

OPTIMASI KAPASITAS SALURAN IRIGASI LODAGUNG KECAMATAN SUMBERGEMPOL KABUPATEN TULUNGAGUNG

Vania Ghasania Nur Sabrina¹, Agus Suhardono², Winda Harsanti³

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang^{2,3}
ghasaniav@gmail.com¹, agussuhardono66@gmail.com², wharsanti@gmail.com³

ABSTRAK

Produktifitas sawah pada Kecamatan Sumbergempol mengalami penurunan dikarenakan tidak memperoleh air pada musim kemarau dan dinding saluran ditemukan retak dan lubang yang ditumbuhi tanaman liar yang dapat mempengaruhi debit dan kecepatan saluran. Untuk memaksimalkan distribusi air, maka dilakukan evaluasi kapasitas saluran dan optimasi untuk mengetahui luas lahan optimum. Tujuan penelitian ini antara lain untuk mengetahui kondisi eksisting saluran, debit kebutuhan air irigasi, pola tanam pada Kecamatan Sumbergempol, keuntungan maksimum setelah dilakukan optimasi, serta menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB). Pada penelitian ini, metode yang dilakukan berupa wawancara kepada petani terkait keuntungan produksi tanaman, analisis kondisi eksisting, hidrologi, pola tata tanam, optimasi dengan program linier menggunakan *solver*, dan evaluasi saluran. Dari perhitungan optimasi, diperoleh bahwa alternatif 1 dengan waktu tanam pada awal November memiliki luas lahan yang paling optimum dengan keuntungan maksimum. Air irigasi yang dibutuhkan sebesar 1,511 liter/detik dengan luas lahan pada musim hujan dan musim kemarau 1 padi 630 ha, jagung 10 ha, tebu 50 ha. Pada musim kemarau 2 tidak dilakukan penanaman padi sehingga luas lahan jagung 640 ha dan luas tebu 50 ha. Perhitungan keuntungan yang akan diperoleh adalah Rp. 40.566.300.000,00. Perhitungan evaluasi saluran menunjukkan bahwa kecepatan aliran tidak mencukupi kontrol kecepatan yang ada sehingga dilakukan penambahan kemiringan saluran. Saran yang sebaiknya dilakukan pada penelitian ini adalah optimasi dan evaluasi dilakukan pada keseluruhan D.I Lodoyo dan perhitungan evaluasi dilengkapi data elevasi.

Kata kunci : program linier; kebutuhan air; alternatif

ABSTRACT

Irrigation productivity in Sumbergempol fields has decreased due to not getting irrigation water during dry season and there are found cracks and holes with plants which is affect the discharge and the velocities. To optimize the water distribution, evaluation of the channel capacity and optimization were carried out to determine optimum fields area. This aim of the search is find out the condition of existing channel, irrigation water discharge, cropping pattern, maximum plants profit and budget plan. The methods used in this research are interviews on plant profit, analysis of the channel existing condition, hidrology, cropping pattern, optimization with solver, and evaluation of the channel capacity. The optimization show that the optimum fields with maximum profit are obtained from alternative 1st with planting time start in early November. Maximum water requirement of 1,511 liter/second with area in rainy season and dry season 1st are 630 ha for rice, 10 ha for corn, 50 ha for sugarcane. In the dry season 2nd rice is not planted so the area of corn is 640 ha and for sugarcane is 50 ha. The maximum profit is Rp. 40.566.300.000,00. The evaluation show that the velocity is insufficient for the speed control. Optimization and evaluation will make a better results if it done to whole D.I Lodagung with elevation and climatology data completed.

Keywords : linier program; water demand; alternative

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan irigasi ditujukan untuk pemenuhan kebutuhan air tanaman baik pada musim hujan dan musim kemarau. Air yang dibutuhkan oleh padi lebih banyak dibanding palawija dan tebu. Kondisi beras yang

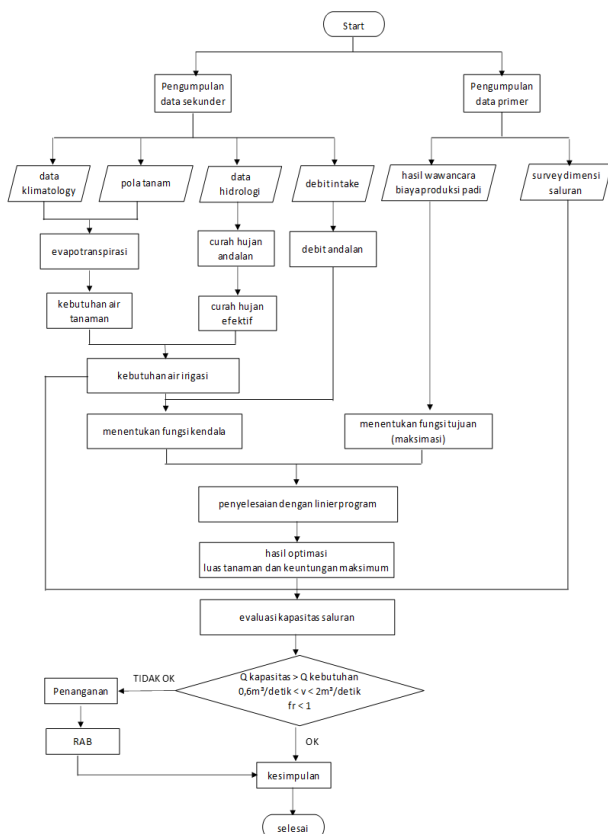
merupakan makanan pokok juga menjadikan prioritas pemberian air irigasi sehingga harus diperhatikan dengan baik distribusi airnya agar tanaman selain padi juga memperoleh air. dalam upaya mengoptimalkan luas lahan yang akan ditanami tanaman sesuai kebutuhan masyarakat,

maka dilakukan optimasi dengan program linier menggunakan bantuan *solver* dari *Microsoft Excel*.

Saluran irigasi lodagung yang menyalurkan air dari bendungan wlingi di Kabupaten Blitar untuk sawah Kabupaten Tulungagung seluas 10.580 ha yang mencakup pengairan di Kecamatan Rejotangan, Ngunut, Kalidawir, Sumbergempol, Boyolangu, Kedungwaru, Campurdarat dan Tulungagung. Saluran sekunder pada Kecamatan Sumbergempol dilakukan evaluasi untuk mencari tahu kapasitas saluran dan debit yang tersedia apakah dapat mencukupi kebutuhan air irigasi setelah dilakukan optimasi tersebut. Apabila kapasitas tidak sesuai maka untuk selanjutnya dapat dilakukan penanganan sesuai masalah yang ditemui.

2. METODE

Langkah – langkah pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada bagan alir dibawah.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Curah Hujan Efektif

Merupakan air hujan yang tersedia secara efektif untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Curah hujan efektif dengan keandalan 80% dihitung menggunakan metode *basic year*

$$Re \text{ padi} = \frac{70\% \times R80\%}{\text{hari hujan}} \quad (1)$$

$$Re \text{ jagung} = \frac{50\% \times R80\%}{\text{hari hujan}} \quad (2)$$

$$Re \text{ tebu} = \frac{60\% \times R80\%}{\text{hari hujan}} \quad (3)$$

Keterangan notasi

Re : curah hujan efektif (mm/hari)

R80% : curah hujan andalan 80% (mm)

Pola Tanam

Merupakan rencana susunan tanaman yang akan ditanam selama 1 tahun pada satu petak sawah. Terdapat pola tanam monokultur yaitu jenis tanaman yang sama pada satu petak sawah dan pola tana campuran yaitu tanaman yang ditanam pada petak sawah terdiri lebih dari 1 jenis [1]

Evapotranspirasi

Evaporasi dan transpirasi yang terjadi pada tanah secara bersama-sama. Dihitung menggunakan rumus *Blaney-Criddle*. [2]

$$ET_0 = K \times P(0,475t + 0,813) \quad (4)$$

$$K = Kt \times Kc \quad (5)$$

$$Kt = 0,311t + 0,240 \quad (6)$$

Keterangan notasi:

ET₀ : evapotranspirasi potensial bulanan

K : koefisien penyesuaian

Kc : koefisien tanaman bulanan

P : perbandingan hari terang bulanan dalam setahun

T : suhu udara rata-rata bulanan

Kebutuhan Irigasi

Adalah total air yang dibutuhkan dalam irigasi [3]

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

Keterangan notasi:

NFR : Kebutuhan air bersih sawah (mm/hari)

Etc : kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

P : kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)

Pd : kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)

WLR : penggantian lapisan air (mm/hari)

Re : curah hujan efektif (mm/hari)

Kebutuhan Air Tanaman Konsumtif

Kebutuhan air konsumtif merupakan nilai nilai evapotranspirasi dikalikan dengan koefisien jenis tanaman

$$Etc = k \times ET_0 \quad (8)$$

Keterangan notasi:

K : koefisien tanaman

ET₀ : evapotranspirasi potensial

[4]

Perkolasi

Adalah kehilangan air yang disebabkan meresapnya air dari zona tidak jenuh ke dalam zona jenuh tanah. Laju perkolasi dipengaruhi tekstur tanah dan jenis tanaman yang menutupi tanah [5]

Penyiapan Lahan

Kebutuhan air yang dibutuhkan dalam penyiapan lahan dihitung menggunakan metode yang dikembangkan Van de Goor dan Zijlstra

$$PL = \frac{M \times e^k}{e^k - 1} \quad (9)$$

Keterangan notasi:

- PL : kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)
- M : penggantian air yang hilang karena evaporasi dan perkolasi (mm/hari) $M = E_o + P$ (10)
- E_o : evaporasi air terbuka $1,1 \times E_{to}$ (11)
- P : Perkolasi
- K : MT/S (12)
- T : Jangka waktu penyiapan lahan (hari)
- S : kebutuhan air untuk penjemuran

Penggantian Lapisan Lahan (WLR)

Dilakukan 2 kali pada satu musim tanam padi sebanyak 3,333 mm/hari selama 15 hari pada saat 1 bulan setelah tanam dan 2 bulan setelah tanam [4]

Debit Andalan

Debit andalan 80% dihitung menggunakan metode basic year

$$R_{80\%} = \frac{n}{5} + 1 \quad (13)$$

Keterangan notasi:

- $R_{80\%}$: data urutan debit andalan
- n : jumlah data

Neraca Air

Bertujuan untuk mengecek ketersediaan air apakah sudah mencukupi kebutuhan air yang telah direncanakan. Dilakukan dengan membandingkan debit andalan ketersediaan dengan debit kebutuhan air irigasi

Linear Programming

Hasil analisis kebutuhan air dari tiap alternatif dan volume andalan digunakan sebagai fungsi kendala untuk menemukan alternatif luas lahan sehingga diperoleh keuntungan maksimum.[6] Model matematika yang digunakan adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

$$Z = A \times X_1 + B \times X_2 + C \times X_3 \quad (14)$$

Fungsi kendala:

$$Q_1 \times X_1 + Q_2 \times X_2 + Q_3 \times X_3 \leq Q_{\text{andalan}} \quad (15)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 \leq X_{\text{petak}} \quad (16)$$

Keterangan notasi:

- Z : fungsi tujuan
- A : keuntungan padi
- B : keuntungan palawija
- C : keuntungan tebu
- $X_{(1,2,3)}$: luas lahan padi, palawija, tebu
- Q_1 : debit kebutuhan padi
- Q_2 : debit kebutuhan palawija
- Q_3 : debit kebutuhan tebu

Dimensi Saluran Irigasi

Mengevaluasi apakah dimensi saluran rencana cukup untuk menampung debit yang telah direncanakan. Dimensi didapat melalui survey di lapangan.

$$Q = A \times V \quad (17)$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad (18)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (19)$$

$$A = (b + mh)h \quad (20)$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m} \quad (21)$$

Keterangan notasi:

- Q : debit saluran (m³/detik)
- V : kecepatan aliran (m/detik)
- A : luas penampang basah saluran (m²)
- P : keliling basah penampang saluran (m)
- R : jari-jari hidrolis (m)
- B : lebar dasar saluran (m)
- H : tinggi muka air (m)
- I : kemiringan garis energi
- N : koefisien kekasaran manning
- M : kemiringan talud

Menghitung nilai Froude untuk mengontrol jenis aliran

$$Fr = v \left(g \frac{A}{T} \right)^{-1/2} \quad (22)$$

$$T = b + 2mh \quad (23)$$

Keterangan notasi:

- Fr : bilangan froude
- V : kecepatan aliran (m/det)
- T : lebar atas penampang (m)
- A : luas penampang basah saluran
- G : percepatan gravitasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Curah Hujan

Curah hujan efektif menggunakan curah hujan dengan keandalan 80% dengan data hujan diperoleh pada stasiun hujan yang terdekat dari lokasi penelitian yaitu Sumbergempol, Ngunut dan Boyolangu tahun 2013 – 2022

Tabel 1. Curah hujan efektif Sumbergempol

Bulan	Re padi (mm/hari)		Re jagung (mm/hari)		Re tebu (mm/hari)	
	I	II	I	II	I	II
JAN	13,77	12,91	9,83	9,22	11,80	11,06
FEB	14,00	16,15	10,00	11,54	12,00	13,85
MAR	10,97	10,97	7,83	7,83	9,40	9,40
APR	9,75	8,45	6,96	6,03	8,35	7,24
MEI	5,53	3,95	3,95	2,82	4,74	3,39
JUN	3,71	3,37	2,65	2,41	3,18	2,89
JUL	0,00	0,70	0,00	0,5	0	0,60
AGU	3,50	2,33	2,50	1,67	3,00	2,00
SEP	1,75	3,50	1,25	2,50	1,50	3,00
OKT	1,87	5,60	1,33	4,00	1,60	4,80
NOV	7,83	8,61	5,59	6,15	6,71	7,38
DES	11,90	11,11	8,50	7,93	10,20	9,52

Sumber: Perhitungan

Perhitungan curah hujan efektif pada Januari periode I dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Re\ padi = \frac{70\% \times R80\%}{hari\ hujan} \quad (1)$$

$$= \frac{70\% \times 295}{15}$$

$$= 13,77\text{ mm/hari}$$

$$Re\ jagung = \frac{70\% \times R80\%}{hari\ hujan} \quad (2)$$

$$= \frac{50\% \times 295}{15}$$

$$= 9,833\text{ mm/hari}$$

$$Re\ tebu = \frac{60\% \times R80\%}{hari\ hujan} \quad (3)$$

$$= \frac{60\% \times 295}{15}$$

$$= 11,8\text{ mm/hari}$$

Kebutuhan Air Irigasi

Kecamatan Sumbergmpol yang menggunakan irigasi Lodagung memiliki pola tanam padi-padi dengan masa awal tanam dimulai pada bulan November tengah bulan (periode II) yang diketahui dari Rencana Tata Tanam Global Kabupaten Tulungagung 2022. Berikut pembagian musim tanam pada Kecamatan Sumbergempol pada waktu tanam eksisitng

- MH :November (periode II) – Maret (periode I)

- MK I :Maret (peeriode II) – Juli (periode I)

- MK II : Juli (periode II) – November (periode I)

Untuk alternatif 1 waktu tanam dimajukan 15 hari sehingga dimulai pada awal bulan November

- MH :November (periode I)–Februari(periode I)

- MK I :Februari (periode II) – Juni (periode I)

- MK II : Juni (periode II) – Oktober (periode II)

Aternatif 3 digunakan waktu tanam yang dimundurkan 15 hari. Dimulai pada bulan Desember periode I

- MH : Desember (periode I) – Maret (periode I)

- MK I :Maret (periode II) – Juli (periode I)

- MK II : Juli (periode I) – November (periode II)

Setelah dilakukan perhitungan kebutuhan air irigasi diperoleh hasil sebagai berikut

Tabel 2. Kebutuhan air irigasi

Bulan	Periode	NFR (lt/dt/ha)		
		eksisting	Alt. 1	Alt. 2
Januari	I	0,000	0,000	0,000
	II	0,000	0,000	0,000
Februari	I	0,000	0,000	0,000
	II	0,000	0,000	0,000
Maret	I	0,000	0,000	0,000
	II	0,055	0,259	0,000
April	I	0,248	0,000	0,036
	II	0,171	0,000	0,481
Mei	I	1,102	1,196	1,177
	II	1,379	1,511	1,284
Juni	I	1,551	1,016	1,419
	II	0,990	0,586	1,533
Juli	I	1,693	1,265	2,089
	II	0,990	0,990	1,403
Agsutus	I	0,919	1,072	0,885
	II	1,108	1,195	0,956
September	I	1,202	1,225	1,107
	II	1,111	1,058	1,089
Oktober	I	1,096	0,798	1,155
	II	0,386	0,150	0,686
November	I	0,000	0,581	0,000
	II	0,559	0,325	0,000
Desember	I	0,000	0,000	0,079
	II	0,000	0,000	0,000

Sumber: Perhitungan

Kebutuhan air irigasi pada November periode II dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

$$\begin{aligned}
 &= 4,148 + 2 + 12,932 - 20,460 \\
 &= 4,828 \text{ mm/hari} \\
 &= 0,559 \text{ l/dt/ha}
 \end{aligned}$$

Pada pola tanaman dan waktu tanam eksisting diperoleh kebutuhan air irigasi maksimal adalah 1,69 liter/detik/hari

Debit Andalan

Debit yang digunakan untuk kebutuhan irigasi harus memiliki keandalan 80%. Debit andalan diperoleh melalui debit intake bulanan pintu air dari tahun 2013 - 2022 dihitung menggunakan metode *basic year*

$$\begin{aligned}
 Q_{80\%} &= \frac{n}{5} + 1 \\
 &= \frac{10}{5} + 1 = 3
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Debit andalan berada pada data urutan ke 3 dari nilai debit paling kecil yang diurut. Data debit andalan disajikan pada tabel 3

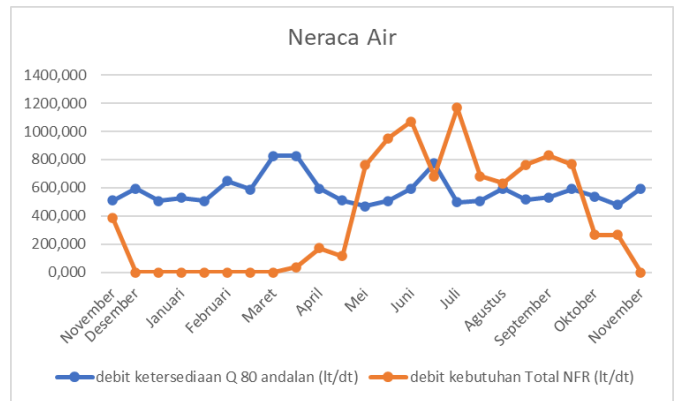
Tabel 3. Debit Andalan

Bulan	Periode	Q80% (lt/dt)
Januari	I	528
	II	509
Februari	I	647
	II	590
Maret	I	826
	II	826
April	I	594
	II	511
Mei	I	471
	II	509
Juni	I	594
	II	774
Juli	I	498
	II	509
Agustus	I	594
	II	518
September	I	532
	II	592
Oktober	I	540
	II	480
November	I	594
	II	511
Desember	I	594
	II	509

Sumber: perhitungan

Neraca Air

Neraca air merupakan perbandingan antara debit kebutuhan dan debit andalan



Gambar 2. Grafik Neraca Air

Hasil perhitungan neraca, debit andalan tidak dapat memenuhi debit kebutuhan. Sehingga dilakukan optimasi terhadap ketersediaan debit

Optimasi Program Linier

Model matematika yang digunakan pada optimasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

Fungsi tujuan (keuntungan maksimum)

$$Z = 23.205.000 \times X_1 + 11.300.000 \times X_2 + 25.800.000$$

Fungsi kendala debit eksisting

$$MH = 48,283 \times X_1 + 0 \times X_2 + 0 \times X_3 \leq 59705$$

$$MK I = 264,983 \times X_1 + 148,141 \times X_2 + 207,866 \times X_3 \leq 107079$$

$$MK II = 0 \times X_1 + 245,697 \times X_2 + 334,572 \times X_3 \leq 166830$$

Fungsi kendala debit alternatif 1

$$MH = 78,244 \times X_1 + 0 \times X_2 + 0 \times X_3$$

$$MK I = 162,513 \times X_1 + 92,265 \times X_2 + 2139,930 \times X_3$$

$$MK II = 0 \times X_1 + 271,411 \times X_2 + 381,864 \times X_3$$

Fungsi kendala debit alternatif 2

$$MH = 6,854 \times X_1 + 0 \times X_2 + 0 \times X_3$$

$$MK I = 358,654 \times X_1 + 189,100 \times X_2 + 266,376 \times X_3$$

$$MK II = 0 \times X_1 + 208,740 \times X_2 + 293,900 \times X_3$$

Fungsi kendala luas petak

$$X_1 + X_2 + X_3 \leq 690$$

Dengan batasan lahan tebu seluas 50 ha

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan bantuan *Solver* pada aplikasi *Microsoft Excel*. Diperoleh alternatif 2 yang hasilnya paling optimal. Ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 4. Hasil optimasi luas lahan

alternatif	Musim tanam	Padi (ha)	Palawija (ha)	Tebu (ha)	Jumlah (ha)
Eksisting	MH	630	10	50	690
	MK I	359,3	10	50	419,3
	MK II	0	610,9	50	660,9

alternatif	Musim tanam	Padi (ha)	Palawija (ha)	Tebu (ha)	Jumlah (ha)
Alt. 1	MH	630	10	50	690
	MK I	630	10	50	690
	MK II	0	640	50	690
Alt. 2	MH	630	10	50	690
	MK I	256,2	10	50	316,2
	MK II	0	640	50	690

sumber: perhitungan

pada waktu tanam eksisting, MK I terdapat luas lahan yang tidak dapat ditanami seluas 270,7 ha. Pada MK II tidak dapat ditanami seluas 29,1 ha. Luas lahan yang pada alternatif 1 dapat ditanami semua sedangkan pada alternatif 2 lahan dengan luas 373,8 ha tidak dapat ditanami pada MK II

Tabel 5. Hasil optimasi keuntungan

alternatif	Musim tanam	luas (ha)	Keuntungan (Rp. Juta)	Total (Rp. Juta)
Eksisting	MH	690	16.022,15	33.955,85
	MK I	419,3	9.740,23	
	MK II	660,9	8.193,45	
Alt. 1	MH	690	16.022,15	40.566,3
	MK I	690	16.022,15	
	MK II	690	16.022,15	
Alt. 2	MH	690	16.022,15	31.891,12
	MK I	316,2	7.346,97	
	MK II	690	8.522	

Sumber: Perhitungan

Dapat disimpulkan dari perhitungan optimasi keuntungan maksimum terjadi pada alternatif 1 sebesar Rp.40.566.300.000,00

Evaluasi Kapasitas Saluran

Perhitungan kapasitas saluran untuk menghitung apakah saluran yang ada sudah memenuhi debit yang direncanakan. Berikut contoh hitungan kapasitas eksisting saluran sekunder SBG. I

$$Q = 0,317 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$m = 0,95$$

$$A = (b + mh)h \quad (20)$$

$$= (1 + 0,95 \times 0,6) 0,6$$

$$= 0,942 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A \quad (17)$$

$$= 0,317 / 0,942$$

$$= 0,336 \text{ m/detik}$$

Kapasitas saluran sudah memenuhi debit yang dibutuhkan tetapi tidak memenuhi kontrol kecepatan aliran $0,6 < V < 2$ sehingga nilai V coba direncanakan 0,6

$$V = Q/(b + mh)h \quad (17)$$

$$0,6 = 0,317/(1 + 0,95h)h$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$

jika ketinggian air diturunkan menjadi 0,4 m dengan debit yang sama maka kontrol kecepatan aliran dapat terpenuhi.

4. KESIMPULAN

- Hasil perhitungan kebutuhan air irigasi pada sawah Kecamatan Sumbergempol dengan jenis tanaman padi, jagung, dan tebu dilakukan dengan 3 alternatif dengan hasil yang optimum pada alternatif ke 1 dengan masa tanam dimulai bulan November periode I dengan kebutuhan air sebesar 1,511 liter/detik
- Berdasarkan perhitungan neraca air, debit yang tersedia tidak memenuhi kebutuhan air irigasi
- Optimasi yang dilakukan pada sawah Kecamatan Sumbergempol memperoleh hasil optimum dengan menggunakan alternatif 1, hasil bahwa luas sawah keseluruhan dengan total 690 ha dapat ditanami secara keseluruhan. Pembagian luas tanaman adalah sebagai berikut
 - Musim hujan: padi 630 ha, jagung 10 ha, tebu 50 ha
 - Musim Kemarau I : padi 630 ha, jagung 10 ha, tebu 50 ha
 - Musim Kemarau II : padi 0 ha, jagung 640 ha, tebu 50 ha
- Optimasi terhadap keuntungan, alternatif 1 menunjukkan hasil keuntungan maksimum dengan total hasil keuntungan tanaman pada Kecamatan Sumbergempol adalah Rp. 40.566.300,00
- Hasil dari evaluasi saluran eksisting diperoleh hasil bahwa saluran sekunder BSG. I, BSG. II BSG. III, BSG. IV, BSG. V, BSG. VI seluruhnya memenuhi kapasitas debit yang dibutuhkan tetapi tidak memenuhi kontrol kecepatan aliran sehingga ketinggian air harus diturunkan.

DAFTAR PUSTAKA

- W. Widjatmoko and I. Soewandi, *IRIGASI*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2001.
- K. Mori, *HIDROLOGI UNTUK PENGAIRAN*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2003.
- E. Noerhayati and B. Suprpto, *Perencanaan jaringan irigasi saluran terbuka*, 1st ed. Malang: Inteligencia Media, 2018.
- Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Irigasi dan Rawa,

“Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01.”
Jakarta, p. 248, 2013.

- [5] Sidharta, *Irigasi dan Bangunan Air*. Jakarta: Penerbit Gunadarma, 1997.
- [6] F. Zukhruf and R. B. Frazila, *PENGANTAR OPTIMASI DALAM REKAYASA TRANSPORTASI*, I., no. 1. Bandung: ITB Press, 2021.