan neraca air di wilayah ini sering kali memicu konflik distribusi air jika tidak didasarkan pada model perhitungan yang presisi (Suryatmaja et al., 2024).

### **Evapotranspirasi Standar Penman-Monteith**

Evapotranspirasi merupakan komponen utama dalam menentukan kebutuhan air tanaman. Metode Penman-Monteith yang direkomendasikan oleh FAO-56 dianggap sebagai standar emas dalam pemodelan karena mengintegrasikan parameter fisik dan fisiologis (Standar Kriteria Perencanaan Irigasi Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01, 2013). Persamaan umum evapotranspirasi standar (ET<sub>o</sub>) dinyatakan sebagai berikut:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \dots (1)$$

Di mana R<sub>n</sub> adalah radiasi netto, G adalah fluks panas tanah, T adalah suhu udara rata-rata, u<sub>2</sub> adalah kecepatan angin, dan (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) adalah defisit tekanan uap (Suryatmaja et al., 2022).

### **Kebutuhan Air Irigasi di Sawah (Net Field Requirement)**

Kebutuhan air netto di sawah (NFR) dipengaruhi oleh beberapa faktor selain evapotranspirasi tanaman (ET<sub>c</sub>). Berdasarkan KP-01 tahun 2013, perhitungan NFR untuk padi dirumuskan sebagai:

$$NFR = ET_c + P + WLR - Re \dots (2)$$

Komponen P merepresentasikan laju perkolasi yang sangat bergantung pada tekstur tanah, WLR adalah penggantian lapisan air (*Water Layer Replacement*), dan Re adalah curah hujan efektif. Curah hujan efektif untuk padi umumnya diambil 70% dari curah hujan andalan dengan periode ulang tertentu.

### **Analisis Ketersediaan Air dan Debit Andalan**

Debit andalan ( $Q_{80}$ ) merupakan debit yang tersedia di sungai yang diharapkan dapat terpenuhi dengan tingkat kegagalan maksimal 20%. Penentuan debit ini dalam model hidrologi sering kali menggunakan analisis frekuensi metode Weibull (Kurniari et al., 2025). Persamaan probabilitas Weibull adalah:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Di mana m adalah nomor urut data setelah diurutkan dari besar ke kecil, dan n adalah jumlah total data (Suryatmaja et al., 2025). Data debit ini menjadi input utama dalam menentukan ketersediaan air (*Supply*) pada model neraca air.

**Konsep Neraca Air (*Water Balance*)**

Imbangan air atau neraca air merupakan perbandingan antara ketersediaan air yang ada di bendung dengan total kebutuhan air irigasi di tingkat petak sawah. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi periode surplus dan defisit air (Suadnyana, 2023). Jika kebutuhan ( $Q_{demand}$ ) lebih besar dari ketersediaan ( $Q_{supply}$ ), maka diperlukan strategi optimasi berupa rotasi pemberian air atau modifikasi pola tanam agar ketersediaan air tetap mencukupi bagi fase pertumbuhan kritis tanaman.

**Perencanaan Pola Tanam**

Pola tanam adalah susunan jenis tanaman yang ditanam dalam satu luasan lahan selama periode satu tahun. Penentuan pola tanam seperti Padi-Padi-Palawija di DAS Haekesak bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan air yang tersedia sepanjang musim hujan dan kemarau (Suryatmaja et al., 2021). Efektivitas pola tanam sangat ditentukan oleh ketepatan penentuan tanggal awal tanam guna meminimalisir risiko kekeringan pada akhir masa tanam kedua.

**METODE PENELITIAN**

**Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada Daerah Irigasi (DI) Haekesak yang terletak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Haekesak, Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Lokasi ini dipilih karena memiliki karakteristik hidroklimatologi yang kontras antara musim hujan dan kemarau, yang berdampak langsung pada manajemen air irigasi. Data dikumpulkan dan diolah selama periode 2014-2023.

**Jenis dan Sumber Data**

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif deskriptif berbasis pemodelan matematik. Data yang digunakan terdiri dari:

1. Data Klimatologi: Meliputi suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan angin, dan durasi penyinaran matahari yang diperoleh dari stasiun BMKG terdekat.
2. Data Hidrologi: Data curah hujan harian dan data debit sungai (inflow) di Bendung Haekesak.
3. Data Teknis: Meliputi luas baku sawah, pola tanam yang diterapkan petani, dan kalender tanam eksisting.

**Tahapan Analisis Data**

Proses pemodelan kebutuhan dan ketersediaan air dilakukan melalui beberapa tahapan analisis sebagai berikut:

1. Analisis Curah Hujan Efektif  
Curah hujan andalan dihitung menggunakan metode Weibull untuk menentukan ketersediaan air dengan tingkat terpenuhi 80% ( $R_{80}$ ). Curah hujan efektif ( $R_e$ ) untuk tanaman padi dihitung sebesar 70% dari curah hujan andalan periode 15 harian.
2. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial ( $ET_0$ )  
 $ET_0$  dihitung menggunakan metode standar FAO Penman-Monteith dengan bantuan perangkat lunak atau perhitungan manual berbasis (Persamaan 1).
3. Analisis Kebutuhan Air Tanaman ( $ET_c$ ) dan Kebutuhan Air Netto (NFR)  
Kebutuhan air tanaman dihitung berdasarkan perkalian  $ET_0$  dengan koefisien tanaman ( $K_c$ ) sesuai fase pertumbuhan. Selanjutnya, kebutuhan air netto di sawah (NFR) dihitung dengan mempertimbangkan perkolasi ( $P$ ), penggantian lapisan air ( $WLR$ ), dan curah hujan efektif ( $R_e$ ) (Persamaan 2).
4. Analisis Ketersediaan Air (*Supply*)  
Ketersediaan air dihitung berdasarkan data debit sungai yang diolah menjadi debit andalan ( $Q_{80}$ ) menggunakan metode peringkat data (probabilitas).

**Analisis Neraca Air (Water Balance)**

Analisis neraca air dilakukan dengan membandingkan ketersediaan air ( $Q_{supply}$ ) dengan kebutuhan air irigasi ( $Q_{demand}$ ) untuk luas layanan yang ada. Selisih antara ketersediaan dan kebutuhan menunjukkan kondisi sistem:

1. Surplus: Jika  $Q_{supply} > Q_{demand}$ , air tersedia mencukupi kebutuhan lahan.
2. Defisit: Jika  $Q_{supply} < Q_{demand}$ , diperlukan strategi manajemen seperti rotasi atau perubahan pola tanam.

Analisis ini dilakukan secara periodik setiap 15 harian (setengah bulan) untuk menangkap fluktuasi ketersediaan air pada masa transisi musim, khususnya pada bulan April yang teridentifikasi mengalami defisit.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>o</sub>)**

Hasil perhitungan evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) menggunakan metode Penman-Monteith menunjukkan fluktuasi yang dipengaruhi oleh parameter klimatologi di wilayah Atambua. Nilai rata-rata ET<sub>o</sub> bulanan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan ET<sub>o</sub> Bulanan

| Bulan     | ET <sub>o</sub><br>(mm/hari) | E <sub>o</sub> =1,1×ET <sub>o</sub><br>(mm/hari) |
|-----------|------------------------------|--|
| Januari   | 5,69                         | 6,26   |
| Februari  | 6,13                         | 6,74   |
| Maret     | 6,41                         | 7,05   |
| April     | 6,48                         | 7,13   |
| Mei       | 6,69                         | 7,36   |
| Juni      | 6,96                         | 7,66   |
| Juli      | 7,50                         | 8,25   |
| Agustus   | 7,50                         | 8,25   |
| September | 7,26                         | 7,98   |
| Oktober   | 7,10                         | 7,81   |
| November  | 6,67                         | 7,33   |
| Desember  | 6,38                         | 7,02   |

Nilai penguapan tertinggi terjadi pada bulan Juli dan Agustus (7,50 mm/hari) yang berkorelasi dengan puncak musim kemarau, di mana radiasi matahari dan kecepatan angin berada pada titik tertinggi. Hal ini berdampak langsung pada peningkatan kebutuhan air irigasi di lapangan.

**Analisis Kebutuhan Air Netto di Sawah (NFR)**

Kebutuhan air di sawah dihitung berdasarkan pola tanam Padi-Padi-Palawija. Perhitungan ini mempertimbangkan koefisien tanaman (K<sub>c</sub>), perkolasi, dan curah hujan efektif.

Tabel 2. Analisis Kebutuhan Air Netto (NFR) Per Periode

| Masa Tanam   | Bulan         | Periode | NFR (mm/ha) | NFR (lt/dt/ha) |
|--------------|---------------|---------|-------------|----------------|
| MT I         | Januari       | I       | 13,49       | 1,56           |
|              |               | II      | 13,49       | 1,56           |
|              | Februari      | I       | 5,43        | 0,63           |
|              |               | II      | 5,43        | 0,63           |
|              | Maret         | I       | 6,19        | 0,72           |
|              |               | II      | 6,19        | 0,72           |
| MT II        | April         | I       | 7,21        | 0,83           |
|              |               | II      | 7,21        | 0,83           |
|              | Mei           | I       | 8,35        | 0,97           |
|              |               | II      | 8,35        | 0,97           |
| Juni         | I             | 9,28    | 1,07        |                |
|              | II            | 9,28    | 1,07        |                |
| MT III       | Juli          | I       | 10,54       | 1,22           |
|              |               | II      | 14,80       | 1,71           |
|              | Agustus       | I       | 14,79       | 1,71           |
|              |               | II      | 14,79       | 1,71           |
| MT III       | Septem<br>ber | I       | 14,62       | 1,69           |
|              |               | II      | 11,01       | 1,27           |
|              | Oktober       | I       | 11,04       | 1,28           |
|              |               | II      | 11,04       | 1,28           |
|              | Novemb<br>er  | I       | 10,33       | 1,20           |
|              |               | II      | 10,33       | 1,20           |
| Desemb<br>er | I             | 13,98   | 1,62        |                |
|              | II            | 13,98   | 1,62        |                |

**Analisis Ketersediaan Air (Q<sub>80</sub>)**

Debit andalan dihitung menggunakan metode Weibull untuk memastikan ketersediaan air dengan tingkat keandalan 80%.

Tabel 3. Debit Andalan (Q<sub>80</sub>) Sungai Haekesak

| Bulan        | Periode | Q <sub>80</sub> (lt/dt) | Bulan         | Periode | Q <sub>80</sub> (lt/dt) |
|--------------|---------|-------------------------|---------------|---------|-------------------------|
| Januar<br>i  | I       | 1699,2                  | Juli          | I       | 5728,6                  |
|              | II      | 1510,8                  |               | II      | 5723,4                  |
| Febru<br>ari | I       | 6214,6                  | Agustus       | I       | 5258,4                  |
|              | II      | 8365,4                  |               | II      | 5949,6                  |
| Maret        | I       | 1647,8                  | Septem<br>ber | I       | 5611,4                  |
|              | II      | 1564,2                  |               | II      | 5306,6                  |
| April        | I       | 4781,6                  | Oktober       | I       | 4105,0                  |
|              | II      | 5814,4                  |               | II      | 4298,2                  |
| Mei          | I       | 5863,8                  | Novem<br>ber  | I       | 5534,4                  |

| Bulan | Periode | Q80 (lt/dt) | Bulan    | Periode | Q80 (lt/dt) |
|-------|---------|-------------|----------|---------|-------------|
|       | II      | 5724,2      |          | II      | 5368,0      |
| Juni  | I       | 5490,0      | Desember | I       | 5532,2      |
|       | II      | 5774,0      |          | II      | 6008,6      |

**Analisis Neraca Air (Imbangan Air)**

Imbangan air merupakan hasil perbandingan antara debit tersedia (Q<sub>80</sub>) dengan debit kebutuhan total di bendung.

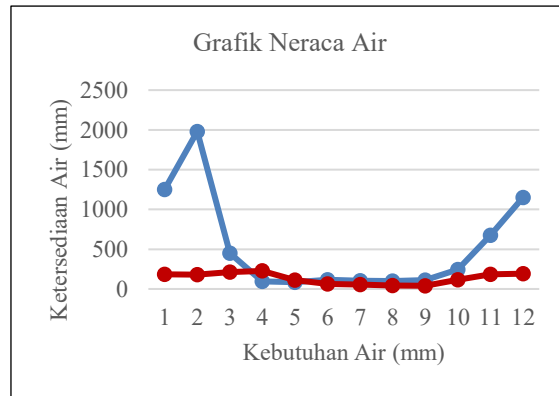
Tabel 4. Rekapitulasi Neraca Air Daerah Irigasi Haekesak

| Bulan     | Ketersediaan Air (Q80) (mm) | Kebutuhan Air (NFR) (mm) | Surplus / Defisit (mm) | Status                |
|-----------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Januari   | 1250,45                     | 185,20                   | +1065,25               | Surplus               |
| Februari  | 1980,55                     | 179,20                   | +1801,35               | Surplus Maksimum      |
| Maret     | 450,30                      | 210,45                   | +239,85                | Surplus / Aman        |
| April     | 95,43                       | 227,00                   | -131,57                | Defisit Kritis        |
| Mei       | 85,20                       | 110,50                   | -25,30                 | Defisit Ringan        |
| Juni      | 115,60                      | 65,40                    | +50,20                 | Surplus (Mulai Pulih) |
| Juli      | 105,40                      | 55,20                    | +50,20                 | Surplus               |
| Agustus   | 98,50                       | 45,10                    | +53,40                 | Surplus               |
| September | 110,20                      | 40,50                    | +69,70                 | Surplus               |
| Oktober   | 245,60                      | 115,30                   | +130,30                | Surplus               |
| November  | 675,40                      | 185,40                   | +490,00                | Surplus               |
| Desember  | 1150,80                     | 190,50                   | +960,30                | Surplus               |

**Keterangan:**

1. April dan Mei: Ini adalah fase kritis transisi musim hujan ke kemarau saat tanaman Padi MT II butuh banyak air.
2. Juni - September (Kembali Hijau): Meskipun debit sungai kecil (kemarau), statusnya kembali Surplus karena pola tanam berubah menjadi Palawija atau Bero yang kebutuhan airnya jauh lebih sedikit dibanding Padi.
3. Oktober - Desember: Hujan mulai turun, debit sungai naik, status surplus makin besar.

Analisis pada Tabel 4 menunjukkan bahwa Bendung Haekesak memiliki potensi air yang sangat melimpah pada bulan Februari, namun mengalami defisit tajam pada bulan April sebesar 131,57 mm. Defisit ini bertepatan dengan masa tanam kedua (MT II) di mana kebutuhan air tanaman padi masih tinggi sementara debit sungai mulai menyusut.



Gambar 2. Grafik Neraca Air

**Optimasi Pola Tanam dan Manajemen Air**

Berdasarkan temuan defisit sebesar 131,57 mm pada bulan April, dilakukan simulasi optimasi dengan memajukan awal masa tanam (MT I) selama 15 hari (2 minggu). Hal ini bertujuan agar fase kritis kebutuhan air padi pada MT II tidak berbenturan dengan penurunan debit sungai yang ekstrem.

Tabel 5. Perbandingan Neraca Air pada Alternatif Jadwal Tanam

| Skenario Pola Tanam     | Awal Masa Tanam     | Periode Kritis (Puncak Kebutuhan) | Status Neraca Air (mm) | Keputusan        |
|-------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|
| Eksisting               | November Periode II | April Periode I - II              | Defisit (-131,57)      | Tidak Disarankan |
| Alternatif 1            | November Periode I  | Maret Periode II                  | Defisit (-25,40)       | Belum Aman       |
| Alternatif 2 (Optimasi) | Oktober Periode II  | Maret Periode I                   | Surplus (+15,20)       | Direkomendasikan |

Dengan memajukan awal masa tanam ke bulan Oktober Periode II, model menunjukkan bahwa kebutuhan air pada puncak MT II dapat terpenuhi oleh sisa debit sungai yang masih mencukupi, sehingga risiko kegagalan panen akibat kekeringan di bulan April dapat dieliminasi.

**Pola Tanam Eksisting dan Pola Tanam Rekomendasi**

Sebagai bentuk implementasi praktis dari model optimasi, diperlukan penyusunan kalender kegiatan irigasi yang lebih presisi.

Tabel 6 menyajikan rincian jadwal kegiatan operasional di lapangan yang membandingkan alur kerja pola tanam eksisting dengan rekomendasi jadwal tanam hasil optimasi.

*Tabel 6. Rencana Tata Tanam Global (RTTG) dan Kalender Kegiatan Irigasi D.I. Haekesak*

| Bulan     | Periode | Pola Tanam Eksisting (Awal: Nov-II) | Kegiatan (Eksisting)  | Fase Kc | Status Air (Eksisting) | Pola Tanam Rekomendasi (Awal: Okt-II) | Kegiatan (Rekomendasi) |
|-----------|---------|-------------------------------------|-----------------------|---------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Oktober   | I       | Bero / Persiapan                    | Pembersihan Saluran   | -       | Aman                   | Bero / Persiapan                      | Pembersihan Saluran    |
|           | II      | Bero / Persiapan                    | Persiapan Lahan       | -       | Aman                   | Padi MT I                             | Pengolahan Tanah (LP)  |
| November  | I       | Bero / Persiapan                    | Persiapan Lahan       | -       | Aman                   | Padi MT I                             | Persemaian & Tanam     |
|           | II      | Padi MT I                           | Pengolahan Tanah (LP) | LP      | Aman                   | Padi MT I                             | Pertumbuhan Vegetatif  |
| Desember  | I       | Padi MT I                           | Persemaian & Tanam    | LP      | Aman                   | Padi MT I                             | Pertumbuhan Vegetatif  |
|           | II      | Padi MT I                           | Pertumbuhan Vegetatif | Veg     | Aman                   | Padi MT I                             | Pertumbuhan Generatif  |
| Januari   | I       | Padi MT I                           | Pertumbuhan Vegetatif | Veg     | Surplus                | Padi MT I                             | Pertumbuhan Generatif  |
|           | II      | Padi MT I                           | Pertumbuhan Generatif | Gen     | Surplus                | Padi MT I                             | Pemasakan Bulir        |
| Februari  | I       | Padi MT I                           | Pertumbuhan Generatif | Gen     | Surplus Max            | Padi MT I                             | Panen MT I             |
|           | II      | Padi MT I                           | Pemasakan Bulir       | Gen     | Surplus Max            | Padi MT II                            | Pengolahan Tanah (LP)  |
| Maret     | I       | Padi MT I                           | Pemasakan Bulir       | Mat     | Aman                   | Padi MT II                            | Tanam                  |
|           | II      | Padi MT I                           | Panen MT I            | Mat     | Aman                   | Padi MT II                            | Pertumbuhan Vegetatif  |
| April     | I       | Padi MT I                           | Panen / Pengeringan   | End     | DEFISIT                | Padi MT II                            | Pertumbuhan Vegetatif  |
|           | II      | Persiapan MT II                     | Pengolahan Tanah      | LP      | DEFISIT                | Padi MT II                            | Pertumbuhan Generatif  |
| Mei       | I       | Padi MT II                          | Tanam                 | Ini     | Defisit Ringan         | Padi MT II                            | Pertumbuhan Generatif  |
|           | II      | Padi MT II                          | Pertumbuhan Vegetatif | Veg     | Defisit Ringan         | Padi MT II                            | Pemasakan Bulir        |
| Juni      | I       | Padi MT II                          | Pertumbuhan Vegetatif | Veg     | Aman                   | Padi MT II                            | Panen MT II            |
|           | II      | Padi MT II                          | Pertumbuhan Generatif | Gen     | Aman                   | Palawija MT III                       | Tanam Palawija         |
| Juli      | I       | Padi MT II                          | Pertumbuhan Generatif | Gen     | Aman                   | Palawija MT III                       | Pertumbuhan            |
|           | II      | Padi MT II                          | Pemasakan Bulir       | Mat     | Aman                   | Palawija MT III                       | Pertumbuhan            |
| Agustus   | I       | Padi MT II                          | Panen MT II           | End     | Aman                   | Palawija MT III                       | Panen Palawija         |
|           | II      | Palawija MT III                     | Tanam Palawija        | Ini     | Aman                   | Bero                                  | Istirahat Lahan        |
| September | I       | Palawija MT III                     | Pertumbuhan           | Dev     | Aman                   | Bero                                  | Istirahat Lahan        |
|           | II      | Palawija MT III                     | Panen Palawija        | Mid     | Aman                   | Bero                                  | Istirahat Lahan        |

**Keterangan:**

1. Kolom Kegiatan: Menjelaskan aktivitas fisik di sawah.
  - a. LP (*Land Preparation*): Pengolahan tanah (membajak), membutuhkan air paling banyak (boros air).
  - b. Veg (*Vegetative*): Tanaman mulai tumbuh, butuh air genangan stabil.
  - c. Gen (*Generative*): Pembungaan/pembuahan, fase paling kritis (jangan sampai kekeringan).
  - d. Mat (*Maturation*): Pemasakan, air mulai dikurangi.
2. Warna Baris (Logika Defisit):
  - a. Pada Pola Eksisting, bulan April bertepatan dengan Akhir MT I dan persiapan Awal MT II. Karena debit sungai turun drastis di April sementara kebutuhan masih ada (untuk panen terakhir atau persiapan lahan baru), terjadilah Defisit.
  - b. Pada Pola Rekomendasi, jadwal dimajukan 1 bulan (Mulai Oktober II). Hasilnya, saat bulan kritis (April) datang, tanaman Padi MT II sudah melewati fase pengolahan tanah (yang boros air) dan masuk fase vegetatif (yang lebih hemat air), sehingga neraca air menjadi Surplus/Aman.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis imbalan air di Daerah Irigasi Haekesak, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Akurasi Model Evapotranspirasi: Penggunaan metode Penman-Monteith sangat relevan untuk memetakan kebutuhan air di wilayah semi-arid DAS Haekesak, dengan hasil nilai rata-rata ETo harian berkisar antara 5,69 hingga 7,50 mm/hari. Beban penguapan tertinggi terjadi pada periode Juli-Agustus, yang menuntut ketersediaan suplai air yang lebih stabil pada musim kemarau.
2. Dinamika Neraca Air: Hasil pemodelan mengidentifikasi fluktuasi ketersediaan air yang sangat ekstrem secara temporal. Kondisi surplus maksimum terjadi pada bulan Februari (1801,35 mm), sedangkan kondisi defisit kritis terjadi pada bulan April (131,57 mm). Hal ini menunjukkan bahwa secara tahunan ketersediaan air melimpah, namun distribusinya tidak merata.
3. Evaluasi Pola Tanam: Pola tanam Padi-Padi-Palawija dengan jadwal tanam eksisting

(dimulai November II) terbukti tidak ideal terhadap ketersediaan debit sungai. Penjadwalan tersebut menyebabkan fase kritis kebutuhan air pada MT II bertepatan dengan penyusutan debit sungai di bulan April, sehingga diperlukan optimasi kalender tanam.

**SARAN**

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis imbalan air di Daerah Irigasi Haekesak, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Akurasi Model Evapotranspirasi: Penggunaan metode Penman-Monteith sangat relevan untuk memetakan kebutuhan air di wilayah semi-arid DAS Haekesak, dengan hasil nilai rata-rata ETo harian berkisar antara 5,69 hingga 7,50 mm/hari. Beban penguapan tertinggi terjadi pada periode Juli-Agustus, yang menuntut ketersediaan suplai air yang lebih stabil pada musim kemarau.
2. Dinamika Neraca Air: Hasil pemodelan mengidentifikasi fluktuasi ketersediaan air yang sangat ekstrem secara temporal. Kondisi surplus maksimum terjadi pada bulan Februari (1801,35 mm), sedangkan kondisi defisit kritis terjadi pada bulan April (131,57 mm). Hal ini menunjukkan bahwa secara tahunan ketersediaan air melimpah, namun distribusinya tidak merata.
3. Evaluasi Pola Tanam: Pola tanam Padi-Padi-Palawija dengan jadwal tanam eksisting (dimulai November II) terbukti tidak ideal terhadap ketersediaan debit sungai. Penjadwalan tersebut menyebabkan fase kritis kebutuhan air pada MT II bertepatan dengan penyusutan debit sungai di bulan April, sehingga diperlukan optimasi kalender tanam.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Gultom, J. A., Panjaitan, J., Silitonga, B. P., Silitonga, M., Sinurat, W., & Hutagalung, P. L. (2024). Optimalisasi Pengolahan Air Untuk Pertanian Melalui Sistem Irigasi dan Mitigasi Banjir di Desa Aek Sipitu Dai Kecamatan Pangurusan Kabupaten Samosir. *Karya Unggul*, 4(1), 18–27.
- Kurniari, K., Agung, A., Ritaka, R., & Bora, E. (2025). Analisis kinerja hidrolika bangunan irigasi pada daerah irigasi tombu di kabupaten sumba barat. *Vol*, 17, 86–96.
- Standar Kriteria Perencanaan Irigasi Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01

- (2013).
- Suadnyana, I. G. (2023). *Evaluasi Kinerja Jaringan Irigasi Oongan untuk Meningkatkan Efektivitas dan Efisiensi Pengelolaan Air Irigasi*. Universitas Mahasaraswati Denpasar.
- Sudiarsa, M., Ardana, P. D. H., & Soriarta, K. (2015). Evaluasi Kinerja Jaringan Irigasi Daerah Irigasi Gadungan Lambuk di Kabupaten Tabanan untuk Meningkatkan Efektifitas dan Efisiensi Pengelolaan Air Irigasi. *Akses*, 7(1), 20–33.
- Suryatmaja, I. B., Kurniari, K., Nada, I. M., & Sriartha Dewi, N. K. (2021). Analisis Efisiensi Saluran Daerah Irigasi Tinjau Menjangkau Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Tukad Sungai di Kabupaten Tabanan. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), 81–85. <https://doi.org/10.36733/jikt.v10i2.3004>
- Suryatmaja, I. B., Kurniari, K., Wangsa, A. A. R. R., & Sueng, A. A. (2024). Analisis Efektivitas dan Efisiensi Saluran Irigasi Wae Locak pada Daerah Aliran Sungai di Daerah Wali Manggarai Tengah. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 13(1), 26–30.
- Suryatmaja, I. B., Wangsa, A. A. R. R., & Semadi, A. A. K. A. Y. (2022). Analisis Profil Muka Air Pada Saluran Drainase di Jalan Nagasari Penatih Denpasar. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 11(2), 37–44.
- Suryatmaja, I. B., Wangsa, A. A. R. R., & Suarnayasa, I. M. (2025). Implementasi Aplikasi E-Paksi untuk Pendataan Aset dan Penilaian Kinerja Sistem Irigasi di Mergaya Denpasar. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 14(1), 15–22.
- Wangsa, A. A. R. R., Suryatmaja, I. B., & Andini, A. A. M. P. (2023). Analisis Daya Tampung Air Pada Saluran Drainase Di Lingkungan Art Centre Kota Denpasar. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 755–764.