

## OPTIMASI ALOKASI AIR IRIGASI MENGGUNAKAN PROGRAM LINIER (STUDI KASUS BENDUNGAN BATU BULAN KEC. MOYO HULU)

### *Optimization of Irrigation Water Allocation Using Linier Programming (Case Study Batu Bulan Dam Irrigation Sub District Moyo Hulu)*

Koko Hermanto<sup>1\*</sup>, Silvia Firda Utami<sup>2</sup>, Ryan Suarantalla<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Teknologi Sumbawa

Jl. Raya Olat Maras, ds. Batu Alang, Kec. Moyo Hulu, Kab. Sumbawa NTB, 84371, Indonesia

e-mail: <sup>1\*</sup> [koko.hermanto@uts.ac.id](mailto:koko.hermanto@uts.ac.id) ; <sup>2</sup> [silvia.firda.utami@uts.ac.id](mailto:silvia.firda.utami@uts.ac.id) ; <sup>3</sup> [ryansuarantalla@uts.ac.id](mailto:ryansuarantalla@uts.ac.id) ;

Corresponding author\*

#### Abstrak

Luas bendungan Batu Bulan kurang dari 183 Ha dengan kapasitas 15 liter per detik, merupakan bendungan terbesar di pulau Sumbawa, terletak di desa Batu Bulan kecamatan Moyo Hulu, kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Bendungan Batu Bulan direncanakan mampu untuk memenuhi kebutuhan irigasi, air baku, dan potensi pembangkit listrik tenaga air. Sehubungan dengan rencana tersebut dan pasokan air dari bendungan yang terbatas maka perlu adanya studi optimasi pada alokasi air Bendungan tersebut. Dengan adanya studi optimasi dapat diketahui pengaturan cara alokasi air yang baik dan pengaturan pola tanam. Hal tersebut menjadi tujuan dari penelitian ini yaitu optimasi alokasi air Bendungan Batu Bulan untuk pemanfaatan irigasi diharapkan dapat memperbaiki pola operasi bendungan, mendapatkan pola tanam yang terbaik serta memperoleh keuntungan yang optimum bagi tanaman padi dan jagung yang ditanam pada daerah irigasi tersebut. Salah satu metode yang dapat menyelesaikan alokasi air irigasi secara optimal adalah dengan menggunakan program linier dengan tujuan memaksimalkan keuntungan total dengan kendala ketersediaan air dan luas lahan.

**Kata Kunci :** *Irigasi, Bendungan Batu Bulan, Optimasi, Program Linier.*

#### Abstract

The area of the Batu Bulan dam is less than 183 hectares with capacity of 15 liters per second, the largest dam on Sumbawa island, located in Batu Bulan village, Moyo Hulu sub-district, Sumbawa regency, West Nusa Tenggara. Batu Bulan Dam is planned to be able to meet the irrigation needs, raw water, and has a potential for hydroelectric power plants. Considering the latter plans and the limited water supply from the dam, it is necessary to have a study for the optimization of the Dam's water allocation. By this study, the water allocation can be optimized and the planting patterns are managed. The goal of this research is the optimization of Batu Bulan Dam waters allocation for irrigation utilization, which is expected to improve dam operation patterns, to obtain the best cropping patterns and to obtain optimum benefits of rice and corn plants planted in the irrigation area. One method that can be used to solve the water allocation problem is linear programming with the objective is maximizing total profits and the constraints is water availability and land area.

**Keywords:** *Irrigation, Batu Bulan Dam, Optimization, Linear Program.*

Submitted: 30<sup>th</sup> July 2020

Accepted: 20<sup>th</sup> August 2020

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



## 1. PENDAHULUAN

Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) sebagaimana wilayah Indonesia lainnya hanya memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Berdasarkan pantauan Stasiun Klimatologi Klas I Kediri - BMKG NTB, kemarau 2015 telah melanda sejak akhir Maret 2015 di wilayah Bima sampai Sumbawa Barat dan pertengahan Mei 2015 untuk wilayah Lombok. Selanjutnya berdasarkan informasi kekeringan pada 21 Juli 2015, terpantau beberapa tempat di NTB yang sudah tidak mengalami hujan lebih dari 60 hari termasuk kecamatan Moyo Hulu Kabupaten Sumbawa. Hal ini menunjukkan bahwa tempat-tempat yang kekeringan tersebut menunjukkan bahwa kekeringan meteorologis sudah berlangsung. Jika keadaan ini terus berlanjut maka akan diikuti oleh kekeringan hidrologis yang ditandai seperti keringnya air sumur-sumur, mata air dan berkurangnya debit air sungai, danau ataupun bendungan. Terdapat beberapa cara untuk mengantisipasi akan datangnya musim kemarau, antara lain: Penanaman pohon, Pembangunan bendungan, Menyimpan air, Menghemat air [1].

Bendungan sangat penting untuk daerah-daerah yang tingkat musim kemaraunya di atas rata-rata. Bendungan dapat didefinisikan sebagai suatu cekungan yang berguna untuk menampung kelebihan air pada saat debit air tinggi dan melepaskannya pada waktu dibutuhkan [2]. Bendungan Batu Bulan mempunyai luas 932 ha terletak di Batu Bulan Kecamatan Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa, Provinsi NTB. Bendungan Batu Bulan saat ini tercatat sebagai waduk terbesar dan terpanjang di provinsi NTB, dengan panjang puncak bendungan total 2.750 m. Bendungan Batu Bulan terbentuk dari lima lembah sungai yang dibendung yaitu sungai Moyo, sungai Sebasang, sungai Rea dan sungai Lito, yang dapat digunakan sebagai penyedia air irigasi persawahan, pembangkit tenaga listrik, pengendali banjir, pariwisata, perikanan budidaya, dan perikanan tangkap. Bendungan Batu Bulan mulai dibangun tahun 1999-2002, bendungan ini mampu mengairi lebih dari 5500 Ha sawah di kecamatan Moyo Hilir dan Moyo Utara, selain itu masyarakat di sekitar waduk meliputi desa Mokong, Batu Bulan, Sebasang, dan Batu Tering memanfaatkan waduk ini sebagai sumber penghasilan sampingan dengan usaha ikan Nila. Puluhan sampan dan keramba dalam bendungan menjadi atraksi tersendiri bagi wisatawan yang datang, dan tentu saja pengunjung dapat dengan bebas memanfaatkan kesempatan untuk olah raga memancing. Pengelolaan Waduk Batu Bulan dikelola oleh pemerintah pusat [3]. Selain itu, fungsi bendungan dapat digunakan sebagai potensi PLTA seperti yang telah diteliti oleh [4].

Mengingat Kabupaten Sumbawa merupakan daerah yang mengalami musim kemarau yang panjang, maka perlu adanya usaha untuk menghemat penggunaan persediaan air yang tersedia. Faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan air yang berlebihan yaitu salah satunya adalah kurang tepatnya perencanaan penentuan pola tanam (jenis tanaman dan saat tanam) di daerah irigasi tersebut. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah optimasi alokasi air irigasi bendungan Batu Bulan, adapun metode matematika yang digunakan adalah program linier yang dapat menyelesaikan persoalan alokasi air secara optimal [5]. Dimana fungsi tujuannya adalah optimasi pendapatan pertanian di daerah irigasi bendungan Batu Bulan Kecamatan Moyo Hulu, sedangkan fungsi kendalanya adalah debit air yang dibutuhkan oleh tanaman dan luas area pertanian. Selain digunakan pada optimasi alokasi air irigasi [6, 7, 8], program linier dapat diaplikasikan pada penentuan rute terpendek [9], serta pada penyusunan jadwal siklik [10] dengan menggunakan program linier 0-1. Untuk mempermudah peneliti dalam menyelesaikan model program linier optimasi alokasi air irigasi maka digunakan *software POM for Windows* [7].

Kondisi kemarau yang panjang tersebut dapat dilihat di daerah irigasi Bendungan Batu Bulan yang merupakan daerah irigasi yang terbesar di NTB. Berkurangnya fungsi lahan yang disebabkan kekurangan air pada musim kemarau dan seharusnya lahan digunakan untuk menanam padi dan tanaman jagung tetapi pada musim kemarau lahan-lahan tersebut menjadi lahan kering yang tidak dapat diolah oleh petani serta keuntungan panen tiap musim tanaman yang didapat masih belum optimal.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di daerah irigasi Bendungan Batu Bulan, kecamatan Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa, Provinsi NTB. Pemilihan daerah irigasi Bendungan Batu Bulan sebagai objek penelitian berdasarkan pertimbangan karena Bendungan tersebut merupakan bendungan terbesar di Kabupaten Sumbawa.

## 2.1. Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pertanian Kabupaten Sumbawa, Dinas Balai Wilayah Sungai Kabupaten Sumbawa dan menggunakan data dari penelitian yang telah dilakukan oleh [11] berupa data hasil analisa kebutuhan air untuk pengolahan tanah (LP) di daerah irigasi Bendungan Batu Bulan, Data yang diperoleh di Dinas Pertanian Kabupaten Sumbawa adalah data tahun 2018 berupa data tata guna lahan diantaranya luas penggunaan lahan pertanian untuk tanaman padi dan jagung, data tata pola tanam yang selama ini digunakan oleh petani di daerah irigasi bendungan Batu Bulan yaitu Padi/Palawija-Padi/Palawija-Padi/Palawija dan data yang diperoleh dari Dinas Balai Wilayah Sungai Kabupaten Sumbawa yaitu data-data debit Bendungan Batu Bulan 9 tahun terakhir (2010-2018) periode 10 harian.

## 2.2. Analisis Optimasi Alokasi Air Irigasi

Pola tanam yang digunakan pada daerah irigasi Bendungan Batu Bulan adalah Padi/Palawija-Padi/Palawija-Padi/Palawija, artinya dalam setahun petani di daerah irigasi bendungan Batu Bulan kegiatan musim tanam sebanyak tiga kali dalam setahun sehingga terdapat 4 bulan setiap periodenya. Pada penelitian ini metode matematika yang digunakan untuk menganalisis optimasi alokasi air irigasi Bendungan Batu Bulan menggunakan program linear, yang terdiri dari fungsi kendala dan fungsi tujuan. Fungsi tujuan pada penelitian ini adalah nilai keuntungan produksi petani. Diketahui bahwa keuntungan pendapatan padi dan keuntungan pendapatan jagung per hektar di kabupaten Sumbawa berturut-turut adalah Rp. 4.500.00,- dan Rp. 7.500.000,-. Sedangkan fungsi kendala pada penelitian ini adalah debit andalan yang tersedia, luas lahan pertanian di daerah irigasi dan volume air yang tersedia Bendungan Batu Bulan kecamatan Moyo Hilir. Maka model program linier yang digunakan untuk optimasi alokasi air Bendungan Batu Bulan adalah sebagai berikut [7].

Fungsi Tujuan

$$\text{Maksimumkan: } Z = AX_1 + AX_2 + AX_3 + AX_4 + AX_5 + AX_6 + AX_7 + AX_8 + AX_9 + AX_{10} + AX_{11} + AX_{12} + BY_1 + BY_2 + BY_3 + BY_4 + BY_5 + BY_6 + BY_7 + BY_8 + BY_9 + BY_{10} + BY_{11} + BY_{12} \quad (1)$$

Dimana:

$Z$  = Nilai tujuan yang akan dicapai (memaksimumkan keuntungan) (Rp)

$A$  = Pendapatan produksi padi (Rp/ha);

$B$  = Pendapatan produksi jagung (Rp/ha);

$X_i$  = Luas areal tanaman padi pada bulan  $i$  (ha);

$Y_i$  = Luas areal tanaman jagung pada bulan  $i$  (ha);

$i$  = Januari I, Maret I, April I, ..., Desember I.

Fungsi Kendala

1) Debit untuk tanaman padi; total kebutuhan air tanaman pada bulan  $i$  kurang dari volume air bulan  $i$ .

$$D_1X_1 + D_1X_{10} + D_1X_{11} + D_1X_{12} \leq V_1 \quad (2)$$

$$D_2X_1 + D_2X_2 + D_2X_{11} + D_2X_{12} \leq V_2 \quad (3)$$

$$D_2X_1 + D_2X_2 + D_2X_{11} + D_2X_{12} \leq V_2 \quad (4)$$

$$D_3X_1 + D_3X_2 + D_3X_3 + D_3X_{12} \leq V_3 \quad (5)$$

$$D_4X_1 + D_4X_2 + D_4X_3 + D_4X_4 \leq V_4 \quad (6)$$

$$D_5X_2 + D_5X_3 + D_5X_4 + D_5X_5 \leq V_5 \quad (7)$$

$$D_6X_3 + D_6X_4 + D_6X_5 + D_6X_6 \leq V_6 \quad (8)$$

$$D_7X_4 + D_7X_5 + D_7X_6 + D_7X_7 \leq V_7 \quad (9)$$

$$D_8X_5 + D_8X_6 + D_8X_7 + D_8X_8 \leq V_8 \quad (10)$$

$$D_9X_6 + D_9X_7 + D_9X_8 + D_9X_9 \leq V_9 \quad (11)$$

$$D_{10}X_7 + D_{10}X_8 + D_{10}X_9 + D_{10}X_{10} \leq V_{10} \quad (12)$$

$$D_{11}X_8 + D_{11}X_9 + D_{11}X_{10} + D_{11}X_{11} \leq V_{11} \quad (13)$$

$$D_{12}X_9 + D_{12}X_{10} + D_{12}X_{11} + D_{12}X_{12} \leq V_{12} \quad (14)$$

2) Debit untuk tanaman jagung; total kebutuhan air tanaman pada bulan  $i$  kurang dari volume air bulan  $i$ .

$$D_1Y_1 + D_1Y_{10} + D_1Y_{11} + D_1Y_{12} \leq V_1 \quad (15)$$

$$D_2Y_1 + D_2Y_2 + D_2Y_{11} + D_2Y_{12} \leq V_2 \quad (16)$$

$$D_3Y_1 + D_3Y_2 + D_3Y_3 + D_3Y_{12} \leq V_3 \quad (17)$$

$$D_4Y_1 + D_4Y_2 + D_4Y_3 + D_4Y_4 \leq V_4 \quad (18)$$

$$D_5Y_2 + D_5Y_3 + D_5Y_4 + D_5Y_5 \leq V_5 \quad (19)$$

$$D_6Y_3 + D_6Y_4 + D_6Y_5 + D_6Y_6 \leq V_6 \quad (20)$$

$$D_7Y_4 + D_7Y_5 + D_7Y_6 + D_7Y_7 \leq V_7 \quad (21)$$

$$D_8Y_5 + D_8Y_6 + D_8Y_7 + D_8Y_8 \leq V_8 \quad (22)$$

$$D_9Y_6 + D_9Y_7 + D_9Y_8 + D_9Y_9 \leq V_9 \quad (23)$$

$$D_{10}Y_7 + D_{10}Y_8 + D_{10}Y_9 + D_{10}Y_{10} \leq V_{10} \quad (24)$$

$$D_{11}Y_8 + D_{11}Y_9 + D_{11}Y_{10} + D_{11}Y_{11} \leq V_{11} \quad (25)$$

$$D_{11}Y_9 + D_{12}Y_{10} + D_{12}Y_{11} + D_{12}Y_{12} \leq V_{12} \quad (26)$$

3) Luas untuk tanaman padi; total luas tanaman pada bulan  $i$  kurang dari luas lahan yang tersedia.

$$X_1 + X_{10} + X_{11} + X_{12} \leq L \quad (27)$$

$$X_1 + X_2 + X_{11} + X_{12} \leq L \quad (28)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_{12} \leq L \quad (29)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq L \quad (30)$$

$$X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \leq L \quad (31)$$

$$X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \leq L \quad (32)$$

$$X_4 + X_5 + X_6 + X_7 \leq L \quad (33)$$

$$X_5 + X_6 + X_7 + X_8 \leq L \quad (34)$$

$$X_6 + X_7 + X_8 + X_9 \leq L \quad (35)$$

$$X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \leq L \quad (36)$$

$$X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} \leq L \quad (37)$$

$$X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} \leq L \quad (38)$$

4) Luas untuk tanaman jagung; total luas tanaman pada bulan  $i$  kurang dari luas lahan yang tersedia.

$$Y_1 + Y_{10} + Y_{11} + Y_{12} \leq L \quad (39)$$

$$Y_1 + Y_2 + Y_{11} + Y_{12} \leq L \quad (40)$$

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_{12} \leq L \quad (41)$$

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \leq L \quad (42)$$

$$Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 \leq L \quad (43)$$

$$Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 \leq L \quad (44)$$

$$Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 \leq L \quad (45)$$

$$Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 \leq L \quad (46)$$

$$Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 \leq L \quad (47)$$

$$Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} \leq L \quad (48)$$

$$Y_8 + Y_9 + Y_{10} + Y_{11} \leq L \quad (50)$$

$$Y_9 + Y_{10} + Y_{11} + Y_{12} \leq L \quad (50)$$

dengan:

$D_i$  = Kebutuhan air tanaman pada bulan  $i$  (DR) (lt/detik/ha);  $L$  = Luas lahan yang tersedia (5.596 ha);

$V_i$  = Debit air yang tersedia pada bulan  $i$ ;  $i$  = Januari I, Maret I, April I, ..., Desember I.

Dimana nilai  $D_i$  dan  $V_i$  dapat ditentukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menentukan Curah Hujan Efektif [7].

a) Mengurutkan nilai curah hujan tiap tahunnya dari urutan yang terbesar ke yang terkecil.

b) Kemudian dihitung nilai peluang dengan kemungkinan terpenuhi sebesar 80%. Nilai probabilitas (P) dihitung menggunakan metode Weibull yaitu dengan menggunakan persamaan (52) berikut.

$$P = \frac{n}{(n \text{ total} + 1)} \times 100\% \quad (52)$$

dengan:

$n$  : tahun data ke- $n$ ;

$n - \text{total}$  : total tahun pengamatan.

c) Nilai curah hujan efektif (Re) ditentukan dengan persamaan (53) dan (54) berikut [12].

• Untuk padi:

$$Re = 0,7 \times \frac{R_{80}}{10} \quad (53)$$

• Untuk palawija:

$$Re = 0,7 \times \frac{R_{80}}{10} \tag{54}$$

2. Menentukan Kebutuhan Air Irigasi (LP)

Untuk mengetahui besar kebutuhan air irigasi tanaman, analisa yang dilakukan berupa kebutuhan air yang dipengaruhi oleh faktor pengolahan tanah, perkolasi, curah hujan efektif, evapotranspirasi, efisiensi irigasi, koefisien tanaman serta faktor lainnya telah dianalisa oleh [11].

3. Menentukan Volume Air yang Tersedia (V)

Volume air yang tersedia didapatkan berdasarkan debit yang ada pada setiap musim tanam yang mengacu pada debit andalan sungai  $R_{80}$ . Untuk mengetahui volume air setiap bulannya, maka terlebih dahulu ditentukan volume air dalam periode 10 harian untuk setiap musim tanam dengan menggunakan persamaan persamaan (9) berikut [13].

$$V = Q \times 10 \times 24 \times 60 \times 60 \tag{55}$$

dengan:

$$V = \text{volume air yang tersedia}; Q = \text{debit andalan (m}^3/\text{dt)}$$

4. Menentukan Debit Andalan (D)

Kebutuhan air irigasi dapat diketahui dengan mencari debit andalan bulanan dengan tingkat keandalan 80%. Sehingga debit tersebut cukup layak kebutuhan penyediaan air irigasi. Debit andalan 80% merupakan debit dengan kemungkinan terpenuhi 80% atau tidak terpenuhi 20% dari periode waktu tertentu. Data debit disusun dengan urutan dari urutan terbesar menuju urutan terkecil. Debit andalan dapat dicari dengan menggunakan metode  $R_{80}$  dengan pesamamaan [14]:

$$R_{80} = \left(\frac{n}{5}\right) + 1 \tag{56}$$

dengan:  $n$  = Jumlah tahun pengamatan

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perhitungan Curah Hujan Efektif

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan di kecamatan Moyo Hulu berdasarkan pengamatan selama 9 tahun terakhir yaitu dari tahun 2010 sampai tahun 2018 dan data tersebut disajikan 10 harian sehingga terdapat 3 priode dalam sebulan. Data curah hujan tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1. Curah Hujan Kec. Moyo Hulu Periode 10 harian, 9 tahun terakhir**

Bulan	Periode	Tahun								
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Januari	I	68	0	24	220	280	19	142	42	61
	II	28	48	24	180	67	33	58	81	29
	III	90	95	145.5	119	65	48	86	54	143
Februari	I	166	0	121	58	29	216	84	243	104
	II	44	0	16	111	93	23	4	65	117
	III	36	0	9	35	104	25	69	69	55
Maret	I	63	37	43	48	28	89	93	0	50
	II	64	13	242	31	133	132	94	48	12
	III	13	41	92	21	0	30	140	17	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Oktober	I	107	0	0	0	0	0	59	32	0
	II	104	8	0	7	0	0	0	4	0
	III	65	0	0	0	0	0	160	50	0
November	I	82	41	49	99	0	0	21	32	88
	II	25	62	99	92	26	38	104	4	40
	III	89	43	98	45	37	36	51	50	10
Desember	I	46	0	168	240	94	72	66	42	95

Bulan	Periode	Tahun								
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	II	45	0	119	144	20	77	55	81	58
	III	42	0	148	27	84	87	85	54	4

Sumber: Dinas Pertanian Kabupaten Sumbawa

Berdasarkan persamaan persamaan (52) maka dapat ditentukan perhitungan nilai probabilitas

$$P1 = \frac{1}{9+1} \times 100\% = 10\%$$

$$P2 = \frac{2}{9+1} \times 100\% = 20\%$$

Dengan cara yang sama, perhitungan dilakukan sampai P9, maka probabilitas curah hujan di Kecamatan Moyo Hulu selama 9 tahun terakhir disajikan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Probabilitas curah hujan

Bulan	P Periode	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
		Januari	I	280	220	142	68	61	42	24
	II	180	81	67	58	48	33	29	28	24
	III	145.5	143	119	95	90	86	65	54	48
Februari	I	243	216	166	121	104	84	58	29	0
	II	117	111	93	65	44	23	16	4	0
	III	104	69	69	55	36	35	25	9	0
Maret	I	93	89	63	50	48	43	37	28	0
	II	242	133	132	94	64	48	31	13	12
	III	140	92	41	30	21	17	13	3	0
April	I	112	103	95	62	26	24	23	10	0
	II	77	60	56	55	55	47	23	18	16
	III	105	93	45	32	31	1	0	0	0
Mei	I	52	48	37	36	31	19	0	0	0
	II	82	43	27	8	8	0	0	0	0
	III	136	117	24	3	0	0	0	0	0
Juni	I	65	48	20	12	0	0	0	0	0
	II	48	25	6	0	0	0	0	0	0
	III	69	45	7	0	0	0	0	0	0
Juli	I	54	19	0	0	0	0	0	0	0
	II	6	1	0	0	0	0	0	0	0
	III	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Agustus	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	25	0	0	0	0	0	0	0	0
September	I	28	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	76	18	0	0	0	0	0	0	0
	III	89	17	8	0	0	0	0	0	0
Oktober	I	107	59	32	0	0	0	0	0	0
	II	104	8	7	4	0	0	0	0	0
	III	160	65	50	0	0	0	0	0	0
November	I	99	88	82	49	41	32	21	0	0
	II	104	99	92	62	40	38	26	25	4
	III	98	89	51	50	45	43	37	36	10
Desember	I	240	168	95	94	72	66	46	42	0
	II	144	119	81	77	58	55	45	20	0
	III	148	87	85	84	54	42	27	4	0

Selanjutnya data probabilitas curah hujan 80% ( $R_{80}$ ) yang telah diperoleh di tabel 2 dan dengan menggunakan persamaan (53), persamaan (54) dapat digunakan untuk menentukan curah hujan efektif ( $R_e$ ) untuk tanaman padi dan tanaman palawija Berikut akan dijelaskan langkah-langkah salah satu contoh perhitungan  $R_e$  padi bulan Januari I:

$$R_e = 0,7 \times \frac{19}{10} = 1,33 \text{ mm/hari}$$

Sedangkan salah satu contoh perhitungan  $R_e$  Jagung bulan Januari I:

$$R_e = 0,5 \times \frac{19}{10} = 0,95 \text{ mm/hari}$$

maka hasil perhitungan curah hujan efektif ( $R_e$ ) untuk tanaman padi dan palawija untuk bulan dan priode yang lainnya disajikan pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3. Curah hujan efektif**

Bulan	Periode	P 80%	Re (mm/hari)		Bulan	Periode	P 80%	Re (mm/hari)	
			Padi	Palawija				Padi	Palawija
Januari	I	19	1.33	0.95	Juli	I	0	0.00	0.00
	II	28	1.96	1.40		II	0	0.00	0.00
	III	54	3.78	2.70		III	0	0.00	0.00
Februari	I	29	2.03	1.45	Agustus	I	0	0.00	0.00
	II	4	0.28	0.20		II	0	0.00	0.00
	III	9	0.63	0.45		III	0	0.00	0.00
Maret	I	28	1.96	1.40	September	I	0	0.00	0.00
	II	13	0.91	0.65		II	0	0.00	0.00
	III	3	0.21	0.15		III	0	0.00	0.00
April	I	10	0.70	0.50	Oktober	I	0	0.00	0.00
	II	18	1.26	0.90		II	0	0.00	0.00
	III	0	0.00	0.00		III	0	0.00	0.00
Mei	I	0	0.00	0.00	November	I	0	0.00	0.00
	II	0	0.00	0.00		II	25	1.75	1.25
	III	0	0.00	0.00		III	36	2.52	1.80
Juni	I	0	0.00	0.00	Desember	I	42	2.94	2.10
	II	0	0.00	0.00		II	20	1.40	1.00
	III	0	0.00	0.00		III	4	0.28	0.20

Data curah hujan efektif ( $R_e$ ) padi dan palawija yang diperoleh dari Tabel 3 digunakan untuk menentukan besar kebutuhan air padi dan palawija pada masing-masing model musim tanam

### 3.2. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Pola tanam yang digunakan pada daerah irigasi Bendungan Batu Bulan adalah Padi/Palawija-Padi/Palawija-Padi/Palawija, pada musim tanam tersebut ditamam padi atau palawija (jagung). Pola tanam tersebut akan dianalisis masing-masing kebutuhan airnya dengan awal musim tanam, berdasarkan pola tanam tersebut maka dapat dibagi menjadi 4 model awal musim tanam yaitu [15]:

- model 1: Awal tanam pada bulan Januari I, bulan Mei I dan bulan September I;
- model 2: Awal tanam pada bulan Februari I, bulan Juni I, bulan tanam Oktober I;
- model 3: Awal tanam pada bulan Maret I, bulan Juli I, bulan November I;
- model 4: Awal tanam pada bulan April I, Agustus I, Desember I;

Besar kebutuhan air irigasi tanaman pada model 1 disajikan pada tabel 4. Perhitungan yang terdapat pada setiap kolom di tabel 4, tabel 5, dan tabel 6 dijelaskan sebagai berikut:

Kolom 1,2: bulan dan dekade

Kolom 3: Evapotranspirasi (mm/hari)

Kolom 4: Curah hujan tanaman padi (mm/hari)

Kolom 5: besarnya perkolasi =2 mm/hari

Kolom 6: *Water Layer Requirement* (mm/hari) [16].

Kolom 7-9, 16-18 : koefisien tanaman c [17].

Kolom 10, 19:Rata-rata koefisien tanaman per dekade

Kolom 11:  $Kc \times ET_o$  (mm/hari) merupakan penggunaan air konsumtif tanaman [18].

Kolom 12, 20: kebutuhan air bersih untuk irigasi (NFR) (mm/hari).

$NFR_{padi} = ETC - Re$  (untuk masa penyiapan lahan) [19].

$NFR_{padi} = ETC + P - Re + WLR$ , merupakan kebutuhan air bersih disawah untuk padi [20].

$NFR_{pot} = ETC - Re_{pot}$ , merupakan kebutuhan air untuk palawija [21].

Kolom 13, 21: Kebutuhan air di *intake* (DR) (lt/dt/ha) (kolom 12, 21/0,65×8,64) [18].

Kolom 23,25: Total kebutuhan air di *intake* (DR) (lt/dt/ha) [22].

Kolom 24,26: Total kebutuhan air di *intake* tiap bulan (DR) (lt/ha) [22].

**Tabel 4. Data Perhitungan Kebutuhan Air Padi Model 1**

Bulan	Periode	Eto	Re (mm/hr)	P (mm/hr)	WLR (mm/hr)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hr)	NFR (mm/hr)	DR (mm/hr)
						kc1	kc2	kc3	Kc			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14
Jan	1	5.83	1.33	2.00		LP	LP	LP	LP	14.49	13.16	2.34
	2	5.83	1.96	2.00		1.1	LP	LP	LP	14.49	12.53	2.23
	3	5.83	3.78	2.00		1.1	1.1	LP	LP	14.49	10.71	1.91
Feb	1	6.27	2.03	2.00	1.10	1.1	1.1	1.1	1.10	6.90	4.87	0.87
	2	6.27	0.28	2.00	1.10	1.07	1.1	1.1	1.09	6.84	6.56	1.17
	3	6.27	0.63	2.00	2.20	1.05	1.07	1.1	1.07	6.73	6.10	1.09
Mar	1	6.13	1.96	2.00	1.10	1.05	1.05	1.07	1.06	6.48	4.52	0.80
	2	6.13	0.91	2.00	2.20	0.98	1.05	1.05	1.03	6.29	5.38	0.96
	3	6.13	0.21	2.00	1.10	0.63	0.98	1.05	0.89	5.44	5.23	0.93
April	1	5.82	0.70	2.00	1.10	0	0.63	0.98	0.54	3.12	2.42	0.43
	2	5.82	1.26	2.00			0	0.63	0.32	1.83	0.57	0.10
	3	5.82	0.00	2.00				0	0.00	0.00	0.00	0.00
Mei	1	5.26	0.00	2.00		LP	LP	LP	LP	14.08	14.08	2.51
	2	5.26	0.00	2.00		1.1	LP	LP	LP	14.08	14.08	2.51
	3	5.26	0.00	2.00		1.1	1.1	LP	LP	14.08	14.08	2.51
Jun	1	5.20	0.00	2.00	1.10	1.1	1.1	1.1	1.10	5.72	5.72	1.02
	2	5.20	0.00	2.00	1.10	1.07	1.1	1.1	1.09	5.67	5.67	1.01
	3	5.20	0.00	2.00	2.20	1.05	1.07	1.1	1.07	5.58	5.58	0.99

**Tabel 5. Data Perhitungan Kebutuhan Air Jagung Model 1**

Bulan	Periode	Eto	Re pol (mm/hr)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hr)	NFR (mm/hr)	DR (mm/hr)
				kc1	kc2	kc3	Kc			
1	2	3	15	16	17	18	19	20	21	22
Jan	1	5.83	0.95	0.5			0.50	2.92	1.97	0.35
	2	5.83	1.40	0.53	0.5		0.52	3.00	1.60	0.29
	3	5.83	2.70	0.59	0.53	0.5	0.54	3.15	0.45	0.08
Feb	1	6.27	1.45	0.48	0.59	0.53	0.53	3.34	1.89	0.34
	2	6.27	0.20	0.99	0.48	0.59	0.69	4.31	4.11	0.73
	3	6.27	0.45	1.05	0.99	0.48	0.84	5.27	4.82	0.86
Mar	1	6.13	1.40	1.03	1.05	0.99	1.02	6.27	4.87	0.87
	2	6.13	0.65	0.99	1.03	1.05	1.02	6.27	5.62	1.00
	3	6.13	0.15	0.95	0.99	1.03	0.99	6.07	5.92	1.05
April	1	5.82	0.50	0.32	0.95	0.99	0.75	4.38	3.88	0.69
	2	5.82	0.90		0.32	0.95	0.64	3.69	2.79	0.50
	3	5.82	0.00			0.32	0.32	1.86	1.86	0.33
Mei	1	5.26	0.00	0.5			0.50	2.63	2.63	0.47
	2	5.26	0.00	0.53	0.5		0.52	2.71	2.71	0.48
	3	5.26	0.00	0.59	0.53	0.5	0.54	2.84	2.84	0.51
Jun	1	5.20	0.00	0.48	0.59	0.53	0.53	2.77	2.77	0.49
	2	5.20	0.00	0.99	0.48	0.59	0.69	3.57	3.57	0.64
	3	5.20	0.00	1.05	0.99	0.48	0.84	4.37	4.37	0.78

Pada Tabel 4 dan Tabel 5 hanya disajikan data perhitungan kebutuhan air padi dan jagung dari bulan Januari sampai bulan Juni saja, dengan cara yang sama dapat ditentukan kebutuhan air padi dan jagung untuk bulan Juli sampai bulan Desember.



**Tabel 6. Total Kebutuhan Air Padi dan Jagung Model 1**

Bulan	Total Kebutuhan Air				Bulan	Total Kebutuhan Air			
	Padi		Jagung			Padi		Jagung	
	(lt/det/ha)	lt/ha	(lt/det/ha)	(lt/ha)		(lt/det/ha)	Lt/ha	(lt/det/ha)	Lt/ha
1	23	24	25	26	1	23	24	25	26
Jan	6.48	16796.16	0.72	1866.24	Jul	3.12	8087.04	3.19	8268.48
Feb	3.12	8087.04	1.93	8087.04	Agus	1.04	2695.68	2.09	5417.28
Mar	2.69	6972.45	2.92	7568.64	Sept	8.64	22394.88	3.63	9408.96
April	0.53	1373.76	1.52	3939.84	Okt	4.99	12934.08	1.96	5080.32
Mei	7.52	19491.84	1.46	3628.80	Nov	4.54	11767.68	0.87	2229.12
Jun	3.02	7827.84	1.91	4950.72	Des	1.42	3680.64	1.13	2928.96

Pada tabel 6, terlihat bahwa kebutuhan air terbesar untuk tanaman padi diperoleh pada September yaitu 22394,88 lt/bulan/ha, untuk kebutuhan air terkecilnya pada bulan April yaitu 1373,76 lt/bulan/ha. Sedangkan untuk tanaman jagung, kebutuhan air terbesar pada bulan September yaitu 9408,96 lt/detik/ha dan kebutuhan air terkecil pada bulan Januari yaitu 1866,24 lt/bulan/ha. Dengan cara yang sama seperti perhitungan kebutuhan air model 1 pada tabel 4, tabel 5 dan tabel 6 maka dapat juga ditentukan kebutuhan air untuk model 2, model 3 dan model 4.

### 3.3. Perhitungan Debit Andalan

Data debit yang tersedia merupakan data debit *intake* yang didapat dari hasil pengukuran di lapangan pada tahun 2010-2018 per minggu. Data tersebut disajikan pada tabel 7 sebagai berikut.

**Tabel 7. Data Debit Bendungan Batu Bulan Periode 10 Hari (Juta)**

Bulan	Periode	Tahun								
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Jan	I	14.317	26.392	20.291	49.989	53.512	29.398	22.24	52.615	51.634
	II	14.634	26.217	20.312	55.055	50.67	26.352	24.16	52.691	51.169
	III	18.082	26.217	24.99	52.821	51.944	26.551	37.537	53.376	53.512
Feb	I	35.218	26.392	26.568	51.944	51.6	42.124	40.551	59.513	52.531
	II	37.536	26.217	26.217	54.092	51.037	52.821	42.162	52.615	62.615
	III	30.745	26.217	26.012	53.376	52.332	52.76	42.255	51.944	53.712
Maret	I	25.439	26.568	26.217	52.691	51.944	53.448	51.944	50.67	54.164
	II	25.311	26.217	26.568	51.944	53.512	52.76	51.944	50.67	52.615
	III	25.904	26.217	26.392	50.12	51.944	52.216	52.531	51.944	52.615
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
Okt	I	17.894	12.785	11.504	32.02	18.688	12.989	28.071	18.478	13.078
	II	18.763	12.714	11.331	31.548	18.23	12.739	28.071	18.109	12.928
	III	19.363	12.612	11.331	31.217	18.135	12.375	33.168	17.878	12.739
Nov	I	38.936	12.92	10.985	31.496	17.76	12.078	33.342	17.895	13.078
	II	38.936	14.015	11.158	31.496	17.495	11.968	34.259	23.35	12.928
	III	39.659	14.542	11.158	31.71	17.255	11.68	35.308	25.175	12.739
Des	I	26.835	15.06	18.368	36.739	17.59	11.815	40.027	28.402	13.078
	II	26.381	17.536	17.088	44.325	22.375	14.055	45.832	34.94	12.928
	III	26.217	18.127	27.3	48.572	29.016	16.509	51.076	37.929	12.739
Total		893.157	742.04	706.71	1595.79	23646.2	1128.08	1409.3	1343.66	2819.24

Sumber: Dinas Pertanian Kabupaten Sumbawa

Diketahui jumlah tahun pengamatan ( $n$ ) = 9 maka berdasarkan persamaan (56) diperoleh  $R_{80} = \left(\frac{9}{5}\right) + 1 = 2,8 \approx 3$  hal ini dapat disimpulkan bahwa debit andalan berada di peringkat 3 terbawah, sehingga pada tabel 8 berikut disajikan rekapitulasi perhitungan debit andalan Bendungan Batu Bulan.

**Tabel 8. Perhitungan Debit Andalan (lt/d)**

Bulan	Periode	Debit Peringkat ke- (juta)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Januari	I	53.512	52.615	51.634	49.989	29.398	26.392	22.24	20.291	14.317
	II	55.055	52.691	51.169	50.67	26.352	26.217	24.16	20.312	14.634
	III	53.512	53.376	52.821	51.944	37.537	26.551	26.217	24.99	18.082
Februari	I	59.513	52.531	51.944	51.6	42.124	40.551	35.218	26.568	26.392
	II	62.615	54.092	52.821	52.615	51.037	42.162	37.536	26.217	26.217
	III	53.712	53.376	52.76	52.332	51.944	42.255	30.745	26.217	26.012
Maret	I	54.164	53.448	52.691	51.944	51.944	50.67	26.568	26.217	25.439
	II	53.512	52.76	52.615	51.944	51.944	50.67	26.568	26.217	25.311
	III	52.615	52.531	52.216	51.944	51.944	50.12	26.392	26.217	25.904
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
Oktober	I	32.02	28.071	18.688	18.478	17.894	13.078	12.989	12.785	11.504
	II	31.548	28.071	18.23	18.109	18.763	12.928	12.739	12.714	11.331
	III	31.217	33.168	18.135	17.878	19.363	12.739	12.375	12.612	11.331
November	I	38.936	33.342	31.496	17.895	17.76	13.078	12.92	12.078	10.985
	II	38.936	34.259	31.496	23.35	17.495	12.928	14.015	11.968	11.158
	III	39.659	35.308	31.71	25.175	17.255	12.739	14.542	11.68	11.158
Desember	I	40.027	36.739	28.402	26.835	18.368	17.59	15.06	13.078	11.815
	II	45.832	44.325	34.94	26.381	17.088	22,375	17.536	12.928	14.055
	III	51.076	48.572	37.929	26.217	27.3	29.016	18.127	12.739	16.509

■ = Debit Andalan menggunakan metode  $R_{80}$

Debit andalan yang dipilih adalah debit andalan 80% artinya risiko debit-debit yang lebih kecil dari debit andalan 20% pengamatan [4].

### 3.4. Perhitungan Volume Air yang Tersedia

Berdasarkan data debit andalan pada Tabel 6 dan persamaan (55) maka dapat ditentukan besar volume air Bendungan Batu Bulan yang tersedia per bulan periode 10 harian yang disajikan pada Tabel 9 berikut.

**Tabel 9. Volume air yang tersedia ( $m^3$ )**

Bulan	Periode	Q	Volume ( $m^3$ )	Bulan	Periode	Q	Volume ( $m^3$ )
Januari	I	22.24	19.215.360	Juni	I	26.033	22492512
	II	24.16	20874240		II	25.265	21828960
	III	26.217	22651488		III	26.668	23041152
Februari	I	35.218	30428352	Juli	I	22.075	19072800
	II	37.536	32431104		II	24.215	20921760
	III	30.745	26563680		III	21.655	18709920
Maret	I	26.568	22954752	Agustus	I	19.51	16856640
	II	26.568	22954752		II	17.859	15430176
	III	26.392	22802688		III	15.939	13771296
April	I	26.568	22954752	September	I	13.233	11433312
	II	26.392	22802688		II	12.887	11134368
	III	26.392	22802688		III	12.887	11134368
Mei	I	26.568	22954752	Oktober	I	12.989	11222496
	II	26.217	22651488		II	12.739	11006496
	III	26.012	22474368		III	12.375	10692000
Juni	I	26.033	22492512	November	I	12.92	11162880
	II	25.265	21828960		II	14.015	12108960
	III	26.668	23041152		III	14.542	12564288
Juli	I	22.075	19072800	Desember	I	15.06	13011840
	II	24.215	20921760		II	17.536	15151104
	III	21.655	18709920		III	18.127	15661728

Setelah diperoleh data hasil perhitungan total kebutuhan air tanaman pada bulan ke- $i$  ( $D_i$ ) (tabel 6) dan hasil perhitungan volume air yang tersedia (tabel 10). Maka dapat dilakukan perhitungan optimalisasi dengan menggunakan persamaan (1) dan ketaksamaan (2) sampai ketaksamaan (50). Karena model musim tanam yang dibentuk ada 4 maka model program linier yang disusun ada 4 juga. Dari model program linier yang telah disusun berdasarkan persamaan dan ketaksamaan tersebut, selanjutnya diolah menggunakan *software POM for Windows* [23] sehingga diperoleh hasil optimasi masing-masing model pola tanam yang disajikan pada Tabel 10 sebagai berikut.

**Tabel 10. Analisis Perbandingan Keuntungan Pola Tanam**

Model	Tanaman	Total Kebutuhan Air (lt/ha)	Bulan Tanam	Luas lahan (Ha)	Keuntungan Produksi (Rp)
1.	Padi	122109,09	Januari	1.144,03	90.349.880.000
			Februari	1.177,66	
			Juni	510,53	
	Jagung	63374,40	Januari	9.63,86	
			Maret	2.069,01	
			April	2.306,69	
			Agustus	1.215,15	
			Oktober	993,86	
September	2.798,74				
2.	Padi	120113,28	Januari	1.485,99	62.984.820.000
			Maret	1.32,85	
			Juli	491,45	
	Jagung	67184,64	Januari	3.053,79	
			Mei	1.752,92	
			September	1.725,07	
3.	Padi	114488,64	Januari	1.213,15	67.811.020.000
			April	948,24	
			Agustus	552,14	
	Jagung	67055,04	Januari	3.294,81	
			Februari	1.415,82	
			Mei	1.702,49	
			Juli	878,20	
			September	122,03	
4.	Padi	100448,64	Januari	1.174,54	83.392.470.000
			Mei	784,48	
			September	930,59	
			Oktober	23,13	
	Jagung	67703,04	November	2.438,17	
			Januari	3.887,20	
			Maret	1.708,80	
			Mei	1.379,33	
Juli	933,12				

#### 4. KESIMPULAN

1. Total kebutuhan air terbesar untuk tanaman padi diperoleh pada model 1 yaitu 122109,09 lt/ha, untuk kebutuhan air terkecilnya pada model 4 yaitu 100448,64 lt/ha. Sedangkan untuk tanaman jagung, kebutuhan air terbesar pada model 4 yaitu 67703,04 lt/ha dan kebutuhan air terkecil pada model 1 yaitu 63374,40 lt/ha.
2. Diperoleh keuntungan optimal produksi padi dan jagung dengan Pola Tanam Padi/Palawija-Padi/Palawija-Padi/Palawija, adalah sebesar Rp. 90.349.880.000 pada model 1 dengan awal tanam Januari I, Mei I, September I, dengan total kebutuhan air 185483,49 lt/ha. Sedangkan total kebutuhan terbesar pada model 2 yaitu 187297,92 lt/ha dengan keuntungan yang diperoleh Rp. 62.984.820.000,-.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Ditlitabmas Dirjen Dikti Kementerian dan Kebudayaan yang telah mendanai penelitian ini, serta menyampaikan terimakasih kepada Dinas BMKG kabupaten Sumbawa yang telah memberikan informasi data klimatologi, Dinas Pertanian Kabupaten Sumbawa dan Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Sumbawa. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Dayantolis, "El Nino Dan Perkembangan Kondisi Musim Kemarau 2015 Di NTB," *Lombokpost.net*, 2015. [Online]. Available: <https://www.lombokpost.net/2015/07/30/el-nino-dan-perkembangan-kondisi-musim-kemarau-2015-di-ntb/>. [Accessed: 28-Feb-2020].
- [2] D. Garsia, B. Sujatmoko, and R. Rinaldi, "Analisis Kapasitas Tampungan Embung Bulakan untuk Memenuhi Kekurangan Kebutuhan Air Irigasi di Kecamatan Payakumbuh Selatan," *J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, 2014.
- [3] Humas, "Batu Bulan, Dambaan Masyarakat Sumbawa," *PU-net Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, 2003. [Online]. Available: <https://www.pu.go.id/berita/view/888/bendungan-batu-bulan>. [Accessed: 28-Feb-2020].
- [4] R. Ahadunnisa, N. Anwar, and N. F. Margini, "Studi Optimasi Pemanfaatan Waduk Way Apu di Provinsi Maluku Untuk Jaringan Jaringan Irigasi, Kebutuhan Air Baku, dan Potensi PLTA," *J. Hidroteknik*, vol. 1, no. 11, pp. 51–58, 2015.
- [5] M. Sya'diyah, B. Suharto, and J. B. R. W., "Studi Optimasi Pola Tanam untuk Memaksimalkan Keuntungan Hasil Produksi Pertanian di Jaringan Irigasi Manyar Kecamatan Babat Kabupaten Lamongan dengan Menggunakan Program Linier ( SOLVER )," *J. Sumberd. Alam Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 12–18, 2014.
- [6] D. A. Nassir and R. Hambali, "Studi Optimasi Pola Tananm Jaringan Irigasi Desa Rias dengan Program Linier," *Stud. OPTIMASI POLA TANAM Jar. Irig. DESA RIAS DENGAN Progr. LINEAR Djamal*, vol. 4, no. 1, pp. 1–14, 2016.
- [7] N. N. A. Bestari, Azis Septian and Marrushartati, "Optimasi Pemanfaatan Air Sungai Keser Untuk Daerah Irigasi Ngasinan Menggunakan Program Linier," Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- [8] B. Frahmana, "OPTIMASI PENGGUNAAN LAHAN PERTANIAN DENGAN PROGRAM LINIER Studi Kasus : Jaringan Irigasi Saluran Sekunder Majalaya Bendung Walahar di Kabupaten Karawang OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL LAND USE WITH LINIER PROGRAMS Case Study : Majalaya Bendung Walahar Secon," *J. Ilm. Desain Konstr.*, vol. 17, no. 2, pp. 142–150, 2018.
- [9] K. Hermanto, "Model Matematika Generalize Vehicle Routing Problem dan Eksistensinya Studi Kasus: PT. Papertech Indonesia Unit II Magelang," Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [10] K. Hermanto, R. Suarantalla, and Sahdan, "Aplikasi Program Linier Integer 0-1 Untuk Menyusun Jadwal Usulan Piket Satpol PP," *Barekeng*, vol. 14, no. 1, pp. 91–99, 2020.
- [11] K. Hermanto and S. F. Utami, "Peramalan Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan Menggunakan Metode Siklis (Studi Kasus Daerah Irigasi Bendungan Batu Bulan Kec. Moyo Hulu)," *Unisda J. Math. Comput. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 25–34, 2019.
- [12] Zulkarnaen, A. Purnama, and I. Amin, "Perencanaan Jaringan Irigasi Air Tanah di Desa Buin Baru Kecamatan Buer Kabupaten Sumbawa," *J. Sainstek Unsa*, vol. 2, no. 1, pp. 15–24, 2017.
- [13] A. W. Abd Kamal Neno, Herman Harijanto, "Hubungan Debit Air Dan Tinggi Muka Air Di Sungai Lambagu Kecamatan Tawaeli Kota Palu," *War. Rimba*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2016.
- [14] M. Kinasih, R. Wirosoedarmo, and B. Suharto, "Model Optimasi Pola Tanam Polikultur di Daerah Irigasi KAJAR 2C Kota Malang," *J. Pertan. Terpadu*, vol. 6, no. 2, pp. 15–27, 2018, doi: 10.36084/jpt.v6i2.161.
- [15] N. Wakhid and H. Syahbuddin, "Waktu Tanam Padi Sawah Pasang Surut Air Pulau Kalimantan di Tengah Perubahan Iklim," *Argin*, vol. 22, no. 2, pp. 145–159, 2018, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [16] L. Risfianto, N. Anwar, and N. F. Margini, "Studi Optimasi Pola Tanam Pada Daerah Irigasi Baru Banyuwangi Dengan Menggunakan Program Linier," *J. Hidroteknik*, vol. 2, no. 1, p. 13, 2017, doi: 10.12962/jh.v2i1.4397.
- [17] N. E. Mulovhedzi et al., "Estimating evapotranspiration and determining crop coefficients of irrigated sweet potato (*Ipomoea batatas*) grown in a semi-arid climate," *Agric. Water Manag.*, vol. 233, no. February, p. 106099, 2020, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106099.
- [18] A. Priyonugroho, "Analisis Kebutuhan Air Irigasi ( Studi Kasus Pada Daerah Irigasi Sungai Air Keban Daerah Kabupaten Empat Lawang )," *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 2, no. 3, pp. 457–470, 2014.
- [19] D. Irigasi et al., "( Analysis of Irrigation Water Requirement Using CROPWAT 8 . 0 in Krueng Jreu Irrigation Area of Aceh Besar Regency )," vol. 4, no. November, pp. 412–421, 2019.
- [20] D. Septyana, D. Harlan, and Winskayati, "Model Optimasi Pola Tanam untuk Meningkatkan Keuntungan Hasil Pertanian dengan Program Linier (Studi Kasus Daerah Irigasi Rambut Kabupaten Tegal Provinsi Jawa Tengah)," *J. Tek. Sipil*, vol. 23, no. 2, pp. 145–156, 2016, doi: 10.5614/jts.2016.23.2.7.
- [21] I. N. S. Triadi, I. N. A. P. Winaya, and I. W. Sudiasa, "Optimalisasi Kebutuhan Air Irigasi di Daerah

- Sengempel, Kabupaten Badung,” *J. Log.*, vol. 17, no. 2, pp. 80–85, 2017.
- [22] D. Krisnayanti and I. M. Udiana, “Studi Pola Lengkung Kebutuhan Air Untuk Irigasi Pada Daerah Irigasi Tilog,” *J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 117–126, 2016.
- [23] V. Devani and A. A. Fenisa, “Optimasi Perencanaan Produksi Surat Kabar dengan Menggunakan Linear Programming Di PT . RG,” *J. Sains Mat. dan Stat.*, vol. 4, no. 2, pp. 18–27, 2018.

