



## **OPTIMASI PEMANFAATAN AIR EMBUNG KASIH UNTUK DOMESTIK DAN IRIGASI TETES**

### *OPTIMIZING WATER UTILIZATION OF KASIH RETENTION BASIN FOR DOMESTIC USE AND DRIP IRRIGATION*

Oleh:

**Segel Ginting<sup>1)</sup>, Dadan Rahmadani<sup>1)</sup>, Abid Hendri Indarta<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Balai Penelitian dan Pengembangan Irigasi  
Jl. Cut Meutia Kotak Pos 147, Bekasi, Indonesia

Komunikasi Penulis, email: gintingsegel@gmail.com

Naskah ini diterima pada 08 Oktober 2018; revisi pada tanggal 11 November 2018;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 26 Desember 2018

#### **ABSTRACT**

*The Government of Indonesian was built Embung Kasih (retention basin) to overcome limited water resources in Tuatuka Village, NTT Province. It was planned for irrigation and domestic use. Retention basin operations require detailed planning with limited storage, so the water utilization optimizes are necessities. These are needed to determine water use with several scenarios of rainfall conditions. It was conducted by the Generalized Reduced Gradient Method to maximize water use as an objective function. Water utilizes simulation in 1974 to 2015 was conducted as an evaluation of the reliability assessment. The objective of this research determines water used optimally for domestic use and irrigation. The results are obtained by several scenarios. The first scenario related to normal rainfall conditions, water use for domestic is around 2,604 people or irrigating 2.746 ha area using drip irrigation. The second scenario for extreme wet rainfall conditions, water use for domestic is around 3,601 people or land irrigating around 4.698 ha area. The third scenario with extreme dry rainfall conditions can produce water use for domestic is around 454 people or land irrigating around 0.45 ha area. Following their results by using the simulation method with data from 1974 to 2015, water use for domestic is, determined to be around 454 people, and an area irrigated 1 Ha with operational reliability assessment reaching 78.57%.*

**Keywords:** *drip irrigation, optimaztion, retention basin, water availability, water utilization*

#### **ABSTRAK**

Pemerintah membangun Embung Kasih untuk mengatasi terbatasnya sumber air di Desa Tuatuka, Provinsi NTT. Embung tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik dan irigasi. Pengoperasian embung perlu direncanakan karena volume tampungan terbatas. Optimasi penggunaan air embung diperlukan untuk menentukan jumlah penggunaan air dengan berbagai skenario kondisi hujan. Simulasi penggunaan air tahun 1974 s.d. 2015 dilakukan sebagai evaluasi untuk menilai keberhasilan operasi embung. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan jumlah pemakaian air untuk kebutuhan domestik dan atau irigasi secara optimal. Optimasi dilakukan dengan Metode *Generalized Reduced Gradient* (GRG) untuk fungsi tujuan memaksimalkan penggunaan air embung. Hasil optimasi diperoleh dengan beberapa skenario. Skenario pertama untuk hujan normal, pemanfaatan air untuk domestik sekitar 2.604 orang atau untuk mengairi lahan seluas 2,746 ha dengan irigasi tetes. Skenario kedua untuk kondisi hujan ekstrim basah, pemanfaatan air untuk domestik sekitar 3.601 orang atau untuk irigasi tetes sekitar 4,698 ha. Skenario ketiga untuk kondisi hujan ekstrim kering, pemanfaatan air untuk domestik sekitar 454 orang atau untuk irigasi tetes sekitar 0,45 ha. Berdasarkan evaluasi hasil optimasi dengan menggunakan simulasi data tahun 1974 s.d. 2015, maka ditetapkan jumlah penggunaan air embung untuk domestik sekitar 454 orang dan irigasi tetes seluas 1 Ha dengan tingkat keandalan operasi embung mencapai 78,57%.

**Kata Kunci:** *irigasi tetes, optimasi, embung, ketersediaan air, pemanfaatan air*

## I. PENDAHULUAN

Air menjadi komoditas yang semakin langka, konsumsi air mendekati batas sistem alam dan di beberapa daerah batas-batas ini telah dilampaui (Wahlin, 2005). Terdapat tiga sektor utama yang menggunakan air yaitu pertanian, industri dan rumah tangga. Pertanian merupakan pengguna air yang terbesar yaitu sekitar 65% dari seluruh sumber air (Postel, 1992; Wahlin, 2005). Hal yang serupa dikemukakan oleh Seckler, Barker, & Amarasinghe (1999) bahwa, lebih dari seperempat penduduk dunia atau sepertiga penduduk di negara berkembang hidup di daerah yang akan mengalami kelangkaan air. Pimentel *et al.* (2004) menyatakan telah terjadi peningkatan pencemaran sumber daya air permukaan dan air tanah yang dapat menimbulkan ancaman bagi kesehatan publik dan lingkungan serta memberikan kontribusi biaya tinggi dalam pengolahan air, sehingga ketersediaan air yang digunakan menjadi terbatas.

Indonesia memiliki cukup air untuk memenuhi kebutuhan penduduk dan ekonomi. Namun demikian, distribusi yang tidak merata, manajemen yang buruk, dan kurangnya infrastruktur telah menyebabkan akses air sulit untuk didapatkan. Tanpa investasi yang besar, keamanan air di Indonesia akan tetap sulit dan dapat mengalami kerusakan yang cepat (Piesse, 2016). Ketahanan air irigasi pada wilayah sungai di Indonesia pada umumnya dalam kondisi "sedang" dan "baik". Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan air irigasi adalah dengan pembangunan tampungan air berupa waduk dan embung, serta penghematan air untuk semua pengguna air (Hatmoko, Radhika, Firmansyah, & Fathoni, 2018). Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) adalah salah satu provinsi di Indonesia yang sulit dalam akses sumber air. Mereka yang tinggal di wilayah itu bergantung pada curah hujan dan air tanah. Selama periode kering, sumber air berubah menjadi terkontaminasi, yang mengarah pada peningkatan insidensi penyakit (Piesse, 2016). Berdasarkan hasil kajian Soedireja (2017) menyatakan bahwa potensi air tanah di NTT adalah 267,282 l/s dapat dimanfaatkan untuk melengkapi irigasi air permukaan terutama pada saat periode curah hujan rendah. Bahkan saat ini, sumber daya air untuk produksi makanan dan kebutuhan manusia lainnya menurun karena meningkatnya permintaan dan menjadi langka di daerah kering.

Salah satu upaya meningkatkan ketahanan air yang dilakukan oleh pemerintah adalah dengan membangun embung sederhana di Tuatuka. Lokasi embung yang dibangun berada di Desa

Tuatuka, Kabupaten Kupang Tengah, Provinsi NTT merupakan daerah dengan kondisi iklim yang sangat kering. Dengan adanya embung tersebut, ketahanan air dan pangan di desa tersebut dapat meningkat dan sejalan dengan keinginan masyarakat setempat. Embung yang dibangun memiliki kapasitas tampungan yang sangat terbatas dan curah hujan hanya terjadi selama 3-4 bulan dalam setahun. Oleh karena itu, pemanfaatan air embung tersebut perlu direncanakan lebih teliti agar air tampungan tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan dengan membatasi jumlah pemakaian air, baik untuk domestik dan atau irigasi.

Penentuan jumlah pemakaian air secara optimal dilakukan dengan pendekatan optimasi. Optimasi adalah subjek yang populer dalam studi sumber daya air. Metode ini telah digunakan dalam beberapa dekade sebagai solusi untuk perencanaan dan pengelolaan sistem sumber daya air (Ahmad, El-Shafie, Razali, & Mohamad, 2014). Mays & Tung (2002) telah menggunakan metode optimasi dalam sumber daya air untuk tahap perencanaan, desain, dan operasional. Salah satu teknik optimasi yang populer diterapkan oleh banyak peneliti dalam pengelolaan sumber daya air selama abad ke-21 adalah pemrograman linier (PL). Metode ini digunakan ketika variabel dan kendala dalam sistem sumber daya air memiliki bentuk fungsi linier (Rani & Moreira, 2010).

Teknik optimasi lainnya yang sering digunakan adalah *Generalized Reduced Gradient* (GRG). Teknik ini sudah tersedia dalam *Microsoft Excel*. GRG adalah alat optimasi di *Microsoft Excel* yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai optimal dari parameter linier serta persamaan nonlinier. Metode *Solver* dalam *Microsoft Excel* terdiri dari *Linear Programming Solver* (LP) untuk persamaan linier, GRG dan *Evolutionary Solver* untuk optimasi persamaan nonlinier (Zakwan, Muzzammil, & Alam, 2017). GRG *Solver* adalah kode optimasi nonlinier yang dikembangkan oleh Lasdon, Fox, & Ratner (1974). GRG dan penerapan secara spesifik telah terbukti selama bertahun-tahun sebagai salah satu pendekatan yang paling kuat dan dapat diandalkan untuk memecahkan masalah pemrograman nonlinier yang sulit (Smith & Lasdon, 1992). Penerapan Metode GRG dalam optimasi telah diujicoba untuk menentukan parameter *Intensity Duration Frequency* (IDF) (Zakwan, 2016) dan variabel untuk pengembangan persamaan *rating curve* (Zakwan *et al.*, 2017). Terdapat dua cara yang digunakan untuk menentukan arah pencarian di GRG. Cara yang paling standar adalah dengan Metode Quasi-Newton, yang merupakan cara berbasis gradien

dan lainnya adalah Metode Gradien Konjugasi. Metode GRG dapat beralih di antara Metode Kuasi-Newton dan Konjugat Gradien (Zakwan, 2016).

Pendekatan optimasi dalam mencari solusi untuk permasalahan sumber daya air sudah banyak berkembang. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh (Belaineh, Peralta, & Hughes, 1999) dimana menggabungkan optimasi linier dengan simulasi aliran dan akuifer dari lembah Sungai Putih. Hasilnya menunjukkan peningkatan alokasi dan distribusi air di daerah tangkapan air dibandingkan dengan model operasi waduk sebelumnya. Georgiou & Papamichail (2008) mengembangkan model optimasi pemrograman non-linier dengan keseimbangan air tanah terpadu untuk menentukan kebijakan pelepasan air waduk yang optimal, alokasi air irigasi untuk beberapa tanaman dan pola tanam yang optimal dalam pertanian beririgasi. Dalam hal operasi waduk, metode optimasi juga dilakukan dalam rangka untuk menyelesaikan masalah. Optimasi operasi waduk telah digunakan dalam mencari solusi, dengan mempertimbangkan evakuasi sedimen. Model yang dikembangkan menggabungkan beberapa operasi waduk dan evakuasi sedimen dengan modul optimasi berdasarkan algoritma genetika (Rashid, Haider, Latif, & Raja, 2017). Berdasarkan hasil kajian (Ahmad *et al.*, 2014), menunjukkan bahwa penelitian dalam domain operasi waduk telah mengembangkan berbagai cara untuk memecahkan berbagai jenis masalah optimasi. *Artificial Bee Colony* (ABC) dan *Gravitational Search Optimization* (GSA) adalah algoritma optimasi baru yang menggunakan lebih sedikit parameter untuk menyelesaikan banyak masalah. Meskipun algoritma ini menjadi populer bagi para peneliti di bidang listrik dan elektronik, namun dapat dieksplorasi lebih lanjut oleh para peneliti yang terlibat dalam studi sumber daya air. Meskipun tidak mungkin untuk meninjau semua artikel yang berkaitan dengan optimasi waduk, dari ulasan ini dapat disimpulkan bahwa algoritma *evolutionary computation* adalah pilihan yang paling populer untuk para peneliti dalam studi operasi waduk, konsisten dengan peningkatan kemampuan dan peningkatan teknologi komputer.

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan optimasi pemanfaatan air embung dengan tujuan menentukan jumlah pemakaian air embung untuk domestik dan irigasi tetes pada beberapa skenario kondisi hujan serta merumuskan pola operasi embung tersebut supaya dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan.

## II. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Tuatuka, Kabupaten Kupang Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Secara geografis Lokasi Embung Kasih berada pada koordinat  $10^{\circ}9'46.05''$  LS dan  $123^{\circ}50'10.76''$  BT, dengan luas daerah tangkapan sekitar 10 Ha dan luas permukaan embung yang digenangi air sekitar 1,8 ha. Elevasi rencana pelimpah embung +89,5 m dan menambah pintu *flapgate* dengan tinggi sekitar 1,5 m, sehingga dapat menambah tampungan embung dari 29,81 ribu  $m^3$  menjadi 53,31 ribu  $m^3$ . Adapun rencana Embung Kasih dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Foto Lokasi Rencana Embung Kasih

### 2.2. Pengumpulan Data

Kegiatan pengumpulan data sekunder meliputi beberapa data yang diperlukan untuk analisis.

#### a. Data curah hujan

Data curah hujan yang tersedia adalah pencatatan hujan harian (mm) pada stasiun Naibonat dari tahun 1974 s.d. 2015.

#### b. Data Klimatologi

Data klimatologi untuk perhitungan epavotranspirasi potensial yang digunakan untuk analisis kebutuhan air tanaman dan ketersediaan air. Data Klimatologi diperoleh dari Stasiun Klimatologi Larantuka mulai dari tahun 1989 s.d. 2005.

#### c. Data Kebutuhan Air Baku

Data kebutuhan air domestik diperoleh dari standar kebutuhan air baku domestik dari kriteria perencanaan menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, dibagi berdasarkan kriteria wilayah sebagai berikut (Nurcahyono & Putra, 2008):

- 1) Pedesaan dengan kebutuhan 60 s.d. 80 l/org/hari.
- 2) Kota Kecil dengan kebutuhan 80 s.d. 190 l/org/hari

- 3) Kota Sedang dengan kebutuhan 90 s.d. 120 l/org/hari
- 4) Kota Besar dengan kebutuhan 120 s.d. 150 l/org/hari
- 5) Kota Metropolitan dengan kebutuhan lebih besar 150 l/org/hari

d. Data Kebutuhan Air Tanaman

Data kebutuhan air tanaman dihasilkan dari perhitungan evapotranspirasi dan koefisien tanaman. Kebutuhan air tanaman dihitung dengan menggunakan konsep irigasi mikro (irigasi tetes).

### 2.3. Metode

Metode dalam menentukan jumlah penggunaan air untuk kebutuhan domestik dan irigasi pertanian adalah menggunakan pendekatan optimasi, selanjutnya melakukan evaluasi tingkat keadalan embung melalui simulasi operasi penggunaan air embung. Optimasi dan simulasi penggunaan air memerlukan model matematis yang dapat mensimulasikan perubahan tampungan embung berdasarkan *inflow* dan *outflow* embung. Optimasi penggunaan air dilakukan dengan berbagai skenario kondisi hujan. Dalam penelitian ini dikelompokkan dan didefinisikan tiga skenario kondisi hujan sebagai berikut:

- N = kondisi hujan normal diperoleh berdasarkan rata-rata hujan bulanan dari tahun 1974-2015
- EB = kondisi hujan ekstrim basah diperoleh dengan tingkat peluang terlampaui 10 % dari data hujan bulanan tahun 1974-2015
- EK = kondisi hujan ekstrim kering diperoleh berdasarkan tingkat peluang terlampaui 90% dari data hujan bulanan tahun 1974-2015

Nilai hujan bulanan dari Bulan Januari sampai dengan Bulan Desember dari masing-masing skenario tersebut digunakan sebagai *input* model hujan-limpasan. Model hujan-limpasan yang digunakan adalah *National Rural Electric Cooperative Association* (NRECA). Model ini bertujuan untuk mengonversi hujan bulanan menjadi limpasan permukaan yang digunakan untuk analisis ketersediaan air. Proses berikutnya adalah pembuatan model matematis operasi embung yang menggambarkan kondisi muka air di dalam embung berdasarkan kondisi *inflow* dan *outflow* embung. Model matematis operasi embung digunakan sebagai perangkat dalam menilai pemanfaatan air di embung. Optimasi pemanfaatan air berdasarkan konstrain tertentu digunakan dalam analisis. Setelah dilakukan optimasi untuk mendapatkan jumlah penggunaan air yang optimal dari masing-masing sektor, maka

selanjutnya dilakukan evaluasi dengan simulasi terhadap data hujan bulanan mulai dari tahun 1974 s.d. 2015 dengan jumlah pemakaian air dari hasil optimasi. Simulasi yang dilakukan untuk melihat tingkat keberhasilan (keandalan) dari pola pemakaian air yang ditetapkan oleh hasil optimasi. Jika hasil evaluasi belum menunjukkan tingkat keandalan yang diharapkan, maka dilakukan upaya untuk justifikasi. Adapun *flowchart* metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.

#### 2.3.1. Penghitungan Ketersediaan Air

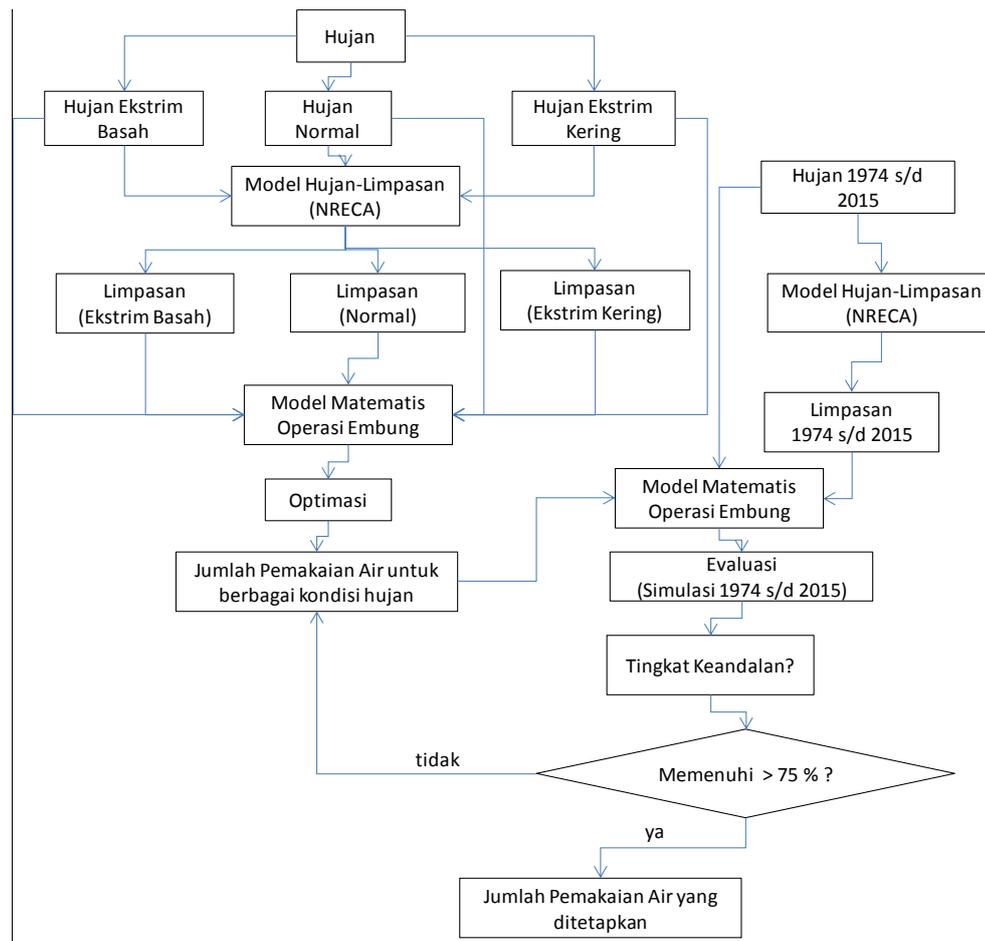
Pada lokasi Embung Kasih tidak terdapat aliran sungai yang kontinu sepanjang tahun, hanya terdapat aliran pada saat terjadi hujan. Sumber air yang masuk ke Embung Kasih berasal dari aliran permukaan (*overland flow*) dan hujan yang jatuh ke embung. Besarnya aliran permukaan yang terjadi pada suatu daerah aliran sungai (DAS) di hitung dengan metode NRECA. Metode NRECA diperkenalkan pertama sekali oleh Norman H. Crawford pada tahun 1985. Metode ini merupakan salah satu metode perhitungan ketersediaan air yang direkomendasikan dalam Kriteria Perencanaan Irigasi 01 apabila data terbatas (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013). Metode ini pun banyak digunakan dalam berbagai penelitian seperti untuk peramalan debit aliran permukaan (Herudjito, 1997) dan optimasi embung (Prawito, 2010). Model ini memerlukan kalibrasi parameter untuk meningkatkan keakuratan hasil perhitungan (Alitu, 2007; Tunas & Lesmana, 2011).

Metode ini merupakan model konsepsi yang bersifat deterministik. Disebut sebagai model konsepsi karena didasari oleh teori. Untuk menginterpretasikan fenomena proses fisiknya digunakan persamaan dan rumus semi empiris sebagai berikut (Crawford, 1981):

$$\text{Hujan} - \text{Evapotranspirasi} + \text{Perubahan Tampungan} = \text{Limpasan}$$

Persamaan keseimbangan air tersebut merupakan dasar dari metode NRECA untuk suatu daerah aliran sungai pada setiap langkah waktu, dimana hujan, evapotranspirasi aktual dan limpasan adalah volume yang masuk kedalam dan keluar pada suatu DAS untuk setiap langkah tertentu.

Dalam metode NRECA terdapat dua tampungan yaitu *moisture storage* (tampungan kelengasan) dan *groundwater storage* (tampungan air tanah). Tampungan kelengasan ditentukan oleh hujan dan evapotranspirasi aktual. Tampungan air tanah ditentukan oleh *excess moisture* (kelengasan tanah yang berlebih).



**Gambar 2** Diagram Alir (Flowchart) Penelitian

Data masukan yang diperlukan dari metode hujan-limpasan NRECA adalah sebagai berikut:

- (1) Hujan Rata-rata dari suatu DAS (P)
- (2) Evapotranspirasi Potensial dari DAS (PET)  
Jika data yang ada adalah evapotranspirasi standar (ET<sub>o</sub>) maka  $PET = C_f \times ET_o$ , dimana  $C_f$  adalah faktor tanaman.
- (3) Kapasitas Tampung Kelengasan (NOM)  
Diperkirakan nilai  $NOM = 100 + (C \times \text{hujan rata-rata tahunan (mm)})$ , dimana nilai  $C = 0,2$  untuk DAS yang hujannya terjadi terus-menerus sepanjang tahun, dan  $C < 0,2$  untuk DAS yang mempunyai tipe hujan musiman.
- (4) Persentase limpasan yang keluar dari DAS di sub *surface* atau infiltrasi (PSUB)  
Nilai PSUB berkisar antara 0,1 – 0,5
- (5) Persentase limpasan tampung air tanah menuju ke sungai (GWF)  
Nilai GWF berkisar antara 0,5 – 0,9
- (6) Nilai awal dari tampung kelengasan tanah (*soil moisture storage*)
- (7) Nilai awal dari tampung air tanah (*ground water storage*)

Perhitungan limpasan metode NRECA dibagi menjadi dua bagian yaitu perhitungan limpasan langsung (*direct runoff*) dan air tanah yang menuju ke sungai (*groundwater*). Urutan prosedur perhitungan untuk metode NRECA adalah sebagai berikut:

- (1) Perhitungan hujan rata-rata dan evapotranspirasi potensial standar di daerah aliran sungai (P dan ET<sub>o</sub>).
- (2) Menentukan parameter NOM, PSUB, GWF, dan nilai awal tampung kelengasan tanah (*soil moisture storage*) dan tampung air tanah (*ground water storage*) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi.
- (3) Perhitungan angka tampung tiap bulan (*storage ratio*)

$$Storage\ Ratio = \frac{Soil\ moisture\ storage}{NOM} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana untuk bulan pertama *soil moisture storage* = angka awal tampung dan untuk bulan selanjutnya adalah *soil moisture storage*<sub>(n)</sub> = *soil moisture storage*<sub>(n-1)</sub> + *S*<sub>(n-1)</sub>. *S*<sub>(n-1)</sub> adalah perubahan tampung pada bulan sebelumnya.

(4) Perhitungan angka perbandingan antara hujan dan evapotranspirasi potensial.

$$R = P/PET \dots\dots\dots (2)$$

(5) Perhitungan evapotranspirasi aktual (AET), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$AET = kl \times PET \dots\dots\dots (3)$$

kl adalah koefisien evapotranspirasi yang tergantung pada nilai R dan Sr, dengan persamaan regresi sebagai berikut:  $kl = \frac{P}{PET} (1 - 0,5 \times Sr) + 0,5 \times Sr$ , jika  $R < 1$  dan  $Sr < 2$ .  $kl = 1$ , jika  $R > 1$  atau  $Sr > 2$ .

(6) Menghitung rasio kelengasan yang berlebih (*excess ratio*)

$$excess\ ratio = 0, \text{ jika } Sr < 0$$

$$excess\ ratio = 0,5 \times (1 + \tanh(\frac{Sr-1}{0,52})) \text{ jika } Sr \geq 0 \dots\dots\dots (4)$$

(7) Perhitungan kelengasan tanah yang berlebih (*excess moist*), perubahan tampungan (S) dan perkolasi dengan rumus sebagai berikut:

$$excess\ moisture = excess\ ratio \times (P - AET) \dots\dots\dots (5)$$

$$S = P - AET - excess\ moist \dots\dots\dots (6)$$

$$Perkolasi = PSUB \times excess\ moist \dots\dots\dots (7)$$

(8) Perhitungan angka awal dan akhir tampungan air tanah (BSG dab ESG):

BSG Untuk bulan pertama:  
 $BSG = Ground\ Water\ Storage \dots\dots\dots (8)$

BSG untuk bulan berikutnya:  
 $BSG_n = ESG_{n-1} - GF_{n-1} \dots\dots\dots (9)$

$$ESG = Perkolasi + BSG \dots\dots\dots (10)$$

$$GF = limpasan\ air\ tanah$$

(9) Perhitungan Limpasan  
 $Direct\ Runoff = excess\ moist - perkolasi \dots\dots\dots (11)$

$$Limpasan\ air\ tanah = GWF \times ESG \dots\dots\dots (12)$$

(10) Total Limpasan tiap bulan adalah  
 $Q = GF + Direct\ Runoff \dots\dots\dots (13)$

### 2.3.2. Penentuan Kebutuhan Air Irigasi Tetes

Dalam irigasi tetes, evaporasi ditekan sekecil mungkin, sehingga secara praktis, kebutuhan air tanaman hanya berupa transpirasi. Transpirasi harian pada periode puncak ditentukan dengan persamaan (Keller & Bliesner, 1990):

$$T_d = U_d(0,1 (P_d)^{0,5}) \dots\dots\dots (14)$$

Kebutuhan air irigasi bersih maksimum per pemberian (aplikasi) adalah sama dengan *Management Allowed Deficit* (MAD) dan dihitung dengan persamaan (Keller & Bliesner, 1990):

$$d_x = \frac{MAD}{100} \times \frac{P_w}{100} \times AW \times D_{rz} \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:

Td = transpirasi harian pada periode puncak (mm/hari)

Ud = kebutuhan air tanaman harian rata-rata pada pertumbuhan tanaman maksimum dengan kanopi sempurna (mm/hari). Nilai ini merupakan evapotranspirasi hasil analisis data iklim menggunakan metode Penman (Doorenbos & Pruitt, 1977) dengan koefisien tanaman sesuai (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998)

Pd = persentase dari penutupan permukaan tanah oleh bayangan kanopi pada siang hari (%)

dx = jumlah air irigasi maksimum per aplikasi (mm)

AW = air tersedia di dalam tanah (mm/m)

D<sub>rz</sub> = kedalaman perakaran (m)

### 2.3.3. Optimasi Penggunaan Air Embung

#### a) Pengembangan Model Matematik Operasi Embung

Dalam rangka optimasi penggunaan air embung untuk menentukan jumlah pemakaian air, maka perlu mengembangkan perangkat model matematis yang mengintegrasikan operasi embung dan alokasi air. Model matematis yang dikembangkan menggunakan persamaan kontinuitas dan konservasi volume. Operasi embung adalah penampungan aliran air sungai ke dalam sebuah embung dan pelepasan dari pada air yang telah ditampung tersebut untuk berbagai tujuan tertentu. Sedangkan pola operasi adalah patokan operasional periode suatu embung dimana debit air yang dikeluarkan oleh embung harus mengikuti ketentuan agar elevasinya terjaga sesuai dengan rancangan. Persamaan operasi embung dinyatakan sebagai berikut (Wurbs, 1996):

$$S_{t+1} = S_t + I - O \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan:

S<sub>t+1</sub> = Tampungan pada akhir periode t

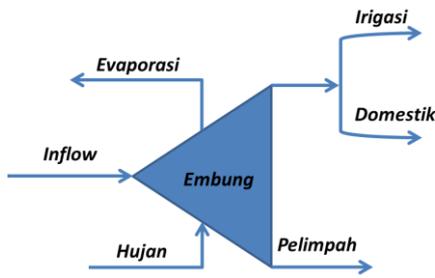
t = Interval waktu yang digunakan

S<sub>t</sub> = Tampungan pada awal periode t

I = Total volume debit *inflow* yang masuk ke waduk selama periode t (*inflow* ke embung berupa limpasan/*runoff* dan hujan)

O = Total volume *outflow* yang keluar dari embung selama periode t (*outflow* yang keluar dari embung berupa evaporasi, pemakaian air domestik dan atau irigasi serta keluaran dari pelimpah embung)

*Outflow* dan *inflow* yang digunakan dalam pemodelan matematis untuk menyimulasikan Embung Kasih diilustrasikan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3** Ilustrasi Pengembangan Model Matematis Simulasi Operasi Embung Kasih

**b) Optimasi**

Prosedur memilih sekumpulan variabel keputusan yang memaksimalkan atau meminimalkan fungsi obyektif yang tunduk pada kendala sistem disebut sebagai prosedur optimasi (Simonović, 2009). Metode pengoptimalan dirancang untuk memberikan nilai terbaik dari desain sistem dan variabel kebijakan operasi merupakan nilai yang akan mengarah ke tingkat kinerja sistem tertinggi (Loucks & Van Beek, 2005). Optimasi merupakan suatu rancangan untuk memecahkan permasalahan model-model perencanaan dengan dasar fungsi matematis yang membatasi sehingga menjadi suatu proses sistem untuk menghasilkan keputusan terbaik. Dalam proses optimasi terdapat kondisi untuk mencapai tujuan yang optimum. Optimasi memiliki dua komponen yaitu model matematik yang telah dikembangkan dalam rangka untuk mensimulasikan muka air yang terjadi di embung dan penyelesaian model matematik. Model matematik terdiri dari persamaan maupun pertidaksamaan yang terdiri dari fungsi tujuan (*objective function*), fungsi kendala (*constraints condition*) dan fungsi non negativitas (*non negativity constrain*).

Untuk memperoleh hasil optimasi, maka model matematik tersebut harus diselesaikan dengan operasi matematika tertentu dengan fungsi tujuan memaksimalkan total air yang dikeluarkan dari embung (air yang dimanfaatkan untuk irigasi dan domestik). Adapun fungsi kendala dalam melakukan optimasi adalah kekurangan air sama dengan nol dan muka air akhir operasi harus sama atau lebih besar dari muka air awal operasi. Dalam optimasi tersebut variabel yang menjadi target adalah jumlah penduduk dalam rangka untuk menentukan air yang diperlukan untuk domestik dan luas areal irigasi.

Model optimasi yang digunakan adalah optimasi non linier Metode *Generalized Reduced Gradient* (GRG). Penyelesaian optimasi dilakukan dengan *Excel Solver*. Konsep dasar dari Metode GRG meliputi linierisasi fungsi tujuan non-linier dan kendala pada solusi lokal dengan persamaan

Taylor. Konsep metode GRG digunakan membagi sekumpulan variabel ke dalam dua sub variabel dasar dan non-dasar dan konsep eliminasi variabel implisit untuk mengekspresikan variabel dasar oleh variabel non-dasar. Metode *generalized reduced gradient* adalah generalisasi metode gradien tereduksi dengan memungkinkan pembatasan nonlinear dan batasan berubah pada variabel. Bentuk persamaannya adalah:

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize } g_{m+1}(X) \\
 & \text{subject to } g_i(X) = 0, \quad i = 1, \text{neg} \\
 & 0 \leq g_i(X) \leq ub(n + i), \quad i = \text{neg} + 1, m \\
 & lb(i) \leq X_i \leq ub(i), \quad i = 1, n \dots\dots\dots (17)
 \end{aligned}$$

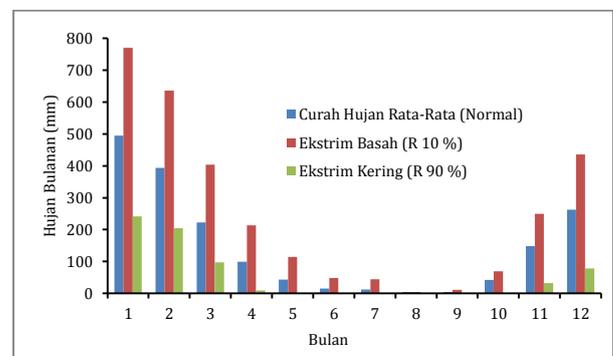
Keterangan:

X adalah vektor variabel n. Jumlah persamaan kendala (konstran), *neg*, mungkin nol. Fungsi  $g_i$  diasumsikan terdiferensiasi.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Karakteristik Curah Hujan**

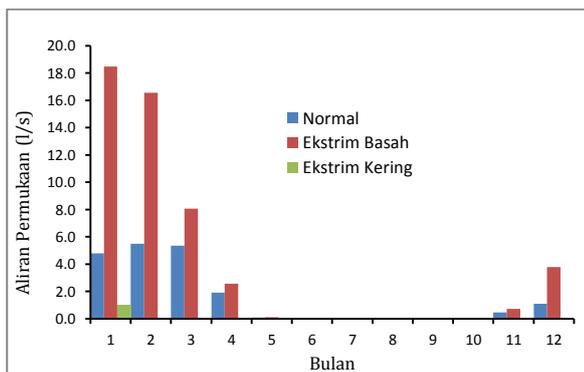
Lokasi pembangunan Embung Kasih berada di Desa Tuatuka. Pos hujan yang paling dekat dengan Embung Kasih yang digunakan untuk analisis adalah Pos Hujan Naibonat. Sedangkan pos klimatologi yang digunakan adalah pos klimatologi Larantuka. Berdasarkan data yang diperoleh, ketersediaan data hujan mulai dari tahun 1974 sampai dengan 2015, sedangkan untuk data klimatologi mulai dari 1989 sampai dengan 2005. Berdasarkan data hujan di Pos Hujan Naibonat, maka di lokasi studi memiliki kondisi iklim tipe D4. Kategori ini sesuai dengan kriteria menurut klasifikasi Oldeman, dimana terjadi 3 sampai 4 kali hujan basah berturut. Kriteria hujan basah apabila jumlah hujan bulanan lebih besar dari 200 mm. Sesuai dengan analisis data hujan di pos Naibonat seperti terlihat pada Gambar 4 menunjukkan bahwa terdapat 4 bulan dengan jumlah hujan diatas 200 mm mulai dari Bulan Desember sampai dengan Bulan Maret.



**Gambar 4** Karakteristik Curah Hujan di Embung Kasih

### 3.2. Aliran Permukaan

Sumber air di Embung Kasih dihasilkan dari hujan yang jatuh langsung masuk ke tubuh embung dan aliran permukaan di lahan dengan luas sekitar 8,2 ha. Aliran permukaan diperoleh dengan menggunakan pendekatan model hujan-limpasan NRECA. Model ini sebelum digunakan terlebih dahulu dikalibrasi parameternya dengan asumsi bahwa aliran permukaan yang dihasilkan tidak akan lebih besar dari pengurangan hujan yang terjadi dengan kehilangan air berupa evapotranspirasinya. Berdasarkan asumsi tersebut, maka diperoleh nilai parameter untuk digunakan sebagai faktor menentukan aliran permukaan yang masuk ke embung. Air permukaan dibedakan berdasarkan kondisi hujan normal, ekstrim basah dan ekstrim kering sebagai batasan dalam menentukan pola operasi embung. Adapun limpasan permukaan hasil model NRECA yang terbagi berdasarkan kondisi hujan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Debit Limpasan Permukaan di Embung Kasih

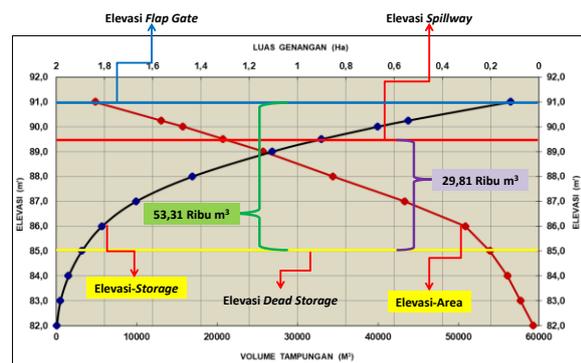
### 3.3. Kapasitas Tampungan Embung Kasih

Pembuatan embung bertujuan untuk memenuhi ketersediaan air yang diperlukan buat kebutuhan domestik dan pertanian. Embung yang dibangun pada tahun 2018 menggunakan pelimpah pada elevasi +89,5 m. Untuk meningkatkan kapasitas tampungan ditambah *flapgate* setinggi 1,5 m sehingga elevasi pelimpah dapat mencapai +91 m. Berdasarkan pada pengukuran topografi di rencana lokasi embung, maka diperoleh hubungan elevasi-tampungan dan luas, seperti terlihat pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut diperoleh kapasitas tampungan embung yang dibangun sekitar 29,81 ribu m<sup>3</sup> sampai pada elevasi pelimpah +89,5 m, namun kapasitas tampungan dapat mencapai 53,31 ribu m<sup>3</sup> sampai pada elevasi *flapgate*.

### 3.4. Penggunaan Air Embung Kasih

Air Embung Kasih yang dibangun direncanakan digunakan untuk kebutuhan domestik dan

pertanian. Namun karena secara umum penduduk di sekitar lokasi pembangunan embung telah memiliki sumber air untuk keperluan sehari-hari yang berasal dari sumur bor air tanah, maka penggunaan air embung tersebut tidak hanya digunakan untuk kebutuhan domestik tetapi dipergunakan juga untuk pertanian. Karena kapasitas tampungan dari Embung Kasih tersebut terbatas, maka jenis pertanian yang direncanakan menggunakan prinsip pemakaian air yang hemat, sehingga yang diusulkan adalah pertanian dengan sistem irigasi tetes.



Gambar 6 Hubungan Elevasi-Tampungan-Luas di Embung Kasih

#### a) Penggunaan Air untuk Kebutuhan Domestik

Pemerintah melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 14 Tahun 2010 Standar Pelayanan Minimal bidang PU dan Penataan Ruang, telah menetapkan standar minimal kebutuhan air minum sebesar 60 liter/org/hari. Sementara kriteria perencanaan menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, menetapkan untuk wilayah pedesaan dengan kebutuhan air berkisar antara 60 s.d. 80 l/org/hari. Sesuai dengan standar di atas, maka kebutuhan air untuk domestik di Desa Tuatuka digunakan sebesar 60 l/hari per orang. Standar ini digunakan untuk menghitung total kebutuhan air yang diperlukan oleh penduduk yang ada di sekitar lokasi Embung Kasih.

#### b) Penggunaan Air untuk Irigasi Tetes

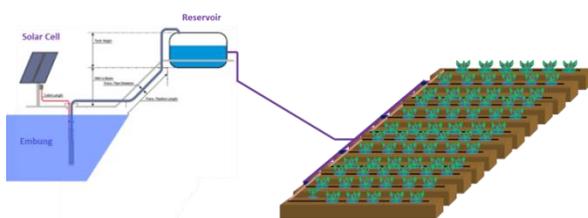
Selain digunakan untuk domestik, air di embung digunakan juga untuk kebutuhan air irigasi. Sistem irigasi yang diterapkan dalam pertanian tersebut menggunakan sistem irigasi tetes agar hemat dalam penggunaan air. Jenis tanaman yang akan digunakan dalam sistem irigasi tetes adalah tanaman cabai. Tanaman cabai (*Capsicum Annum L.*) membutuhkan air dalam jumlah yang cukup, dan dengan pemberian yang tepat waktu. Keadaan tersebut dapat dicapai dengan penerapan sistem irigasi tetes, karena sistem ini dapat diatur jumlah dan waktu pemberian, sesuai dengan kebutuhan

air tanaman cabai (Ekaputra, Yanti, Saputra, & Irsyad, 2017). Jarak tanaman cabai direncanakan 50 cm dan jarak antara jalur tanaman direncanakan 60 cm. Asumsi lain yang digunakan dalam perencanaan irigasi tetes dalam rangka untuk menghitung besarnya kebutuhan air tanaman cabai adalah kemampuan tanah dalam menahan air diperkirakan sekitar 110 mm/m (tanah berlempung), infiltrasi tanah diperkirakan sekitar 6,15 mm/jam (Keller & Bliesner, 1990). Berdasarkan beberapa asumsi diatas, maka dihitung kebutuhan air tanaman cabai untuk kondisi kebutuhan air puncak adalah sekitar 64,69 m<sup>3</sup>/hari/ha dengan rata-rata kebutuhan air untuk tanaman cabai selama masa musim tanam adalah sekitar 45,78 m<sup>3</sup>/ha/hari. Fase pertumbuhan tanaman cabai pada kebutuhan air puncak berada pada fase pertengahan (*mid season*) saat kanopi tanaman telah terbentuk sempurna sampai mendekati masa panen dengan koefisien tanaman maksimum sebesar 1,05 (Allen *et al.*, 1998; Doorenbos & Pruitt, 1977).

Agar air embung dapat digunakan untuk keperluan irigasi tetes, maka perlu dirancang supaya sumber air tersebut memiliki tinggi tekan (*head*) yang cukup untuk sampai pada *emitter*. Skema desain distribusi jaringan irigasi tetes dapat dilihat pada Gambar 7. Untuk meningkatkan tinggi tekan maka, air embung pertama sekali harus dipompa ke tempat tampungan (*reservoir*) yang lebih tinggi untuk selanjutnya dialirkan secara gravitasi ke lahan pertanian yang lebih rendah, seperti terlihat pada Gambar 8.



**Gambar 7** Skema Desain Irigasi Tetes di Embung Kasih



**Gambar 8** Sistem Layout Desain Irigasi Tetes di Embung Kasih

### 3.5. Pola Operasi Embung Kasih

Agar pengelolaan air yang ada di Embung Kasih dengan kapasitas sekitar 53,31 ribu m<sup>3</sup> dapat berjalan dengan baik dan efisien sesuai dengan fungsinya, maka diperlukan rencana operasi penggunaan air embung. Pola operasi Embung Kasih disesuaikan dengan kondisi hujan yang terjadi dan tujuan pemanfaatan airnya. Dalam kajian ini terdapat 3 kondisi hujan yang digunakan sebagai batasan yaitu kondisi hujan normal, kondisi hujan ekstrim basah dan kondisi hujan ekstrim kering. Sementara untuk pemanfaatan air digunakan untuk tujuan pemanfaatan tunggal (domestik atau irigasi tetes) dan manfaat ganda (domestik dan irigasi tetes). Kombinasi pemanfaatan air dan kondisi hujan akan memberikan pola operasi Embung Kasih yang berbeda. Pola operasi Embung Kasih untuk beberapa kondisi dan pemanfaatan air dijelaskan berikut ini.

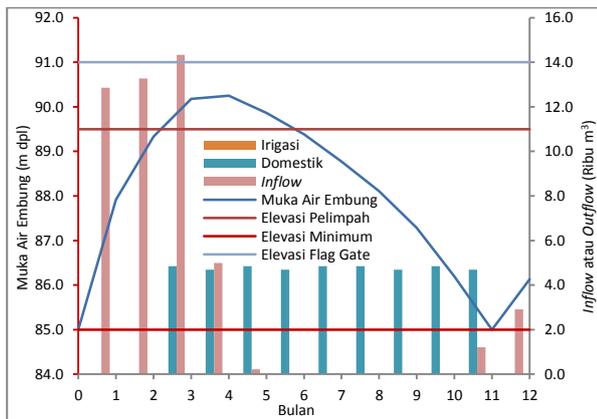
#### 3.5.1. Pola Operasi Embung Kasih untuk Manfaat Tunggal (*Single Purpose*)

##### a) Kondisi Hujan Normal

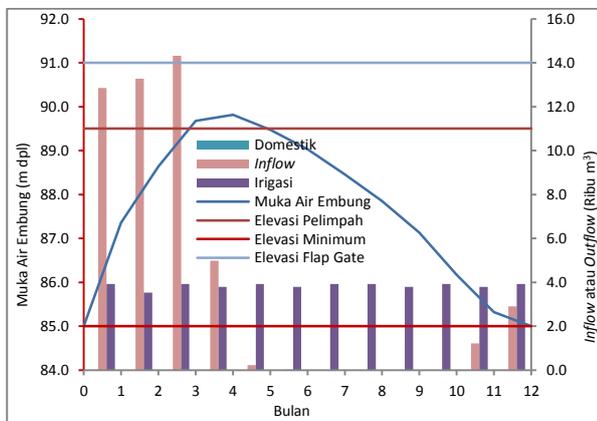
Pola operasi penggunaan air dengan manfaat tunggal (domestik atau irigasi) di Embung Kasih pada kondisi hujan normal telah dilakukan dan diperoleh jumlah penduduk yang dapat memanfaatkan air tersebut atau luas areal irigasi yang dapat disuplai oleh air Embung Kasih. Untuk keperluan domestik, berdasarkan hasil optimasi maka diperoleh jumlah penduduk yang dapat dilayani oleh embung sebanyak 2.604 orang selama 9 bulan musim kemarau. Layanan yang diberikan hanya 9 bulan karena diprioritaskan untuk memenuhi selama musim kering, sementara pada saat musim penghujan selama 3 bulan dapat disuplai dari air hujan dan air tanah. Hal ini dilakukan mengingat kapasitas tampungan embung sangat terbatas. Profil muka air di embung dengan pemanfaatan air untuk domestik berdasarkan hasil optimasi dapat dilihat pada Gambar 9 (a).

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa air dari embung mulai digunakan untuk domestik pada Bulan Maret sampai dengan Bulan November. Air di dalam embung mengalami kondisi maksimum pada Bulan April dengan muka air dapat mencapai +90,25 m. Jika air embung tersebut dimanfaatkan hanya untuk keperluan irigasi tetes, maka dapat memenuhi kebutuhan air irigasi tanaman cabai seluas 2,746 Ha. Profil muka air di embung dengan penggunaan untuk irigasi tetes dapat dilihat pada Gambar 9 (b). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa suplai air untuk irigasi tetes dilakukan sepanjang tahun dan air di dalam

embung mencapai maksimum pada Bulan April dengan muka air dapat mencapai +89,82 m.



(a)



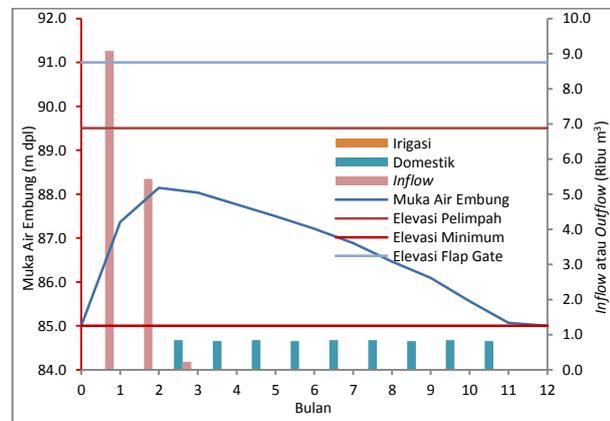
(b)

**Gambar 9** Grafik Muka Air di Embung Kasih Kondisi Hujan Normal untuk Pemanfaatan Air (a) Domestik (b) Irigasi

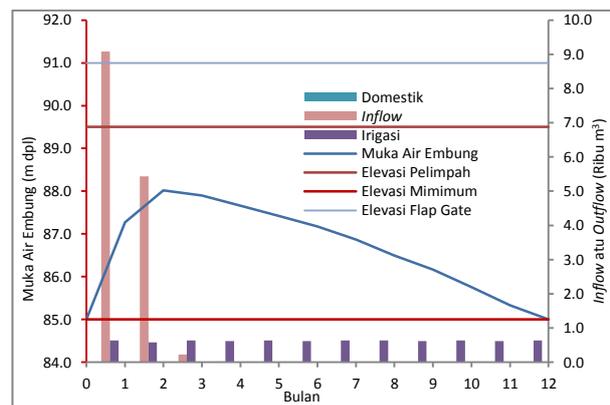
### b) Kondisi Hujan Ekstrim Kering

Operasi embung pada kondisi hujan ekstrim kering dengan manfaat tunggal, baik untuk domestik atau irigasi tetes telah dilakukan. Optimasi pemanfaatan air untuk masing-masing sektor tersebut telah diperoleh jumlah penduduk atau luas areal irigasi yang dapat disuplai oleh Embung Kasih. Untuk keperluan domestik, berdasarkan hasil optimasi diperoleh jumlah penduduk yang dapat dilayani sebanyak 454 orang selama 9 bulan. Profil muka air di embung tersebut untuk tujuan penggunaan domestik berdasarkan hasil optimasi dapat dilihat pada Gambar 10 (a). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa air dalam embung mencapai maksimum pada Bulan Februari dengan muka air mencapai +88,14 m. Jika air embung tersebut digunakan hanya untuk keperluan irigasi tetes, maka dapat memenuhi kebutuhan air irigasi tanaman cabai seluas 0,45 ha. Profil muka air embung tersebut

berdasarkan hasil optimasi dapat dilihat pada 10 (b). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa suplai air untuk irigasi tetes dilakukan sepanjang tahun dan air di dalam embung mencapai maksimum pada Bulan Februari dengan muka air dapat mencapai +88,02 m.



(a)



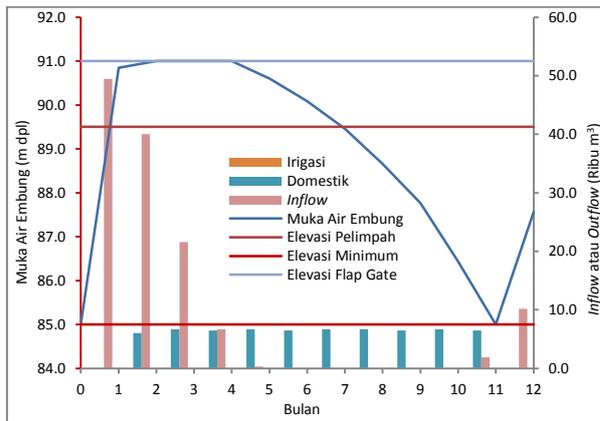
(b)

**Gambar 10** Grafik Muka Air di Embung Kasih Kondisi Hujan Ekstrim Kering untuk Pemanfaatan (a) Domestik (b) Irigasi

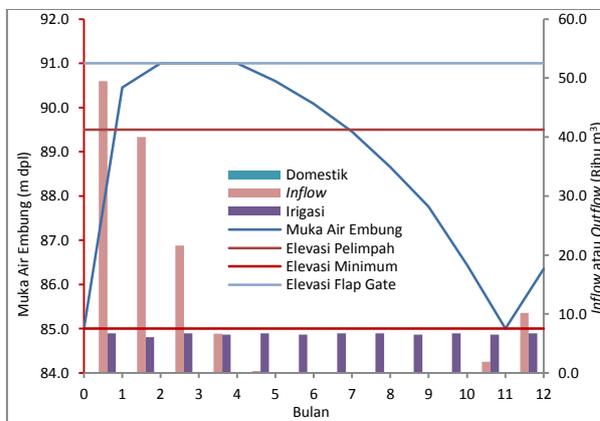
### c) Kondisi Hujan Ekstrim Basah

Analisis yang sama dilakukan untuk kondisi hujan ekstrim basah. Operasi penggunaan air dengan manfaat tunggal baik untuk domestik atau irigasi tetes dilakukan. Optimasi pemanfaatan air dilakukan untuk menentukan jumlah pemakaian air yang maksimal. Hasil optimasi diperoleh jumlah penduduk yang dapat menggunakan air atau luas areal irigasi yang dapat disuplai oleh Embung Kasih.

Untuk keperluan domestik, berdasarkan hasil optimasi diperoleh jumlah penduduk yang dapat dilayani sebanyak 3.601 orang selama 9 bulan. Profil muka air di embung tersebut berdasarkan hasil optimasi untuk penggunaan air domestik dapat dilihat pada Gambar 11 (a).



(a)



(b)

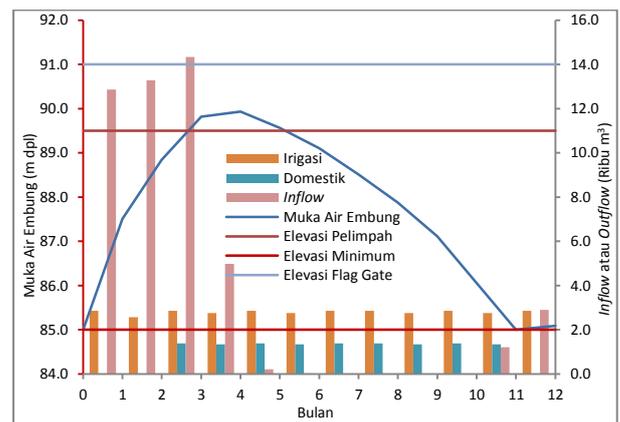
**Gambar 11** Grafik Muka Air di Embung Kasih Kondisi Hujan Ekstrim Basah untuk Pemanfaatan Air (a) Domestik (b) Irigasi

Berdasarkan Gambar 11 (a) dapat dilihat bahwa muka air yang terjadi di embung tersebut mengalami *overflow* dari pelimpah selama 3 bulan. Hal ini terjadi karena *inflow* embung tersebut sangat besar yang menyebabkan kapasitas tampungan embung tidak mencukupi. Jika air embung tersebut digunakan untuk keperluan irigasi tetes, maka berdasarkan hasil optimasi dapat memenuhi kebutuhan air irigasi tanaman cabai seluas 4,698 ha. Muka air embung berdasarkan hasil optimasi dengan penggunaan air untuk irigasi tetes dapat dilihat pada Gambar 11 (b). Dari Gambar 11 (b) terlihat bahwa muka air di embung tersebut mengalami *overflow* dari pelimpah selama 3 bulan. Kondisi muka air ekstrim ini terjadi pada Bulan Februari, Maret dan April, sementara *inflow* yang terbesar terjadi pada Bulan Januari. *Inflow* pada Bulan Januari dapat mengisi volume embung hingga muka air di embung dapat mencapai +90,85 m (untuk domestik) dan +90,46 m (irigasi tetes).

### 3.5.2. Pola Operasi Embung Kasih untuk Beberapa Manfaat (*Multiple Purposes*)

#### a) Kondisi Hujan Normal

Operasi penggunaan air dengan manfaat ganda (domestik dan irigasi) di Embung Kasih pada kondisi hujan normal telah dilakukan dan diperoleh jumlah penduduk yang dapat menggunakan air tersebut dan luas areal irigasi yang dapat disuplai. Berdasarkan hasil optimasi, maka diperoleh jumlah penduduk yang dapat dilayani oleh embung tersebut sebanyak 746 orang selama 9 bulan dan untuk keperluan irigasi tetes tanaman cabai sepanjang tahun dapat memenuhi seluas 2 ha. Profil muka air embung hasil optimasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 12. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa muka air embung tersebut mencapai maksimum pada Bulan April. Muka air yang terjadi dapat mencapai +89,93 m.



**Gambar 12** Grafik Muka Air di Embung Kasih Kondisi Hujan Normal dengan Pemanfaatan Air untuk Domestik dan Irigasi

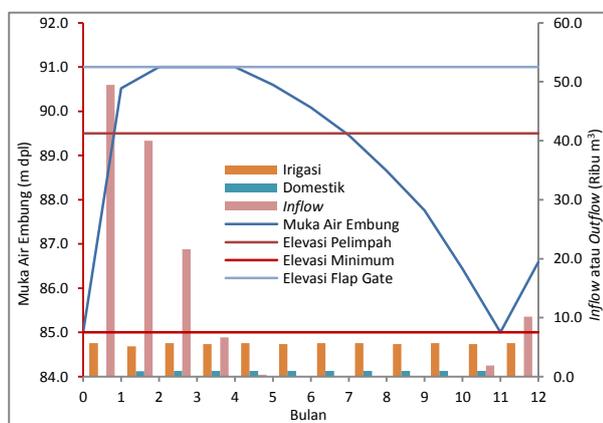
#### b) Kondisi Hujan Ekstrim Basah

Analisis yang sama dilakukan untuk kondisi hujan ekstrim basah. Operasi penggunaan air dengan manfaat ganda (domestik dan irigasi) di Embung Kasih dilakukan. Berdasarkan hasil optimasi diperoleh jumlah penduduk yang dapat menggunakan air dan luas areal irigasi yang dapat disuplai oleh Embung Kasih. Hasil optimasi diperoleh jumlah penduduk yang dapat dilayani oleh embung tersebut sebanyak 535 orang selama 9 bulan dan untuk irigasi tetes tanaman cabai sepanjang tahun dapat memenuhi seluas 4 ha. Muka air embung hasil optimasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 13. Dari Gambar 13 terlihat bahwa air di embung masih mengalami *overflow* dari pelimpah selama 3 bulan.

Hasil optimasi model pemanfaatan air Embung Kasih untuk berbagai kondisi hujan dan kondisi penggunaan air dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Luas Areal Pertanian dan Jumlah Penduduk Hasil Optimasi

No	Kondisi	Manfaat tunggal		Manfaat ganda	
		Irigasi Cabai (Ha)	Domestik (org)	Irigasi Cabai (Ha)	Domestik (org)
1	Ekstrim Kering	0,45	454	-	454
2	Normal	2,746	2604	2	746
3	Ekstrim Basah	4,698	3601	4	535



**Gambar 13** Grafik Muka Air di Embung Kasih Kondisi Hujan Ekstrim Basah dengan Pemanfaatan Air untuk Domestik dan Irigasi

### 3.6. Evaluasi Kinerja Embung Hasil Optimasi

Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan telah menghasilkan jumlah penduduk dan luas areal irigasi yang diperlukan untuk berbagai kondisi hujan. Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap hasil optimasi melalui simulasi selama data tersedia dari tahun 1974 s.d. 2015 untuk mengukur kemampuan embung dalam memenuhi fungsinya yaitu pemberian air domestik dan irigasi tetes. Simulasi dilakukan sesuai dengan jumlah penduduk dan areal irigasi yang ditetapkan berdasarkan hasil optimasi. Terdapat beberapa kriteria atau kombinasi yang dilakukan dalam simulasi dari hasil optimasi yang telah dilakukan. Namun kombinasi yang memungkinkan untuk memenuhi tingkat keandalan operasi embung terdapat dua pilihan yaitu:

- (1) Kriteria A: *multiple purposes* (Irigasi 2 ha, Domestik 746 orang)
- (2) Kriteria B: *multiple purposes* (Irigasi 2 ha, Domestik 454 orang)

Kedua kombinasi tersebut disimulasikan sesuai dengan ketersediaan data dan selanjutnya dievaluasi untuk melihat kinerja embung. Kinerja embung dinilai berdasarkan keandalan operasi, dimana keandalan operasi yang dapat diterima apabila tingkat kegagalan kurang dari 25% atau tingkat keandalannya lebih dari 75%. Nilai ini diperoleh berdasarkan kondisi iklim setempat, dimana dari kondisi data hujan diperoleh 3 bulan terjadi musim hujan sehingga untuk kebutuhan penduduk dan pertanian dapat disuplai dari air hujan secara langsung, sisanya selama 9 bulan merupakan musim kering yang diperlukan disuplai dari embung tersebut.

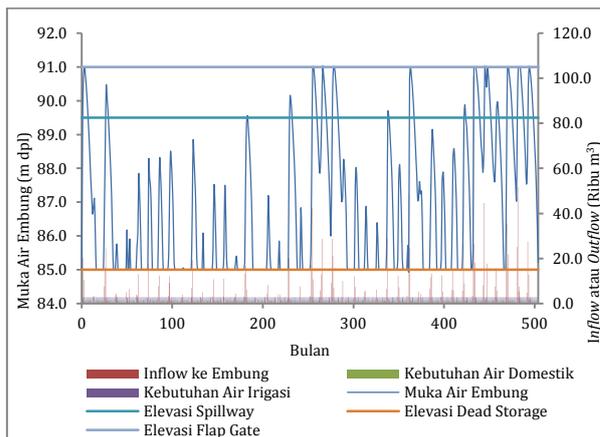
#### 3.6.1. Kriteria A

Kriteria A memiliki pemanfaatan air untuk domestik dan irigasi pertanian. Luas areal irigasi yang digunakan adalah 2 ha dan untuk keperluan domestik direncanakan untuk mensuplai air sekitar 746 penduduk. Simulasi pemanfaatan air di embung tersebut dimulai dari tahun 1974 s.d. 2015. Berdasarkan hasil simulasi, maka terdapat beberapa bulan yang mengalami kegagalan, tidak dapat memenuhi kebutuhan air untuk kedua sektor tersebut. Hasil simulasi dan fluktuasi muka air embung dapat dilihat pada Gambar 14. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, maka diperoleh tingkat keandalan pemberian air embung untuk memenuhi kebutuhan penduduk dan irigasi hanya mencapai 54,17%. Nilai keandalan ini masih terlalu rendah, karena keandalan pemenuhan air untuk dimanfaatkan di daerah ini harusnya lebih besar dari 75%.

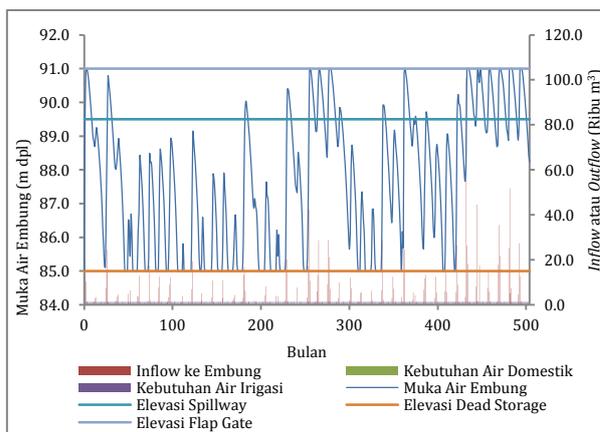
#### 3.6.2. Kriteria B

Kriteria B memiliki pemanfaatan air untuk domestik dan irigasi tetes. Luas areal irigasi yang digunakan adalah 2 ha dan untuk keperluan domestik direncanakan untuk mensuplai air sekitar 454 penduduk. Simulasi pemanfaatan air di embung tersebut dimulai dari tahun 1974 s.d. 2015. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, maka terdapat beberapa bulan yang mengalami kegagalan, tidak dapat memenuhi kebutuhan air untuk kedua sektor tersebut. Tingkat keandalan penggunaan air embung tersebut hanya meningkat 3% menjadi 57,54%. Nilai keandalan ini masih kurang dari 75%, sehingga hasil kriteria B belum dapat digunakan sebagai nilai batasan untuk penggunaan air embung. Melihat tingkat keandalan yang masih berada dibawah 75%, maka diperlukan upaya untuk meningkatkan dengan menjustifikasi luas areal irigasi. Hal ini dilakukan karena kebutuhan air untuk penduduk menjadi hal yang diprioritaskan. Luas areal irigasi dipilih untuk diturunkan dari kriteria B (2 ha) menjadi 1,5 ha, 1 ha dan 0,5 ha. Berdasarkan

evaluasi tingkat keandalan dari pemilihan luas areal irigasi tersebut diperoleh nilai tingkat keandalan masing-masing luas areal irigasi adalah 66,67%, 78,57% dan 93,63% secara berturut turut. Dengan demikian, maka ditetapkan untuk luas areal irigasi sebesar 1 ha dengan tingkat keandalan yang dicapai sekitar 78,57%. Hasil simulasi dan fluktuasi muka air embung untuk kondisi kriteria B dengan luas areal irigasi 1 ha dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 14 Hasil Simulasi Kriteria A



Gambar 15 Hasil Simulasi Kriteria B dengan Luas Areal Irigasi 1 ha

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Embung Kasih dapat menyuplai kebutuhan domestik sekitar 454 orang pada kondisi ekstrim kering dan sekitar 2604 orang kondisi normal serta sekitar 3601 orang untuk kondisi ekstrim basah atau mensuplai kebutuhan irigasi tetes dengan luas areal irigasi sekitar 0,45 ha untuk kondisi ekstrim kering, 2,75 ha untuk kondisi normal dan sekitar 4,698 ha untuk kondisi ekstrim basah. Jika Embung Kasih digunakan untuk manfaat ganda seperti kebutuhan domestik dan irigasi tetes, maka diperoleh proporsi penggunaan air pada kondisi

ekstrim kering untuk domestik sekitar 454 orang dan irigasi tetes tidak ada. Pada kondisi normal, penggunaan air untuk domestik sekitar 746 orang dan irigasi tetes sekitar 2 ha, sementara untuk kondisi ekstrim basah, penggunaan air untuk domestik sekitar 535 orang dan irigasi tetes sekitar 4 ha.

Berdasarkan evaluasi hasil optimasi penggunaan air dengan metode simulasi terhadap 2 kriteria yang terpilih (Kriteria A dan Kriteria B) dari tahun 1974 s.d. 2015 diperoleh tingkat keandalan masing masing 54,17% dan 57,54%. Tingkat keandalan dari kriteria yang terpilih masih berada di bawah 75%. Untuk itu maka luas areal irigasi pada Kriteria B diturunkan menjadi 1 Ha sehingga diperoleh tingkat keandalan menjadi 78,57%. Dengan demikian maka penggunaan air Embung Kasih ditetapkan untuk memenuhi kebutuhan domestik sekitar 454 orang dan kebutuhan air untuk irigasi tetes seluas 1 ha.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bidang Standar dan Kerjasama, Pusat Litbang Sumber Daya Air atas pendanaan untuk survei awal di rencana Embung Kasih dan semua pihak yang terlibat dalam kegiatan ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., El-Shafie, A., Razali, S. F. M., & Mohamad, Z. S. (2014). Reservoir optimization in water resources: a review. *Water Resources Management*, 28(11), 3391-3405. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0700-5>
- Alitu, A. (2007). Kalibrasi parameter model NRECA (studi kasus Sungai Paguyaman). *Jurnal Teknik*, 5(2), 172-182.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Belaineh, G., Peralta, R. C., & Hughes, T. C. (1999). Simulation/optimization modeling for water resources management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(3), 154-161. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1999\)125:3\(154\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1999)125:3(154))
- Crawford, N. H. (1981). Small hydropower: hydrological methodology without streamflow data. Dalam C. R. Elliott (Ed.), *Small Hydropower for Asian Rural Development* (hlm. 80-89). Bangkok, Thailand: The Asian Institute of Technology.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi - Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan* (KP-01). Jakarta:

- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). *Crop Water Requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Ekaputra, E. G., Yanti, D., Saputra, D., & Irsyad, F. (2017). Rancang bangun sistem irigasi tetes untuk budidaya cabai (*Capsicum annum* L.) dalam greenhouse di Nagari Biaro, Kecamatan Ampek Angkek, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 103–112.
- Georgiou, P. E., & Papamichail, D. M. (2008). Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. *Irrigation Science*, 26(6), 487–504. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0110-7>
- Hatmoko, W., Radhika, R., Firmansyah, R., & Fathoni, A. (2018). Ketahanan air irigasi pada wilayah sungai di Indonesia. *Jurnal Irigasi*, 12(2), 65. <https://doi.org/10.31028/ji.v12.i2.65-76>
- Herudjito, A. S. (1997). *Studi Aplikasi Perangkat Lunak Sacramento, Rainrun dan NRECA untuk Peramalan Debit Aliran Permukaan* (Skripsi). Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. The Blackburn Press.
- Lasdon, L. S., Fox, R. L., & Ratner, M. W. (1974). Nonlinear optimization using the generalized reduced gradient method. *Revue Française d'Automatique, Informatique et Recherche Opérationnelle*, 8(V3), 73–103.
- Loucks, D. P., & Van Beek, E. (2005). *Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications*. Paris, France: UNESCO Publishing.
- Mays, L. W., & Tung, Y. K. (2002). *Hydrosystems Engineering and Management*. Colorado, USA: Water Resources Publications.
- Nurchayono, & Putra, T. D. (2008). *Perencanaan Pemenuhan Air Baku di Kecamatan Gunem Kabupaten Rembang* (Skripsi). Universitas Diponegoro, Semarang. Diperoleh dari <http://eprints.undip.ac.id/34051/>
- Piesse, M. (2016). *Indonesian Water Security: Improving but Still Subject to Shocks* (Strategic Analysis Paper). Nedlands, Australia: Future Directions International Pty Ltd.
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., ... Nandagopal, S. (2004). Water resources: agricultural and environmental issues. *BioScience*, 54(10), 909–918. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)
- Postel, S. (1992). *The Last Oasis: Facing Water Scarcity*. New York, USA: W.W. Norton.
- Prawito, A. (2010). Studi optimasi Embung Tlogo di Kabupaten Rembang. *Neutron*, 10(2), 32–41.
- Rani, D., & Moreira, M. M. (2010). Simulation-optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. *Water Resources Management*, 24(6), 1107–1138. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9488-0>
- Rashid, M. U., Haider, S. S., Latif, M., & Raja, N. A. (2017). Multi-objective optimization for irrigation deficit through cascade reservoirs. *European Water*, 59, 323–329.
- Seckler, D., Barker, R., & Amarasinghe, U. (1999). Water scarcity in the twenty-first century. *International Journal of Water Resources Development*, 15(1–2), 29–42.
- Simonović, S. P. (2009). *Managing Water Resources: Methods and Tools for a Systems Approach*. Paris, France: UNESCO Publishing.
- Smith, S., & Lasdon, L. (1992). Solving large sparse nonlinear programs using GRG. *ORSA Journal on Computing*, 4(1), 2–15. <https://doi.org/10.1287/ijoc.4.1.2>
- Soedireja, H. R. (2017). Potensi dan upaya pemanfaatan air tanah untuk irigasi lahan kering di Nusa Tenggara. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 67–80.
- Tunas, I. G., & Lesmana, S. B. (2011). Analisis penyimpangan perkiraan debit menggunakan Model Mock dan NRECA. *Infrastruktur*, 1(1), 54–62.
- Wahlin, B. T. (2005). Optimal feedback control of irrigation water delivery systems. Dalam L. W. Mays (Ed.), *Water Resources Systems Management Tools*. New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Wurbs, R. A. (1996). *Modeling and Analysis of Reservoir System Operations*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Zakwan, M. (2016). Application of optimization technique to estimate IDF parameters. *Water and Energy International*, 59(5), 69–71.
- Zakwan, M., Muzzammil, M., & Alam, J. (2017). Developing stage-discharge relations using optimization techniques. *Aquademia: Water, Environment and Technology*, 1(2). <https://doi.org/10.20897/awet/81286>