

Optimasi Sumber Daya Air Di Sub DAS Air Betung, Kota Pagar Alam Sumatera Selatan

Alharia Dinata^{1*}, Lily Endah Diansari¹

Program Studi Teknik Sipil, STT Pagar Alam, Pagar Alam¹

Koresponden*, Email: alhariadinata@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	18 Desember 2020	<i>Currently, the water balance in the Air Betung Sub-watershed has decreased in quality/quantity due to the development of urban areas and increased economic activity, so that water allocation must be fair and equitable. The research objective is to optimize water resources to compliance domestic, industrial, and irrigation water needs. The analysis method uses the QM for Windows linear program application. From simulation and optimization were obtained, the availability of water was only able to supply irrigation water by 50.99% in 2019 and 61.22% in 2028. From the results of implementing five crop schedules and integrating plant types in each MT on irrigated land with limited water volume, the optimal profit is Rp. 17,606,110,000. Initial planting began on October 15 with the optimum area of MT-I (Paddy 1,211 ha - Palawija 0 ha), MT-II (Paddy 1,211 ha - Palawija 0 ha), and MT-III (Paddy 692 ha - Palawija 519 ha).</i>
Diperbaiki	10 Januari 2021	
Disetujui	10 Januari 2021	

Keywords: water criticality index, SDA optimization, linear program, water allocation.

Abstrak
Saat ini, keseimbangan air di Sub DAS Air Betung telah mengalami penurunan kualitas/kuantitas sebagai dampak berkembangannya wilayah perkotaan dan meningkatnya kegiatan perekonomian sehingga pengalokasian air harus adil dan merata. Tujuan penelitian adalah mengoptimalkan SDA untuk memenuhi kebutuhan air domestik, industri, dan irigasi. Metode analisis menggunakan aplikasi program linier *QM for Windows*. Hasil simulasi dan optimasi diperoleh, ketersediaan air hanya mampu menyuplai air kelahan irigasi sebesar 50,99 % ditahun 2019 dan 61,22 % ditahun 2028. Dari hasil menerapkan lima jadwal tanaman dan memadukan jenis tanaman di masing-masing MT pada lahan irigasi dengan volume air terbatas diperoleh keuntungan optimal sebesar Rp. 17.606.110.000. Awal tanam dimulai 15 Oktober dengan luas optimum MT-I (Padi 1.211 ha - Palawija 0 ha), MT-II (Padi 1.211 ha - Palawija 0 ha), dan MT-III (Padi 692 ha - Palawija 519 ha).

Kata kunci: indeks kekritisan air, optimasi SDA, program linier, alokasi air.

1. Pendahuluan

Meningkatnya jumlah penduduk merupakan dampak dari berkembangnya kegiatan perekonomian dan menjadi permasalahan baru bidang lingkungan terutama di wilayah perkotaan sebagai pusat pemerintahan, perekonomian, industri dan perdagangan yang bukan hanya pada jumlah dari penduduk semata tetapi berimbas juga pada kualitas penduduk, konsumsi maupun modal serta teknologi [1]. Dari peningkatan kegiatan tersebut, kebutuhan lahan untuk tempat tinggal dan kegiatan aktifitas ekonomi menjadi sangat tinggi sehingga berdampak pada konversi lahan dari hutan menjadi lahan pertanian dan permukiman. Sedangkan sisi permintaan air, pemenuhan kebutuhan air domestik, industri, dan pertanian menjadi meningkat. Namun, berbanding terbalik terhadap kuantitas air yang lebih cenderung menurun.

Saat ini, kondisi sub DAS Air Betung telah mengalami degradasi lingkungan yang ditandai dengan buruknya kualitas air, tingginya limpasan air disaat musim penghujan,

dan disaat musim kemarau tidak mampu menyuplai berbagai kebutuhan air sehingga sebagian besar masyarakat harus mencari sumber-sumber air baru untuk memenuhi kebutuhan air mereka. DAS adalah daerah tangkapan hujan yang memiliki kontribusi terhadap limpasan aliran permukaan yang batasnya terletak dipunggungan-punggungan pengunungan atau perbukitan, tempat air hujan jatuh disetiap lokasi dalam batas-batas tersebut sehingga air mengalir dari hulu DAS melalui sungai-sungai kecil menuju ke sungai utama dan keluar menjadi satu titik terendah dalam batas DAS tersebut [2]. Berdasarkan kondisi geografis, sub DAS Air Betung masuk kedalam wilayah administrasi Kabupaten Lahat di kecamatan Pajar Bulan dan Kota Pagar Alam tepatnya di kecamatan Pagar Alam Utara, Pagar Alam Selatan, dan Dempo Utara [3]. Kecamatan Pagar Alam Utara dan Selatan merupakan daerah pusat pemerintahan dan termasuk dalam zona perindustrian/perdagangan dimana aktifitas kegiatan perekonomian kedua wilayah tersebut sangat tinggi sehingga

berpotensi terhadap tingginya permintaan air. Dengan keterbatasan sumber daya air pada sub-DAS tersebut menjadi penting dilakukan upaya pengalokasian air untuk memenuhi berbagai kebutuhan air secara efisien sehingga diperoleh keuntungan yang maksimum dalam pengelolaannya. Program linier maupun non linier merupakan metode klasik yang aplikasinya telah banyak digunakan dalam memecahkan permasalahan dibidang pengelolaan sumber daya air dan dapat memberikan solusi yang terbaik [4–6]. Penggunaan program nonlinier dapat digunakan dalam mengoptimasi keandalan SDA seperti hasil optimasi dan simulasi dengan metode *Generalized Reduced Gradient* didapatkan keandalan operasi embung mencapai 78,57% dan mampu menyuplai pemenuhan kebutuhan air domestik sebanyak 454 orang dan 1 ha lahan irigasi tetes [7].

Program linier bertujuan mengkuantifikasi hubungan antar variabel ke dalam bentuk persamaan matematik yang linier guna mendapatkan nilai optimum dalam mengalokasikan sumberdaya yang terbatas sehingga dicapai tujuan tertentu [8].

Dari permasalahan diatas serta isu perubahan iklim yang telah terjadi maka, menjadi tantangan untuk memberikan solusi yang terbaik dalam memenuhi berbagai kebutuhan air terutama di sub-DAS Air Betung. Jadi, tujuan penelitian adalah optimasi sumber daya air untuk alokasi kebutuhan air domestik, industri, dan air irigasi ditahun 2019 serta 2028 menggunakan program linier.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di sub-DAS Air Betung, secara geografis terletak antara 3°58'24,54"S - 3°58'25,76"S dan 103°08'19,12"E - 103°17'42,12"E.

2.2 Data dan Peralatan

Data dalam penelitian ini menggunakan data sekunder dan data primer. Data sekunder terdiri dari data kependudukan 2010-2019 (Kota Pagar Alam dan Kabupaten Lahat), data jumlah industri, peta administrasi, data curah hujan harian stasiun Jarai dan PTPN VII Kota Pagar Alam 2010-2019, data suhu harian 2010-2019, data topografi skala 1:50.000, data penggunaan lahan, dan dokumen lain yang terkait dengan penelitian. Data primer terdiri dari debit mata air dan tinggi muka air, pencatatan data tinggi muka air dilaksanakan dari tanggal 15 Agustus–15 Nopember 2020 di sub-DAS Air Betung.

Peralatan yang digunakan adalah *peil scale*, *current meter*, aplikasi *GIS-ILWIS 3.3*, aplikasi *QM for windows v.5*,

meteran, peralatan tulis menulis, dan peralatan pendukung lainnya.

2.3 Metode Analisis

Analisis Kebutuhan Domestik

Perhitungan kebutuhan air domestik diperoleh dari perkalian antara jumlah penduduk tahun proyeksi dengan kebutuhan air berdasarkan standar pembagian kriteria wilayah [7]. Berdasarkan jumlah penduduk, wilayah sub-DAS masuk kategori Kota kecil (51.482 orang) dengan kebutuhan air berkisar 80–190 liter/org/hari. Data menggunakan jumlah penduduk tahun 2010-2019 pada kecamatan Pagar Alam Selatan (PAS), Pagar Alam Utara (PAU), Dempo Utara (DU), dan Pajar Bulan (PB) Kabupaten Lahat. Berikut ditampilkan persamaan menghitung kebutuhan air domestik.

$$Q_{dom} = 365 \text{ hari} \times (q_u / 1000 P_u) \quad (1)$$

Dimana:

Q_{dom} = Kebutuhan air domestik (m^3 /tahun)

q_u = Baku kebutuhan air domestik (liter/kapita/hari)

P_u = Jumlah penduduk (orang)

Proyeksi pertumbuhan penduduk menggunakan metode aritmatika, geometri, dan logaritma. Dari ketiga metode tersebut dipilih berdasarkan nilai standar deviasi (SD) dan koefisien determinasi (R^2).

Persamaan aritmatika.

$$y = a + bx \quad (2)$$

Persamaan logaritma.

$$y = a + b \ln(x) \quad (3)$$

Persamaan geometri.

$$\ln(y) = \ln(a) + b \ln(x) \quad (4)$$

dimana:

a = Konstanta.

b = Koefisien arah garis regresi linier,

y = Nilai variabel berdasarkan garis regresi, populasi ke-n,

x = Bilangan yang dihitung dari tahun awal.

Analisis Kebutuhan Air Industri

Perhitungan kebutuhan air industri berdasarkan data jumlah industri dengan menggunakan standar kebutuhan air berdasarkan DPU-CK tahun 1996.

Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, dan kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan [9]. Awal tanam direncanakan bulan Nopember minggu kedua dengan pola tanam padi-padi-palawija. Besarnya kebutuhan air tanaman padi disawah dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$NFR = ET_c + P + WLR - R_e \quad (5)$$

Kebutuhan air tanaman palawija dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$NFR = ET_c - R_e \quad (6)$$

Dimana:

NFR = *Netto Field Water Requirement* (mm/hr)

Etc = Evapotranspirasi tanaman (mm/hr)

P = Perkolasi (mm/hr)

WLR = Penggantian lapisan air (mm/hr)

Re = Curah hujan efektif (mm/hr)

Kebutuhan pengambilan air pada sumbernya berdasarkan kebutuhan air bersih disawah dihitung menurut persamaan berikut:

$$DR = \frac{NFR}{8,64} \quad (7)$$

dimana:

DR = Kebutuhan pengambilan air di sumbernya (lt/det/ha),
8,64 = Konstanta.

Ketersediaan Air

Ketersediaan air dalam suatu sub-DAS selalu berubah-ubah sepanjang waktu tergantung pada keadaan iklim daerah dan karakteristik fisik sub-DAS tersebut. Ketersediaan air adalah kemampuan sungai untuk menyediakan suatu nilai debit secara kuantitatif sepanjang tahun, baik pada musim kemarau ataupun musim penghujan [10].

Fenomena dari rangkaian peristiwa bidang hidrologi sangatlah kompleks dan sangat sulit untuk dapat dipahami secara menyeluruh, demikian juga dalam memahami siklus hidrologi yang selalu berubah-ubah sehingga dibutuhkan suatu penyederhanaan dari fenomena tersebut guna untuk memudahkan dalam memahaminya [11].

Dalam hal ini, telah banyak model yang telah dikembangkan dalam memprediksi ketersediaan air dalam suatu DAS dengan mengalihragamkan limpasan menjadi debit. Ditahun 1973, Dr F.J. Mock memperkenalkan model sederhana mengenai simulasi keseimbangan air bulanan untuk aliran dengan kebutuhan data meliputi curah hujan,

evaporasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran [10]. Model Mock merupakan model curah hujan yang mengandung 3 zona yang mewakili proses transformasi air hujan di atmosfer, tanah, dan sistem air tanah [12].

Debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun pada suatu aliran sungai dengan risiko kegagalan tertentu [13].

Bentuk persamaan matematisnya adalah:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (8)$$

dimana:

P ($X \geq x$) = Peluang,

m = Rangkaing,

n = Jumlah data.

Indeks Kekritisan Air (IKA)

Indek kekritisan air dihitung dengan membandingkan antara kebutuhan air terhadap ketersediaan air di sub DAS Air Betung. Kriteria indeks kekritisan air dapat dilihat pada **Tabel 1**. Persamaan matematis IKA seperti yang terlihat dibawah ini:

$$IKA = \frac{\text{Ketersediaan air}}{\text{Total kebutuhan air}} \times 100\% \quad (9)$$

dimana:

IKA = Indeks kekritisan air (%).

Tabel 1. Indeks Kekritisan Air [14]

No	Indeks Kekritisan Air	Klasifikasi
1	<50%	Belum kritis (BK)
2	50% - 75%	Mendekati kritis (MK)
3	75% - 100%	Kritis (K)
4	>100%	Sangat kritis (SK)

Optimasi Sumber Daya Air

Terdapat banyak aplikasi program linier yang dibuat berdasarkan algoritma *simplex* dalam menyelesaikan permasalahan seperti aplikasi *LINDO*, *Excel solver*, *QM for Windows*, dan lain sebagainya. Dalam penelitian ini, penyelesaian optimasi SDA menggunakan aplikasi *QM for Windows* karena lebih mudah dalam pengoperasiannya.

Bentuk persamaan model matematika program linier untuk optimasi sumber daya air Sub DAS Air Betung terdiri dari fungsi tujuan dan fungsi kendala adalah sebagai berikut: Fungsi tujuan,

$$Z = \sum_{n=1}^j P_{ij} \times X_{ij} \quad (10)$$

dimana:

- Z = Fungsi tujuan,
- P = Harga air (Rp/liter),
- X = Jumlah pengguna air,
- i = Indek sumber air,
- j = Indek pengguna air.

Harga air diambil berdasarkan keputusan menteri PUPR tahun 2019, untuk wilayah Sumatera Selatan harga air minum sebesar 375 rupiah/m³ (0,375 rupiah/liter), industri kategori niaga 865 rupiah/m³ (0,865 rupiah/liter), dan irigasi 100 rupiah/m³ (0,100 rupiah/liter) [15].

Fungsi kendala:

$$C = \sum_{n=1}^j C_{ij} \times X_{ij} \leq Q \tag{11}$$

$$X_{ij} + X_{ij} \leq A \tag{12}$$

$$X_{ij} + X_{ij} \leq B \tag{13}$$

dimana:

- C = Kebutuhan air setiap pengguna,
- X_{ij} = Jumlah pengguna air domestik, industri, dan irigasi,
- Q = debit andalan air permukaan dan mata air (liter/detik),
- A = Jumlah penduduk tahun ke-n (orang),
- B = Jumlah industri tahun ke-n (unit).

Persamaan matematis optimasi ketersediaan air untuk alokasi kebutuhan air irigasi adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan,
 $Z = A \times X_1 + B \times X_2 + A \times X_3 + B \times X_4 + A \times X_5 + B \times X_6 \tag{14}$

dimana:

- Z = Nilai optimal (Rp),
- A = Pendapatan bersih produksi padi sawah (Rp/ha) Keuntungan bersih 4.955.540 Rupiah/ha [16],
- B = Pendapatan bersih produksi palawija (Rp/ha) Keuntungan bersih 4.188.390 Rupiah/ha [16],
- X₁ = Luas areal tanam padi MT-I (ha),
- X₂ = Luas areal tanam palawija MT-I (ha),
- X₃ = Luas areal tanam padi MT-II (ha),
- X₄ = Luas areal tanam Palawija MT-II (ha),
- X₅ = Luas areal tanam padi MT-III (ha),
- X₆ = Luas areal tanam palawija MT-III (ha).

Fungsi kendala:

$$\text{Vol. air MT-I} = A \times X_1 + B \times X_2 \leq v_1 \tag{15}$$

$$\text{Vol. air MT-II} = A \times X_1 + B \times X_2 \leq v_2 \tag{16}$$

$$\text{Vol. air MT-III} = A \times X_1 + B \times X_2 \leq v_3 \tag{17}$$

$$\text{Luas tanam MT-I} = X_1 + X_2 \leq X_t \tag{18}$$

$$\text{Luas tanam MT-II} = X_3 + X_4 \leq X_t \tag{19}$$

$$\text{Luas tanam MT-III} = X_5 + X_6 \leq X_t \tag{20}$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 \geq 0 \tag{21}$$

dimana:

- V₁ = Volume air MT-I (m³),
- V₂ = Volume air MT-II (m³),
- V₃ = Volume air MT-III (m³),
- X_t = Total luas areal tanam tahun ke-n (ha).

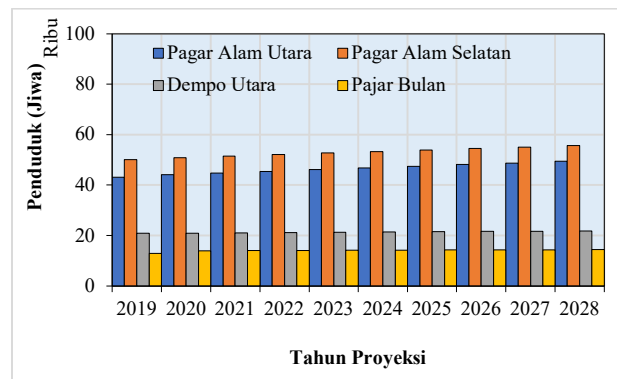
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kebutuhan Air Domestik

Hasil analisis laju pertumbuhan penduduk setiap kecamatan dengan menggunakan ketiga metode diatas didapatkan nilai koefisien determinasi (R²) yang mendekati angka satu dan nilai standar deviasi (SD) terkecil adalah dengan metode Aritmatik untuk kecamatan PAU, PAS, dan DU. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 2 dan proyeksi jumlah penduduk tahun 2020-2028 pada masing-masing kecamatan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tabel 2. Metode Proyeksi Jumlah Penduduk

Metode	Statistik	Kota Pagar Alam			Kab. Lahat
		PAU	PAS	DU	Kec. PB
Aritmatika	R ²	1.00	1.00	0.99	0.59
	SD	173.13	124.16	42.99	1933.89
Geometrik	R ²	0.97	0.97	0.95	0.77
	SD	538.21	470.49	94.15	1531.98
Logaritmik	R ²	0.97	0.97	0.95	0.76
	SD	493.52	440.31	95.84	1571.58



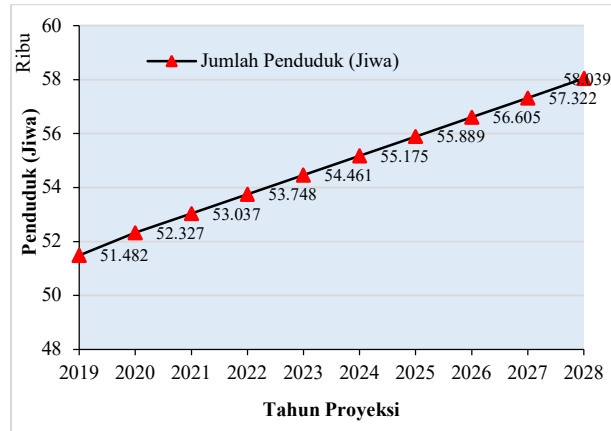
Gambar 1. Grafik Proyeksi Jumlah Penduduk (2019 – 2028)

Perhitungan jumlah kebutuhan air domestik sub-DAS Air Betung didasarkan pada jumlah penduduk yang masuk kedalam sub-DAS.

Persentase batas administrasi masuk kedalam sub-DAS didapatkan dengan mengoverlay peta sub-DAS dengan batas administrasi, hasil dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Gambar 2** proyeksi jumlah penduduk.

Tabel 3. Persentase Luas Kecamatan Masuk sub DAS Air Betung

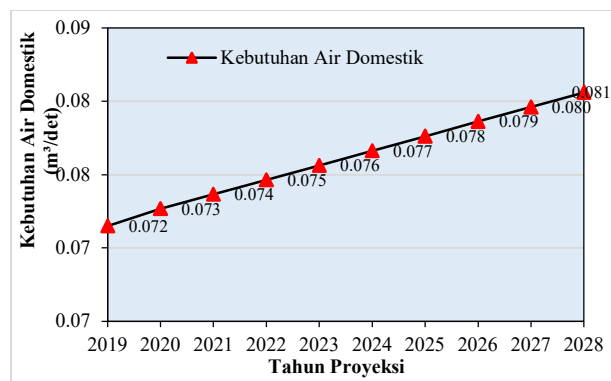
Kecamatan	Administrasi (ha)	Masuk DAS (ha)	Masuk DAS (%)
PAU	4.338,06	3.655,22	84,26
PAS	4.550,68	1.172,49	25,77
DU	10.365,94	340,97	3,29
PB	14.611,00	1.606,32	10,99
Total (Ha)	33.865,68	6.775,01	100,00



Gambar 2. Grafik Proyeksi Penduduk Sub DAS Air Betung

Dari hasil proyeksi jumlah penduduk masuk sub-DAS seperti yang terlihat pada **Gambar 2** maka, perhitungan kebutuhan air domestik sampai tahun proyeksi (2028) dihitung dengan menggunakan standar kebutuhan air bersih sebesar 120 orang/liter/hari (0,00139 liter/detik).

Hasil perhitungan seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3** sebagai berikut.



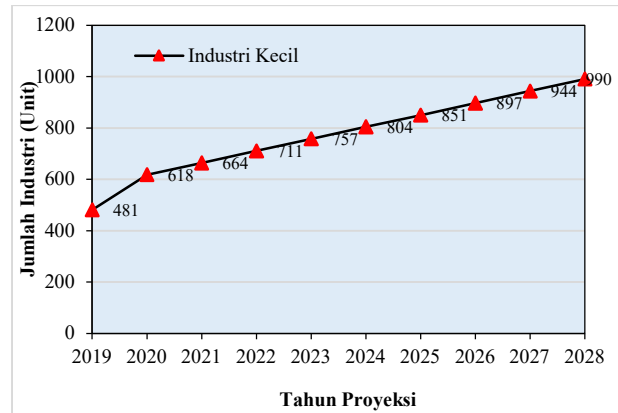
Gambar 3. Grafik Proyeksi Kebutuhan Air Domestik

3.2 Kebutuhan Air Industri

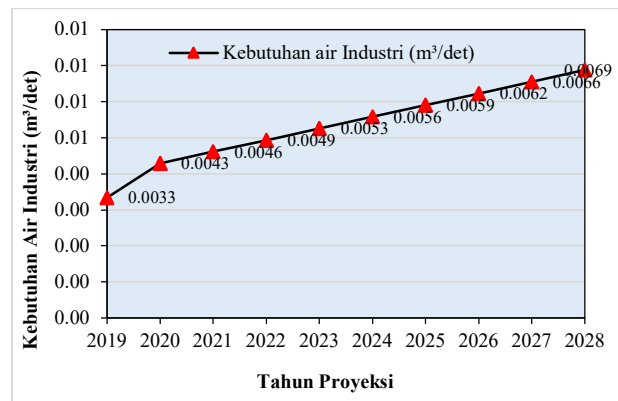
Analisis kebutuhan air industri dihitung berdasarkan data pertumbuhan jumlah industri pada wilayah Kota Pagar Alam

yang mengacu pada Standar Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU (1996).

Hasil proyeksi jumlah industri kecil dapat dilihat pada **Gambar 4**. Kebutuhan air industri diambil sebesar 600 liter/unit/hari (0,0069 liter/detik). Dengan menggunakan nilai tersebut kemudian dikalikan dengan jumlah industri selanjutnya diperoleh besarnya kebutuhan air industri sampai tahun proyeksi seperti yang ditampilkan pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Grafik Proyeksi Jumlah Industri



Gambar 5. Grafik Proyeksi Kebutuhan Air Industri

3.3 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi dihitung dengan mengalikan luas daerah irigasi terhadap besarnya kebutuhan air irigasi disawah (ltr/dtk/ha) [9]. Jumlah kebutuhan air disawah untuk tanaman padi dan palawija didasarkan pada faktor-faktor sebagai berikut:

- (1) Kebutuhan air konsumtif, besarnya kebutuhan ini dipengaruhi oleh nilai koefisien tanaman. Informasi dari para petani setempat serta Dinas Pertanian dan Holtikultura Kota Pagar Alam, jenis tanaman padi sudah memakai padi varietas unggul ini terlihat dalam satu tahun para petani dapat menanam padi sebanyak

dua kali tanam. Tanaman palawija para petani memilih menanam kacang kedelai, sayur-sayuran, dan jagung. Dengan pertimbangan diatas, nilai koefisien tanaman padi menggunakan jenis padi varietas unggul dan tanaman palawija dipilih jenis tanaman jagung,

- (2) Kebutuhan air penyiapan lahan adalah besarnya kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi disawah,
- (3) Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (WLR). Nilai WLR sebesar 50 mm/bulan atau 3.3 mm/hari selama ½ bulan dan selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi. Berdasarkan hal tersebut, nilai WLR diambil sebesar 3.3 mm/hari,
- (4) Perkolasi, nilai perkolasi antara 1-3 mm/hari yang tergantung dari permeabilitas tanah serta kemiringan lahan. Dalam penelitian ini besarnya nilai perkolasi diambil sebesar 2 mm/hari, karena berdasarkan peta jenis tanah dengan melihat tingkat permeabilitas tanah lahan irigasi mempunyai tingkat permeabilitas sedang sampai lambat. Sedangkan jika dilihat dari peta kemiringan lereng sebagian besar lahan irigasi berada pada lahan datar (0% - 8%) sampai landai (8% - 15%),
- (5) Curah hujan efektif, penentuan curah hujan efektif berdasarkan curah hujan bulanan dengan keandalan 80% (Re80),
- (6) Pola Tanam, berdasarkan hasil survei lokasi dan wawancara dengan para petani setempat, awal musim tanam sebagian besar dimulai pada pertengahan bulan Nopember dengan pola tanam padi-padi-palawija,
- (7) Efisiensi Irigasi, Besarnya efisiensi jaringan keseluruhan berkisar 51%-72%, dengan demikian besarnya efisien diambil sebesar 65% [9].

Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, dampak dari pertumbuhan ekonomi dalam wilayah Kota Pagar Alam adalah perubahan penggunaan lahan persawahan dikonversi menjadi penggunaan lahan untuk permukiman. Dari hasil proyeksi luas sawah mengalami penurunan sebesar -2,1%. Hasil proyeksi luas lahan sawah dikecamatan PAU, PAS, DU, dan PB dapat dilihat pada **Gambar 6** dan hasil analisis kebutuhan air irigasi ditahun 2019 dan 2028 dapat dilihat pada **Tabel 4**.

3.4 Ketersediaan Air

Dari hasil pengukuran tinggi muka air pada tanggal 15 Agustus 2020 kemudian dibuat kurva lengkung debit untuk mendapatkan model persamaan matematis. Hasil analisis regresi dan nilai R^2 seperti yang terlihat pada **Gambar 7** dinilai sudah cukup baik (0,74) dan model persamaan tersebut selanjutnya digunakan untuk pengukuran debit air melalui pencatatan tinggi muka air. Pencatatan tinggi muka

air dilaksanakan mulai tanggal 16 Agustus–15 Nopember 2020, data hasil pengukuran debit ditampilkan pada **Gambar 8**. Selanjutnya data tersebut digunakan untuk simulasi hujan –limpasan dengan menggunakan model *F.J. Mock*.

Hasil analisis hubungan antara Q-H dengan mengoptimasi parameter-parameter (Cws, Cds, ISM, SMC, IGWS, dan K) didapatkan nilai koefisien korelasi (R) 0,99 dan *volume error* (VE) 3,37%. Untuk lebih jelasnya ditampilkan pada **Tabel 5** hasil optimasi parameter model Mock Sub DAS Air Betung.

Tabel 4. Kebutuhan Air Irigasi Tahun 2019 dan 2028

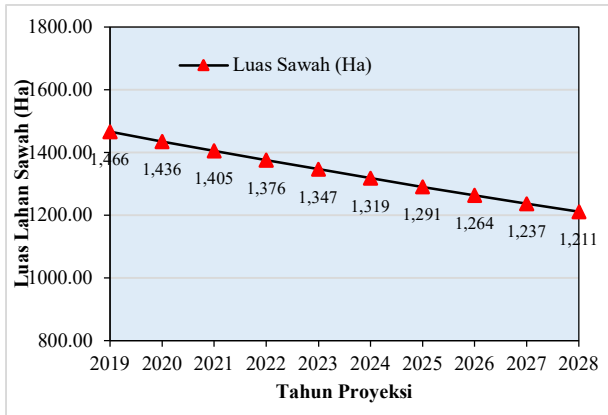
Bulan	Kebutuhan Air Irigasi (m ³ /det)	
	Tahun 2019	Tahun 2028
Jan	1.63	1.13
Feb	1.00	1.03
Mar	2.94	0.07
Apr	2.37	1.40
Mei	1.17	1.86
Jun	0.96	1.27
Jul	0.00	0.65
Agst	0.00	0.00
Sep	0.27	0.21
Okto	0.00	0.00
Nov	2.21	1.26
Des	2.83	2.20

Tabel 5. Hasil Optimasi Parameter Model Mock Di SubDAS Air Betung

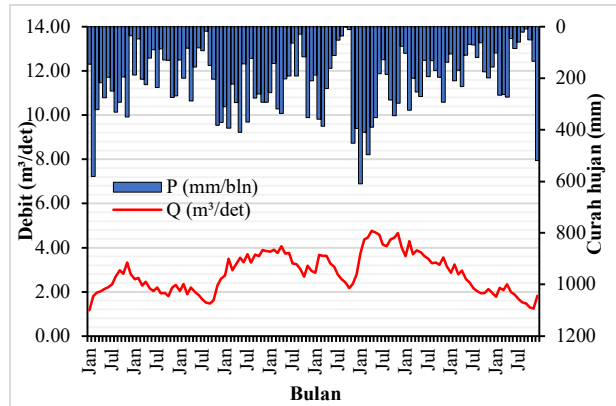
Simbol	Satuan	Nilai Optimasi	Nilai Min	Nilai Maks
A	km ²	67,75	67,75	67,75
Cws	-	0,93	0,10	1,00
Cds	-	0,93	0,10	1,00
ISM	mm	100,28	100,00	500,00
SMC	mm	492,95	100,00	500,00
IGWS	mm	1043,24	1000,00	3000,00
K	-	0,92	0,30	0,99
R	-	0,99		
VE	%	3,37		

Dari **Tabel 5** hasil optimasi parameter model *Mock* pada sungai Air Betung menunjukkan hasil yang sangat baik, ini terlihat dari nilai koefisien korelasi (R) dengan nilai 0,99 serta *volume error* (VE) 3,37%.

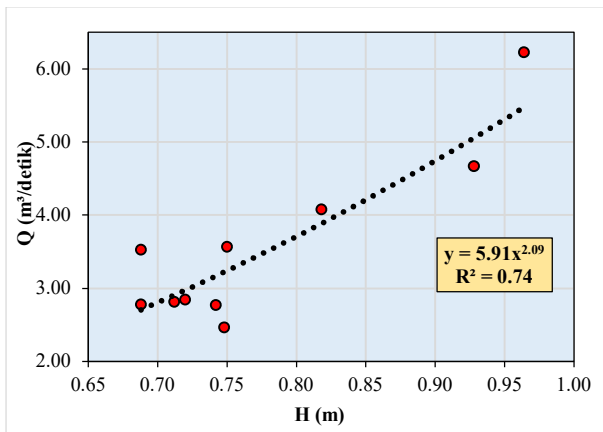
Dengan menggunakan nilai parameter-parameter tersebut kemudian diperoleh data debit sintesis bulanan dan dianalisis keandalan debit 80% guna untuk keperluan pemenuhan kebutuhan air domestik, industri, dan irigasi. Hasil bangkitan data debit sintesis bulanan pada Sub-DAS Air Betung dapat dilihat pada **Gambar 9**. Sedangkan debit andalan 80% dapat dilihat pada **Gambar 10**.



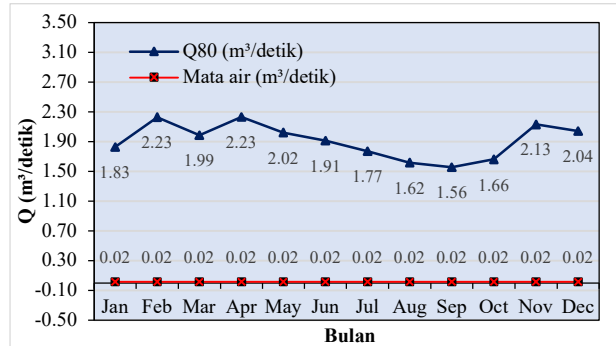
Gambar 6. Grafik Proyeksi Luas Lahan Sawah



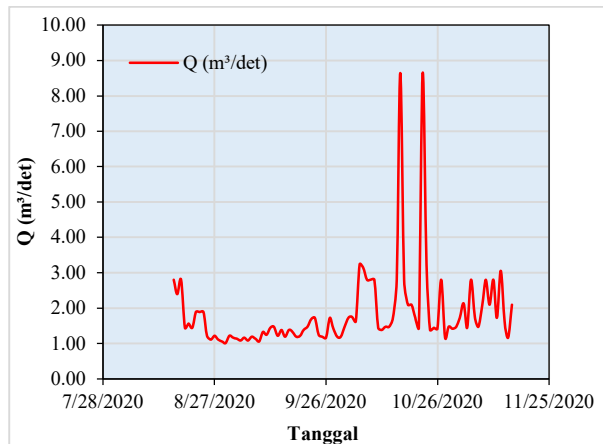
Gambar 9. Grafik Debit Bulanan Sub DAS Air Betung (2019-2020)



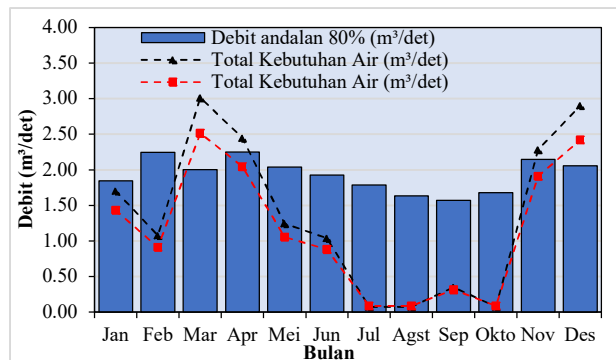
Gambar 7. Grafik Lengkung Debit Sub-DAS Air Betung



Gambar 10. Debit Andalan 80% Sub DAS Air Betung



Gambar 8. Debit Harian (16 Agustus – 15 November 2020) Sub-Das Air Betung



Gambar 11. Neraca Air Sub DAS Air Betung Tahun 2019 dan 2028

3.5 Indeks Kekritisan Air

Berdasarkan analisis neraca air pada tahun 2019 dan tahun 2028 dengan menyandingkan antara ketersediaan air dan total kebutuhan air didapatkan informasi mengenai kelebihan dan kekurangan air ditahun 2019 dan tahun 2028 seperti yang terlihat pada Gambar 11.

Dari neraca air tahun 2019 terjadi kekurangan air dibulan Maret, April, Nopember, dan Desember dengan defisit air beturut-turut sebesar 1,012 m³/detik, 0,199 m³/detik, 0,133 m³/detik, dan 0,844 m³/detik. Sedangkan neraca air ditahun 2028 dibulan Maret 0,513 m³/detik dan Desember 0,247 m³/detik. Tingginya permintaan air dibulan-bulan tersebut dikarenakan air lebih banyak digunakan untuk mengganti lapisan air yang hilang akibat evaporasi dan perkolasi setelah masa penyiapan lahan selesai.

IKA tahun 2019 dengan rentang 75% - 100% Kritis (K) terjadi pada bulan Januari. Rentang >100% Sangat Kritis (SK) terjadi dibulan Maret, April, Nopember, dan Desember. Sedangkan IKA tahun 2028 dengan rentang 75%-100% (K) terjadi dibulan Januari, April, dan Nopember. Rentang >100% (SK) terjadi dibulan Maret dan Desember. Untuk lebih detail berikut ditampilkan **Tabel 6** hasil perhitungan IKA.

Tabel 6. Indek Kekritisn Air Sub DAS Air Betung Tahun 2019 dan 2028

Bulan	Tahun 2019		Tahun 2028	
	IKA (%)	Keterangan	IKA (%)	Keterangan
Jan	92.22	K	77.55	K
Feb	47.96	BK	40.76	BK
Mar	150.57	SK	125.63	SK
Apr	108.85	SK	91.04	K
Mei	61.16	MK	51.77	MK
Jun	53.81	MK	45.77	BK
Jul	4.19	BK	4.89	BK
Agst	4.58	BK	5.36	BK
Sep	22.21	BL	19.98	BK
Okto	4.47	BK	5.22	BK
Nov	106.22	SK	88.92	K
Des	141.01	SK	117.70	SK

3.6 Optimasi Sumber Daya Air Sub DAS Air Betung

Dari hasil analisis neraca air pada tahun 2019 dan 2028 terdapat kekurangan pasokan air untuk memenuhi berbagai kebutuhan air dengan IKA ditahun 2019 dibulan Maret, April, Nopember, dan Desember (sangat kritis) dan ditahun 2028 terdapat dibulan Maret dan Desember (sangat kritis).

Berdasarkan data pengguna kebutuhan air domestik dan industri ditahun 2019–2028 memiliki kecenderungan meningkat ini terlihat dari peningkatan pengguna air dengan persentase 2,37%-3,10% untuk domestik, dan 0,11%-0,26% untuk industri. Sedangkan persentase pengguna air irigasi ditahun 2019–2028 terjadi penurunan dari 97,52% menjadi 96,64% dikarenakan berkurangnya lahan persawahan. Dari permasalahan diatas, perlu dilakukannya optimasi sumber

daya air pada sub-DAS Air Betung untuk memenuhi berbagai kebutuhan air ditahun 2019 dan 2018.

Adapun persamaan optimasi SDA untuk alokasi air dengan menggunakan aplikasi *QM-for Windos* adalah.

Persamaan optimasi SDA alokasi air tahun 2019.

Fungsi tujuan:

$$\text{MAX} = 0,375 * X_{11} + 0,865 * X_{12} + 0,100 * X_{13}$$

Fungsi kendala:

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.844,15$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.241,74$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.001,77$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.246,87$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.036,13$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.926,61$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.787,89$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.633,10$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.570,91$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.675,22$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.146,52$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.057,72$$

$$X_{11} + X_{21} \leq 51482$$

$$X_{12} + X_{22} \leq 481$$

Persamaan optimasi SDA alokasi air tahun 2028.

Fungsi tujuan:

$$\text{MAX} = 0,375 * X_{11} + 0,865 * X_{12} + 0,100 * X_{13}$$

Fungsi kendala:

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.844,15$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.241,74$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.001,77$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.246,87$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.036,13$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.926,61$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.787,89$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.633,10$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.570,91$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 1.675,22$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.146,52$$

$$0.00139 * X_{11} + 0.0069 * X_{12} + 2 * X_{13} \leq 2.057,72$$

$$X_{11} + X_{21} \leq 58039$$

$$X_{12} + X_{22} \leq 990$$

Hasil optimasi SDA Sub DAS Air Betung untuk memenuhi kebutuhan air domestik, industri, dan irigasi (pola tanam padi-padi-palawija) dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Dari **Tabel 7**, kebutuhan air domestik dan industri tahun 2019 dan 2028 100% dipenuhi. Namun, luas lahan irigasi yang dapat diairi hanya sebesar 747,76 ha (2019) dan 741,41 ha (2028) sedangkan sisanya harus mendapatkan suplai dari sumber-sumber air lain dengan keuntungan maksimum hasil

optimasi diperoleh sebesar Rp 19.796,59 ditahun 2019 dan Rp 22.695,12 ditahun 2028.

Tabel 7. Alokasi Air Sub DAS Air BetungTahun 2019 dan Tahun 2028

Pengguna Air	Alokasi Air	
	2019	2028
Domestik (orang)	51.482,00	58.039,00
Industri (Unit)	481,00	990,00
Irigasi (Ha)	747,76	741,41
<i>Optimal Value (Z)</i>	Rp.19.796,59	Rp. 22.695,12

Tabel 8. Volume Keandalan Air untuk Suplai Air Irigasi

Bulan	Periode	Volume Air (m ³)
Jan	1	1.146.510
	2	1.222.944
Feb	1	1.404.149
	2	1.216.929
Mar	1	1.248.649
	2	1.331.893
Apr	1	1.407.471
	2	1.407.471
Mei	1	1.270.916
	2	1.355.644
Juni	1	1.199.942
	2	1.199.942
Juli	1	1.110.053
	2	1.184.056
Agust	1	1.009.753
	2	1.077.070
Sept	1	969.450
	2	969.450
Okto	1	1.037.044
	2	1.106.180
Nop	1	1.342.444
	2	1.342.444
Des	1	1.284.904
	2	1.370.564

Dari hasil optimasi tersebut, masih terdapat lahan irigasi yang tidak dapat disuplai oleh ketersediaan air Sub DAS Air Betung sebesar 718,68 ha (2019) dan 469,65 ha (2028) sehingga, untuk memenuhi berbagai kebutuhan air dengan keterbatasan sumber daya air perlu dibuat prioritas penggunaan air yang bertujuan untuk pemerataan penggunaan air secara proporsional, prioritas tersebut adalah:

1. Prioritas 1 kebutuhan air domestik harus tetap dipenuhi sepanjang tahun,
2. Prioritas 2 kebutuhan air industri harus tetap dipenuhi sepanjang tahun,

3. Prioritas 3 kebutuhan air irigasi dipenuhi dengan menggunakan sisa debit dari penggunaan air domestik dan industri.

Sisa ketersediaan air dari penggunaan air domestik dan industri untuk penggunaan air irigasi yang dikonversi menjadi volume air dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Dengan ketersediaan air yang tersedia, selanjutnya digunakan untuk mengairi luas lahan yang dapat ditanami dengan mengoptimalkan volume air, merubah jadwal tanam, dan pola tata tanam disawah. Simulasi dan optimasi dilakukan dengan mengkombinasikan luas lahan tanaman dan jenis tanaman pada setiap musim tanam yang bertujuan untuk memperoleh luasan optimum pada setiap jenis tanaman disetiap musim tanam serta memberikan nilai keuntungan maksimum bagi para petani. Untuk rencana awal tanam adalah sebagai berikut:

1. Awal tanam 15 Oktober (MT-I Padi-Palawija) – (MT-II Padi-Palawija) – (MT-III Padi-Palawija),
2. Awal tanam 1 Nopember (MT-I Padi-Palawija) – (MT-II Padi-Palawija) – (MT-III Padi-Palawija),
3. Awal tanam 15 Nopember (MT-I Padi-Palawija) – (MT-II Padi-Palawija) – (MT-III Padi-Palawija),
4. Awal tanam 1 Desember (MT-I Padi-Palawija) – (MT-II Padi-Palawija) – (MT-III Padi-Palawija),
5. Awal tanam 15 Desember (MT-I Padi-Palawija) – (MT-II Padi-Palawija) – (MT-III Padi-Palawija).

Tabel 9. Volume Kebutuhan Air Irigasi

Jadwal Tanam	Musim Tanam	Vol. Air Irigasi (m ³ /ha)	Musim Tanam	Vol. Air Irigasi (m ³ /ha)
15 Okto	Padi I	7.330,80	Palawija I	931,85
	Padi II	5.795,81	Palawija II	239,33
	Padi III	12.160,71	Palawija III	2.405,48
1 Nop	Padi I	9.700,14	Palawija I	1.199,57
	Padi II	8.545,61	Palawija II	667,88
	Padi III	12.155,99	Palawija III	2.326,46
15 Nop	Padi I	9.876,02	Palawija I	4.228,97
	Padi II	8.837,25	Palawija II	2.926,14
	Padi III	12.225,51	Palawija III	6.160,85
1 Des	Padi I	10.279,06	Palawija I	4.248,51
	Padi II	8.915,62	Palawija II	3.453,94
	Padi III	11.827,27	Palawija III	5.766,60
15 Des	Padi I	10.459,94	Palawija I	4.391,89
	Padi II	9.697,57	Palawija II	3.734,21
	Padi III	14.253,47	Palawija III	4.932,38

Volume air irigasi didapatkan dari hasil perhitungan kebutuhan air irigasi (liter/detik/ha) kemudian dikonversi

dalam satuan m³/ha. Hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Simulasikan dan optimasi SDA menggunakan aplikasi *QM for Windows* menggunakan data volume air (m³), kebutuhan air irigasi (m³/ha) jadwal tanam, pola tata tanam disawah, dan keuntungan bersih (Rp/ha) untuk tanaman padi sawah dan palawija. Berikut ditampilkan contoh persamaan optimasi untuk jadwal tanam tanggal 15 Oktober ditahun 2019 dan 2028. Rekapitulasi hasil optimasi dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Hasil Optimasi Kelima Alternatif Jadwal Tanam Ditahun 2019 dan 2028

Jadwal tanam	Musim Tanam	2019			Nilai Optimal (juta)
		Luas Tanam (ha)		Total (ha)	
		Padi	Palawija		
15 Okto	MT-I	1.384	83	1.466	Rp21.095
	MT-II	1.466	0	1.466	
	MT-III	629	837	1.466	
1 Nop	MT-I	1.008	458	1.466	Rp19.521
	MT-II	1.199	268	1.466	
	MT-III	514	953	1.466	
15 Nop	MT-I	715	752	1.466	Rp19.521
	MT-II	1.014	453	1.466	
	MT-III	0	1.411	1.411	
1 Des	MT-I	663	804	1.466	Rp19.697
	MT-II	928	538	1.466	
	MT-III	66	1.401	1.466	
15 Des	MT-I	644	822	1.466	Rp19.625
	MT-II	715	752	1.466	
	MT-III	203	1.263	1.466	
Jadwal tanam	Musim Tanam	2028			Nilai Optimal (juta)
		Luas Tanam (ha)		Total (ha)	
		Padi	Palawija		
15 Okto	MT-I	1.211	0	1.211	Rp17.606
	MT-II	1.211	0	1.211	
	MT-III	692	519	1.211	
1 Nop	MT-I	1.044	167	1.211	Rp17.388
	MT-II	1.211	0	1.211	
	MT-III	574	637	1.211	
15 Nop	MT-I	906	305	1.211	Rp16.943
	MT-II	1.140	71	1.211	
	MT-III	204	1.008	1.211	
1 Des	MT-I	843	368	1.211	Rp16.936
	MT-II	1.090	121	1.211	
	MT-III	309	902	1.211	
15 Des	MT-I	829	382	1.211	Rp16.784
	MT-II	875	336	1.211	
	MT-III	339	873	1.211	

15 Oktober 2019

Fungsi tujuan:

$$Z = (4.955.540 \cdot X_1) + (4.188.390 \cdot X_2) + (4.955.540 \cdot X_3) + (4.188.390 \cdot X_4) + (4.955.540 \cdot X_5) + (4.188.390 \cdot X_6)$$

Fungsi kendala:

$$7.330,80 \cdot X_1 + 931,85 \cdot X_2 \leq 10.220.138,84$$

$$5.795,81 \cdot X_3 + 239,33 \cdot X_4 \leq 10.438.915,62$$

$$12.160,71 \cdot X_5 + 2.405,48 \cdot X_6 \leq 9.662.997,71$$

$$X_1 + X_2 \leq 1.466,44$$

$$X_3 + X_4 \leq 1.466,44$$

$$X_5 + X_6 \leq 1.466,44$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, X_4 \geq 0, X_5 \geq 0, \text{ dan } X_6 \geq 0$$

15 Oktober 2028

Fungsi tujuan:

$$Z = (4.955.540 \cdot X_1) + (4.188.390 \cdot X_2) + (4.955.540 \cdot X_3) + (4.188.390 \cdot X_4) + (4.955.540 \cdot X_5) + (4.188.390 \cdot X_6)$$

Fungsi kendala:

$$7.330,80 \cdot X_1 + 931,85 \cdot X_2 \leq 10.220.138,84$$

$$5.795,81 \cdot X_3 + 239,33 \cdot X_4 \leq 10.438.915,62$$

$$12.160,71 \cdot X_5 + 2.405,48 \cdot X_6 \leq 9.662.997,71$$

$$X_1 + X_2 \leq 1.211,06$$

$$X_3 + X_4 \leq 1.211,06$$

$$X_5 + X_6 \leq 1.211,06$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, X_4 \geq 0, X_5 \geq 0, \text{ dan } X_6 \geq 0$$

Hasil optimasi diperoleh nilai keuntungan maksimum sebesar Rp. 21.094.980.000 ditahun 2019 dan Rp. 17.606.110.000 ditahun 2028 terletak pada awal tanam tanggal 15 Oktober dengan total intensitas tanam sebesar 300% dengan pola tanam menerapkan MT-I Padi 1.211 ha – Palawija 0 ha, MT-II Padi 1.211 ha – Palawija 0 ha, dan MT-III Padi 692 ha – Palawija 837 ha.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis neraca air ditahun 2019 terjadi defisit air terdapat dibulan Maret, April, Nopember, dan Desember beturut-turut sebesar 1,012 m³/detik, 0,199 m³/detik, 0,133 m³/detik, dan 0,844 m³/detik. Sedangkan ditahun 2028 dibulan Maret 0,513 m³/detik dan Desember sebesar 0,247 m³/detik. Tingginya permintaan air dibulan-bulan tersebut karena air lebih banyak digunakan untuk mengganti lapisan air yang hilang akibat evaporasi dan perkolasi setelah masa penyiapan lahan selesai.

IKA>100% (SK) terjadi dibulan Maret, April, Nopember, dan Desember. Sedangkan ditahun 2028 IKA>100% (SK) terjadi dibulan Maret dan Desember.

Hasil simulasi dan optimasi SDA Sub DAS Air Betung dengan aplikasi *QM for Windows* diperoleh, ketersediaan air mampu menyuplai 100% kebutuhan air domestik dan industri sedangkan air irigasi hanya sebesar 50,99 % ditahun 2019 dan 61,22 % ditahun 2028. Hasil menerapkan kelima jadwal

tanam dikombinasikan dengan jenis tanaman pada setiap musim tanam terhadap luas lahan irigasi dan memanfaatkan volume air yang tersedia diperoleh awal tanam yang paling optimal adalah tanggal 15 Oktober dengan nilai optimal sebesar Rp. 17.606.000.000,00. Adapun luas MT-I (Padi 1.211 ha – Palawija 0 ha), MT-II (Padi 1.211 ha – Palawija 0 ha), dan MT-III (Padi 692 ha – Palawija 519 ha)

Daftar Pustaka

- [1] E. Rochaida, “Dampak Pertumbuhan Penduduk Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Dan Keluarga Sejahtera Di Provinsi Kalimantan Timur,” *Forum Ekonomi*, vol. 18, no. 1, pp. 14–24, 2016.
- [2] I. Indarto, *Hidrologi: Metode Analisis dan Tool untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai*. 2016.
- [3] A. Dinata, D. D. A. Putranto, and S. Sarino, “Manajemen Pemenuhan Kebutuhan Air Berdasarkan Pola Ruang Rtrw Kota Pagar Alam,” in *Simposium II UNIID 2017*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 145–152, [Online]. Available: <http://conference.unsri.ac.id/index.php/uniid/article/viewFile/573/186>.
- [4] A. Ahmad, A. El-Shafie, S. F. Mohd Razali, and Z. S. Mohamad, “Reservoir optimization in water resources: A review,” *Water Resources Management*, vol. 28, no. 11, pp. 3391–3405, 2014, doi: 10.1007/s11269-014-0700-5.
- [5] A. A. Musa, “Goal programming model for optimal water allocation of limited resources under increasing demands,” *Environment, Development and Sustainability*, no. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s10668-020-00856-1.
- [6] M. Kazemi, O. Bozorg-Haddad, E. Fallah-Mehdipour, and H. A. Loáiciga, “Inter-basin hydropolitics for optimal water resources allocation,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, no. 7, 2020, doi: 10.1007/s10661-020-08439-3.
- [7] S. Ginting, D. Rahmadani, and A. H. Indarta, “Optimasi Pemanfaatan Air Embung Kasih Untuk Domestik Dan Irigasi Tetes Optimizing Water Utilization Of Kasih Retention Basin For Domestic Use And Drip Irrigation,” *Jurnal Irigasi*, vol. 13, no. 1, pp. 41–54, 2018.
- [8] R. S. B. Wasposito, S. Komariah, and V. A. K. Dewi, “Optimasi Sumberdaya Air dengan Program Linear (Linear Programming) di DAS Cicatih, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat,” *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 7, no. 3, pp. 179–184, 2019.
- [9] Kementrian PU, *Standar Perencanaan Irigasi KP-01*. Jakarta, 2013.
- [10] L. M. Limantara, “Analisa Keandalan Tampung Waduk di Embung Tambak Pocok Bangkalan,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 23, no. 2, pp. 127–134, 2016, doi: 10.5614/jts.2016.23.2.5.
- [11] I. Indarto, *Hidrologi Dasar Teori Dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: PT. Bumi Aksara, 2010.
- [12] S. (Department of T. A. and I. C. Chandra, R. Lee, Chin-yu (Department of Soil and Water Conservation Engineering, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan, and P. (Department of T. A. and I. C. Miky, “Hydrologic Modeling for Tropical Watershed Monitoring and Evaluation,” *American Journal of Engineering Research (AJER)*, vol. 5, no. 11, pp. 36–42, 2016, [Online]. Available: www.ajer.org.
- [13] L. M. Limantara, *Rekayasa Hidrologi*, Edisi Revi. Malang: ANDI, 2018.
- [14] Departemen Kehutanan, *Pedoman Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai*. Indonesia, 2009, pp. 1–89.
- [15] Kementrian PUPR, *Tentang Penetapan Harga Dasar Air Permukaan*. Indonesia, 2019, pp. 1–6.
- [16] BPS, “Nilai Produksi dan Biaya Produksi per Musim Tanam per Hektar Budidaya Tanaman Padi Sawah, Padi Ladang, Jagung, dan Kedelai, 2017,” 2017. <https://www.bps.go.id/statictable/2019/04/10/2055/nilai-produksi-dan-biaya-produksi-per-musim-tanam-per-hektar-budidaya-tanaman-padi-sawah-padi-ladang-jagung-dan-kedelai-2017.html>.

Halaman ini sengaja dikosongkan