

## EVALUASI PENJADWALAN AWAL TANAM PADI UNTUK EFISIENSI IRIGASI

Sri Wahyuni<sup>1\*</sup>, Riyanto Haribowo<sup>1</sup>, Dian Sisinggih<sup>1</sup>,  
Yusril Fatrah<sup>2</sup>, dan Ivan Dwi P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

<sup>2</sup>Profil Consultant, Konsultan Teknik

\*yuniteknik@ub.ac.id

Pemasukan: 5 Juli 2022 Perbaikan: 17 Juli 2022 Diterima: 19 Juli 2022

### Intisari

Pengelolaan irigasi yang optimal harus bisa menyediakan dan mendistribusikan air secara tepat sehingga tanaman bisa mendapatkan air sesuai dengan kebutuhannya. Oleh karena itu maka harus dianalisa secara cermat kebutuhan air tanaman berdasarkan awal tanam yang tepat. Tujuan penelitian ini adalah evaluasi jadwal awal tanam padi sebagai upaya efisiensi irigasi. Lokasi penelitian adalah Daerah Irigasi Bilokka, Sulawesi Selatan dengan luas daerah irigasi sebesar 1.005 ha. Data yang diperlukan adalah klimatologi untuk menganalisa evapotranspirasi (suhu, penyinaran matahari, kecepatan angin dan kelembaban udara), pola tata tanam eksisting dan data curah hujan. Metode yang digunakan adalah menggeser jadwal awal tanam padi sampai menemukan kebutuhan air yang paling kecil. Alternatif penggeseran dilakukan sebanyak 7 alternatif, yaitu 1 kondisi eksisting dan 6 alternatif tambahan. Hasil analisa menunjukkan 1) Nilai evapotranspirasi berada pada kisaran 3-6 mm/hari; 2) Curah hujan andalan sebesar 0-110 mm/10hari, dan curah hujan efektif 0-8 mm/hari; dan 3) Analisa pola tanam dengan jenis tanaman padi dengan dua musim tanam, kebutuhan air minimum terdapat pada alternatif III yaitu 1,56 liter/detik/ha dengan awal tanam pada bulan November III. Keuntungan alternatif III bisa menghemat penggunaan irigasi sebesar 0,31 liter/ha (16% atau 322 liter /detik/1.005ha). Dengan efisiensi air tersebut, maka daerah irigasi yang masih dapat dikembangkan seluas 206 ha. Pemerintah Daerah yang bertanggung jawab atas pengelolaan irigasi dapat menggunakan hasil penelitian ini sebagai referensi untuk menentukan jadwal awal tanam padi.

Kata Kunci: Evaluasi, jadwal awal tanam, kebutuhan air, irigasi, neraca air.

### Latar Belakang

Irigasi merupakan faktor penting untuk memaksimalkan produktivitas pertanian dalam rangka memenuhi tuntutan pangan (Prayogo, Wahyuni and Iqbal, 2021). Beberapa faktor yang mempengaruhi pemberian air yang berlebihan, salah satunya adalah kurang tepatnya perencanaan penentuan pola tanam (jenis tanaman dan saat tanam) di daerah irigasi (Sayekti R, 2010). Pemberian air ke petak sawah disalurkan melalui saluran irigasi dan mengikuti urutan di dalam jaringan irigasi. Saluran primer dapat dianggap sebagai saluran paling hulu, kemudian bercabang ke saluran sekunder dan seterusnya sampai menuju petak tersier. Pengoperasian jaringan

irigasi menjadi perhatian beberapa pemangku kepentingan seperti pengelola saluran, operator saluran, petani dan otoritas lingkungan. Tujuan dari penjadwalan pemberian irigasi sangat berbeda dari persepsi masing-masing pihak. Misalnya, operator mungkin tertarik untuk mempertahankan fluktuasi ketinggian air agar air bisa terjaga, sedangkan para petani mengharapkan pasokan air lebih cepat dan lebih banyak. Keputusan yang diambil pada tingkat yang lebih rendah berdampak pada pemenuhan di tingkat yang lebih tinggi. Misalnya, memenuhi semua kebutuhan air di area tersier dapat bertentangan dengan tujuan di seluruh jaringan sampai ke tingkat primer. Penjadwalan pemberian irigasi dapat dilakukan dengan tujuan untuk mengoptimalkan satu atau lebih tujuan penjadwalan. Menyadari tujuan penjadwalan biasanya mempunyai kendala yaitu kondisi fisik jaringan irigasi, metode penjadwalan pemberian air dan faktor-faktor seperti ketersediaan air serta biaya. Oleh karena itu, penjadwalan pemberian air dapat dinyatakan sebagai kendala pada masalah simulasi. Penjadwalan pemberian irigasi ini sangat berkaitan erat dengan mulai awal tanam padi. Karena awal tanam yang tepat akan mengoptimalkan pemberian irigasi.

Peneliti terdahulu yang membahas tentang penjadwalan pemberian irigasi adalah sebagai berikut; Metode optimasi generik untuk penjadwalan irigasi untuk berbagai tujuan pada saluran irigasi, berhasil menerapkan metode hipotesis dan aplikasi nyata di lapangan dimana gabungan kedua metode tersebut dapat mencapai keuntungan yang optimal (Delgoda et al., 2017). Pengembangan platform simulasi sistem multi-purpose untuk penjadwalan irigasi menghasilkan perilaku sistem irigasi untuk mencari solusi yang mungkin dan menemukan solusi yang paling efisien dalam pembagian air. Meskipun hanya pada skala areal kecil, penelitian ini menunjukkan bagaimana teknik simulasi berhasil digunakan untuk memecahkan masalah pertanian (Isern, Abelló and Moreno, 2012). Optimasi penjadwalan irigasi untuk gandum pada musim semi berdasarkan model simulasi-optimasi di bawah ketidakpastian model, menghasilkan bahwa empat kejadian irigasi dengan kondisi awal penyimpanan air tanah yang lebih menghasilkan keuntungan bersih yang lebih tinggi dan keuntungan bersih yang optimal akan meningkat seiring dengan kenaikan harga pasar tanaman. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai panduan pengelolaan irigasi bagi petani lokal (Li et al., 2018). Optimasi real-time dari penjadwalan irigasi dengan paralel algoritma menunjukkan bahwa model ini berhasil mengimplementasikan pembagian irigasi yang optimal (Alonso Campos, Jiménez-Bello and Martínez Alzamora, 2020). Optimasi jadwal irigasi di wilayah pertanian yang luas dengan skenario hidrologi yang berbeda, dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa jadwal irigasi yang dioptimalkan berkinerja lebih baik daripada jadwal irigasi sebelumnya, yaitu meningkatkan hasil panen dan keuntungan ekonomi (Guo et al., 2020).

Berdasarkan keberhasilan beberapa penelitian sebelumnya maka tujuan penelitian ini adalah evaluasi awal tanam padi pada Daerah Irigasi Bilokka Sulawesi Selatan sebagai salah satu cara efisiensi penggunaan irigasi. Kerangka yang dikembangkan dalam studi ini adalah menggeser awal tanam padi sehingga dengan efisiensi pemberian air dapat mencapai hasil panen yang optimal. Hasilnya juga dapat dipakai sebagai pedoman bagi petani lokal dan pengelola irigasi.

## Metodologi Studi

### Lokasi Studi

Lokasi studi terletak pada Kabupaten Sidenreng Rappang (SIDRAP) 183 Km di pada arah Utara Kota Makassar yang merupakan Ibukota Propinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1). Daerah Irigasi (DI) Bilokka merupakan salah satu daerah irigasi teknis di Kabupaten Sidrap dengan luas fungsional sawah 1.005 ha yang terus berkembang hingga saat ini.



(sumber: (Badan Pusat Statistik, 2017))

Gambar 1. Peta Lokasi Studi

## Analisa Hidrologi

### Evapotranspirasi Potensial

Rumus Penman Modifikasi dipakai untuk menganalisa evapotranspirasi potensial seperti pada Persamaan (1) (Panjaitan, 2012):

$$E_p = c [(W \times R_n)] + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d) \tag{1}$$

dengan keterangan:

- $E_p$  : evapotranspirasi potensial (mm/hri)
- $c$  : faktor asumsi yang tergantung dari musim
- $W$  : koefisien pembobotan
- $R_n$  : penyinaran radiasi bersih matahari (mm/hri)
- $(1-W)$  : faktor koreksi
- $f(u)$  : fungsi dari angin relatif (km/hari)

$ea$  : tekanan uap jenuh yang tergantung dari suhu (mbar)  
 $ed$  : tekanan uap air (mbar)

### Hujan Andalan

Hujan andalan merupakan hujan rerata wilayah dengan prosentase terlampaui sesuai dengan yang ditetapkan serta bisa dipakai untuk pengairan air disawah. Hujan andalan untuk pertumbuhan padi ditentukan sebesar 80 % ( $R_{80}$ ) (Direktur Jenderal Pengairan, 2013).

### Hujan Efektif

Hujan efektif untuk pertumbuhan padi merupakan 70% dari hujan 15 harian yang terlewati 80% pada jangka waktu tertentu (Persamaan (2)) yang berhubungan dengan hujan rerata 15 harian  $R_{80}$  serta curah hujan rerata bulanan (Direktur Jenderal Pengairan, 2013).

$$R_{eff\ padi} = R_{80} \times 70\% \quad (2)$$

dengan keterangan:

$R_{eff\ padi}$  : curah hujan untuk padi di lahan (mm/hri)  
 $R_{80}$  : hujan dengan keandalan 80% (mm)

### Kebutuhan Air di Sawah

Analisa kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman di sawah ditentukan oleh (Direktur Jenderal Pengairan, 2013) dengan rincian sebagai berikut:

#### 1) Penyiapan Lahan

Rumus yang digunakan untuk menganalisa keperluan irigasi ketika penyiapan lahan di sawah **Van de** menggunakan Metode Goor dan Zijlstra yang ditunjukkan pada Persamaan (3):

$$IR = \frac{Me^k}{(e^k - 1)} \quad (3)$$

dengan keterangan:

$IR$  : kebutuhan air di sawah (mm/hari)  
 $M$  : kebutuhan air dalam rangka mengganti air yang hilang karena evaporasi dan perkolasi pada saat kondisi jenuh (mm/hari)  
 $e$  : bilangan alam (2,71828)

#### 2) Penggunaan Air Konsumtif Tanaman

Penggunaan air konsumtif untuk tanaman bisa dianalisa memakai Persamaan (4):

$$Etc = Kc \times Eto \quad (4)$$

dengan keterangan:

$Etc$  : evapotranspirasi potensial (mm/hari)

$Kc$  : koefisien tanaman

$Eto$  : evapotranspirasi potensial yang didapatkan dari analisa yang menggunakan rumus Penman modifikasi (mm/hari)

### 3) Analisis Kebutuhan Irigasi

Analisa kebutuhan bersih air di sawah memakai Persamaan (5) (Direktur Jenderal Pengairan, 2013):

$$NFR_{padi} = R_{eff\ padi} - (Eto + PL + P + WLR) \quad (5)$$

dengan keterangan:

$NFR_{padi}$  : *netto field water requirement* (mm/hari)

$R_{eff\ padi}$  : curah hujan efektif untuk padi (mm/hari)

$Eto$  : evapotranspirasi potensial (mm/hari)

$PL$  : penyiapan lahan (mm/hari)

$P$  : perkolasi (mm/hari)

$WLR$  : penggantian lapisan air (mm/hari)

### 4) Simulasi Awal Tanam

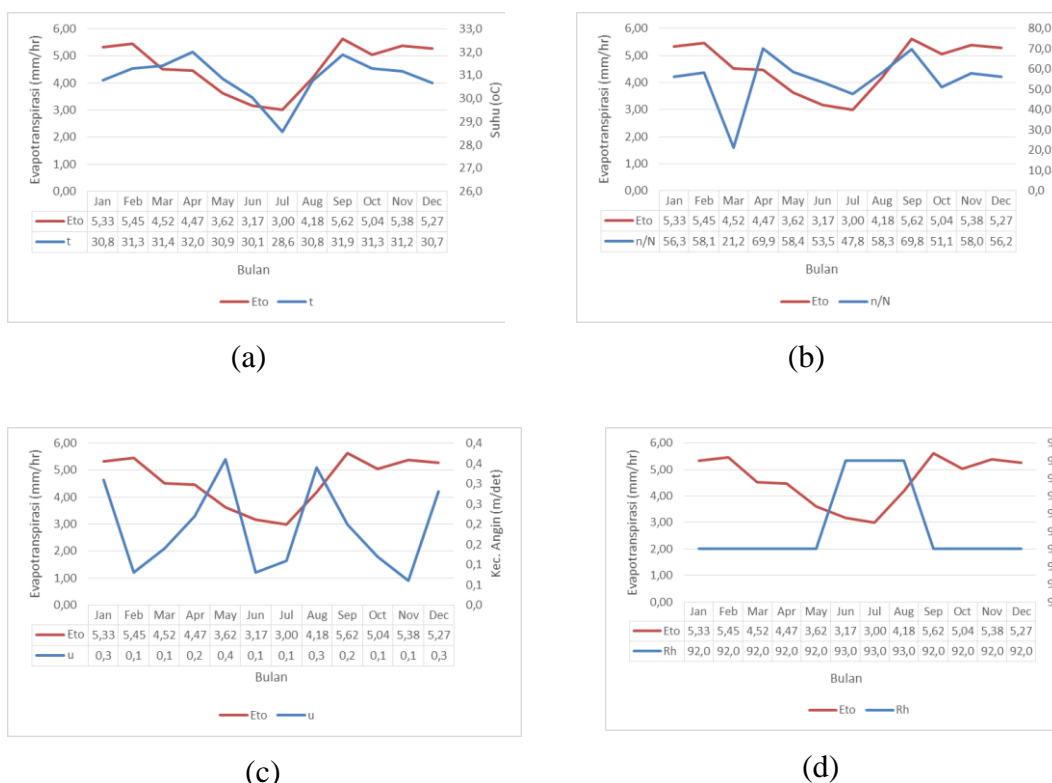
Simulasi pola tanam dianalisa dengan cara melakukan pergeseran awal tanam, yaitu sebagai berikut:

1. Eksisting : awal tanam Desember II
2. Alternatif I : awal tanam Desember III
3. Alternatif II : awal tanam Desember I
4. Alternatif III : awal tanam November III
5. Alternatif IV : awal tanam Januari I
6. Alternatif V : awal tanam Januari II
7. Alternatif VI : awal tanam Januari III

## Hasil Studi dan Pembahasan

### Evapotranspirasi Potensial

Metode Penman Modifikasi dipakai untuk menganalisa kehilangan air baik yang terjadi pada tampungan memanjang bendung maupun yang terjadi di sawah. Rumus ini cukup handal karena sudah dipakai oleh banyak peneliti dan telah berhasil dengan baik, selain itu metode ini menggunakan data klimatologi yang paling lengkap jika dibandingkan dengan metode lainnya. Dibawah ini grafik yang menyatakan hubungan evapotranspirasi potensial dengan beberapa parameternya.



Gambar 2. Hubungan Evapotranspirasi dengan Temperatur, Penyinaran Matahari, Kecepatan Angin dan Kelembaban Relatif.

Dari hasil analisa diketahui bahwa nilai evapotranspirasi potensial berkisar antara 3-5,62 mm/hari. Suhu merupakan faktor yang berkontribusi sangat penting pada hasil perhitungan evapotranspirasi. Pada Gambar 2 diketahui bahwa evapotranspirasi tertinggi terjadi pada bulan yang mempunyai suhu tertinggi diantara bulan lainnya, dan begitu juga sebaliknya. Tingginya suhu udara menyebabkan evaporasi juga cenderung meningkat (Zhang et al., 2020). Penyinaran matahari dan kelembaban relatif mempunyai hubungan linier dengan nilai evapotranspirasi, sedangkan untuk kecepatan angin tidak nampak secara jelas hubungannya.

**Curah Hujan Efektif**

Perhitungan hujan efektif untuk pertumbuhan padi dilakukan dengan periode 10 harian sesuai dengan rencana pola tata tanam. Tabel 1 merupakan hasil tabulasi dari analisa hujan efektif untuk pertumbuhan padi.

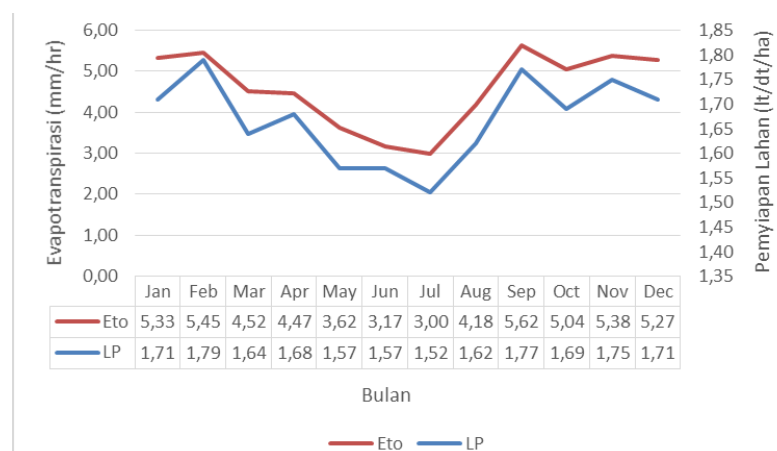
Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa curah hujan andalan berkisar antara 0-110 mm/10 hari, sedangkan curah hujan efektif untuk padi berkisar antara 2-77 mm/10 harian atau 0-8 mm/hari. Pola curah hujan di lokasi studi sama dengan di lokasi lain di Indonesia, yaitu hujan paling besar terjadi pada musim penghujan dan sebaliknya hujan minimum terjadi pada musim kemarau.

Tabel 1. Hujan Andalan dan Hujan Efektif untuk Padi

Bulan	Periode	R 80	Re padi		Bulan	Periode	R 80	Re padi	
		(mm)	(mm)	(mm/hr)			(mm)	(mm)	(mm/hr)
Jan	1	7	5	0.49	Jul	1	11	8	0.79
	2	36	25	2.52		2	46	32	3.22
	3	31	22	2.17		3	18	13	1.28
Feb	1	18	13	1.28	Ags	1	10	7	0.70
	2	26	18	1.80		2	11	8	0.77
	3	18	13	1.26		3	5	4	0.37
Mar	1	12	8	0.82	Sep	1	11	8	0.77
	2	19	14	1.35		2	6	4	0.44
	3	78	55	5.48		3	3	2	0.19
Apr	1	40	28	2.80	Okt	1	29	21	2.05
	2	29	21	2.05		2	29	20	2.01
	3	95	67	6.65		3	110	77	7.67
Mei	1	103	72	7.23	Nov	1	95	66	6.63
	2	15	10	1.03		2	38	27	2.66
	3	64	45	4.50		3	74	52	5.19
Jun	1	16	11	1.10	Des	1	68	48	4.78
	2	6	4	0.44		2	10	7	0.72
	3	63	44	4.41		3	4	3	0.30

Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Selain kejenuhan tanah, perkolasi, evapotranspirasi, penggenangan juga diperlukan untuk analisa kebutuhan air irigasi. Data iklim (suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, sinar matahari), curah hujan, tekstur dan jenis tanah, serta pola tanam sesuai dengan rencana, semuanya diperlukan untuk memperkirakan jumlah air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan padi.



Gambar 3. Hubungan Evapotranspirasi dengan Penyiapan Lahan

Dari hasil analisa didapatkan besarnya air pada saat pengolahan lahan antara 1,52-1,79 liter/detik/ha tergantung evapotranspirasi potensial. Semakin besar nilai evapotranspirasi potensial maka semakin besar juga kebutuhan air untuk pengolahan lahan.

### Perkolasi

Perkolasi pada tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan (*puddling*) yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1 sampai 3 mm/hari (Direktur Jenderal Pengairan, 2013). Pada tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi.

Laju perkolasi berdasarkan jenis tanah adalah sebagai berikut (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2004):

- Tektur tanah liat : 1,0 – 1,5 mm/hari
- Tektur tanah liat berdebu : 1,5 – 2,0 mm/hari
- Tektur tanah lempung liat, lempung liat berdebu : 2,0 – 2,5 mm/hari
- Tektur tanah lempung liat berpasir : 2,5 – 3,0 mm/hari
- Tektur tanah lempung berpasir : 3,0 – 5,0 mm/hari

Berdasarkan Laporan Akhir Review Desain Jaringan Irigasi DI. Bilokka di Kabupaten Sidrap Tahun 2015 (CV Profil Konsultan, 2015), dituliskan bahwa jenis tanah di lokasi penelitian mempunyai tekstur lempung dengan tekstur berpasir sehingga dalam analisa kebutuhan air diasumsi nilai perkolasi adalah 3 mm/hari.

### Pergantian Lapisan Air (WLR)

Penggantian lapisan air dilakukan dua kali, yaitu 50 mm untuk tiap waktunya (atau 3,3 mm/hari selama 15 hari) pada jangka waktu satu bulan atau dua bulan setelah transplantasi.

### Rencana Pola Tata Tanam

Awal musim hujan atau kebiasaan petani setempat, serta studi kebutuhan air, biasanya menjadi langkah awal dalam menentukan pola tanam, dalam hal ini awal musim tanam padi pertama. Awal musim hujan dimulai bulan November menurut data statistik yang terjadi di D.I. Bilokka. Untuk mencapai kebutuhan air bersih maksimum (*NFR*) terendah, maka perlu dilakukan simulasi waktu mulai tanam padi yang berbeda.

Metode neraca air/keseimbangan air (*water balance*) penjadwalan irigasi merupakan salah satu metode untuk memperkirakan jumlah dan waktu pengairan yang diperlukan untuk tanaman. Keseimbangan air dapat tercapai dengan baik jika rencana awal tanam dilakukan pada waktu yang tepat.

Pola tanam dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

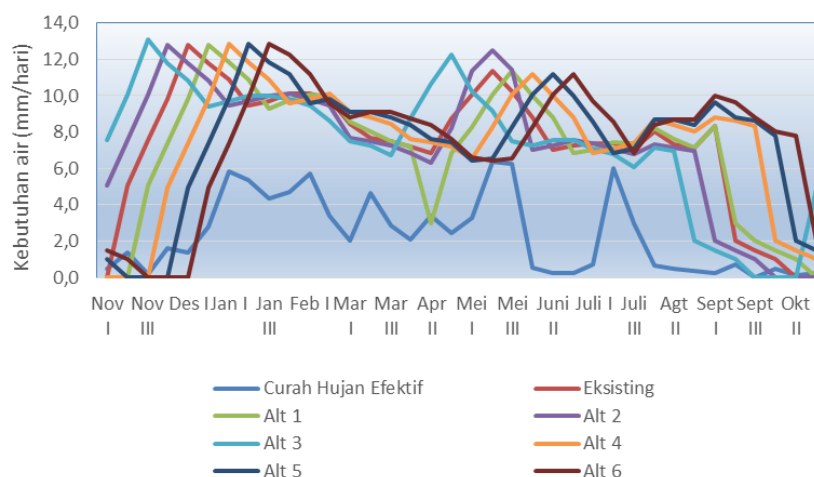
1. Pola tata tanam yaitu Padi I (90 hr) – Padi II (90 hr) yang menerapkan sistem dua golongan.
2. Masa pengolahan lahan adalah 1 bulan yang dilakukan sebelum menanam padi.

- Setelah masa panen Padi I dilakukan mas bero selama 1 bulan sebelum dimulai pengolahan lahan II untuk Padi II.

Simulasi pola tanam dianalisa dengan cara melakukan pergeseran awal tanam, yaitu sebagai berikut:

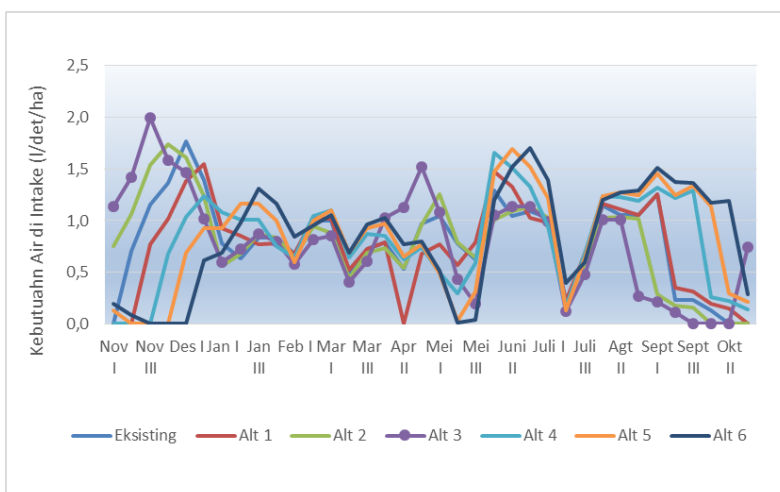
- Eksisting : awal tanam Desember II
- Alternatif I : awal tanam Desember III
- Alternatif II : awal tanam Desember I
- Alternatif III : awal tanam November III
- Alternatif IV : awal tanam Januari I
- Alternatif V : awal tanam Januari II
- Alternatif VI : awal tanam Januari III

Dari hasil analisa perhitungan kebutuhan air dengan menggunakan persamaan 5 dan dengan simulasi pola awal tanam dengan tujuh (7) alternatif, maka didapatkan rata-rata curah hujan efektif antara 0 - 6,35 mm/hari, sedangkan untuk kebutuhan air irigasi antara 0 – 13,07 mm/hari. Grafik perbandingan ketersediaan curah hujan efektif dan kebutuhan air untuk irigasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Ketersediaan Curah Hujan Efektif dan Kebutuhan Air

Analisis kebutuhan air pada *intake* adalah jumlah debit yang harus disediakan oleh bendung untuk memenuhi kebutuhan penguapan, kehilangan air di saluran, kebutuhan air untuk tanaman dengan mempertimbangkan jumlah air yang disediakan oleh alam melalui curah hujan dan air tanah. Gambar 5 adalah grafik kebutuhan air di *intake* dengan tujuh (7) alternatif simulasi awal tanam. Dari grafik 5 dapat dilihat bahwa alternatif III mempunyai nilai terendah jika dibandingkan baik dengan kondisi eksisting maupun dengan alternatif lainnya.



Gambar 5. Kebutuhan Air di Intake

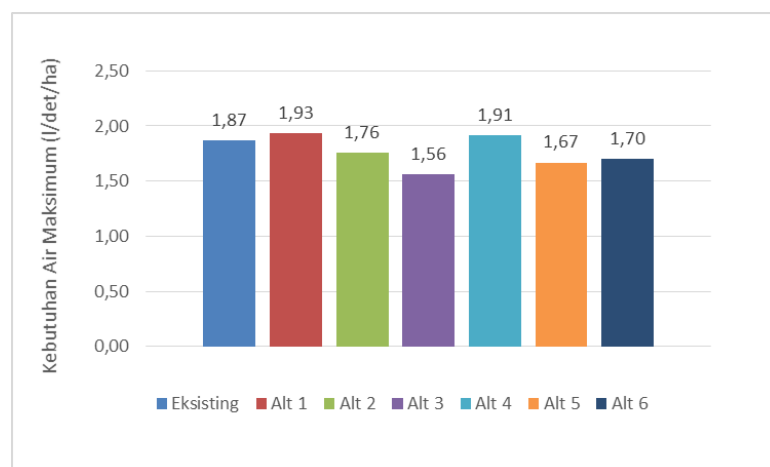
Langkah selanjutnya adalah membuat rekapitulasi kebutuhan air maksimum di *intake* untuk setiap simulasi dan awal tanam baik untuk Padi I maupun Padi II. Tabel 2 dan Gambar 6 menunjukkan kebutuhan air terkecil di *intake* adalah alternatif III yang awal tanamnya pada November III yaitu sebesar 1,564 l/dt/ha. Selisih kebutuhan air di *intake* pada saat kondisi eksisting dengan alternatif III adalah sebesar 0,31 liter/detik/ha atau mendapatkan efisiensi sebesar 16%. Jika alternatif III diterapkan di lapangan, maka air yang bisa dihemat adalah sebesar 322 liter/detik untuk keseluruhan daerah irigasi (1.050 ha). Dengan demikian, efisiensi ini dapat digunakan untuk pengembangan areal irigasi seluas 206 ha lagi.

Tabel 2. Rekapitulasi Kebutuhan Air di Intake pada Berbagai Awal Tanam

Simulasi	Awal Tanam		
	Padi I	Padi II	<i>Q</i> maks (l/dt/ha)
Eksisting	Desember II	Mei II	1,87
Alternatif 1	Desember III	Mei III	1,93
Alternatif 2	Desember I	Mei I	1,76
Alternatif 3	November III	April III	<b>1,56</b>
Alternatif 4	Januari I	Juni I	1,91
Alternatif 5	Januari II	Juni II	1,67
Alternatif 6	Januari III	Juni III	1,70

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemberian irigasi ke petak tersier sesuai dengan kebutuhan air tanaman yang tentunya sesuai dengan tahap siklus vegetatifnya, tidak hanya akan meminimalkan kebutuhan air tetapi juga mengurangi drainase dan meningkatkan efisiensi. Evaluasi awal tanam ini penting tidak hanya karena mencegah defisit air atau menghemat air, akan tetapi juga meningkatkan penggunaan sumber daya air yang baik dan mengurangi dampak lingkungan di daerah irigasi. Dampak lingkungan atau sosial yang biasanya terjadi adalah konflik para petani karena saling berebut air terutama pada saat musim

kemarau. Oleh karena itu, sosialisasi dari pengelola irigasi kepada petani harus dilakukan dengan baik.



Gambar 6. Kebutuhan Air di Intake

## Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi awal pola tanam yang selama ini diterapkan di lokasi studi. Dari hasil perhitungan didapatkan efisiensi sebesar 16% yang dapat digunakan untuk pengembangan areal irigasi seluas 206 ha lagi. Pengembangan areal ini didasarkan dengan sistem pemberian air yang terus menerus, akan tetapi jika akan diterapkan sistem giliran maka areal yang bisa dikembangkan bisa lebih luas lagi, tergantung bagaimana proses sistem giliran yang akan diterapkan.

Hasil ini dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan oleh pemangku kepentingan dalam pengelolaan irigasi. Diperlukan pengembangan pengetahuan yang terus-menerus dari semua pemangku kepentingan yang berkaitan, yaitu dengan cara berbagi tanggung jawab yang lebih besar di seluruh rantai pemakai air. Lebih lanjut, pengelolaan yang lebih hemat air dapat menggabungkan manfaat lingkungan yang lebih luas dengan keuntungan ekonomi bagi para petani.

## Daftar Referensi

- Alonso Campos, J.C., Jiménez-Bello, M.A. and Martínez Alzamora, F., 2020. Real-time energy optimization of irrigation scheduling by parallel multi-objective genetic algorithms. *Agricultural Water Management*, 227, p.105857. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105857>.
- Badan Pusat Statistik, 2017. *Kabupaten Sidrap dalam Angka*.
- CV Profil Konsultan, 2015. *Laporan Akhir Review Desain Jaringan Irigasi DI Bilokka di Kabupaten Sidrap*.
- Delgoda, D., Malano, H., Saleem, S.K. and Halgamuge, M.N., 2017. A novel generic optimization method for irrigation scheduling under multiple objectives and multiple hierarchical layers in a canal network. *Advances in Water Resources*, 105, pp.188–204. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.025>.

- Direktur Jenderal Pengairan, 2013. *Standar Perencanaan Irigasi. Kriteria Perencanaan Bagian Saluran Kp-01. Standar Perencanaan Irigasi*.
- Guo, D., Olesen, J.E., Manevski, K. and Ma, X., 2020. Optimizing irrigation schedule in a large agricultural region under different hydrologic scenarios. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106575>.
- Isern, D., Abelló, S. and Moreno, A., 2012. Development of a multi-agent system simulation platform for irrigation scheduling with case studies for garden irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 87, pp.1–13. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.04.007>.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2004. *Pemberian Air pada Lahan dengan Sistem Surjan*. Indonesia.
- Li, J., Song, J., Li, M., Shang, S., Mao, X., Yang, J. and Adeloje, A.J., 2018. Optimization of irrigation scheduling for spring wheat based on simulation-optimization model under uncertainty. *Agricultural Water Management*, 208, pp.245–260. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.029>.
- Panjaitan, D., 2012. Kajian evapotranspirasi potensial standar pada daerah irigasi muara jalai kabupaten kampar provinsi riau. *Aplikasi Teknologi*, 4(1), pp.49–54.
- Prayogo, T., Wahyuni, S. and Iqbal, M., 2021. A Study of Irrigation Performance Index and Real Cost Value of Irrigation Operations and Maintenance in Surak Irrigation Area. *Civil and Environmental Science*, 004(01), pp.030–042. <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2021.00401.4>.
- Sayekti R, 2010. Model Optimasi Alternatif Pola Tanam untuk Mendapatkan Luas Tanam dan Keuntungan yang Optimum (Studi kasus di Dam Jatimlerek, Kabupaten Jombang). *Jurnal Teknik Pengairan*, [online] 1(2), pp.115–126. Available at: <<https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/107>>.
- Zhang, A., Gao, R., Wang, X., Liu, T. and Fang, L., 2020. Historical trends in air temperature, precipitation, and runoff of a plateau inland river watershed in North China. *Water (Switzerland)*, 12(74), pp.1–17. <https://doi.org/10.3390/w12010074>.