

NERACA AIR BENDUNGAN TERITIP KOTA BALIKPAPAN PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Oleh: Dwi Prijanto*) M. Janu Ismoyo.*)

Abstract

In order to identify the requirement, balance and availability analysis of water balance in the Teritip Dam to fulfill the raw water required at administration region of the river basin of the teritip dam. Data which used in this study is Balikpapan's hidroclimatology, Then the data analysed, to get 10 daily stream discharge with Model F.J. Mock. After got the result of analysis from the water availability, then continued with dependable discharge analysis with Basic Moon method that use Logarithm Pearson type III distribution, and also tested with Smirnov kosmogorof test. We get the 99 % dependable discharge from year 1983 up to year of 2007 from this calculation that represent the discharge inflow to the dam that represent the dam water availability. The amount of water required is amount of water required in administration region staying Teritip Dam Basin, that located at east Balikpapan District, for example ; Countryside Manggar, Countryside Manggar Baru, Countryside Lamaru, Countryside Teritip to fulfill domestic, industry and non-domestic water requirement untill year of 2015. The Result of this study indicate that the Teritip Dam water supply can supply the demand of Domestic, non-domestic, and industrial water requirement with 100% reliability, at 2010. The Teritip Dam water supply can supply the demand of Domestic, non-domestic, and industrial water requirement with 100% reliability, at 2011. The Teritip Dam water supply can supply the demand of Domestic, non-domestic, and industrial water requirement with 100% reliability, at 2012. The Teritip Dam water supply can only supply the demand of Domestic, non-domestic, and industrial water requirement with 83% reliability, at 2013. The Teritip Dam water supply can only supply the demand of Domestic, non-domestic, and industrial water requirement with 69% reliability at 2014 The Teritip Dam water supply can only supply the demand of Domestic, non-domestic, and industrial water requirement with 61% at 2015.

Keywords : Dam, raw water potency, water balance .

PENDAHULUAN

Ketersediaan air merupakan suatu keniscayaan sebagai kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia. Kebutuhan ini terus meningkat setiap tahun seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas manusia, sementara itu ketersediaan sumber daya air yang dapat dimanfaatkan relatif konstan, bahkan cenderung semakin terbatas akibat perubahan fungsi hidrologis di dalam DAS.

Perkembangan penduduk di suatu wilayah, akan meningkatkan jumlah konsumsi terhadap air. Hal tersebut merupakan kenyataan yang pasti terjadi di beberapa tahun mendatang, tetapi sumberdaya air yang makin hari bersifat terbatas harus dapat dimanfaatkan dengan perencanaan dan penatagunaan sarana-prasarana yang erat hubungannya dengan bidang keairan agar dapat berfungsi secara efisien dan optimal, sehingga di dalam perkembangan suatu wilayah, kecenderungan yang terjadi adalah ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air.

Meningkatnya perekonomian di Kota Balikpapan, memicu pertumbuhan penduduk yang harus diimbangi dengan kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk Kota Balikpapan.

Krisis air bersih yang terjadi akhir-akhir ini di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, akibat kurangnya sumber air baku. Berdasarkan data yang ada akibat berkurangnya air di Waduk Manggar, sekitar 75 persen pelanggan air minum di kota pengolah minyak ini tidak mendapatkan air bersih lagi.

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis air, guna mengantisipasi kebutuhan air bersih dimasa mendatang diperlukan penambahan sumber air baru dibangun waduk Teritip dengan tampungan sebesar 1,834 juta m³ dan luas genangan 79,228 ha, sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih kota Balikpapan.

*) Dosen Teknik Pengairan
Universitas Brawijaya Malang

Bendungan Teritip mempunyai beberapa bangunan fasilitas yang berfungsi untuk mendukung sarana dan prasarana sebuah bendungan, antara lain :

1. Waduk sebagai tempat penampungan air/reservoir.
2. Tubuh Bendungan tipe urugan tanah homogen.
3. Pelimpah (*Spillway*).
4. Intake.

Identifikasi Masalah

Pembangunan Waduk Teritip merupakan penambahan sumber air baku baru guna pemenuhan kebutuhan air bersih Kota Balikpapan, khususnya Kecamatan Balikpapan Timur.

Mencermati permasalahan pembangunan bendungan tersebut diperlukan suatu analisis secara ilmiah sehingga dapat dilihat keseimbangan antara kebutuhan pasokan air dengan potensi air yang tersedia di dalam Waduk Teritip tersebut sampai tahun 2015 sesuai dengan RUTRW kota Balikpapan.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam studi neraca air waduk Teritip, Kecamatan Balikpapan Timur, Kota Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur adalah sebagai berikut :

1. Berapa kebutuhan air untuk Domestik, non-domestik dan industri ?
2. Berapa ketersediaan potensi sumber daya air Waduk Teritip ?
3. Apakah ketersediaan air pada Waduk Teritip dapat memenuhi kebutuhan Domestik, non-domestik, industri, hingga tahun 2015 ?

Batasan Masalah

Mengingat keterbatasan yang ada, pada studi ini hanya difokuskan untuk membahas neraca air waduk Teritip, Kecamatan Balikpapan Timur, Kota Balikpapan, serta diarahkan untuk pemanfaatannya pada wilayah-wilayah administrasi yang berada di dalam Sub DAS ini. Selanjutnya diberikan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Potensi dan keseimbangan air yang diteliti yaitu potensi tahun 2010, dan tahun 2015.
2. Analisis ketersediaan air diperhitungkan dengan tingkat keandalan 99% (Q_{99}) berdasarkan data curah hujan
3. Pemanfaatan potensi sumber daya air hanya dibahas untuk memenuhi kebutuhan di wilayah administrasi yang

berada dalam DAS Teritip, yaitu Kecamatan Balikpapan timur diantaranya Desa Manggar, Desa Manggar Baru, Desa Lamaru, Desa Teritip untuk memenuhi kebutuhan domestik, non-domestik dan industri hingga tahun 2015.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui potensi dan keseimbangan air pada waduk Teritip guna memenuhi kebutuhan pada wilayah administrasi yang berada di dalam DAS teritip hingga tahun 2015.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil studi ini antara lain :

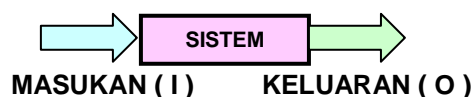
1. Diharapkan dapat membantu pemerintah dan pihak terkait dalam menentukan arah kebijakan pembangunan daerah, khususnya dalam pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya air hingga tahun 2015.
2. Sebagai bahan rujukan untuk studi lebih lanjut bagi pihak yang berkepentingan dalam pengembangan potensi sumber daya air pada DAS Teritip.
3. Memberikan rekomendasi dalam penyediaan air bersih di kecamatan Balikpapan Timur, khususnya : Desa Manggar, Desa Manggar Baru, Desa Lamaru, Desa Teritip.

TINJAUAN PUSTAKA

Umum

Proses siklus air pada suatu daerah untuk periode tertentu terdapat hubungan keseimbangan antara aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*). Hubungan antara ketersediaan air untuk berbagai macam sektor harus terjadi keseimbangan, hubungan keseimbangan disebut "Neraca kebutuhan dan ketersediaan air" sering disebut juga dengan "Neraca Air" atau *water balance*.

Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke, yang tersedia di, dan yang keluar dari sistim (sub-sistem) tertentu, seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut ini :



Gambar 2.1. Skema Neraca Air

$$I = O \pm \Delta S$$

Dimana ;

I = masukan (inflow)

O = keluaran (outflow)

ΔS = perubahan tampungan (change of storage)

Dalam penelitian ini akan dibahas untuk neraca air ketersediaan dan kebutuhan dari potensi sumber daya air Waduk Teritip untuk pemenuhan kebutuhan air bersih di Kota Balikpapan. Perumusan dari neraca air ketersediaan dan kebutuhan adalah : (Lane dan Stone, 1983 dalam Asdak, 2004 : 124) ;

$$Q_{\text{ketersediaan}} - Q_{\text{kebutuhan}} = \Delta S$$

dimana :

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = Total ketersediaan debit (m^3/detik)

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = Total kebutuhan debit (m^3/detik)

ΔS = Perubahan kuantitas air (m^3/detik)

Analisis Hidrologi

1. Curah Hujan Daerah (*Regional Distribution*)

Dalam penelitian ini, curah hujan rata-rata daerah dihitung dengan menggunakan cara rata-rata aljabar. Rumus yang digunakan (Soemarto, 1989:31) :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$$

dimana:

d = tinggi curah hujan rata-rata areal (mm)

d_1, d_2, \dots, d_n = tinggi curah hujan di pos penakar 1, 2, ..., n

n = banyaknya pos penakar hujan

2. Uji Konsistensi Data

Sebelum data hujan dipakai terlebih dahulu harus melewati pengujian untuk kekonsistenan data tersebut. Metode yang digunakan adalah metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). lebih jelas lagi bisa dilihat pada rumus dibawah:

$$S_0^* = 0$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad \text{dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y}$$

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n}$$

nilai statistik Q dan R

$$\text{maks } | S_k^{**} | \quad 0 \leq k \leq n$$

$$R = \text{maks } S_k^{**} - \text{min } S_k^{**} \quad 0 \leq k \leq n$$

3. Evapotranspirasi

2.3.1. Evaporasi

Evaporasi merupakan peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara (Sosrodarsono, 1976 : 57).

Faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Soemarto, 1986 : 43) :

1. Radiasi matahari.
2. Angin.
3. Kelembaban (*humiditas*) relatif.
4. Suhu (temperatur).

2.3.2. Transpirasi

Transpirasi adalah suatu proses yang air di dalam tumbuh-tumbuhan dilimpahkan dalam atmosfer sebagai uap air (Subarkah, 1980 : 39). Umumnya transpirasi sulit diukur secara langsung, oleh karena itu untuk tujuan praktis digabungkan dengan penguapan di permukaan bumi sehingga dinyatakan sebagai evapotranspirasi (Soewarno, 2000 : 143).

2.3.3. Evapotranspirasi Potensial (ET₀).

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan melalui tanaman (transpirasi) (Suhardjono, 1994 : 11).

Dalam kajian ini yang digunakan adalah rumus Standar FAO. Menurut Smith (1991) persamaan standar FAO dikembangkan untuk menghitung evapotranspirasi potensial berdasarkan Persamaan Penman-Montieth (1965), persamaannya dapat ditulis sebagai berikut (Soewarno, 2000 : 163):

$$ET_0 = K_v \cdot \frac{\delta^* R_n / L + \tau [(900/T_k)^* U_2^* (e_s - e_a)]}{\delta + \tau (1 + 0,34 U_2)}$$

Dimana:

ET_0 = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

δ = kemiringan kurva tekanan uap terhadap temperature ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$)

L = panas laten untuk penguapan (MJ/kg)

τ = konstanta psikometrik = 0,06466 $\text{kPa}/^\circ\text{C}$

R_n = radiasi bersih ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{hari}$)

U_2 = kecepatan angin pada tinggi 2 m (m/det)

e_a = tekanan uap aktual (kPa)
 e_s = tekanan uap jenuh (kPa)
 RH = kelembaban relatif (%)
 R_a = radiasi ekstra teresterial (mm/hari)
 α = albedo
 n/N = durasi penyinaran matahari relatif (%)
 β = konstanta Stefan-Boltzman = $4,90 \times 10^{-9}$ MJ/m²/K⁴/hari
 T_k = temperatur udara (°K), (°K = 273,15 + °C)
 900 = konstanta (kg °K/kJ)
 Dengan:
 $e_s = 0,611 \exp [17,27 T/(T + 237,3)]$
 $e_a = e_s \times RH$
 $\delta = 4089 \times e_s / (T + 237,3)^2$
 $L = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})T$
 $R_s = R_a (0,25 + 0,5 n/N)$
 $R_b = \beta \cdot T_k^4 \cdot (0,34 - 0,14 \cdot e_a^{0,5})(0,10 + 0,9 n/N)$
 $R_n = R_s (1 - \alpha) - R_b$
 $K_v = \text{koefisien vegetasi} = 0,90$
 (Soewarno, 2000:167)

2.3.4. Evapotranspirasi Aktual (ETa)

Evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang terjadi sesungguhnya sesuai dengan keadaan persediaan air/kelembaban tanah yang tersedia.

Di Indonesia, Mock pada tahun 1973, menyarankan memperkirakan ETa untuk analisis neraca air, dengan persamaan menggunakan data di Indonesia sebagai berikut (Soewarno,2000:173):

$$ETa = ETo - ETo (m/20)(18 - Nr)$$

Dimana:

ETa = evapotranspirasi aktual (mm/bulan)

ETo = evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

m = luas kawasan tidak bervegetasi (%)

Nr = jumlah hari hujan/bulan

a. Ketersediaan Air

Ketersediaan air adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi (bendung atau di bangunan air lainnya) di sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu.

Untuk pemanfaatan air, perlu diketahui informasi ketersediaan air andalan (debit, hujan). Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan besaran tertentu yang mempunyai kemungkinan terpenuhi yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Besarnya Keandalan Debit untuk Berbagai Keperluan

Kebutuhan	Debit Andalan (%)
Air Minum	99
Air Irigasi	95 – 98
Air Irigasi	
• Daerah beriklim setengah lembab	70 – 85
• Daerah beriklim kering	80 – 95
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	85 - 90

Sumber : Soemarto, 1986 : 214

b. Analisis Ketersediaan Debit

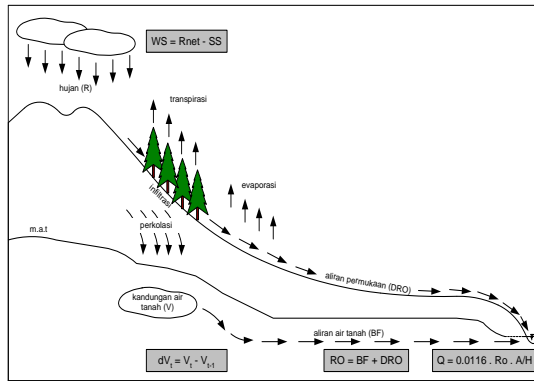
Metode F.J. Mock

2.5.1. Konsep Dasar

Metode ini menganggap bahwa hujan yang jatuh pada *catchment area* sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi *direct run off* dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*). Infiltrasi ini pertama-tama akan menjenuhkan *top-soil* dulu baru kemudian menjadi perkolasi ke tampungan air tanah yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai *base flow*. Dalam hal ini harus ada keseimbangan antara hujan yang jatuh dengan evapotranspirasi, *direct run off* dan infiltrasi sebagai *soil moisture* dan *ground water discharge*. Aliran dalam

sungai adalah jumlah aliran yang langsung di permukaan tanah (*direct run off*) dan *base flow* (Sri Harto Br., 1988).

Metode Mock mempunyai dua prinsip pendekatan perhitungan aliran permukaan yang terjadi di sungai, yaitu neraca air di atas permukaan tanah dan neraca air bawah tanah yang semua berdasarkan hujan, iklim dan kondisi tanah.



Gambar 2.2. Struktur Model F.J. Mock.

Rumus untuk menghitung aliran permukaan terdiri dari (Sri Harto Br., 1988):

- Hujan netto (R_{net}) = $R - ETa$
 Dengan:
 $ETa = ETo - E$
 $E = ETo \cdot Nd/N.m$
- Neraca air di atas permukaan ;
- (WS) = $R_{net} - SS$
 Dengan:
 $SS = SMt + SMt-1$
 $SMt = SMt-1 + R_{net}$
- Neraca air di bawah permukaan
 $dV_t = V_t - V_{t-1}$
 Dengan:
 $I = C_i \cdot WS$
 $V_t = \frac{1}{2} (1+k) \cdot I + k \cdot V_{t-1}$
- Aliran permukaan
 $RO = BF + DRO$
 Dalam satuan debit
- $Q = 0,0116 \cdot RO \cdot A/H$
 Dengan:
 $BF = I - dVt$
 $DRO = WS - I$
 Dimana notasi rumus di atas:
 R_{net} = hujan netto, mm.
 R = hujan, mm.
 Eto = evapotranspirasi potensial, mm.
 ETa = evapotranspirasi aktual, mm.
 N = jumlah hari dalam satu bulan, hari.
 Nd = jumlah hari kering (tidak hujan), hari.
 Nr = jumlah hari hujan, hari.
 WS = kelebihan air, mm.
 SS = daya serap tanah atas air, mm.
 SM = kelembaban tanah, mm.
 dV = perubahan kandungan air tanah, mm.
 Vt = kandungan air tanah, mm.
 I = laju infiltrasi, mm.
 Ci = koefisien infiltrasi (<1).

- k = koefisien resesi aliran air tanah (<1).
- DRO = aliran langsung, mm.
- BF = aliran air tanah (mm).
- RO = aliran permukaan, mm.
- H = jumlah hari kalender dalam sebulan, hari.
- m = bobot lahan tak tertutup vegetasi ($0 < m < 40\%$).
- A = luas DAS, km²
- Q = debit aliran permukaan, m³/det.
- t = waktu tinjau (periode sekarang t dan yang lalu t- 1).

2.5.2. Parameter Karakteristik DAS

Pada model F.J. MOCK ada lima parameter yang menggambarkan karakteristik DAS yang besar pengaruhnya terhadap keluaran sistem, yaitu :

- Singkapan lahan (m).
- Koefisien Infiltrasi.
- Kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*)
- Initial Storage
- Faktor Resesi Air tanah

a. Analisis Debit Andalan Metode Bulan Dasar Perencanaan

Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya resiko kegagalan tertentu. Dalam perhitungan debit andalan untuk keperluan keperluan air minum adalah 99 %. Metode untuk analisa debit andalan adalah *Metode Bulan Dasar Perencanaan*, dengan keandalan debit di hitung mulai bulan januari sampai dengan bulan desember, jadi lebih bisa menggambarkan keandalan pada musim kemarau dan musim penghujan. Perhitungan debit andalan 99 % untuk bulan januari dan bulan-bulan lainnya dilakukan menggunakan analisa frekuensi metode Log Pearson Type III. (Lily Montarcih, 2008 :128).

Parameter-parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson Type III adalah :

- Harga rata-rata
- Standard Deviasi
- Koefisien kepencengan.

i. Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk mengetahui apakah data tersebut benar sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih maka perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Untuk keperluan analisis uji kesesuaian dipakai metode statistik. :

A. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov diperoleh dengan memplot data dan probabilitasnya dari data yang bersangkutan, serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Dari kedua hasil pengeplotan, dapat diketahui penyimpangan terbesar (Δ maksimum). Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang masih diizinkan (Δ_{cr}), pada proyek ini digunakan nilai kritis (significant level) $\alpha = 5\%$. Nilai kritis Δ untuk pengujian ini tergantung pada jumlah data dan α .

**B. Kebutuhan Air
Kebutuhan Air untuk Penduduk
/Domestik ($Q_{domestik}$).**

Kebutuhan air penduduk/domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk yang ada di daerah tersebut. Untuk menentukan kebutuhan untuk keperluan domestik dipergunakan rumus berikut :

$$Q_{domestik} = P_t \cdot U_n$$

dimana :

- $Q_{domestik}$ = jumlah kebutuhan air penduduk (liter/kapita/detik)
- P_t = jumlah penduduk pada tahun yang bersangkutan (jiwa)
- U_n = nilai kebutuhan air perkapita per hari (liter/jiwa/hari)

Salah satu cara perhitungan adalah dengan cara Pertumbuhan Geometri (*Geometric Rate of Growth*)

Perkiraan laju pertumbuhan geometri dinyatakan sebagai berikut (Soerjani, Ahmad, dan Munir, 1987:117):

$$P_n = P_0 \cdot (1+r)^N$$

dimana :

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n
- P_0 = jumlah penduduk pada awal tahun
- R = angka pertumbuhan penduduk (%)
- N = interval waktu (tahun)

Untuk menentukan standar kebutuhan air domestik digunakan tabel ketentuan sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kriteria Penentuan Kebutuhan Air Domestik.

Jumlah Penduduk	Domestik (l / kapita / hari)	Non Domestik (l / kapita / hari)	Kehilangan Air (l / kapita / hari)
> 1.000.000	150	60	50
500.000 - 1.000.000	135	40	45
100.000 - 500.000	120	30	40
200.000 - 100.000	105	20	30
< 20.000	82,5	10	24

Sumber : Bambang Triatmojo (2008:320)

**C. Kebutuhan Air untuk Non Domestik
($Q_{non\ domestik}$)**

Kebutuhan air yang termasuk penyediaan air untuk badan-badan komersial, kantor pemerintah dan sosial. Kebutuhan air non domestik sebesar berdasarkan ketentuan yang terdapat dalam Tabel 2.2.

D. Kebutuhan Air untuk Industri ($Q_{industri}$)

Untuk wilayah yang tidak diperoleh data penggunaan lahan industri, kebutuhan air industri dihitung dengan menggunakan persamaan linear. Standar yang digunakan adalah dari Direktorat Teknik Penyehatan, Dirjen Cipta Karya DPU, yaitu kebutuhan air untuk industri sebesar 10% dari konsumsi air domestik (Bambang Triatmodjo, 2008:323).

E. Kebutuhan Air Total (Q_{total})

Kebutuhan air total dapat diperoleh dengan menjumlah kebutuhan air dari berbagai peruntukan ;

$$Q_{total} = Q_{domestik} + Q_{non\ domestik} + Q_{Industri}$$

dimana :

- Q_{total} = kebutuhan air total ($m^3/detik$)
- $Q_{domestik}$ = kebutuhan air untuk penduduk/domestik ($m^3/detik$)
- $Q_{non-domestik}$ = kebutuhan air untuk keperluan non-domestik ($m^3/detik$)
- $Q_{industri}$ = kebutuhan air untuk industri ($m^3/detik$)

b. Analisis Neraca Air

Studi neraca air ini bertujuan untuk menemukan hubungan antara :

- Volume tampungan bendungan dan tinggi bendungan.
- Kebutuhan air penduduk

Analisis pendekatan untuk keseimbangan simulasi dari kemampuan persediaan air dan kebutuhan air penduduk didasarkan oleh pertumbuhan penduduk dan pola konsumsi penduduk. Prinsip dasar adalah pengembangan dari persamaan kontinuitas, yaitu sebagai berikut:

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

dimana:

I = inflow (m³/dt)

O = outflow (m³/dt)

$\frac{ds}{dt}$ = perubahan tampungan yang

merupakan fungsi dari waktu dan dapat dikembangkan sebagai berikut:

$$I - L_{t-1} - S_t - SP_t - O_t = \frac{(w_t - w_{t-1})}{dt}$$

dimana:

I_t = rata-rata inflow di bendungan dalam 10 harian (m³/dt)

L_t = kehilangan air oleh evapotranspirasi dalam 10 harian (m³/dt)

S_t = kehilangan air akibat rembesan melalui pondasi dalam 10 harian (m³/dt)

SP_t = air yang melimpah dalam 10 harian (m³/dt)

O_t = outflow yang dibutuhkan untuk daerah layanan dalam 10 harian (m³/dt)

Untuk data masukan inflow digunakan data debit dengan rentang waktu tertentu.

Keandalan (kemampuan) waduk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Seyhan, 1979) :

$$R = 100\% - (n/N \times 100\%)$$

Dimana :

R = keandalan kapasitas waduk dalam persen

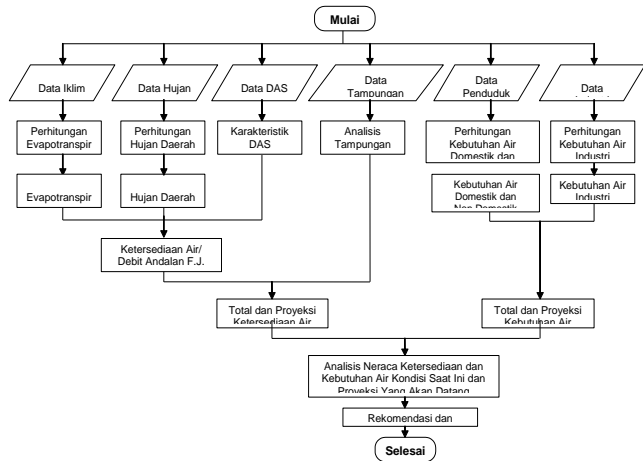
n = banyaknya waduk kosong dalam satuan waktu

N = panjangnya rangkaian data dalam satuan waktu

METODE

3.1. Metode Penelitian

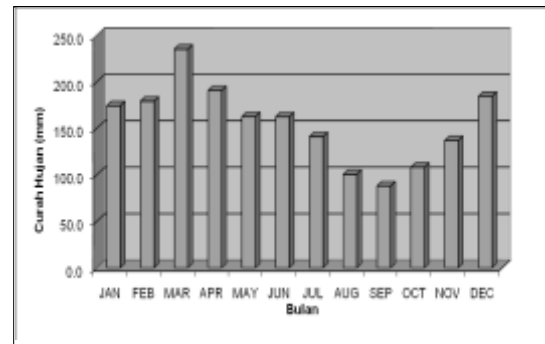
Langkah dan prosedur dalam studi ini dapat dilihat pada Diagram Alir Penelitian (Gambar 3.5).



HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1.1. Data Curah Hujan

Panjang data hujan yang dapat digunakan selama 25 tahun, mulai tahun 1983 sampai dengan tahun 2007.



Gambar 4.4. Curah Hujan Rerata Bulanan Stasiun Balikpapan Tahun 1983-2007

4.1.2. Data Klimatologi

Data klimatologi pada daerah proyek diambil dari stasiun yang terdekat yaitu stasiun klimatologi Balikpapan tahun 2000-2006. Data klimatologi ini meliputi data temperatur, kecepatan angin, kecerahan matahari, kelembaban relatif, penguapan air dan sebagainya yang dapat dilihat dalam Tabel. 4.1.

Tabel 4.1. Data Klimatologi Rerata Stasiun Balikpapan Tahun 2000-2006

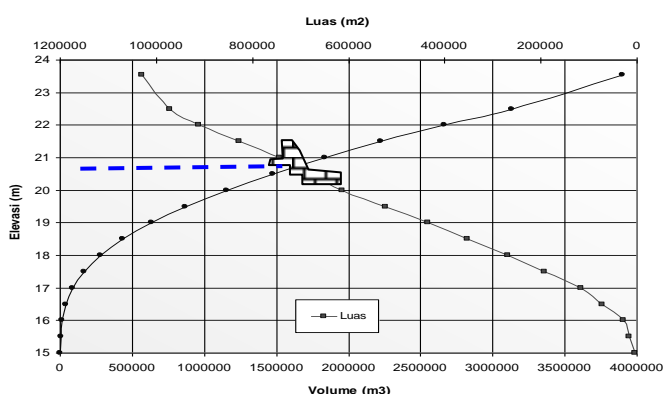
Bulan	Kelembapan Relatif (%)	Temperatur Relatif (°C)	Kecepatan Angin (Knots)	Lama Penyinaran (%)
Januari	86,43	27,29	5,77	28,57
Februari	85,36	27,16	6,03	38,77
Maret	86,87	27,09	5,43	33,50
April	86,56	27,43	5,01	35,84
Mei	86,47	27,00	5,43	46,47
Juni	86,86	27,72	6,99	40,80
Juli	87,43	27,26	6,96	47,59
Agustus	86,17	27,39	8,36	57,16
September	86,70	27,47	6,87	49,84
Oktober	78,36	27,92	5,97	47,81
November	79,93	28,08	5,00	41,14
Desember	80,29	28,09	4,86	35,39

Sumber : Stasiun Meteorologi Balikpapan

4.1.3. Tampang Waduk

Tabel 4.2. Hubungan Elevasi, Luas dan Volume Genangan

Elevasi	Luas (m ²)	Volume (m ³)
15.00	3,997	0
15.50	15,856	4,963
16.00	27,714	15,856
16.50	71,747	40,721
17.00	115,780	87,602
17.50	192,580	164,692
18.00	269,381	280,183
18.50	351,788	435,475
19.00	434,195	631,971
19.50	523,727	871,451
20.00	613,260	1,155,698
20.50	678,323	1,478,593
21.00	743,385	1,834,020
21.50	827,774	2,226,810
22.00	912,162	2,661,794
22.50	970,959	3,132,575
23.55	1,029,755	3,900,000



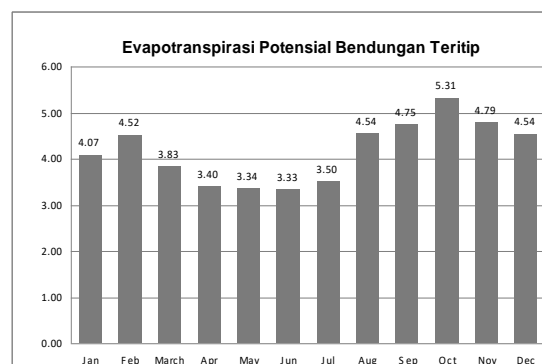
Gambar 4.5. Lengkung Kapasitas Bendungan Teritip

4.1.4. Uji Konsistensi Data

Sebelum data hujan ini dipakai terlebih dahulu harus melewati pengujian untuk kekonsistenan data tersebut. Metode yang digunakan adalah metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) hasil pengujian menunjukkan bahwa data hujan yang diperoleh adalah memenuhi uji konsisten.

4.2. Evapotranspirasi

Hasil analisa evapotranspirasi Daerah Bendungan Teritip dengan metode Penman Modifikasi. Hasil perhitungan Evapotranspirasi Potensial Bulanan dengan Metode Penmann.



Gambar 4.6 Evapotranspirasi Potensial Bendungan Teritip, kota Balikpapan.

4.3. Perhitungan Debit Aliran

Perhitungan debit Bendungan Teritip dengan Metode F.J. Mock untuk periode pertama bulan Januari tahun 2007 terlampir.

4.4. Analisa Debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya resiko kegagalan tertentu. Dalam perhitungan

debit andalan untuk keperluan air minum adalah 99 %. Metode untuk analisa debit andalan adalah *Metode Bulan Dasar Perencanaan*, dengan keandalan debit di hitung mulai bulan januari sampai dengan bulan desember, jadi lebih bisa menggambarkan keandalan pada musim kemarau dan musim penghujan. Perhitungan debit andalan 99 % untuk bulan januari dan

bulan-bulan lainnya dilakukan menggunakan analisa frekuensi metode Log Pearson Type III. (Lily Montarcih, 2008 :128). Resume hasil perhitungan debit andalan 10 harian dengan metode Bulan Dasar Perencanaan menggunakan analisa Log Pearson Type III dan telah di uji kesesuaian distribusi dengan Uji Smirnov-Kolmogorov pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Debit Andalan 99 % metode bulan dasar Perencanaan menggunakan analisa Log Pearson Type III.

Januari			Februari			Maret			April			Mei			Juni		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,05	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04
Juli			Agustus			September			Oktober			November			Desember		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03

Sumber : Hasil Perhitungan

4.5. Pemanfaatan Potensi Air Waduk

Pemanfaatan potensi air waduk yang ada di Kecamatan Balikpapan Timur digunakan untuk memenuhi kebutuhan air domestik dan kebutuhan air industri. Oleh sebab itu maka perlu dilakukan analisis terhadap besarnya pemanfaatan air waduk untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

4.5.1. Jumlah Penduduk dan Kebutuhan Air Domestik, Non-Domestik dan Industri.

Tabel 4.15. Proyeksi Penduduk Tiap Kelurahan pada Kecamatan Balikpapan Tim

KECAMATAN	Pertumbuhan (%)	Jumlah Penduduk (jiwa)								
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
BALIKPAPAN TIMUR		53,590	53,843	55,583	56,625	57,700	58,808	59,952	61,131	
Kelurahan Manggar	1,27	23,460	23,758	24,060	24,365	24,988	25,305	25,672		
Kelurahan Manggar Baru	0,21	13,527	13,555	13,584	13,612	13,641	13,670	13,698	13,727	
Kelurahan Lamaru	4,59	6,194	6,478	6,776	7,087	7,412	7,752	8,108	8,480	
Kelurahan Teritip	3,56	10,409	10,051	11,163	11,561	11,972	12,399	12,840	13,297	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.16 Kebutuhan Air Domestik Tahun 2009 - 2015

Uraian	Unit	2009	2010	2011	Tahun 2012	2013	2014	2015
Kebutuhan Air Domestik (Kebutuhan Air Rumah Tangga)								
Jumlah Penduduk	Jiwa	53,843	55,583	56,625	57,700	58,808	59,952	61,131
Penduduk Terlayani	%	30	40	50	60	70	80	90
a. jumlah Penduduk	Jiwa	16,153	22,233	28,313	34,620	41,166	47,961	55,018
b. Pemakaian Air	Lt/org/hr	105	105	105	105	105	105	105
c. Kebutuhan Air	Lt/hari	1,696,049,19	2,334,465,52	2,972,813,18	3,635,092,26	4,322,411,00	5,035,932,50	5,776,877,43
	m3/det	0,0196	0,0344	0,0344	0,0421	0,0500	0,0583	0,0669

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.17 Kebutuhan Air Non Domestik Tahun 2009 - 2015

Uraian	Unit	2009	2010	2011	Tahun 2012	2013	2014	2015
Kebutuhan Air Non Domestik								
a. Jumlah Penduduk	Jiwa	16,152,85	22,233,00	28,312,51	34,619,93	41,165	47,961,26	55,017,88
b. Pemakaian Air	Lt/org/hr	20	20	20	20	20	20	20
c. Kebutuhan Air	Lt/hari	323,056,99	444,660,10	566,250,13	692,398,52	823,316,38	959,225,24	1,100,357,61
	m3/det	0,0037	0,0051	0,0066	0,0080	0,0095	0,0111	0,0127

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.18. Kebutuhan Air Industri Tahun 2009 - 2015

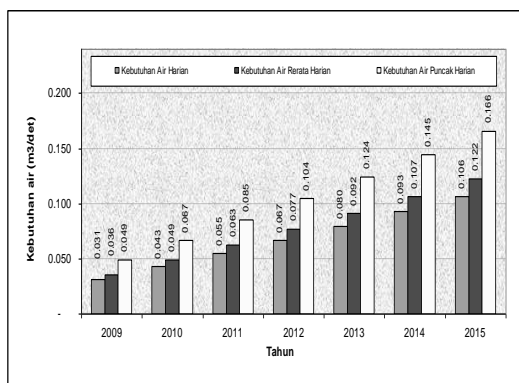
Uraian	Unit	Tahun							
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Kebutuhan Industri									
a. Pemakaian Air	% Domestik	10	10	10	10	10	10	10	10
b. Kebutuhan Air	Lt/hari	169,605	233,446,55	297,281,32	363,509,23	432,241,10	503,593,25	557,687,74	
	m3/det	0,0020	0,0027	0,0034	0,0042	0,0050	0,0058	0,0067	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.19. Kebutuhan Air Total dan Kebutuhan Air Harian Tahun 2009 - 2015

Uraian	Unit	Tahun							
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Kebutuhan Air Domestik	m3/det	0,020	0,027	0,034	0,042	0,050	0,058	0,067	
Kebutuhan Air Non Domestik	m3/det	0,004	0,005	0,007	0,008	0,010	0,011	0,013	
Kebutuhan Air industry	m3/det	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	
Total Kebutuhan Air (I+II+III)									
a. Kebutuhan Air	m3/det	0,025	0,035	0,044	0,054	0,065	0,075	0,086	
Kehilangan Air									
a. Kehilangan Air	%Domestik	30	30	30	30	30	30	30	
b. Kehilangan Air	m3/det	0,006	0,008	0,010	0,013	0,015	0,017	0,020	
Kebutuhan Air Rata-rata (IV+VI)	m3/det	0,031	0,043	0,055	0,067	0,080	0,093	0,106	
Kebutuhan Air Rerata Harian	1.15x(VI) m3/det	0,036	0,049	0,063	0,077	0,092	0,107	0,122	
Kebutuhan Air Puncak Harian	1.15x(VI) m3/det	0,049	0,067	0,085	0,104	0,124	0,145	0,166	

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Kebutuhan Air Total, Kebutuhan Air Rerata Harian dan Kebutuhan Air Puncak Harian Tahun 2009-2015

4.6. Neraca Air Waduk

Dari hasil kajian pada sub bab sebelumnya, maka diungkap bahwa komponen neraca air baik untuk kondisi saat ini (diambil tahun 2009) dan proyeksinya di waktu mendatang.

Persamaan keseimbangan massa menyatakan bahwa untuk setiap periode waktu, air yang masuk ke dalam waduk dikurangi dengan air yang keluar adalah sama dengan perubahan tampungan seperti dinyatakan dibawah ini :

$$\text{Inflow} - \text{Outflow} = \text{Cstor}$$

dimana :

Inflow = air masuk

Outflow = air keluar

Cstor = perubahan vol tampungan

a. Kondisi Waduk Tahun 2009

Debit inflow waduk pada dekade 1 bulan Januari tahun 2009 adalah 0,0509 m³/dt mengalir dalam 10 hari 0,0509 m³/dt x 10 x 86.400 = 44.011 m³. Debit kebutuhan air (outflow untuk kebutuhan air baku, evaporasi dan rembesan) adalah 0,066 m³/dt, maka dalam 10 hari 0,066 m³/dt x 10 x 86.400 = 57.067 m³. Maka Cstor adalah :

$$\text{Cstor} = 44.011 - 57.067 = -13.056 \text{ m}^3$$

Persamaan keadaan waduk menyatakan bahwa penampungan pada akhir suatu periode waktu adalah sama dengan penampungan pada awal perioda waktu ditambah dengan perubahan tampungan.

$$\text{Ste} = \text{Stb} + \text{Cstor}$$

dimana :

Ste = tampungan pada akhir waktu

Stb = tampungan pada awal waktu

Dari Cstor dihitung tampungan pada akhir dekade (Ste) yaitu ;

$$\text{Ste} = 1.811.203 - 13.056 = 1.798.146 \text{ m}^3$$

Apabila perhitungan tampungan akhir dekade melebihi tampungan efektif ($Ste > Seff$) maka air akan melimpah di spillway. Dari periode pertama ternyata $Ste < Seff$ sehingga tidak ada limpahan pada Spillway. Tampungan akhir dekade 1 bulan januari yaitu $1.798.146 \text{ m}^3$.

Keandalan (kemampuan) waduk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Seyhan, 1979) :

$$R = 100\% - (n/N \times 100\%)$$

Keterangan :

R = keandalan kapasitas waduk dalam persen

n = banyaknya waduk kosong dalam satuan waktu

N = panjangnya rangkaian data dalam satuan waktu

Maka keandalan waduk untuk memenuhi kebutuhan air pada tahun 2009 adalah :

$$\begin{aligned} R &= 100\% - (n/N \times 100\%) \\ &= 100\% - (0/36 \times 100\%) \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Jadi ketersediaan air waduk pada tahun 2009 mampu memenuhi kebutuhan air sesuai permintaan.

b. Kondisi Waduk Tahun 2015

Debit inflow waduk pada dekade 1 bulan Januari tahun 2015 adalah $0,0509 \text{ m}^3/\text{dt}$ mengalir dalam 10 hari $0,0509 \text{ m}^3/\text{dt} \times 10 \times 86.400 = 44.011 \text{ m}^3$. Debit kebutuhan air (outflow untuk kebutuhan air baku,

evaporasi dan rembesan) adalah $0,141 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka dalam 10 hari $0,141 \text{ m}^3/\text{dt} \times 10 \times 86.400 = 121.971 \text{ m}^3$. Maka Cstor adalah : $Cstor = 44.011 - 121.971 = -77.960 \text{ m}^3$

Dari Cstor dihitung tampungan pada akhir dekade (Ste) yaitu ;

$$Ste = 1.811.203 - 77.960 = 1.733.242 \text{ m}^3$$

Karena perhitungan tampungan akhir dekade lebih kecil dari tampungan efektif ($Ste < Seff$) maka air tidak melimpah melewati spillway.

Jadi tampungan akhir dekade 1 bulan januari yaitu sama dengan Ste adalah $1.733.242 \text{ m}^3$.

Dari tabel ternyata ada 14 dari 36 periode, tampungan waduk dalam kondisi tidak mampu memenuhi kebutuhan yang telah direncanakan, sehingga keandalan waduk untuk memenuhi kebutuhan air pada tahun 2015 adalah :

$$\begin{aligned} R &= 100\% - (n/N \times 100\%) \\ &= 100\% - (14/36 \times 100\%) \\ &= 61\% \end{aligned}$$

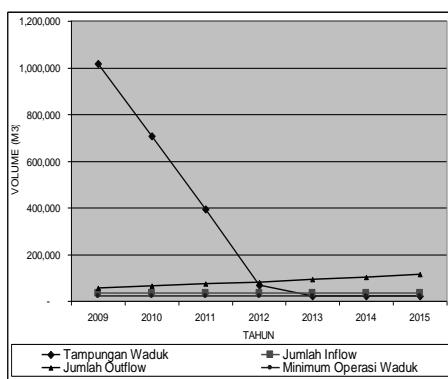
Jadi ketersediaan air waduk pada tahun 2015 tidak mampu memenuhi kebutuhan air sesuai permintaan, sehingga perlu dianalisis optimasi terbaik/ optimal untuk dapat memenuhi kebutuhan air.

Hasil rekapitulasi neraca ketersediaan dan kebutuhan air waduk teritip tahun 2009 sampai dengan tahun 2015 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.29. Neraca Ketersediaan dan Kebutuhan Air Waduk Teritip Tahun 2009 – 2015

Uraian	Unit	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Tampungan Waduk	m3	1,018,419	706,331	392,765	67,464	22,818	22,818	22,818
Jumlah Inflow	m3	33,648	33,536	33,536	33,536	33,648	33,536	33,536
Jumlah Outflow	m3	55,670	64,227	72,937	81,973	91,801	102,068	113,358
Minimum Operasi Waduk	m3	22,818	22,818	22,818	22,818	22,818	22,818	22,818

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.17. Neraca Ketersediaan dan Kebutuhan Air Tahun 2009-2015

PENUTUP
Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan air untuk domestik, non-domestik dan industri pada Kecamatan Balikpapan Timur sebagai berikut :
 - a. Kebutuhan air domestik tahun 2010 adalah sekitar $0,0270 \text{ m}^3/\text{det}$ dan proyeksi hingga tahun 2015 adalah $0,0669 \text{ m}^3/\text{det}$.
 - b. Kebutuhan air non-domestik Tahun 2010 adalah sekitar $0,0051 \text{ m}^3/\text{det}$

- dan proyeksi hingga tahun 2015 adalah 0,0127 m³/det.
- c. Kebutuhan air industri tahun 2010 adalah sekitar 0,0020 m³/det dan proyeksi hingga tahun 2015 adalah 0,0067 m³/det.

2. Ketersediaan potensi sumber daya air Waduk Teritip untuk pemenuhan air baku/minum adalah berdasarkan debit andalan 99% sebagai berikut :

Satuan m ³ /detik																	
Januari			Februari			Maret			Aprl			Mei			Juni		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,05	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04
Juli			Agustus			September			Oktober			November			Desember		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Ketersedian air pada Waduk Teritip dari tahun 2010 hingga tahun 2012 dapat mencukupi / memenuhi kebutuhan Domestik, non-domestik, industri, sedangkan dari tahun 2013 hingga tahun 2015 untuk pemenuhan kebutuhan air baku/minum di Kecamatan Balikpapan Timur masih kurang terpenuhi dari potensi air waduk Teritip, hasil kesimpulan ketersediaan air waduk Teritip antara lain

Tahun	Total Keandalan	Keterangan
2010	100 %	Kebutuhan Air Terpenuhi
2011	100 %	Kebutuhan Air Terpenuhi
2012	100 %	Kebutuhan Air Terpenuhi
2013	83 %	Kebutuhan Air Kurang Terpenuhi
2014	69 %	Kebutuhan Air Kurang Terpenuhi
2015	61 %	Kebutuhan Air Kurang Terpenuhi

5.1. Saran

Dari hasil penelitian ini, maka dikemukakan beberapa saran atau rekomendasi, diantaranya:

1. Kepada pihak pemerintah dan pengelola agar melakukan upaya manajemen sumber daya air yang terpadu untuk mengelola sumber daya air, dengan optimasi operasi waduk Teritip yang optimal dalam pemanfaatan air waduk untuk keperluan kebutuhan air baku / minum.
2. Dengan tidak terpenuhinya proyeksi tahun 2013 sampai dengan tahun 2015, maka kepada pihak pemerintah perlu dipertimbangkan untuk mencari sumber air lainnya sebagai pemenuhan air baku / minum.
3. Pihak-pihak yang terkait yaitu pemerintah, pengelola serta masyarakat yang memanfaatkan air dari waduk Teritip agar menjaga keserasian dan keterpaduan perencanaan, operasi dan pengembangan waduk yang ada dalam Daerah Aliran Sungai masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Harto BR, S., 2000, *Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian* : Nafiri, 2000.
- Montarcih, Lily. 2008. *Hidrologi Dasar*. Penerbit Tirta Media. Malang.
- Montarcih, Lily. 2008. *Hidrologi Terapan*. Penerbit Tirta Media. Malang.
- Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Teknik, edisi ke-2*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Suyono Sosrodarsono et al., 1994. *Hidrologi Untuk Pengairan*, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Soewarno, 1995. *Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid I*. Bandung: Nova.
- Soewarno, 1995. *Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid II*. Bandung : Nova.
- Triatmodjo, B., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset.

Lampiran 3. Perhitungan Neraca Air pada Waduk Teritip Tahun 2010