

Studi Alokasi Kebutuhan Air Pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang Akibat Alih Fungsi Lahan

Water Supply Allocation Study in Batang Tingkarang Irrigation Area Due to Land Function

Andrizky¹, Bambang Istijono², Ahmad Junaidi³

Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Andalas

²⁾ Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas

¹⁾ andrizkyatmar@gmail.com

Naskah Masuk : 13-11-2017 Naskah diterima: 20-11-2017 Naskah disetujui: 16-12-2017

Abstract

Batang Tingkarang Irrigation Area is an Irrigation Area authorized by West Sumatera province located in Kabupaten Pasaman with functional area of 1,419 Ha. In recent years there has been a tendency from farmers to turn their agricultural lands into fishponds. By the change of this function, hence the requirement of water will also increase, so that there is need to study about allocated water requirements at Batang Tingkarang Irrigation Area. Water demand analysis was done by comparing the dependable flow with its needs. The need for irrigation flow was analyzed by assumption that simultaneous planting season without rotation. The analysis used 8 planting alternatives and land use combinations, which were : rice-rice-rice (without fish pond), rice-rice-rice + fish, rice-rice-palawija + fish, and fish (without rice). As the results, the irrigation system was able to meet the water needs with rice-rice-rice cropping pattern if there was no land functional conversion. Excess water in this pattern can serve the land functional conversion into a fish pond with maximum of 47.99 Ha. When the cropping pattern was converted into rice-rice-palawija, the area of the pond in to 169.48 Ha. By prioritizing the use of land to be converted into fish pond as much as possible, irrigation system could serve a maximum of 316.17 Ha of land functional conversion into fish ponds.

Keywords : Land functional conversion, Cropping pattern, Dependable flow.

Abstrak

Daerah Irigasi Batang Tingkarang merupakan Daerah Irigasi kewenangan provinsi Sumatera Barat yang terletak di kabupaten Pasaman dengan luas fungsional sebesar 1.419 Ha. Dalam beberapa tahun terakhir terdapat kecenderungan dari para petani untuk mengubah lahan pertaniannya menjadi kolam ikan. Dengan adanya perubahan fungsi lahan ini maka kebutuhan air akan meningkat pula, sehingga diperlukan kajian mengenai alokasi kebutuhan air pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang. Analisa kebutuhan air dilakukan dengan membandingkan debit andalan dengan kebutuhannya. Kebutuhan debit irigasi dianalisa dengan asumsi musim tanam serentak tanpa golongan. Analisa tersebut menggunakan 8 alternatif musim tanam dan kombinasi tata guna lahan antara lain : padi-padi-padi (tanpa kolam ikan), padi-padi-padi + ikan-ikan, padi-padi-palawija + ikan-ikan, dan ikan-ikan (tanpa padi). Dari analisa yang dilakukan, sistem irigasi mampu memenuhi kebutuhan air dengan pola tanam padi-padi-padi apabila tidak terdapat alih fungsi lahan. Kelebihan air pada pola tersebut dapat melayani alih fungsi lahan menjadi kolam ikan maksimal sebesar 47,99 Ha. Apabila pola tanam diubah menjadi padi-padi-palawila, luas kolam meningkat menjadi 169,48 Ha. Dengan memprioritaskan penggunaan lahan untuk dialihfungsikan menjadi kolam ikan sebanyak-banyaknya, sistem irigasi dapat melayani maksimal 316,17 Ha alih fungsi lahan menjadi kolam ikan.

Kata kunci : Alih fungsi lahan, Pola tanam, Debit andalan

PENDAHULUAN

Latar belakang

Indonesia sebagai negara agraris yang sebagian besar penduduknya hidup sebagai petani. Pembangunan prasarana dibidang irigasi menjadi prioritas dalam setiap program pembangunan dalam rangka mengangkat derajat kehidupan petani serta mendukung penyediaan pangan nasional. Hal itu dapat terlihat dari banyaknya prasarana pengairan yang telah dan sedang dibangun dan hingga saat ini tetap mendapat perhatian yang cukup besar dari pemerintah. Disamping pembangunan prasarana pengairan tersebut, diperlukan usaha untuk meningkatkan hasil pertanian dengan mengoptimalkan fungsi lahan yang ada agar produksi yang dihasilkan maksimal maka berbagai upaya tambahan diperlukan, diantaranya adalah meningkatkan intensitas tanam pada lahan pertanian.

Para petani di kabupaten Pasaman sebagai pemilik lahan pertanian, mengolah lahan pertaniannya tidak lagi sesuai dengan pola pertanian yang telah disepakati bersama, yaitu pola padi – padi – palawija. Perubahan pola pertanian tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis komoditas yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Pada era otonomi, pemerintah sudah tidak bisa lagi melakukan penyeragaman pola tanam, akan tetapi berdasarkan aspirasi dari petani, pemerintah

menyusun pola tanam dan melakukan pelayanan pada bidang irigasi.

Pada awalnya Daerah Irigasi Batang Tingkarang direncanakan hanya untuk produksi beras dengan luas fungsional sebesar 1.419 Ha.. Berdasarkan data Profil Sosial, Ekonomi, Kelembagaan dan Teknik (PSETK) Daerah Irigasi Batang Tingkarang, 572 Ha lahan sawah pada areal D.I Batang Tingkarang telah mengalami alih fungsi lahan menjadi kolam ikan. Produksi beras dan kolam ikan dari D.I Batang Tingkarang sama pentingnya dan merupakan komoditi andalan dimana telah memasok kebutuhan kabupaten / kota di Sumatera Barat bahkan sampai ke provinsi Sumatera Utara dan Riau.

Permasalahan lapangan timbul karena perubahan peruntukan air irigasi dimana sebelumnya hanya untuk produksi beras berkembang menjadi produksi kolam ikan. Kondisi ini telah menimbulkan konflik kepentingan pemakaian air antara petani padi dengan petani kolam ikan. Sementara itu antara produksi beras dan ikan sama penting dan utama bagi daerah. Disamping itu kondisi ketersediaan air dan infrastruktur pada situasi sekarang sudah tidak dapat mendukung kebutuhan air sepenuhnya.

Kolam ikan banyak mempengaruhi pola pemberian air karena sangat banyak membutuhkan air. Perubahan fungsi lahan ini (dari sawah menjadi perikanan) menyebabkan

meningkatnya kebutuhan air, sehingga diperlukan kajian mengenai alokasi air. Hasil kajian ini, diharapkan akan menghasilkan suatu usulan atau rekomendasi mengenai beberapa usulan mengenai alternatif solusi dari kondisi yang ada khususnya mengenai sistem distribusi air irigasi untuk sawah dan kolam ikan.

Gambaran Umum Daerah Irigasi Batang Tingkarang

Daerah Irigasi Batang Tingkarang pada awalnya terbagi atas 5 Daerah Irigasi yaitu D.I Banda Gadang, D.I Tarung-tarung, D.I Mudiak Tanjung, D.I Padang Mentigi dan D.I Tingkarang Lama. Bendung Banda Gadang dibangun pada tahun 1984 oleh PT. LUSI – Lubuk Sikaping dengan nama Banda Goduang. Pada waktu itu bangunannya masih bersifat semi permanen berupa konstruksi beronjong dan mempunyai bangunan bagi sebanyak 5 (lima) buah. Begitu juga dengan Bendung Mudiak Tanjung yang dibangun pada tahun 1989, juga masih bersifat semi permanen. Pada tahun 1991 dilakukan penggabungan 5 Daerah Irigasi tersebut menjadi satu Daerah Irigasi yaitu D.I Batang Tingkarang.

Daerah Irigasi Batang Tingkarang berada pada aliran sungai Batang Tingkarang dan sungai Maroken yang mengairi lahan pertanian dengan luas baku 2.326 Ha (berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No

14/PRT/M/2015) dan luas fungsional 1.419 Ha (berdasarkan PSETK D.I Batang Tingkarang) yang berada pada nagari Tarung-tarung dan Langsat Kadap. Dari luas fungsional tersebut, sebanyak 572 Ha dimanfaatkan sebagai kolam ikan. Dengan demikian luas areal sawah yang tidak diperuntukkan untuk kolam ikan adalah 847 Ha.

Masyarakat petani di nagari Tarung-tarung umumnya tidak memakai masa tanam serentak kecuali untuk sebagian petani di daerah hulu. Hal ini disebabkan ketersediaan air yang tidak mencukupi. Masyarakat petani di daerah hulu akan melakukan masa tanam serentak jika air sudah mencukupi untuk mengairi lahan pertanian mereka. Jika air tidak mencukupi maka dilakukan penggiliran air. Sedangkan untuk daerah tengah dan hilir, hanya petani yang mendapatkan air yang bisa bertanam, sedangkan petani yang tidak mendapat air akan beralih menanam palawija, bahkan ada yang tidak melakukan aktivitas cocok tanam sama sekali.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari kajian ini antara lain :

1. Mengetahui ketersediaan air pada sistem irigasi existing apabila tidak ada alih fungsi lahan menjadi kolam ikan.
2. Mengetahui luas area kolam maksimal yang dapat dilayani oleh sistem irigasi

apabila menggunakan pola tanam padi-padi-padi.

3. Mengetahui luas area kolam maksimal yang dapat dilayani oleh sistem irigasi apabila menggunakan pola tanam padi-padi-palawija.
4. Mengetahui luas area kolam maksimal yang dapat dilayani oleh sistem irigasi apabila tidak ada tanaman padi.

Lokasi Kajian

Daerah Irigasi Batang Tingkarang berada di Kabupaten Pasaman. Secara Geografis Daerah Irigasi tersebut terletak antara berada pada posisi $01^{\circ} 41' 48''$ LS - $01^{\circ} 48' 48''$ LS dan $100^{\circ} 40' 46''$ BT – $100^{\circ} 59' 54''$ BT dan berjarak + 55 Km dari ibukota Kabupaten Pasaman atau + 230 Km dari kota Padang (Ibukota Propinsi Sumatera Barat), Adapun Kecamatan yang diiri Daerah Irigasi Tingkarang meliputi Kecamatan Rao, Kecamatan Padang Gelugur dan Kecamatan Rao Selatan.

Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

a. Lingkup Kajian

Yang dibahas dalam penulisan ini adalah :

- (1) Analisa hidrologi
- (2) Identifikasi ketersediaan air atau debit andalan

(3) Identifikasi kebutuhan air yang ada dengan pola tanam serentak tanpa golongan

(4) Alternatif kebutuhan air dengan kombinasi penggunaan tata guna lahan antara lain :

- padi-padi-padi (tanpa kolam ikan)
- padi-padi-padi + ikan-ikan
- padi-padi-palawija + ikan-ikan
- ikan-ikan (tanpa padi)

b. Data yang digunakan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

(1) Data primer berupa kuesioner dan wawancara ketua GP3A dan Juru Pengairan Daerah Irigasi Batang Tingkarang untuk mengetahui latar belakang, sistem distribusi air kolam, permasalahan sosial yang terjadi di lapangan serta parameter teknis yang digunakan untuk perhitungan kebutuhan air kolam ikan.

(2) Data sekunder, antara lain :

- Data Curah Hujan yang diperoleh dari UPTD Balai PSDA Wilayah Bukittinggi.
- Data Klimatologi yang diperoleh dari UPTD Balai PSDA Wilayah Bukittinggi.
- Peta hasil inventarisasi jaringan irigasi pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang yang diperoleh dari Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat.

- Profil Sosial, Ekonomi, Kelembagaan dan Teknik (PSETK) Daerah Irigasi Batang Tingkarang yang diperoleh dari BAPPEDA kabupaten Pasaman.
- Data publikasi BPS.

METODOLOGI

Pengumpulan Data

Data-data yang dipergunakan dalam penelitian ini mencakup 2 jenis, yaitu :

1. Data Sekunder, yaitu data yang diperoleh dalam bentuk dokumen yang dikumpulkan dan diolah oleh pihak lain dalam bentuk publikasi. Data sekunder meliputi data-data yang berhubungan dengan penelitian, antara lain data penelitian terdahulu, peta dasar / citra, data Daerah Irigasi, data curah hujan dan klimatologi pada 20 tahun terakhir, data Profil Sosial Ekonomi, Teknik dan Kelembagaan (PSETK) D.I Batang Tingkarang dan publikasi BPS.
2. Data Primer, yaitu data yang diperoleh dari hasil observasi lapangan dengan melakukan wawancara langsung terhadap ketua GP3A dan juru pengairan Daerah Irigasi Batang Tingkarang.

Analisis Data

Data yang telah terkumpul dianalisis sedemikian rupa guna memudahkan pelaksanaan penelitian. Luas daerah

tangkapan air (*catchment area*) diperoleh dengan cara digitasi peta dasar dengan bantuan software Map Info. Data curah hujan dan klimatologi harian 20 tahun terakhir direkapitulasi menjadi data per tengah bulanan rata-rata. Data pola tanam, intensitas tanam dan produktifitas lahan diperoleh dari Profil Sosial Ekonomi, Teknik dan Kelembagaan (PSETK) D.I Batang Tingkarang dan publikasi BPS. Parameter-parameter mengenai pengelolaan kolam ikan diperoleh berdasarkan wawancara langsung terhadap ketua GP3A dan juru pengairan Daerah Irigasi Batang Tingkarang.

Analisis ketersediaan Air

Ketersediaan air dianalisis berdasarkan data curah hujan di lokasi kajian, kemudian dianalisis dengan metoda FJ Mock untuk menghitung debit andalan dari sungai Batang Tingkarang serta menganalisa kapasitas saluran yang ada di lapangan.

Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air irigasi pada kajian ini dimanfaatkan untuk 2 (dua) jenis lahan yaitu sawah dan kolam ikan. Kebutuhan air untuk lahan sawah dihitung dengan metoda yang dikembangkan oleh van de Goor dan Zijlstra (1968). Sedangkan kebutuhan air untuk kolam ikan dihitung berdasarkan hasil wawancara lapangan berdasarkan kaidah teknis yang terdapat pada SNI 6728.1-2015.

Pembahasan serta Kesimpulan dan Rekomendasi

Setelah semua hasil analisis atau perhitungan didapat maka dilakukan pembahasan terhadap hasil tersebut, sehingga didapat suatu kajian terhadap alokasi ketersediaan air pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang dengan berbagai alternatif waktu musim tanam, tata guna

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan untuk analisis hujan efektif pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang adalah data dari stasiun pengamatan hujan Sontang dan Rao dengan data hujan setengah bulanan selama 20 tahun yaitu dari tahun 1997 – 2016.

Data Klimatologi

Pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang stasiun klimatologi terdekat adalah Stasiun Jambak di Kecamatan Lubuk Sikaping yang merupakan stasiun klimatologi milik Balai PSDA Wilayah Bukittinggi, Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat dengan data yang dipakai adalah selama 15 tahun, yaitu dari tahun 2001 – 2015.

A. Penyinaran Matahari (%)

Penyinaran matahari rata-rata bulanan berkisar antara 10,96% sampai dengan 56,81%.

lahan sebagai sawah, kolam ikan dan kombinasi sawah – kolam ikan.

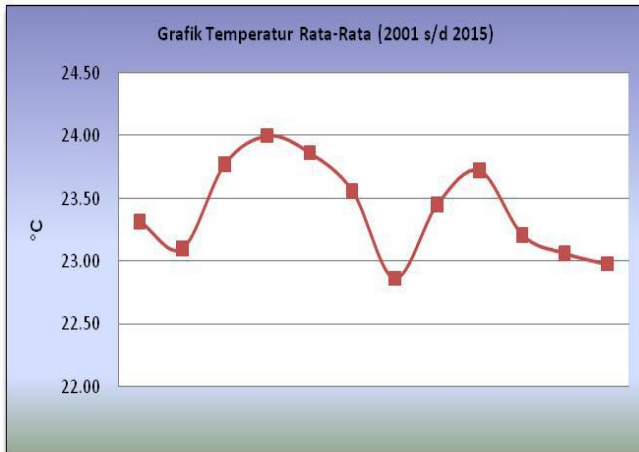
Pembahasan tersebut menghasilkan kesimpulan mengenai kondisi ketersediaan air akibat alih fungsi lahan untuk Daerah Irigasi Batang Tingkarang yang kemudian dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya serta menjadi masukan bagi instansi terkait dalam rangka mengatur sistem pada daerah irigasi dalam rangka meningkatkan produksi pangan. Data rata-rata bulanan penyinaran matahari pada stasiun Jambak tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Grafik Penyinaran Rata-rata Bulanan

B. Temperatur (°C)

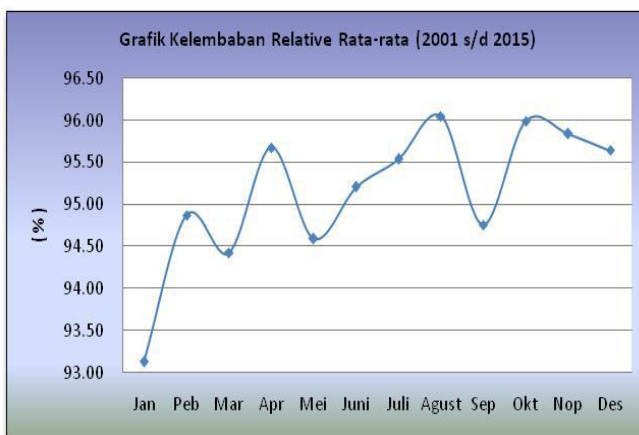
Temperatur bulanan rata-rata berkisar dari 22,86°C sampai dengan 24°C. Data temperatur bulanan rata-rata stasiun Jambak seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Grafik Temperatur Rata-rata Bulanan

C. Kelembaban Relatif (%)

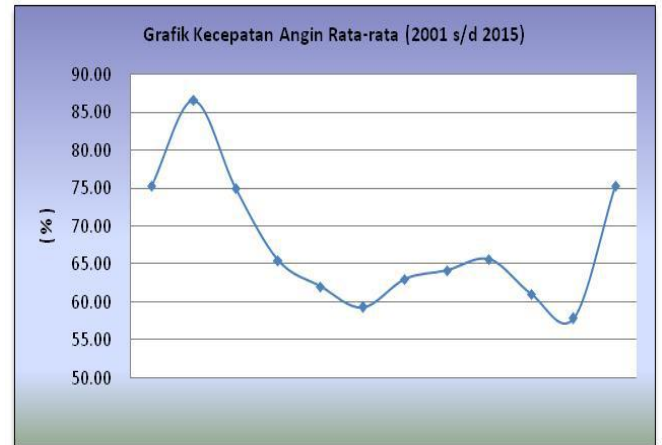
Kelembaban udara bulanan rata-rata berkisar dari 93,13% sampai dengan 96,05%. Data rata-rata bulanan kelembaban udara stasiun klimatologi Jambak tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Grafik Kelembaban Relatif Rata-rata Bulanan

D. Kecepatan Angin (Km/Hari)

Kecepatan angin rata-rata adalah berkisar 57,83 km/hari sampai dengan 86,60 km/hari. Data rata-rata bulanan kecepatan angin stasiun Klimatologi Jambak tersebut ditunjukkan pada dan Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Grafik Kecepatan Angin Rata-rata Bulanan

Identifikasi Daerah Kajian

1. Pola Tanam dan Intensitas Tanam

Pola tanam existing yang dilaksanakan oleh petani padi di Daerah Irigasi Batang Tingkarang adalah padi-padi (dua musim tanam) dalam setahun dengan intensitas 200%, sedangkan untuk kolam ikan juga dua musim tanam dalam setahun dengan intensitas 200%. Setelah dua musim tanam tersebut biasanya diselingi dengan palawija sehingga pola tanamnya menjadi padi-padi-palawija. Jadwal tanam yang dilaksanakan oleh petani sawah dan petani kolam ikan bervariasi, diatur oleh tuo banda (ninik mamak) dan petugas penyuluh perikanan kabupaten pasaman.

2. Produktivitas Lahan

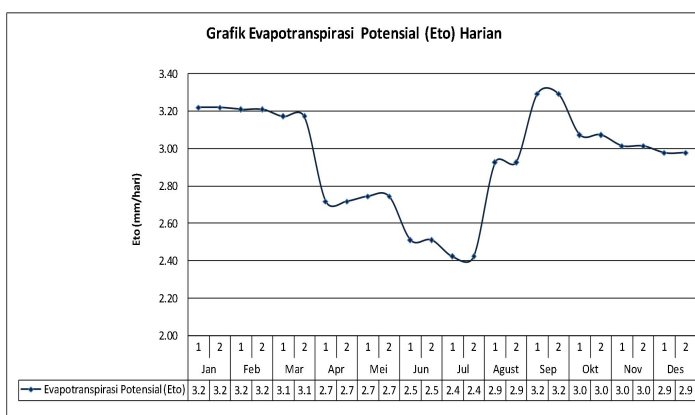
Berdasarkan hasil wawancara dan kuesioner dengan ketua GP3A Daerah Irigasi Batang Tingkarang, produktivitas sawah pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang adalah 4,5 – 6,5 ton/hektar, sedangkan produktivitas kolam ikan mencapai 12 – 16 ton/hektar. Berdasarkan

data publikasi BPS Rao dalam Angka tahun 2016, produktivitas padi sawah adalah 5,64 ton/hektar sedangkan produktivitas kolam ikan mencapai 14,16 ton/hektar. Pada umumnya petani lebih memilih lahannya menjadi kolam ikan dibandingkan sawah karena produktivitas dan nilai ekonomi hasil kolam ikan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan padi. Akan tetapi untuk berkolam ikan memerlukan modal yang lebih tinggi juga dibandingkan dengan menanam padi. Petani yang menanam padi umumnya disebabkan oleh lokasi lahan yang jauh dari saluran irigasi serta kurangnya modal yang dimiliki untuk berkolam ikan.

Analisis Hidrologi

1. Evapotranspirasi (Eto)

Evapotranspirasi tanaman acuan (ET_o) dihitung dengan menggunakan metode Penman Modifikasi. Nilai hasil analisa besarnya evapotranspirasi potensial (Eto) terdapat pada Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5. Grafik Evapotranspirasi Potensial (Eto) Harian

2. Hujan Efektif (Re)

Analisis curah hujan efektif (Re) diperlukan antara lain untuk analisis kebutuhan air, yang dihitung berdasarkan tetapan 70% dari curah hujan tengah bulanan yang terlampaui, untuk menghitung hujan efektif diperlukan data hujan andalan 80% dan 50 %.

Sesuai dengan jenis budidaya tanaman yang akan dianalisis pada suatu daerah irigasi maka perlu memperkirakan besarnya curah hujan efektif. Pada umumnya jenis tanaman yang akan dibudidayakan adalah tanaman padi dan palawija, maka dalam perhitungan dilakukan dengan 2 (dua) kondisi yang berbeda.

Penetapan harga curah hujan efektif tengah bulanan dilakukan dengan menggunakan metode ranking data yang diurutkan dimulai dari yang terkecil sampai terbesar. Setelah diranking dari urutan kecil ke urutan besar, kemudian menentukan pada urutan keberapa data yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan metode Harza Engineering.

$$\begin{aligned}
 n-R_{80} &= (n/5) + 1 \\
 &= (20/5) + 1 \\
 &= 5 \dots\dots\dots \text{pada urutan kelima} \\
 n-R_{50} &= (n/2) + 1 \\
 &= (20/2) + 1 \\
 &= 11 \dots\dots\dots \text{pada urutan kesebelas}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.1. Ranking Curah Hujan Setengah Bulanan Rata-rata

Satuan (mm/hari)

Urutan	Bulan																							
	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agust		Sep		Okt		Nop		Des	
	1-16	16-31	1-16	16-28	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31
1	5.9	16.0	0.0	11.3	13.0	30.2	31.2	0.0	7.3	0.0	10.5	0.0	0.0	4.0	7.5	18.8	27.5	3.6	8.9	23.3	30.5	29.3	20.0	42.2
2	8.3	32.0	15.0	18.6	18.0	40.4	39.2	11.8	9.2	10.9	12.5	6.0	12.0	6.4	15.5	19.3	32.8	4.5	15.0	27.5	31.5	31.0	71.5	49.0
3	35.0	46.6	16.5	19.8	26.5	42.0	62.3	17.2	11.0	12.0	23.8	7.5	15.1	7.5	22.3	19.3	36.5	30.0	32.5	38.7	38.4	62.4	91.8	64.3
4	36.0	47.3	21.0	20.0	32.1	46.5	65.4	24.0	12.0	17.0	24.0	12.0	19.0	12.2	27.0	43.5	42.5	34.0	43.2	62.5	64.3	80.5	92.5	66.5
5	63.0	53.0	21.1	20.7	34.5	56.0	77.0	29.2	12.5	17.5	28.6	15.5	20.5	12.3	27.3	56.0	54.0	38.3	78.3	76.1	68.0	83.8	105.2	80.4
6	70.1	56.6	22.6	25.5	42.8	57.6	79.1	65.7	42.7	23.0	29.5	18.0	24.3	13.8	29.0	64.8	76.5	54.4	82.2	78.5	69.2	100.5	110.0	86.7
7	80.5	61.0	29.5	29.5	48.3	59.0	87.5	67.9	44.0	28.6	47.5	21.9	33.1	23.0	46.0	68.0	81.3	60.2	90.6	81.5	77.1	102.0	127.9	106.3
8	90.0	71.5	39.8	40.8	57.0	62.0	104.6	70.5	62.2	33.2	49.5	23.2	47.5	28.0	61.9	81.0	84.4	61.0	92.0	87.9	77.4	104.3	146.5	120.4
9	93.3	75.0	54.9	55.0	67.3	64.0	111.6	71.0	65.1	40.0	56.3	23.3	50.2	41.0	67.5	83.3	88.9	77.5	92.9	88.5	118.1	128.5	162.0	125.2
10	124.0	87.3	58.0	56.1	68.0	90.8	122.1	94.5	71.0	44.2	76.2	31.8	56.8	43.1	67.8	91.0	91.8	77.8	101.5	104.3	123.8	135.8	168.5	129.8
11	126.5	108.3	59.1	58.5	76.7	91.6	122.2	100.0	71.8	44.7	78.3	40.0	57.0	43.4	68.7	93.5	114.6	88.3	103.8	108.5	151.6	140.3	174.5	133.8
12	132.9	122.5	73.1	64.8	77.0	98.0	130.5	122.7	81.9	47.5	86.0	45.5	62.1	45.9	69.8	96.0	117.7	93.7	104.6	109.1	176.0	163.9	183.9	147.5
13	165.0	138.6	77.3	95.3	96.8	104.8	135.8	138.0	88.8	59.1	86.5	54.5	63.8	47.5	90.1	107.3	127.2	103.3	104.9	124.5	178.0	184.8	189.8	150.0
14	176.8	147.9	132.0	99.0	101.0	120.6	139.5	143.2	105.7	74.3	88.4	55.1	68.8	51.8	98.0	109.5	138.9	117.5	126.6	125.3	191.8	189.8	196.5	150.4
15	212.3	171.5	145.5	104.5	122.3	126.1	161.0	169.7	124.0	78.3	107.6	58.6	69.6	72.9	99.5	112.5	145.7	128.3	145.7	125.5	198.3	202.1	201.0	158.0
16	213.8	179.5	167.9	112.3	129.3	138.0	163.3	172.0	125.9	101.6	109.8	68.2	72.0	111.7	117.5	134.0	159.7	139.4	170.0	127.3	224.1	202.8	201.8	184.5
17	216.5	182.2	174.0	121.5	131.7	154.4	164.9	225.4	130.2	139.3	122.1	72.0	78.2	148.5	121.5	136.5	178.4	149.5	175.0	163.8	253.9	214.0	236.5	201.3
18	233.1	183.0	185.0	126.0	138.4	182.0	187.7	238.0	152.5	140.3	139.3	82.7	92.0	163.2	127.0	169.5	237.4	203.8	177.5	169.8	259.5	250.1	244.5	204.5
19	240.3	200.0	273.3	146.8	176.2	191.0	193.5	269.6	183.5	208.0	143.0	98.3	108.4	208.0	149.0	191.4	256.0	216.3	182.0	194.7	272.8	314.5	295.8	316.5
20	273.4	228.1	303.5	153.5	344.2	194.8	258.8	270.2	218.5	253.8	171.5	173.5	133.7	279.9	178.9	259.3	304.0	247.8	306.4	211.0	288.3	349.4	313.5	330.1

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 3.1 diatas, Re_{80} berada pada urutan kelima sedangkan Re_{50} berada pada urutan kesebelas.

Selanjutnya dilakukan perhitungan curah hujan efektif dengan hasil seperti Gambar 3.6.

Contoh analisa untuk 1/2 bulan Januari pertama :

$$Re_{80} = 0,7 * (R_{80}/15) \dots\dots\dots \text{ untuk tanaman padi}$$

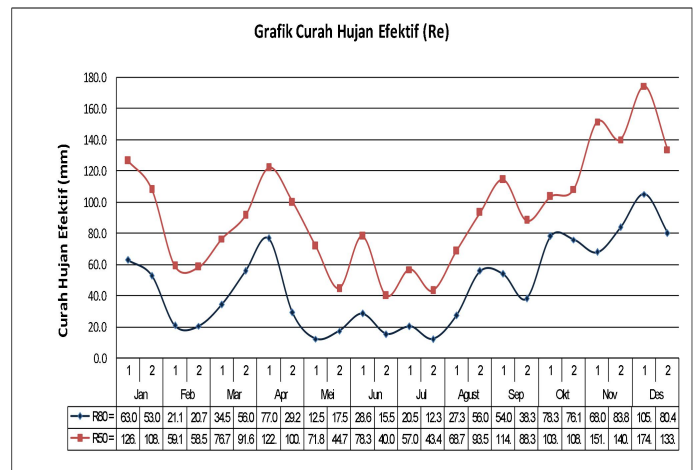
$$= 0,7 (63 / 15)$$

$$= 2,94 \text{ mm/hari}$$

$$Re_{50} = 0,5 * (R_{50}/15) \dots\dots\dots \text{ untuk tanaman palawija}$$

$$= 0,5 (126,45 / 15)$$

$$= 4,22 \text{ mm/hari}$$

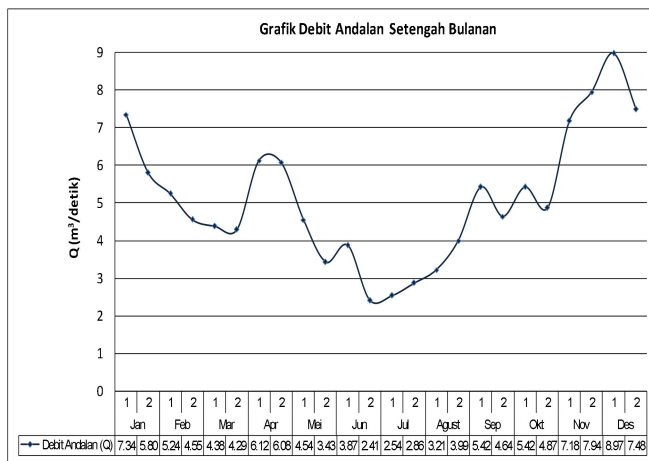


Gambar 3.6. Grafik Curah Hujan Efektif (Re)

3. Metode F.J Mock

Metode F.J Mock digunakan untuk menghitung debit andalan dengan periode 15 harian. Dari hasil perhitungan diperoleh debit andalan maksimum sebesar 8,973 m3/detik terdapat pada periode I bulan Desember dan minimum sebesar 2,415 m3/detik pada periode II bulan Juni.

Perhitungan debit andalan tersebut dilakukan berdasarkan yang tercantum pada buku KP-1 (PU-1986) dengan hasil seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Debit Andalan Setengah Bulanan dengan Metoda F.J Mock

4. Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air untuk domestik merupakan kebutuhan air yang digunakan oleh masyarakat selain dari kebutuhan air untuk sawah dan kolam ikan. Kebutuhan domestik tersebut misalnya untuk konsumsi, MCK, peternakan, dll. Pada penelitian ini diasumsikan kebutuhan domestik sudah tercakup pada air PDAM yang juga bersumber dari batang tingkarang dengan debit pengambilan sebesar 0,4 m³/detik.

5. Kebutuhan untuk Pemeliharaan Sungai

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10/PRT/M/2015 tentang Rencana Teknis Tata Pengaturan Air dan Tata Pengairan, kebutuhan air untuk pemeliharaan sungai (*maintenance flow*) dialokasikan sebesar 10 % dari debit andalan. Maintenance flow ini berfungsi untuk pemeliharaan/penggelontoran, untuk kebutuhan kehidupan biota air atau untuk mempertahankan lingkungan hidup supaya tidak berubah. Hal ini diharapkan agar kondisi sungai tetap terjaga kelestariannya

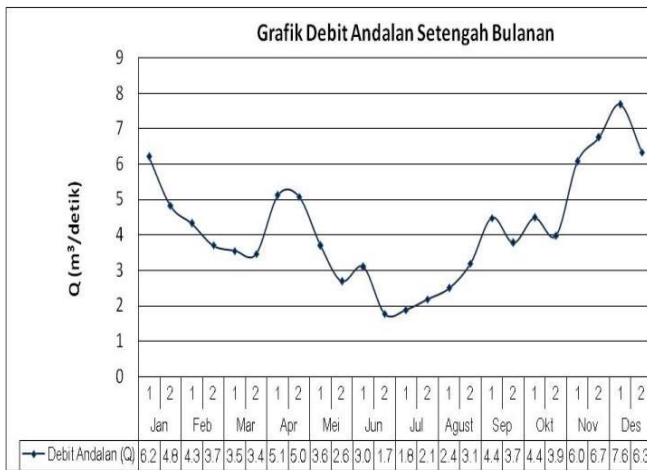
6. Debit Andalan

Pada kajian ini, kebutuhan air untuk domestik dan pemeliharaan sungai dianggap tetap karena tidak berpengaruh dengan luas areal. Sehingga ketersediaan air merupakan debit andalan hasil perhitungan dengan metode F.J Mock dikurangi dengan jumlah kebutuhan air untuk domestik dan pemeliharaan sungai.

Dari hasil perhitungan diperoleh debit andalan maksimum sebesar 7,675 m³/detik terdapat pada periode I bulan Desember dan minimum sebesar 1,773 m³/detik pada periode II bulan Juni . Perhitungan debit andalan tersebut dilakukan dengan hasil seperti pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.8 berikut :

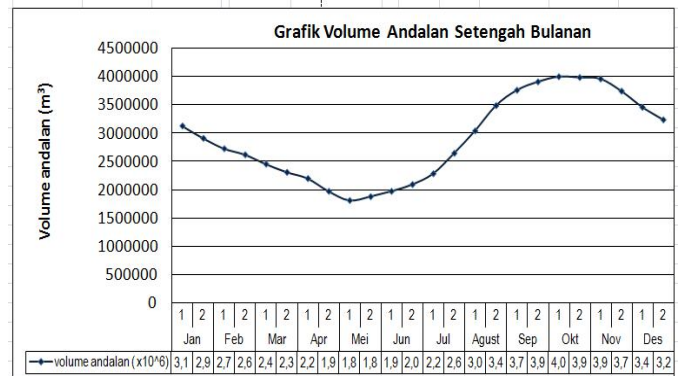
Tabel 3.2. Perhitungan Debit Andalan yang Digunakan pada Kajian

Debit (m ³ /detik)	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sept		Oct		Nov		Dec	
	1-16	16-31	1-16	16-28	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31	1-16	16-30	1-16	16-31
Debit Andalan (hasil F.J.Mock)	7.341	5.801	5.246	4.559	4.384	4.291	6.123	6.080	4.547	3.432	3.879	2.415	2.542	2.867	3.217	3.995	5.424	4.640	5.425	4.873	7.183	7.944	8.973	7.482
Kebutuhan Debit Kebutuhan Domestik	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Kebutuhan Debit Pemeliharaan	0.734	0.580	0.525	0.456	0.438	0.429	0.612	0.608	0.455	0.343	0.388	0.241	0.254	0.287	0.322	0.400	0.542	0.464	0.543	0.487	0.718	0.794	0.897	0.748
Debit Andalan yang digunakan	6.207	4.821	4.321	3.703	3.545	3.462	5.111	5.072	3.692	2.689	3.091	1.773	1.888	2.180	2.495	3.196	4.482	3.776	4.483	3.986	6.065	6.750	7.675	6.334



Gambar 3.8. Debit Andalan yang Digunakan pada Kajian

Untuk nilai volume andalan V_{and} yang lain dapat dilihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Grafik Volume Andalan

7. Volume Andalan

Setelah mendapatkan debit andalan, kemudian dicari volume andalannya selama 24 jam. Sebagai contoh untuk periode Januari I diperoleh :

$$Q_{and} = 6,207 \text{ m}^3/\text{detik} \text{ (diperoleh dari Tabel 3.6)}$$

$$t = 86400 \text{ detik (jumlah detik dalam 1 hari)}$$

jadi volume andalan dalam 1 hari adalah

$$\begin{aligned} V_{an} &= Q_{and} \times t \\ &= 6,207 \times 86.400 \\ &= 536.244 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Analisis Kebutuhan Air Irigasi

1. Menentukan Awal Musim Tanam

Awal musim ditanam ditentukan dengan membanding volume andalan kumulatif awal musim tanam. Hasil perhitungan terdapat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Kumulatif Volume Andalan untuk setiap awal musim tanam

Bulan	Periode	Kumulatif Volume Andalan (m ³)	Ranking
Januari	I	3,131,264	10
	II	2,914,017	12
Februari	I	2,729,787	13
	II	2,623,518	15
Maret	I	2,456,776	16
	II	2,313,566	17
April	I	2,202,865	19
	II	1,976,897	21
Mei	I	1,814,771	24
	II	1,882,990	23
Juni	I	1,976,880	22
	II	2,097,123	20
Juli	I	2,288,275	18
	II	2,649,197	14
Agustus	I	3,044,002	11
	II	3,491,573	7
September	I	3,762,688	5
	II	3,911,717	4
Oktober	I	4,002,056	1
	II	3,988,082	2
Nopember	I	3,963,672	3
	II	3,745,961	6
Desember	I	3,461,857	8
	II	3,240,254	9

Dari tabel di atas diperoleh bahwa nilai maksimum kumulatif volume andalan untuk semua musim tanam adalah Oktober I sebesar 4.753.929 m³. Nomor dua terbesar adalah Oktober II sebesar 4.738.402 m³. Awal musim tanam yang dipilih adalah dimulai dari periode yang memiliki volume andalan yang terbesar yaitu dimulai dari Oktober I sampai dengan Januari II.

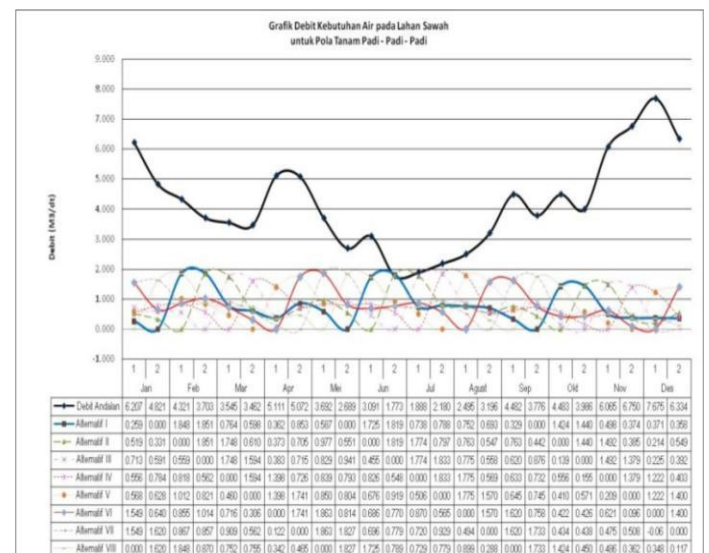
Dengan menggunakan data setengah bulanan dan periode untuk satu musim tanam selama 4 bulan, digunakan 8 alternatif musim tanam untuk menganalisa alokasi airnya.

Tabel 3.4 Musim Tanam dengan Berbagai Alternatif

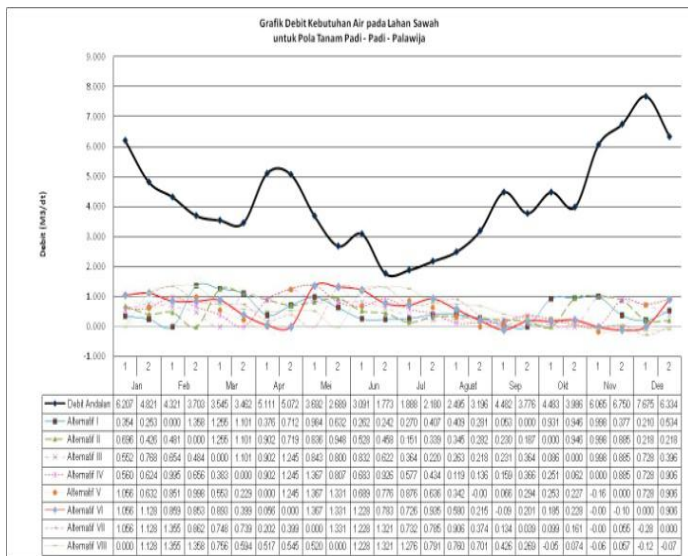
Pola Tanam	Musim Tanam 1 (MT-1)	
	Awal	Akhir
Alternatif I	Oktober I	Januari II
Alternatif II	Oktober II	Februari I
Alternatif III	November I	Februari II
Alternatif IV	November II	Maret I
Alternatif V	Desember I	Maret II
Alternatif VI	Desember II	April I
Alternatif VII	Januari I	April II
Alternatif VIII	Januari II	Mei I

2. Kebutuhan Air Sawah

Untuk menghitung kebutuhan air pada areal yang diperuntukkan sebagai sawah, digunakan metoda yang dikembangkan oleh van de Goor dan Zijlstra (1968). Pada analisis ini, penulis mengasumsikan luas sawah adalah luas sawah existing berdasarkan data PSETK yaitu 847 Ha. Pola tanam yang digunakan adalah padi-padi-padi dan padi-padi-palawija.



Gambar 3.10 Grafik Debit Kebutuhan Air pada lahan Existing Sawah untuk Pola Tanam Padi - Padi - Padi



Gambar 3.11 Grafik Debit Kebutuhan Air pada lahan Existing Sawah untuk Pola Tanam Padi - Padi - Palawija

Dari Gambar 3.10 dan 3.11 diatas terlihat bahwa sistem irigasi dapat melayani luas areal sawah existing sebesar 847 Ha dengan pola tanam Padi – Padi – Padi pada sawah alternatif III, IV, V, VI, VII dan VIII. Untuk pola tanam Padi – Padi – Palawija, kebutuhan air pada semua alternatif musim tanam masih lebih kecil dari debit andalan .

3. Kebutuhan Air Kolam Ikan

Perhitungan kebutuhan air pada areal yang diperuntukkan sebagai kolam ikan, menggunakan data primer hasil wawancara lapangan. Parameter yang digunakan antara lain:

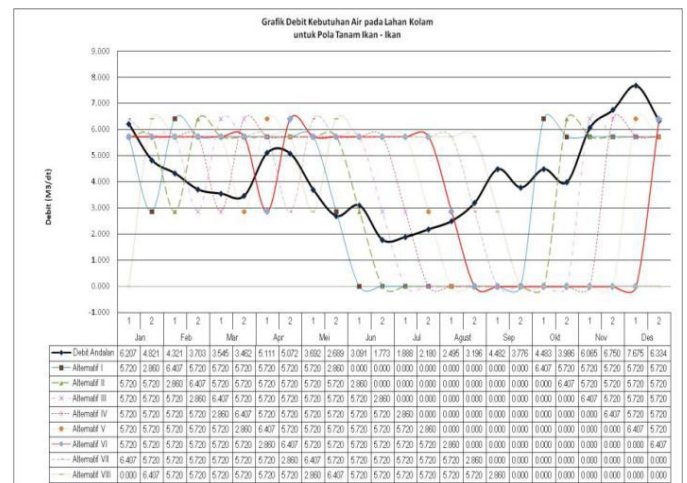
Tinggi Air rata-rata (m) = 1,5

Waktu Pengisian (hari) = 7

debit pemeliharaan (lt/dt/ha) = 10

sewaktu tinggi kolam telah mencapai 0,75 m, bibit ikan dapat dimasukkan

Pada analisis ini, penulis menggunakan pola tanam ikan-ikan dengan mengasumsikan luas kolam ikan adalah luas kolam ikan existing berdasarkan data PSETK yaitu 572 Ha. Pola tanam yang digunakan adalah ikan - ikan.



Gambar 3.12 Grafik Debit Kebutuhan Air pada lahan Existing Kolam Ikan untuk Pola Tanam Ikan - Ikan

Dari Gambar 3.12 diatas terlihat bahwa tidak ada alternatif musim tanam yang memenuhi kebutuhan air untuk lahan kolam ikan existing sebesar 572 Ha dengan pola tanam Ikan - Ikan apabila dilaksanakan secara serentak. Dengan demikian perlu dilakukan analisis untuk menentukan menentukan luas kolam ikan maksimum yang dapat dilayani oleh sistem irigasi dengan berbagai alternatif musim tanam dan variasi pola tanam.

Analisis Skenario Kombinasi Kebutuhan Air

Dalam menganalisis alokasi kebutuhan air, penulis mengkombinasikan kebutuhan air untuk sawah dan kolam ikan menjadi satu kesatuan kombinasi pola tanam. Pola tanam pada tesis ini

diasumsikan hanya secara serentak tanpa golongan.

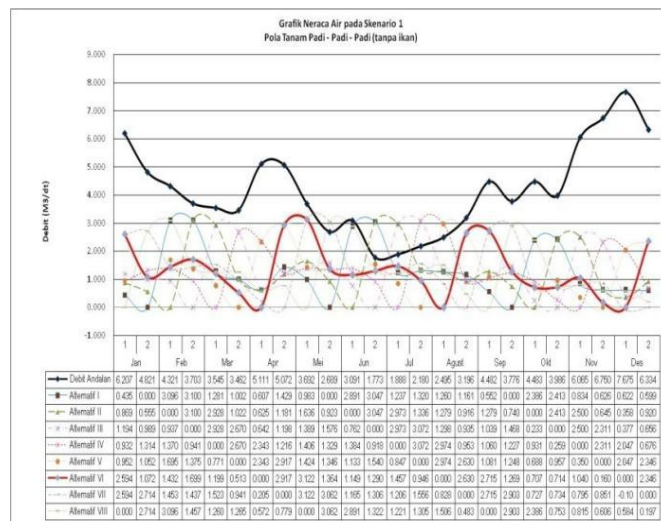
Kombinasi alokasi kebutuhan air tersebut dibuat dalam berbagai skenario dengan 8 alternatif masa tanam untuk masing-masingnya. Dalam melakukan analisis ini, penulis menggunakan formula pada tabel excel sehingga diperoleh kombinasi luas optimal antara sawah dan kolam ikan pada tiap skenario kombinasi kebutuhan air. Karena kebutuhan air untuk kolam ikan yang jauh lebih besar dari pada sawah, maka luas kolam maksimal yang dapat dilayani sistem irigasi diperoleh dengan cara coba-coba, hingga diperoleh debit ketersediaan air sama dengan debit andalan. Masing-masing skenario kebutuhan air tersebut digambarkan dalam bentuk grafik sehingga dapat diketahui periode, kelebihan atau kekurangan debit pada masing-masing skenario tersebut.

Adapun skenario kombinasi kebutuhan air yang digunakan antara lain :

a. Skenario 1 : padi-padi-padi (tanpa ikan)

Pada skenario 1, perhitungan kebutuhan air yang digunakan diasumsikan tanpa ada alih fungsi lahan. Dengan demikian semua lahan adalah sawah dengan luas fungsional 1.419 Ha. Dari hasil analisa data diperoleh bahwa grafik kebutuhan air pada alternatif 6 dengan MT1 yang dimulai pada Desember II sampai dengan April I tidak melebihi debit. Dengan demikian dikatakan bahwa sistem irigasi pada Daerah

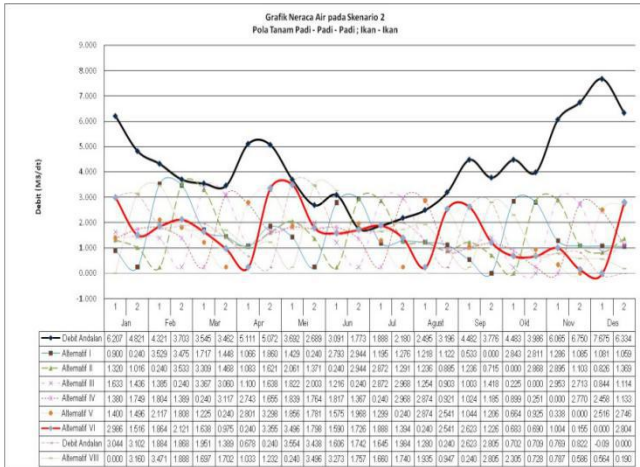
Irigasi Batang Tingkarang dapat melayani areal existing untuk pola tanam padi-padi-padi apabila tidak ada areal sawah yang dialihfungsikan menjadi kolam ikan.



Gambar 3.13 Grafik Neraca Air Skenario 1

b. Skenario 2 : padi-padi-padi + ikan-ikan

Pada skenario 2, kebutuhan air ini memperhitungkan kombinasi lahan sawah (pola tanam padi-padi-padi) dengan kolam (pola tanam ikan-ikan). Dengan cara coba-coba supaya memperoleh luas kolam ikan maksimal yang masih memenuhi debit andalan, diperoleh luas kolam ikan sebesar 47,99 Ha dan luas sawah sebesar 1.371,01 Ha.



Gambar 3.14 Grafik Neraca Air Skenario 2

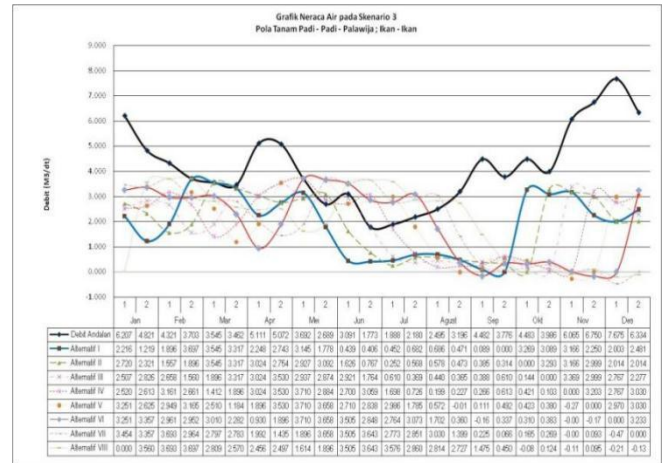
Dari Gambar 3.14 diperoleh bahwa tidak terdapat kekurangan air pada Alternatif 6 dengan MT1 yang dimulai pada Desember II sampai dengan April I. Debit kebutuhan sama dengan debit andalan pada periode Juli I yang nilainya 1,888 m³/detik.

Dengan skenario kombinasi ini disimpulkan bahwa dengan mengutamakan pemanfaatan sawah dengan pola tanam padi – padi – padi, sistem irigasi hanya dapat melayani maksimal 47,99 Ha alih fungsi lahan sawah menjadi kolam ikan.

c. Skenario 3: padi-padi-palawija + ikan-ikan

Pada skenario 3, kebutuhan air ini memperhitungkan kombinasi lahan sawah (pola tanam padi-padi-palawija) dengan kolam (pola tanam ikan-ikan). Kombinasi ini dicoba bertujuan meningkatkan luas kolam ikan dengan tetap mengutamakan pemanfaatan sawah dengan cara mengubah pola tanam sawah dari padi-padi-padi menjadi padi-padi-palawija. Dengan

cara coba-coba supaya memperoleh luas kolam ikan maksimal yang masih memenuhi debit andalan, diperoleh luas kolam ikan sebesar 169,48 Ha dan luas sawah sebesar 1.249,52 Ha.



Gambar 3.15 Grafik Neraca Air Skenario 3

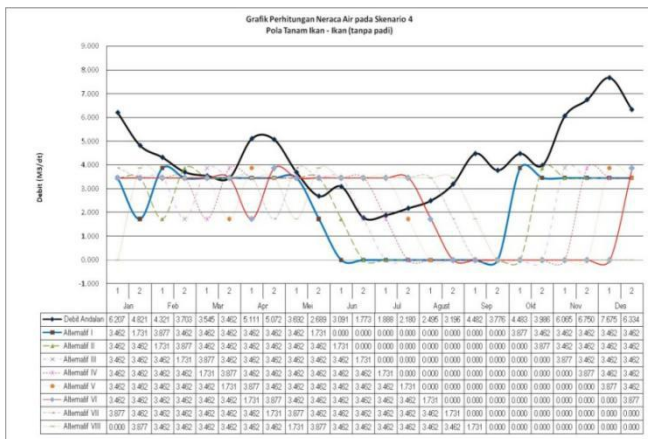
Dari Gambar 3.15 diperoleh bahwa tidak terdapat kekurangan air pada Alternatif 1 dengan MT1 yang dimulai pada Oktober I sampai dengan Januari II. Debit kebutuhan sama dengan debit andalan pada periode Maret I yang nilainya 3,545 m³/detik.

Dengan skenario kombinasi ini disimpulkan bahwa dengan mengutamakan pemanfaatan sawah dengan pola tanam padi – padi – palawija, sistem irigasi hanya dapat melayani maksimal 169,48 Ha alih fungsi lahan sawah menjadi kolam ikan.

d. Skenario 4 : ikan-ikan (tanpa padi)

Pada skenario 4, kebutuhan air ini memperhitungkan mengalihfungsikan lahan menjadi kolam ikan sebanyak-banyaknya dan tidak ada yang menanam padi. Kombinasi ini dicoba bertujuan mengetahui luas kolam ikan

maksimal yang dapat dilayani sistem irigasi dengan mengabaikan pemanfaatan sawah. Dengan cara coba-coba supaya memperoleh luas kolam ikan maksimal yang masih memenuhi debit andalan, diperoleh luas kolam ikan sebesar 346,17 Ha.



Gambar 3.16 Grafik Neraca Air Skenario 4

Dari Gambar 3.16 diperoleh bahwa tidak terdapat kekurangan air pada Alternatif 1 dengan MT1 yang dimulai pada Oktober I sampai dengan Januari II. Debit kebutuhan sama dengan debit andalan pada periode Maret I yang nilainya 3,545 m3/detik.

Dengan skenario kombinasi ini disimpulkan bahwa dengan mengabaikan pemanfaatan sawah, sistem irigasi hanya dapat melayani maksimal 346,17 Ha alih fungsi lahan sawah menjadi kolam ikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem Daerah Irigasi Batang Tingkarang sebenarnya dapat melayani seluruh areal existing dengan pola tanam padi-padi-palawija bahkan padi-padi-padi secara serentak apabila tidak ada lahan yang dialihfungsikan menjadi kolam ikan.
2. Sistem irigasi hanya dapat melayani maksimal 47,99 Ha lahan yang dialihfungsikan menjadi kolam ikan apabila menggunakan pola tanam padi-padi-padi
3. Sistem irigasi dapat melayani maksimal 169,48 Ha lahan yang dialihfungsikan menjadi kolam ikan apabila menggunakan pola tanam padi-padi-palawija,
4. Sistem irigasi dapat melayani maksimal 316,17 Ha lahan yang dialihfungsikan menjadi kolam ikan apabila tidak ada tanaman padi. Angka tersebut menunjukkan bahwa sistem irigasi tidak mampu melayani kebutuhan air untuk kolam ikan yang mencapai 572 Ha dengan musim tanam serentak.

Saran

Agar lebih optimalnya pemanfaatan areal irigasi Batang Tingkarang, penulis menyarankan :

1. Perlu dilakukan pengaturan tata tanam pada Daerah Irigasi Batang Tingkarang dengan penerapan pola tanam dan pengaturan distribusi airnya antara lain :

- Pola tanam Padi-Padi-Padi dengan atau tanpa kombinasi kolam ikan disarankan musim tanam pertama (MT-1) dimulai Bulan Desember II.
 - Pola tanam Padi-Padi-Palawija dengan kombinasi kolam ikan disarankan musim tanam pertama (MT-1) dimulai Bulan Oktober I.
 - Pola tanam Ikan-ikan (tanpa padi) disarankan musim tanam pertama (MT-1) dimulai Bulan Oktober I.
2. Perlu diadakan penelitian selanjutnya mengenai peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi yaitu dengan mengkaji sistem pemberian air dengan golongan serta memanfaatkan kembali air yang terbuang dari kolam.
 3. Melakukan sosialisasi dan penyuluhan yang intensif kepada petani melalui wadah kelompok tani (P3A) tentang manfaat dari pengaturan tata tanam terhadap hasil pertanian yang akhirnya akan meningkatkan kesejahteraan petani sendiri.
 4. Perlu peningkatan koordinasi antara Dinas PU, Dinas Pertanian dan Dinas Perikanan guna keterpaduan pengelolaan Daerah Irigasi.
 5. Melaksanakan program operasional dan pemeliharaan secara terus menerus agar tidak mengurangi kapasitas layanan pada Daerah Irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda, 2016, *Profil Sosial, Ekonomi, Kelembagaan dan Teknik (PSETK) Daerah Irigasi Batang Tingkarang*, Badan Perencana Pembangunan Daerah Kabupaten Pasaman.
- Chow, V.T, Davit, R.M, Lary, W.M, 1988, *Applied Hydrology*. Mc, Graw-Hill International Edition.
- Hansen, V.E, Israelsen, O.W, Stringham, G.E., 1992, *Dasar-Dasar dan Praktek Irigasi*. Erlangga. Jakarta
- Hastuti, DS, Saleh, E, Agustina, H, 2015, *Desain Petak Sawah Rawa Lebak Pematang untuk Pembudidayaan Padi-Ikan*. Jurnal Lahan Suboptimal, Universitas Sriwijaya.
- Hendra, 2015, *Optimasi Pemakaian Air dan Lahan Daerah Irigasi Batang Lampasi di Kabupaten Lima Puluh Kota dan Kota Payakumbuh*. Thesis Magister Teknik Sipil Universitas Andalas.
- Hidayat, N, 2009, *kajian alih fungsi lahan dalam rangka sistem pemberian air irigasi di daerah irigasi Banjarcahayana provinsi Jawa Tengah*. Thesis Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung.
- PSDA. 1998-2017, *Publikasi Data Curah Hujan Tahun 1997-2016*, Balai PSDA Wilayah Bukittinggi, Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat.
- PSDA. 1998-2017, *Publikasi Data Klimatologi Tahun 1997-2016*, Balai PSDA Wilayah Bukittinggi, Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat.
- PSDA, 2015, *Desain Partisipatif D.I Batang Tingkarang Kabupaten Pasaman*, Dinas Pengelolaan Sumber daya Air Popinsi Sumatera Barat.
- PSDA, 2016, *Survey, Identifikasi dan Desain Kerusakan serta Inventarisasi Jaringan Irigasi D.I Batang Tingkarang Kabupaten Pasaman*, Dinas Pengelolaan Sumber daya Air Popinsi Sumatera Barat.

- PU, 1986, *Standar Perencanaan Irigasi KP-01 Perencanaan*, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.
- PUPR. 2015, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10/PRT/M/2015 tentang Rencana Teknis Tata Pengaturan Air dan Tata Pengairan*, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Saleh, P, 2010, *Studi Konflik Air Irigasi dan Alternatif Penyelesaiannya di Daerah Irigasi Kelingi Sumatera Selatan*. Jurnal Keteknikan Pertanian, Universitas Sriwijaya.
- SNI-6728-1-2015. 2015, *Penyusunan neraca spasial sumber daya alam Bagian 1: Sumber daya air*, Badan Standardisasi Nasional.
- Sukarjo, 2011, *Optimasi Pemanfaatan Air di Daerah Irigasi Van Der Wijck dengan Program Fuzzy Linier untuk Usaha Tani*. Widyariset, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Tengah.
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Penerbit Nova. Bandung
- Talitha, J, 2013. *Studi Optimasi Penggunaan Lahan dan Air di Daerah Irigasi Kandis Kecamatan Lengayang Kabupaten Pesisir Selatan*. Thesis Magister Teknik Sipil Universitas Andalas.
- Utama,U.M, 2009, *Kajian Peranserta Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A) Dalam Upaya Peningkatan O&P Jaringan Irigasi Tersier di Kabupaten Pasaman (Studi Kasus Pada P3A Daerah Irigasi Batang Tingkarang)*. Thesis Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung.
- Wahyudi A, Anwar N, Edijatno, 2014, *Studi Optimasi Pola Tanam pada Daerah Irigasi Warujayeng Kertosono dengan Program Linear*. Jurnal Teknik Pomits, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.