

STUDI ANALISA OPTIMASI DISTRIBUSI IRIGASI TERHADAP KEBUTUHAN AIR PADA DAERAH IRIGASI KRASAK KAB. PROBOLINGGO

Rendra Prayogo Rinarko¹, Eko Noerhayati², Anita Rahmawati³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,
e-mail: 21801051219@unisma.ac.id

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,
e-mail: ekonoerhayati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,
e-mail: aniita.rahmawati@unisma.ac.id

ABSTRACT

Water is a natural resource that is crucial for human life, and water issues require in-depth attention. Currently, water users are spread throughout Indonesia. Seventy-five percent of water is used for irrigation, with the remaining 25% for drinking, industrial, and domestic purposes. Irrigation functions to channel water from the source to agricultural land to meet crop needs. Its function not only increases productivity but also maintains stable agricultural yields, reduces the risk of crop failure due to climate uncertainty, and creates optimal soil moisture. This study calculates the optimal irrigation water requirements for agricultural land, ensuring maximum yields can be achieved with limited water availability. The study began with rainfall data obtained from the Wonorejo rainfall station. The data was then analyzed to ensure consistency and usability. The next step was to determine irrigation water requirements by considering cropping patterns. The final step was to use SOLVER to determine optimal results.

Keywords: *Irrigation, Water Needs, Solver*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman, irigasi menjadi salah satu komponen penting dalam produksi pangan, tidak hanya untuk padi, tetapi juga untuk perkebunan dan perikanan [1]. Namun, penggunaan air yang tidak efisien dapat menimbulkan kerugian ekonomi dan kerusakan lingkungan. Selain itu, terdapat disparitas efisiensi jaringan irigasi antarwilayah, sehingga analisis efisiensi sistem irigasi sangat diperlukan untuk memperbaiki pengelolaan distribusi air [2]. Penelitian ini mengambil lokasi di Daerah Irigasi Krasak, Kecamatan Wonomerto, Kabupaten Probolinggo. Pemilihan lokasi didasarkan pada kondisi jaringan irigasi yang mengalami penurunan kinerja akibat kebocoran, rembesan, serta perilaku sebagian petani yang kurang proporsional dalam menggunakan air. Hal ini memicu ketidakmerataan distribusi air, konflik antarpetani pengguna air, serta mengakibatkan

sebagian lahan sawah tidak teraliri meskipun debit air di saluran primer mencukupi.

Distribusi air irigasi dilakukan melalui saluran primer, sekunder, dan tersier, dengan pembagian air yang disesuaikan fase pertumbuhan tanaman. Namun, pengaturan di hulu sering belum mampu menjamin kecukupan air di hilir, sehingga menyebabkan luas lahan yang dapat ditanami menjadi berkurang dan memicu konflik antarpetani.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Diduga keterbatasan air, terutama ketika kemarau, serta pola tata tanam yang belum dioptimalkan dengan ketersediaan debit air.
2. Distribusi air yang belum tertata, mengingat kebutuhan akan air berbeda untuk setiap jenis tanaman, terutama tanaman padi.
3. Perlunya penerapan metode optimasi menggunakan fasilitas Solver pada Microsoft Excel untuk perhitungan distribusi air.

4. Kebutuhan penyesuaian pola tata tanam sesuai debit air yang tersedia.

1.3 Rumusan Masalah

1. Berapa total debit andalan yang diperlukan untuk pola tata tanam dalam operasional irigasi?
2. Bagaimana pola tata tanam yang sesuai dengan debit air yang tersedia agar keuntungan dapat dimaksimalkan?

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi merupakan total volume air yang dibutuhkan untuk memenuhi evapotranspirasi, kehilangan air, serta kebutuhan tanaman, mempertimbangkan suplai air alami dari hujan dan kontribusi air tanah. Irigasi sendiri adalah proses penambahan kadar air tanah secara buatan dengan menyalurkan air yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman ke lahan yang diolah, kemudian mendistribusikannya secara teratur. Namun, pemberian air yang berlebihan pada lahan justru dapat merusak tanaman [3].

2.1 Metode Solver

Solver adalah fitur pencari solusi pada perangkat lunak Microsoft Excel di Windows yang dikembangkan berdasarkan metode simpleks. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi, baik untuk mencari nilai maksimum maupun minimum. Solver memanfaatkan kode optimasi nonlinier Generalized Reduced Gradient (GRG2) yang dikembangkan oleh Leon Lasdon dari Universitas Texas di Austin dan Allan Waren dari Cleveland State University. Dalam penyelesaiannya, Solver menerapkan algoritma simpleks dengan batasan pada variabel-variabel yang digunakan.

2.2.1 Penggunaan Metode Solver

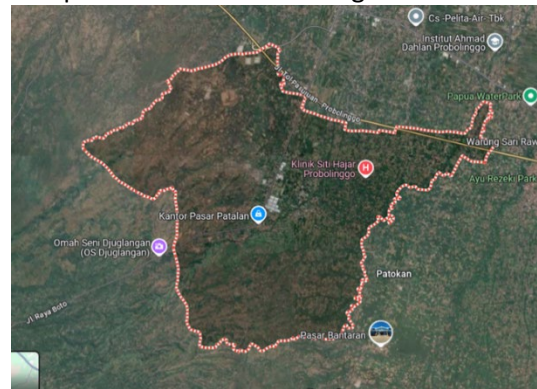
Jika pada menu Microsoft Excel tidak tersedia fitur Solver, maka fitur tersebut dapat diinstal melalui Add-Ins yang ada di Microsoft Excel. Dalam penggunaan Solver, terdapat tiga komponen yang harus dipenuhi, yaitu target yang ingin dicapai, kendala yang harus dipenuhi, serta sel yang nilainya diubah-ubah untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan target dan kendala tersebut. Langkah awal yang

dilakukan adalah memberikan nilai perkiraan pada sel yang akan diubah. Selanjutnya, Solver akan melakukan proses coba-coba berdasarkan nilai perkiraan tersebut hingga ditemukan solusi yang memenuhi tujuan dan kendala yang telah ditetapkan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini diambil pada lokasi saluran di jaringan irigasi Krasak, kecamatan Wonomerto, kabupaten Probolinggo. Di daerah irigasi Krasak memiliki luas fungsional sawah seluas 598 ha yang memperoleh pasokan air dari bendungan Krasak.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Google Earth

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

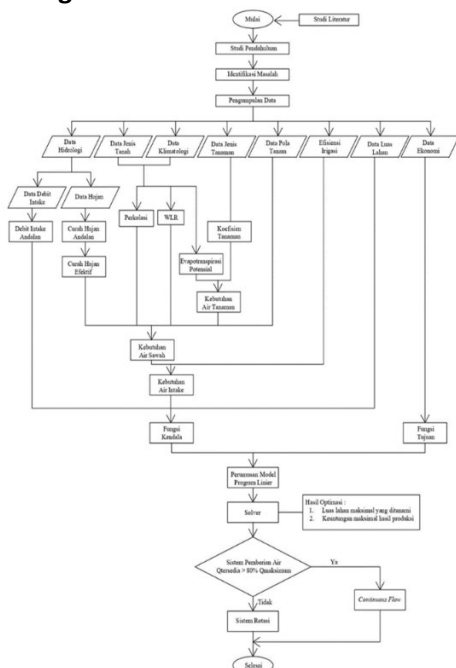
- Data curah hujan

Data curah hujan yang akan dipakai adalah curah hujan sekunder selama 10 tahun terakhir, yaitu tahun 2013 sampai dengan 2023. Data curah hujan digunakan untuk menganalisa besarnya curah hujan efektif dan curah hujan andalan yang terjadi pada daerah irigasi Krasak. Data ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Keairan Sumberasih, Kabupaten Probolinggo dan UPTD Kabupaten Probolinggo.

- Data debit

Data debit ini digunakan untuk menghitung besarnya debit andalan yang akan digunakan untuk perencanaan pola tata tanam. Data ini merupakan data sekunder yang di peroleh dari Dinas Keairan Sumberasih Kabupaten Probolinggo dan UPT Sumberasih.

Data produksi pertanian dalam Rp/Ha. Data ini digunakan sebagai pendukung dari fungsi sasaran yang akan di analisis pada program liner, data ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pertanian kabupaten Probolinggo.

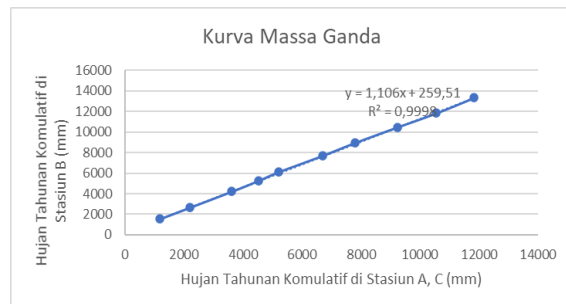


Selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Curah Hujan Tahunan Stasiun Wonomerto 2

Data Hujan Harian Maksimum Tahunan (mm/dt)				AC	Komu A	
Tahun	A	B	C	Rerata	Komu	
2014	1096	1536	1264	1180	1180	1536
2015	778	1107	1234	1006	2186	2643
2016	1141	1562	1705	1423	3609	4205
2017	575	1058	1250	912	4521	5263
2018	419	853	957	688	5209	6116
2019	1126	1585	1845	1485	6695	7701
2020	920	1250	1275	1097	7792	8951
2021	1203	1522	1676	1439	9232	10473
2022	1068	1354	1558	1313	10545	11827
2023	922	1509	1644	1283	11828	13336

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.3 Grafik Komulatif Stasiun B terhadap A dan C

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan grafik hubungan komulatif stasiun A (Wonomerto 1) dan C (Wonomerto 3) diperoleh : $y = 1.106x + 259.51$ dan koefisien determinasi (R^2) = 0.9998. Hal ini dimaksudkan bahwa pada variable y komulatif stasiun B (Wonomerto 2) nilainya dipengaruhi oleh komulatif rerata sebesar 1.106 dan variable lain sebesar 259.51. Jadi nilai (R^2) = 0.9998 mendekati angka 1 maka hubungan komulatif stasiun B dengan rerata stasiun A dan C sangat kuat dan konsisten.

4.1.2 Curah Hujan Andalan

Curah hujan andalan adalah curah hujan rata-rata minimum suatu daerah yang telah ditetapkan dan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan irigasi. Data ini digunakan untuk menentukan curah hujan efektif, yaitu curah hujan yang benar-benar dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman. Nilai curah hujan andalan ditetapkan sebesar 80% untuk

tanaman padi dan 50% untuk tanaman palawija. Proses perhitungan curah hujan andalan dilakukan dengan mengurutkan data curah hujan rata-rata bulanan dari nilai terkecil hingga terbesar, kemudian menghitungnya menggunakan rumus yang telah ditentukan.

- $R_{80} = (n/5)+1$ (keandalan sebesar 80%)
- $R_{50} = (n/2)+1$ (keandalan sebesar 50%)

Dicontohkan satu Langkah perhitungan:

Diketahui : Jumlah data (n) = 10

- $R_{80} = (10/5)+1 = 3$ (berada di baris ke 3)
- $R_{50} = (10/2)+1 = 6$ (berada di baris ke 6)

Tabel 4. 4 Rangking Data Curah Hujan /Tahun

No	Data Hujan		Rangking Data		Ket.
	Tahun	R (mm)	Tahun	R (mm)	
1	2014	3896	2018	2229	
2	2015	3119	2017	2883	
3	2016	4408	2015	3119	R80
4	2017	2883	2020	3445	
5	2018	2229	2014	3896	
6	2019	4556	2022	3980	R50
7	2020	3445	2023	4075	
8	2021	4401	2021	4401	
9	2022	3980	2016	4408	
10	2023	4075	2019	4556	

Sumber : Hasil Penelitian

4.1.3 Curah Hujan Efektif

4.2 Kebutuhan Air Irigasi

4.2.1 Menghitung Evapotranspirasi Potensial

Pada perhitungan evapotranspirasi potensial dalam penelitian ini dijabarkan sesuai dengan langkah penyelesaian perhitungan nilai evapotranspirasi yang dicontohkan dengan menggunakan perhitungan untuk bulan januari, yaitu:

1. Suhu bulanan rerata (t) = 25,5 °C
2. Kelembaban relatif rerata (RH) = 76,6 %
3. Kecerahan matahari rerata n/N = 45,8 %
4. Kecepatan angin bulanan (U) = 2,3 m/dt
5. Radiasi gelombang pendek (R_y) = 16,1 mm/hari
6. Tekanan uap jenuh (e_y) = 32,64 mbar
7. Faktor suhu dan elevasi (W) = 0,75
8. Fungsi suhu $f(t) = \sigma * Ta4$, (diperoleh dari tabel 2.3 sebesar 15,775)
9. Faktor pembobot u dan RH ($1-W$) = 0,25
10. Tekanan uap sebenarnya (e_d), adalah hasil perkalian dari tekanan uap jenuh dengan kelembaban relatif bulanan $e_d = (e * RH) / 100$
 $e_d = (32,64 * 0,76) / 100 = 25$ mbar

Tabel 4.5 Data Curah Hujan Efektif

Bln	Per	R80	R50	Curah Hujan Efektif					
		2015	2022	Re Padi	Re Padi	Re Palw	Re Palw	Re Tebu	Re Tebu
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm/hr)	(mm)	(mm/hr)	(mm)	(mm/hr)
Jan	I	183	273	128.1	12.81	64.05	6.405	38.43	3.843
	II	165	330	115.5	11.55	57.75	5.775	34.65	3.465
	III	206	345	144.2	14.42	72.1	7.21	43.26	4.326
Feb	I	193	179	135.1	13.51	67.55	6.755	40.53	4.053
	II	193	223	135.1	13.51	67.55	6.755	40.53	4.053
	III	188	247	131.6	13.16	65.8	6.58	39.48	3.948
Mar	I	114	193	79.8	7.98	39.9	3.99	23.94	2.394
	II	124	254	86.8	8.68	43.4	4.34	26.04	2.604
	III	144	298	100.8	10.08	50.4	5.04	30.24	3.024
Apr	I	36	88	25.2	2.52	12.6	1.26	7.56	0.756
	II	236	127	165.2	16.52	82.6	8.26	49.56	4.956
	III	267	167	186.9	18.69	93.45	9.345	56.07	5.607
Mei	I	41	51	28.7	2.87	14.35	1.435	8.61	0.861
	II	91	95	63.7	6.37	31.85	3.185	19.11	1.911
	III	101	105	70.7	7.07	35.35	3.535	21.21	2.121
Jun	I	13	77	9.1	0.91	4.55	0.455	2.73	0.273
	II	35	102	24.5	2.45	12.25	1.225	7.35	0.735
	III	87	112	60.9	6.09	30.45	3.045	18.27	1.827
Jul	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0
Agu	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0
Okt	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov	I	55	11	38.5	3.85	19.25	1.925	11.55	1.155
	II	97	77	67.9	6.79	33.95	3.395	20.37	2.037
	III	99	88	69.3	6.93	34.65	3.465	20.79	2.079
Des	I	143	196	100.1	10.01	50.05	5.005	30.03	3.003
	II	166	146	116.2	11.62	58.1	5.81	34.86	3.486
	III	142	196	99.4	9.94	49.7	4.97	29.82	2.982

Sumber : Hasil Penelitian

11. Perbedaan tekanan uap ($\epsilon_y - \epsilon_d$) = 32,64 - 25 = 7,64 mbar

12. Radiasi bersih gelombang pendek

$$R_s = (0,25 + 0,54 n/N) \times R_y \ 58$$

$$R_s = (0,25 + 0,54 \times 45,8) \times 16,1 = 8,01 \text{ mm/hri}$$

13. Fungsi tekanan uap $f(\epsilon_d) = 0,34 - 0,04 \times (\epsilon_d)$
 $0,5 F(\epsilon_d) = 0,34 - 0,04 \times (25) \ 0,5 = 0,12 \text{ mbar}$

14. Fungsi kecerahan matahari $f(n/N) = (0,1 + 0,9 \times n/N)$
 $f(n/N) = (0,1 + 0,9 \times 45,8) \% = 51,3\%$

15. Fungsi kecepatan angin $f(U) = 0,27(1 + 0,864u)$
 $f(U) = (0,27 \times (1 + 0,864 \times 5,240))$
 $m/dt = 0,807 \rightarrow 0,807 \text{ m/dt}$

16. Radiasi bersih gelombang panjang (R_{n1}) = $f(t) \times f(d) \times f(n/N)$
 $R_{n1} = (15,775 \times 0,12 \times 0,513) \text{ mm/hari} = 0,97 \text{ mm/hari}$

17. Radiasi Matahari = $((0,75 \times 4,880) - 1,177)$
 $\text{mm/hari} = 8,01 \text{ mm/hari}$

18. Evaporasi potensial (E_{To}^*) = $W(0,75 \times (R_s - R_{n1})) + (1 - W) f(u)$
 $(\epsilon_y - \epsilon_d) (E_{To}^*) = ((0,755 \times 2,777) + (0,245) \times (2,637) \times (0,5211))$
 $\text{mm/hari} = 5,318 \text{ mm/hari}$

19. Angka koreksi (c) dari tabel koefisien evapotranspirasi penman sebesar 1,1

20. Evaporasi Potensial (ET) = $c \times E_{To}$
 $(ET) = (1,10 \times 5,85) \text{ mm/hari} = 6,43 \text{ mm/hr}$

Tabel 4.6 Hasil Data Perhitungan Evapotranspirasi Potensial (nilai Ry)

g ^a LS	Su h u (°C)	w	C	ey (mb ar)	f(t)	RH (%)	ed (mb ar)	f(ed)	Ry (m m/h r)
JAN	25,5	0,750	1,1	32,64	15,775	76,6	25,00	0,120	16,1
FEB	26,5	0,760	1,1	34,63	16,000	79,6	27,57	0,109	16,1
MAR	27,5	0,770	1	36,72	16,200	74,4	27,32	0,110	15,1
APR	28	0,775	0,9	37,81	16,300	78,0	29,49	0,101	14,1
MEI	29	0,785	0,9	40,06	16,500	79,1	31,69	0,102	13,1
JUN	30	0,795	0,9	42,31	16,700	78,8	33,34	0,086	12,4
JUL	31,5	0,810	0,9	45,65	17,000	79,6	36,34	0,075	12,7
AGS	30	0,795	1	42,31	16,700	78,8	33,76	0,084	13,7
SEP	31	0,805	1,1	44,55	16,900	77,4	34,48	0,082	14,9
OKT	29	0,785	1,1	40,06	16,500	79,4	31,81	0,092	15,8
NOV	28	0,775	1,1	37,81	16,300	77,2	29,19	0,102	16,0
DES	26	0,755	1,1	33,62	15,900	77,7	26,12	0,115	16,0

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.7 Data Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

g ^a L S	ET	n/N (%)	Rs (m m/h r)	f(n/ N)	U (m/ dt)	f(U)	Rn1 (mm /hr)	Eto* (m m/h r)	Eto (m m/h r)
JAN	6,43	45,8	8,01	0,513	2,3	0,807	0,970	5,318	5,8498
FEB	6,12	45,8	8,01	0,513	1,8	0,690	0,894	5,056	5,5617
MAR	5,18	45,8	7,51	0,513	1,9	0,713	0,913	5,177	5,1770
APR	3,89	45,8	7,01	0,513	2,0	0,737	0,844	4,802	4,3215
MAY	3,69	45,8	6,52	0,513	2,0	0,737	0,781	4,550	4,0951
JUN	3,74	45,8	6,17	0,513	2,4	0,830	0,736	4,619	4,1575
JUL	3,90	45,8	6,32	0,513	2,5	0,853	0,651	4,820	4,3383
AGS	5,19	45,8	6,82	0,513	3,0	0,970	0,722	5,189	5,1893
SEP	7,20	45,8	7,41	0,513	3,3	1,040	0,707	5,948	6,5426
OKT	6,94	45,8	7,86	0,513	3,0	0,970	0,777	5,739	6,3128
NOV	6,53	45,8	7,96	0,513	2,0	0,737	0,854	5,393	5,9326
DES	6,44	45,8	7,96	0,513	2,4	0,830	0,938	5,323	5,8558

Sumber : Hasil Penelitian

4.2.2 Kebutuhan Air Pengolahan Lahan

Penggunaan konsumtif adalah jumlah air yang dipakai oleh tanaman untuk proses evapotranspirasi dari tanaman tersebut (Bardan, 2014). Penggunaan konsumtif dikalkulasi dengan rumus sebagai berikut (Dirjen Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

$$ET_c = k_c \cdot ETo$$

Dimana :

- ET_c adalah penggunaan konsumtif,
- k_c adalah koefisien tanaman,
- ETo adalah evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari).

Koefisien Tanaman (K_c) dan Perhitungan Konsumtif (Etc)

Menggunakan nilai standar Ditjen Pengairan untuk koefisien tanaman:

a. Padi

- Persiapan Lahan : 1.10
- Pertumbuhan Vegetatif : 1.10
- Pertumbuhan Tengah : 1.05 - 1.20
- Pertumbuhan Akhir : 0.95 - 0.70

Tabel 4.8 Perhitungan Konsumtif (Etc) Padi

Bulan	Per	Eto (mm/hr)	Fase Pertumbuhan	Kc	Etc (mm/hr)
Nov	I	5,93	Persiapan lahan	1,1	6,52
Nov	II	5,93	Persiapan lahan	1,1	6,52
Nov	III	5,93	Penanaman	1,1	6,52
Des	I	5,86	Vegetatif	1,1	6,45
Des	II	5,86	Vegetatif	1,1	6,45
				1,1	
Des	III	5,86	Vegetatif	5	6,74
Jan	I	5,85	Tengah	1,2	7,02
Jan	II	5,85	Tengah	1,2	7,02
Jan	III	5,85	Tengah	1,1	6,44
				0,9	
Feb	I	5,56	Akhir	5	5,28
Feb	II	5,56	Akhir	0,8	4,45
Feb	III	5,56	Panen	0,7	3,89

Sumber: Hasil Perhitungan

b. Palawija

- Awal: 0.50
- Tengah: 0.95 - 1.20
- Akhir: 0.90 - 0.70

Tabel 4.9 Perhitungan Konsumtif (Etc) Palawija

Bulan	Per	Eto (mm/hr)	Fase Pertumbuhan	Kc	Etc (mm/hr)
Mar	I	5,18	Awal	0,5	2,59
Mar	II	5,18	Awal	0,6	3,11
Mar	III	5,18	Vegetatif	0,7	3,63
Apr	I	4,32	Vegetatif	0,8	3,46
Apr	II	4,32	Vegetatif	0,9	3,89
Apr	III	4,32	Tengah	1	4,32
Mei	I	4,1	Tengah	1,1	4,51
Mei	II	4,1	Tengah	1,2	4,92
Mei	III	4,1	Tengah	1,1	4,51
Jun	I	4,16	Akhir	0,9	3,74

Jun	II	4,16	Akhir	0,8	3,33
Jun	III	4,16	Panen	0,7	2,91

Sumber: Hasil Perhitungan

c. Tebu

- Perkecambahan: 0.60
- Pertumbuhan Vegetatif: 0.90 - 1.00
- Kemasakan: 0.90 - 0.70

Tabel 4.10 Perhitungan Konsumtif (Etc) Palawija

Bulan	Per	Eto (mm/hr)	Fase Pertumbuhan	Kc	Etc (mm/hr)
Apr	I	4,32	Perkecambahan	0,6	2,59
Apr	II	4,32	Perkecambahan	0,6	2,59
Apr	III	4,32	Vegetatif awal	0,7	3,02
Mei	I	4,1	Vegetatif awal	0,75	3,08
Mei	II	4,1	Vegetatif	0,8	3,28
Mei	III	4,1	Vegetatif	0,85	3,49
Jun	I	4,16	Vegetatif	0,9	3,74
Jun	II	4,16	Vegetatif	0,95	3,95
Jun	III	4,16	Vegetatif tengah	1	4,16
Jul	I	4,34	Vegetatif tengah	1	4,34
Jul	II	4,34	Vegetatif tengah	1	4,34
Jul	III	4,34	Vegetatif tengah	1	4,34
Ags	I	5,19	Vegetatif akhir	0,95	4,93
Ags	II	5,19	Vegetatif akhir	0,9	4,67
Ags	III	5,19	Panen	0,85	4,41
Sep	I	6,54	Panen	0,8	5,23
Sep	II	6,54	Panen	0,75	4,91
Sep	III	6,54	Panen	0,7	4,58

Sumber: Hasil Perhitungan

4.2.3 Kebutuhan Air Bersih Lahan (NFR)

Netto Kebutuhan Air Lapang (Net Field Requirement, NFR) merupakan jumlah air yang diperlukan tanaman untuk mencapai pertumbuhan optimal pada suatu jaringan irigasi tanpa mengalami kekurangan air. Untuk mendukung proses pertumbuhan tersebut, perlu dilakukan penentuan nilai NFR, yang perhitungannya dilakukan sebagai berikut. (Ditjen Pengairan, 1986:5):

$$\text{NFR} = \text{Etc} + \text{P} - \text{Re} + \text{WLR}$$

Tabel 4.16 Perhitungan NFR untuk Padi

Bulan	Per	Etc (mm/ha ri)	P	Re Padi (mm/h r)	NFR (mm/h r)	NFR (lt/dt/h a)
Nov	I	6,52	3	0	3,85	5,67
Nov	II	6,52	3	0	6,79	2,73
Nov	III	6,52	3	0	6,93	2,59
Des	I	6,45	3	0	10,01	-0,56
Des	II	6,45	3	0	11,62	-2,17
Des	III	6,74	3	1,6	9,94	1,47
Jan	I	7,02	3	1,6	12,81	-1,12
Jan	II	7,02	3	1,6	11,55	0,14
Jan	III	6,44	3	1,6	14,42	-3,32
Feb	I	5,28	3	1,6	13,51	-3,56

Feb	II	4,45	3	0	13,51	-6,06	0,00
Feb	III	3,89	3	0	13,16	-6,27	0,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.17 Rekapitulasi Kebutuhan Bulanan Air di Intake

Bulan	Debit Maks (lt/dt)	Volume (lt) (lt/dt x 24 x 3600 x jumlah hari)	Vc (
Jan	14,99	14,99 x 24 x 3600 x 31 =	40.140.949,33
Feb	0,00	0,00 x 24 x 3600 x 28 =	-
Mar	189,26	189,26 x 24 x 3600 x 31 =	506.922.845,87
Apr	556,23	556,23 x 24 x 3600 x 30 =	1.441.744.512,00
Mei	649,79	649,79 x 24 x 3600 x 31 =	1.740.396.874,67
Jun	693,04	693,04 x 24 x 3600 x 30 =	1.796.353.728,00
Jul	785,74	785,74 x 24 x 3600 x 31 =	2.104.532.629,33
Ags	848,96	848,96 x 24 x 3600 x 31 =	2.273.841.419,20
Sep	881,23	881,23 x 24 x 3600 x 30 =	2.284.149.504,00
Okt	1208,92	1208,92 x 24 x 3600 x 31 =	3.237.970.666,67
Nov	607,29	607,29 x 24 x 3600 x 30 =	1.574.098.656,00
Des	157,26	157,26 x 24 x 3600 x 31 =	421.193.246,93
Total Volume Tahunan			17.42

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.18 Perhitungan Debit Andalan 80%

No.	Tahun	Debit (m3/dt)	Tahun Urut	Debit Urut (m3/dt)	P (%)
1	2014	0.117	2023	0.6184	9.0909
2	2015	0.138	2022	0.4574	18.1818
3	2016	0.290	2021	0.3324	27.2727
4	2017	0.461	2020	0.2754	36.3636
5	2018	0.410	2019	0.2874	45.4545
6	2019	0.287	2018	0.4104	54.5455
7	2020	0.275	2017	0.4614	63.6364
8	2021	0.332	2016	0.2904	72.7273
9	2022	0.457	2015	0.1384	81.8182
10	2023	0.618	2014	0.1170	90.9091
Q80				0.2904	

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk probabilitas Q80 berada diantara no urut 8 (72.723%) dan no urut 9 (81.818%) diinterpolasi maka : Q80 didapat diantara 0.2904 yang terjadi pada tahun 2016 dan 0.2904 pada tahun 2015. Contoh perhitungan pada Januari periode 1 yaitu sebagai berikut:

Y2	X2	72.723	0.371
Y	X	80	X

Y1	X1	81.818	0.219
----	----	--------	-------

$$X = 0.371 + \left(\frac{80 - 72.727}{81.818 - 72.727} \right) \times (0.371 - 0.219)$$

$$= 0.340 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Tabel 4.19 Probabilitas Debit Andalan 80%

Bulan	Periode	DEBIT		
		2015 (m ³ /dt)	2016 (m ³ /dt)	Andalan (m ³ /dt)
Januari	I	0.219	0.371	0.340
	II	0.267	0.419	0.389
	III	0.296	0.448	0.417
Februari	I	0.214	0.366	0.335
	II	0.276	0.428	0.397
	III	0.289	0.441	0.410
Maret	I	0.170	0.322	0.292
	II	0.215	0.367	0.337
	III	0.239	0.391	0.361
April	I	0.113	0.265	0.234
	II	0.207	0.359	0.328
	III	0.202	0.354	0.324
Mei	I	0.115	0.267	0.236
	II	0.168	0.320	0.290
	III	0.178	0.330	0.299
Juni	I	0.072	0.224	0.193
	II	0.105	0.257	0.227
	III	0.138	0.290	0.260
Juli	I	0.032	0.184	0.154
	II	0.041	0.193	0.163
	III	0.049	0.201	0.170
Agustus	I	0.025	0.177	0.147
	II	0.031	0.183	0.153
	III	0.033	0.185	0.154
September	I	0.048	0.200	0.170
	II	0.036	0.188	0.157
	III	0.035	0.187	0.157
Oktober	I	0.031	0.183	0.153
	II	0.034	0.186	0.156
	III	0.035	0.187	0.157
November	I	0.120	0.272	0.242
	II	0.170	0.322	0.291
	III	0.176	0.328	0.298
Desember	I	0.170	0.322	0.291
	II	0.253	0.405	0.374
	III	0.258	0.410	0.380
JUMLAH		5.061	10.533	9.439
Rata-rata(Q)		0.138	0.290	0.260

Sumber: Hasil Perhitungan

4.3 Kebutuhan Air Irigasi berdasarkan Data Eksisting Rencana Tata Tanam UPTD Pengairan Musim Hujan dan Kemarau

Pola tata tanam pada daerah irigasi dalam penelitian ini terdiri dari padi/palawija/tebu yang diterapkan secara berurutan pada musim tanam I, musim tanam II, dan musim tanam III. Rincian lebih lengkap mengenai pola tersebut dapat dilihat sebagai berikut

a. Musim tanam 1 / Musim Hujan 1

Awal masa tanam dimulai pada minggu ke-2 hingga minggu ke-3 bulan November, dengan pembagian luas areal sebagai berikut: 80% untuk tanaman padi, 10% untuk palawija, dan 10% yaitu :

- Luas padi = $80/100 \times 598 \text{ ha}$
= 478,4 Ha
- Luas Palawija = $10/100 \times 1050 \text{ ha}$
= 59,8 Ha
- Luas Tebu = $10/100 \times 1050 \text{ ha}$
= 59,8 Ha

b. Musim tanam 2 / Musim Kemarau 1

Awal penanaman dilakukan pada minggu ke-2 hingga ke-3 bulan Maret, dengan pembagian lahan sebagai berikut: 60% untuk padi, 30% untuk palawija, dan 10%, yaitu :

- Luas padi = $60/100 \times 598 \text{ ha}$
= 358,8 Ha
- Luas Palawija = $30/100 \times 598 \text{ ha}$
= 179,4 Ha
- Luas Tebu = $10/100 \times 598 \text{ ha}$
= 59,8 Ha

c. Musim tanam 3 / Musim Kemarau 2

Awal penanaman dimulai pada minggu ke-2 hingga minggu ke-3 bulan Juli, dengan alokasi lahan meliputi 40% untuk padi, 50% untuk palawija, dan 10% ,yaitu :

- Luas padi = $40/100 \times 598 \text{ ha}$
= 239,2 Ha
- Luas Palawija = $50/100 \times 598 \text{ ha}$
= 2990 Ha
- Luas Tebu = $10/100 \times 598 \text{ ha}$
= 59,8 Ha

4.3.1 Pola Tanam Optimal

Pola Tanam yang Dipertimbangkan:

- Pola 1: Padi-Padi-Palawija
- Pola 2: Padi-Palawija-Palawija
- Pola 3: Padi-Palawija-Bero
- Pola 4: Tebu (tahunan)

4.4 Hasil Optimasi Program Linier (Solver)

Model Optimasi Pola Tanam dengan Kendala Ketersediaan Air

Data Tanaman per Musim:

Musim Tanam I:			
Tanaman	Luas (Ha)	Manfaat (Rp/Ha)	Kebutuhan Air (m ³ /Ha)
Padi	X1	Rp 7.765.000,00	872,134
Jagung	X2	Rp 6.370.000,00	1.489,870
Tebu	X3	Rp 3.625.000,00	1.581,875

Musim Tanam II:			
Tanaman	Luas (Ha)	Manfaat (Rp/Ha)	Kebutuhan Air (m ³ /Ha)
Padi	Y1	Rp 7.765.000,00	872,134
Jagung	Y2	Rp 6.370.000,00	1.489,870
Tebu	Y3	Rp 3.625.000,00	1.581,875

Musim Tanam III:			
Tanaman	Luas (Ha)	Manfaat (Rp/Ha)	Kebutuhan Air (m ³ /Ha)
Padi	Z1	Rp 7.765.000,00	872,134
Jagung	Z2	Rp 6.370.000,00	1.489,870
Tebu	Z3	Rp 3.625.000,00	1.581,875

Ketersediaan Air:

Musim Tanam I	469.208,092 m ³
Musim Tanam II	518.992,720 m ³
Musim Tanam III	574.145,486 m ³

Fungsi Tujuan dan Kendala:

Fungsi Tujuan (Maksimasi Total Manfaat):

=C7*B7+C8*B8+C9*B9+C13*B13+C14*B14+C15*B15+C19*B19+C20*B20+C21*B21

Kendala:

- Kendala Ketersediaan Air per Musim Tanam:
 - Musim I: =D7*B7+D8*B8+D9*B9 <= B24
 - Musim II: =D13*B13+D14*B14+D15*B15 <= B25
 - Musim III: =D19*B19+D20*B20+D21*B21 <= B26
- Kendala Luas Lahan Tebu:
 - Tebu harus konsisten di setiap musim tanam: B9 = B15 = B21 = 60
- Kendala Total Luas Lahan per Musim:
 - Musim I: =B7+B8+B9 = 598
 - Musim II: =B13+B14+B15 = 598
 - Musim III: =B19+B20+B21 = 598
- Kendala Non-Negativitas:
 - B7,B8,B9,B13,B14,B15,B19,B20,B21 >= 0

Pengaturan Solver Excel:

Set Sasaran: Fungsi Tujuan (baris 31)

Arah Optimasi: Maksimasi

Dengan Mengubah Sel Variabel: B7:B9,B13:B15,B19:B21 (Luas masing-masing tanaman per musim)

Dengan kendala:

- Baris 36 <= B24 (kendala air musim I)
- Baris 37 <= B25 (kendala air musim II)
- Baris 38 <= B26 (kendala air musim III)
- B9 = B15 = B21 = 60 (luas tebu konsisten di setiap musim)
- Baris 45 = 598 (total luas lahan musim I)
- Baris 46 = 598 (total luas lahan musim II)
- Baris 47 = 598 (total luas lahan musim III)
- B7:B9,B13:B15,B19:B21 >= 0 (kendala non-negativitas)

Tabel 4.20 Hasil Optimasi Musim Tanam I

Jenis	Luas (Ha)	Manfaat /Ha	Kebutuhan Air /Ha	Total Manfaat	Total Air
Padi	538	7,765,00	872,134	4,177,570,00	469,208,09
Jagung	0	6,370,00	-	0	2
Tebu	60	3,625,00	1,581,875	217,500,000	94,912,500

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.42 Hasil Optimasi Musim Tanam II

Jenis	Luas (Ha)	Manfaat /Ha	Kebutuhan Air /Ha	Total Manfaat	Total Air
Padi	190	7,765,00	872,134	1,475,350,00	165,705,46
Jagung	348	6,370,00	1,489,870	2,216,760,00	518,474,76
Tebu	60	3,625,00	1,581,875	217,500,000	94,912,500

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.43 Hasil Optimasi Musim Tanam III

Jenis	Luas (Ha)	Manfaat /Ha	Kebutuhan Air /Ha	Total Manfaat	Total Air
-------	-----------	-------------	-------------------	---------------	-----------

	(Ha)	/Ha			
Padi	429	7,765,00	872,134	3,331,185,00	374,145,48
Jagung	109	6,370,00	1,489,870	694,330,000	162,395,83
Tebu	60	3,625,00	1,581,875	217,500,000	94,912,500

Sumber: Hasil Perhitungan

Total manfaat (keuntungan) dari solusi optimasi dengan solver ini adalah sebesar:

Total Keseluruhan: Rp 12.547.695.000

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Besar debit andalan yang dibutuhkan untuk pola tata tanam pada operasional irigasi adalah:

- Januari: Periode I (0,34 m³/dt); Periode II (0,39 m³/dt); Periode III (0,42 m³/dt).
- Februari: Periode I (0,34 m³/dt); Periode II (0,40 m³/dt); Periode III (0,41 m³/dt).
- Maret: Periode I (0,29 m³/dt); Periode II (0,34 m³/dt); Periode III (0,36 m³/dt).
- April: Periode I (0,23 m³/dt); Periode II (0,33 m³/dt); Periode III (0,32 m³/dt).
- Mei: Periode I (0,24 m³/dt); Periode II (0,29 m³/dt); Periode III (0,30 m³/dt).
- Juni: Periode I (0,19 m³/dt); Periode II (0,23 m³/dt); Periode III (0,26 m³/dt).
- Juli: Periode I (0,15 m³/dt); Periode II (0,16 m³/dt); Periode III (0,17 m³/dt).
- Agustus: Periode I (0,15 m³/dt); Periode II (0,15 m³/dt); Periode III (0,15 m³/dt).
- September: Periode I (0,17 m³/dt); Periode II (0,16 m³/dt); Periode III (0,16 m³/dt).
- Oktober: Periode I (0,15 m³/dt); Periode II (0,16 m³/dt); Periode III (0,16 m³/dt).
- November: Periode I (0,24 m³/dt); Periode II (0,29 m³/dt); Periode III (0,30 m³/dt).
- Desember: Periode I (0,29 m³/dt); Periode II (0,37 m³/dt); Periode III (0,38 m³/dt).

2. Pola tanam optimal berdasarkan debit yang tersedia adalah:

Musim Tanam I:

- Padi dengan luas lahan 538 ha dan volume air sebesar 469,208,092 m³.
- Tebu dengan luas lahan 60 ha dan volume air sebesar 94,912,500 m³.

Musim Tanam II:

- Padi dengan luas lahan 190 ha dan volume air sebesar 165,705,460 m³.
- Palawija (jagung) luas lahan 348 ha dan volume air sebesar 518,474,760 m³.
- Tebu dengan luas lahan 60 ha dan volume air sebesar 94,912,500 m³.

Musim Tanam III:

- Padi dengan luas lahan 429 ha dan volume air sebesar 374,145,486 m³.
- Palawija (jagung) luas lahan 109 ha dan volume air sebesar 162,395,830 m³.
- Tebu dengan luas lahan 60 ha dan volume air sebesar 94,912,500 m³.

5.2 Saran

1. Hasil penelitian dengan metode program linier sebaiknya dibandingkan dengan optimasi menggunakan metode lainnya seperti Optimasi menggunakan QM for Windows sehingga dapat diketahui selisih hasil luaran dari masing – masing metode.
2. Pengelolaan serta pemeliharaan jaringan irigasi semestinya perlu ditingkatkan untuk mendukung kinerja sistem irigasi. Upaya yang dapat dilakukan antara lain perbaikan kebocoran saluran, pembersihan sedimentasi secara rutin, dan langkah lainnya, sehingga pelayanan kepada masyarakat dapat berjalan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alamin,M.,EkoNoerhayati,danAnitaRahmawati .2023.“STUDIOPTIMASIDISTRIBUSIAIRIRIGASIPADADAERAHIRIGASINGLIRIPKABUPATENTUBANDENGANMENGUNAKANPROGRAMLINIER.” JurnalRekayasaSipil(e-journal)13(2).
- [2] Anggraini,DitaWahyu,EkoNoerhayati,danBambangSuprpto.2022.“OPTIMASIPEMBERIANAIRDAERAHIRIGASIDELTABRANTASSALURANSEKUNDERKREMBUNGKABUPATENSIDOARJO.” JurnalRekayasaSipil(e-journal)12(1):44–53.
- [3] Asri,S.S.,E.Noerhayati,danA.Rachmawati.2020. “StudiEvaluasiJaringanIrigasiPadaDaerahIrigasiGapukKecamatanAikmelKabupatenLombokTimur.” JurnalRekayasaSipil8(1):45–53.
- [4] B.Wakirin,AnggunAinun,EkoNoerhayati,danAzizahRokhmawati.2022.“STUDI PERENCANAANJARINGANIRIGASIDAERAHIRIGASIPOSANGKEKABUPATENMOROWALIUTARASULAWESITENGHA.” JurnalRekayasaSipil(e-journal)12(1):87–97.