

ANALISIS KAPASITAS WADUK SERMO MENGGUNAKAN METODE RIPPLE

Capacity Analysis at Sermo Dam Using Ripple Method

Susila Arif Wijanarka², Burhan Barid³, Puji Harsanto⁴, Jaza'ul Ikhsan⁵

ABSTRAK

Waduk Sermo adalah satu-satunya waduk di Yogyakarta yang terletak di Kabupaten Kulon Progo dan mulai dibangun sejak bulan April 1994 sampai bulan Oktober 1996 ini mempunyai fungsi untuk menampung air. Saat ini Kulon Progo menjadi lokasi dibangunnya bandara baru untuk menggantikan bandara adi sutjipto yang sudah tidak memadai untuk memenuhi kebutuhan penerbangan komersial, dengan pembangunan tersebut kedepannya akan berpengaruh besar pada pertumbuhan penduduk di daerah tersebut. Kepadatan penduduk yang meningkat akan diikuti dengan peningkatan kebutuhan air bagi masyarakat, oleh karena itu pelayanan waduk berperan penting dalam mengatasi permasalahan tersebut.

Kapasitas tampungan waduk dapat dianalisis menggunakan beberapa metode. Tetapi pada penelitian dengan pengambilan lokasi Waduk Sermo kali ini metode yang digunakan adalah Metode ripple. Walaupun sebelumnya pernah dianalisis dengan beberapa metode, dimungkinkan masih ada perbedaan antara perancangan dengan riil. Hasil dari analisis akan diketahui kegagalan, kehandalan dan volume yang tertampung dalam waduk tersebut.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Metode Ripple diperoleh volume kapasitas sebesar 17.613.300 m³ pada tahun 2010 dan tidak ada kegagalan, tahun 2011 terjadi 5 kali kegagalan dengan volume kapasitas sebesar 19.967.383 m³, tahun 2012 terjadi 3 kali kegagalan dengan volume sebesar 19.967.383 m³, tahun 2013 terjadi 8 kali kegagalan atau yang paling banyak dalam 5 tahun dengan volume kapasitas sebesar 18.595.430 m³, dan pada tahun 2014 terjadi kegagalan 5 kali dengan volume kapasitas sebesar 18.385.880 m³. Nilai kehandalan waduk sermo pada tahun 2010 adalah 100%, sedangkan pada tahun 2011 nilai kehandalannya 91,67%, pada tahun 2012 adalah 95%, pada tahun 2013 adalah 86,67% dan pada tahun 2014 adalah 91,67%

Kata kunci : Kapasitas waduk, kehandalan waduk, metode ripple

¹ Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir

² Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta NIM : 20130110084, e-mail: Susila.arif@gmail.com

³ Dosen Pembimbing I. Burhan Barid, S.T., M.T

⁴ Dosen Pembimbing II Puji Harsanto, S.T., M.T Ph.D.

⁵ Dosen Penguji Jaza'ul Ikhsan, S.T., M.T Ph.D.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Secara umum tujuan dibangun suatu waduk atau bendungan adalah untuk melestarikan sumberdaya air dengan cara menyimpan air pada saat kelebihan yang biasanya terjadi pada saat musim penghujan.

Bagian pokok dari sebuah waduk adalah volume waduk atau kapasitas waduk yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dan sangat dipengaruhi oleh variasi aliran sungai, besarnya kebutuhan serta tingkat keandalan. Tingkat keandalan yang dimaksud adalah

besarnya probabilitas di mana waduk dapat mensuplai kebutuhan yang diharapkan selama usia guna (lifetime) tanpa adanya kekurangan.

Kapasitas tampungan waduk dapat dianalisis menggunakan beberapa metode. Tetapi pada penelitian dengan pengambilan lokasi Waduk Sermo kali ini metode yang digunakan adalah Metode *ripple*. Walaupun sebelumnya pernah dianalisis dengan beberapa metode, dimungkinkan masih ada perbedaan antara perancangan dengan riil.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian mengenai kapasitas waduk ini bertujuan untuk :

C. Rumusan Masalah

Saat ini Kulon Progo menjadi lokasi dibangunnya bandara baru untuk menggantikan bandara adi sutjipto yang sudah tidak memadai untuk memenuhi kebutuhan penerbangan komersial, dengan pembangunan tersebut kedepannya akan berpengaruh besar pada pertumbuhan penduduk di daerah tersebut. Kepadatan penduduk yang meningkat akan diikuti dengan peningkatan kebutuhan air bagi masyarakat, oleh karena itu pelayanan waduk berperan penting dalam mengatasi permasalahan tersebut.

Kapasitas tampungan waduk dapat dianalisis menggunakan beberapa metode. Tetapi pada penelitian dengan pengambilan lokasi Waduk Sermo kali ini metode yang digunakan adalah Metode *ripple*. Walaupun sebelumnya pernah dianalisis dengan beberapa metode, dimungkinkan masih ada perbedaan antara perancangan dengan *riil*.

D. Batasan Masalah

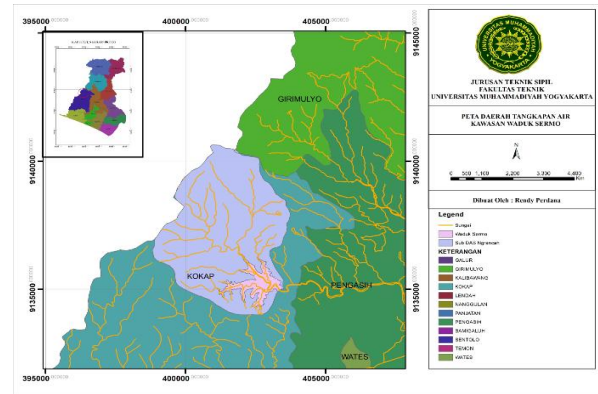
Pada penelitian ini, batasan-batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut : Data yang digunakan adalah data sekunder dari bulan Januari tahun 2010 s/d Desember tahun 2014 dengan pembahasan sebagai berikut:

1. Data curah hujan per bulan.
2. Data klimatologi menggunakan stasiun klimatologi, borrow dan plaosan.
3. Kehilangan lain seperti bocor dan rembesan diabaikan
4. Tingkat sedimen mengendap dan melayang diluar area tampungan waduk diabaikan
5. Pengaruh faktor klimatologi dianggap sama sepanjang tahun pengujian
6. Pengaruh perubahan karakteristik DAS yang ditinjau sepanjang tahun pengujian dianggap sama, tidak ada perubahan yang signifikan.
7. Tidak menghitung kebutuhan air irigasi dan air minum.

- 1) Menganalisis volume kapasitas Waduk Sermo menggunakan Metode *ripple*
- 2) Menganalisis Keandalan Waduk Sermo

E. Lokasi Penelitian

waduk sermo terletak di Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta



2. Tinjauan Pustaka

A. Tinjauan umum

Pada penelitian yang dilakukan oleh Asrul Sani mengambil lokasi studi kasus di Waduk Mamak Sumbawa tahun 2008. Tujuan penelitian ini menganalisis kapasitas waduk mamak dengan menggunakan metode *ripple*, menganalisis kapasistas dan keandalan waduk mamak dengan menggunakan metode behaviour, lalu membandingkan hasil perhitungan metode *ripple* dengan metode behaviour. Sedangkan untuk manfaat penelitian adalah memberi masukan kepada pengelola waduk mamak tentang keandalan dan kegagalannya, memberi masukan kepada pengelola waduk tentang kapasitas tampungan waduk mamak serta dapat memberikan kebutuhan air yang efektif dan efisien secara tidak langsung kepada masyarakat. Batasan masalah yang diambil meliputi data yang yang digunakan adalah dat sekunder dari bulan januari tahun 2003 sampai september 2007, kehilangan lain seperti bocor dan rembesan pada waduk diabaikan dan tidak menghitung umur ekonomis waduk. menggunakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Dari hasil perhitungan metoe ripple diperoleh volume volume waduk dengan kondisi nyata sebesar 32.060.000 m³ untuk kondisi nyata, untuk alternatif I sebesar 28.013.000 m³

dengan asumsi pengeluaran tetap sebesar 1.150.000 m³/bulan, untuk alternatif II sebesar 20.362.000 m³ dengan asumsi pengeluaran tetap sebesar 1.300.000 m³/bulan, untuk alternatif III sebesar 15.263.000 m³ dengan asumsi pengeluaran tetap sebesar 1.400.000 m³/bulan. Setelah melakukan analisis dengan menggunakan Metode Behaviour dapat dilihat bahwa untuk saat ini kehandalan Waduk Mamak adalah 100 % dan kegagalan 0 %. Jika dikehendaki pelayanan maksimal yang konstan dengan draft kebutuhan 1.400.000 m³/bulan dapat diperoleh kehandalan 100 % dan kegagalan 0 %. Volume waduk disini memiliki pengertian yang berbeda dimana untuk metode ripple kapasitas yang diperoleh merupakan kapasitas terendah yang menunjukkan kemampuan waduk untuk melayani kebutuhan. Sementara pada metode behaviour kapasitas yang dihasilkan merupakan kapasitas asumsi untuk menentukan berapa pelayanan maksimal yang dapat diberikan sesuai dengan keandalan yang direncanakan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh saudara azura ulfa mengambil studi kasus di waduk ngancar, batuwarno, wonogiri, Jawa Tengah pada tahun 2016. Tujuan pertama pada penelitian ini adalah mengukur volume waduk ngancar menggunakan metode *bathymetri* dengan alat *echosounder*. Tujuan kedua pada penelitian ini adalah untuk menganalisis perubahan fluktuasi volume waduk ngancar dari tahun 1946 hingga 2016. Tujuan ketiga adalah mengevaluasi kapasitas tampung waduk ngancar menggunakan metode *ripple*. Kapasitas pada periode tertentu dihitung berdasarkan hasil analisis menggunakan diagram *ripple*. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi terkait kapasitas waduk ngancar dan bahan pertimbangan untuk menentukan upaya konservasi sumberdaya air. Perhitungan volume waduk ngancar dari peta topografi menghasilkan nilai volume efektif tahun 2016 adalah 1269905 m³ dan luas genangan efektif adalah 1393416 m². Volume air maksimal yang terdapat pada waduk berdasarkan kurva massa adalah 2.000.0000 m³, dan kapasitas maksimum yang harus

ditambah akibat kelebihan air adalah 1.000.000 m³.

B. Analisis tampungan waduk

Penentuan kapasitas waduk disebut juga suatu penelaahan operasi (*operation study*) dan merupakan simulasi dari suatu waduk untuk jangka waktu yang sesuai aturan yang telah ditetapkan. Data bulanan paling umum digunakan, tetapi untuk waduk dengan skala besar kapasitas tampungannya seperti waduk sermo, interval tahunan akan lebih akurat dan memuaskan. Kapasitas waduk ditentukan berdasarkan besarnya inflow, *release* yang diharapkan serta kehilangan-kehilangan yang terjadi akibat evaporasi dan rembesan.

Pada saat menentukan kapasitas waduk ada tiga hal yang harus diperhatikan dan perlu mendapat perhatian, yaitu variasi debit sungai, tingkat keandalan waduk, dan tingkat kebutuhan. Sebaliknya penentuan kapasitas tampungan waduk tergantung pada rangkaian aliran.

Pada rangkaian yang lebih rendah akan mengalami saat-saat penuh, saat-saat kosong dan bahkan saat kosong sama sekali. Kondisi yang demikian menunjukkan bahwa keadaan waduk yang membawa hasil tiap tahunnya. Rangkaian aliran yang cukup panjang dapat dijadikan analisis kehandalan waduk. Waduk yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan (*draft*) pada tahun-tahun kering mungkin catatan historiknya tidak cukup panjang untuk menjadikan analisis keandalan waduk (*Sani*, 2008). Catatan itu pada umumnya terlalu pendek untuk dapat menetapkan probabilitas rangkaian tahun-tahun aliran rendah yang berbeda dibawah normal (Linsley, 1989)

3. LANDASAN TEORI

A. Metode Ripple

Metode ini pertama kali dikemukakan oleh Ripple (1883) untuk menghitung besarnya kapasitas tampung reservoir yang memadai pada saat tingkat kebutuhan air tertentu. Ripple/Kurva masa adalah garis yang memperlihatkan debit aliran pada waktu tertentu, dengan asumsi ketika kumulatif draft lebih besar dari kumulatif inflow maka waduk tidak dapat melayani kebutuhan (Linsley,

1989). Dalam konsep ini memperlihatkan debit aliran selama waktu tertentu dengan asumsi apabila komulatif komulatif draft lebih besar lebih besar dari komulatif inflow maka waduk dianggap tidak dapat melayani kebutuhan atau kegagalan. Beberapa asumsi yang digunakan dalam metode ripple adalah Waduk dianggap penuh pada saat permulaan periode kritik dan kapasitas waduk dihitung untuk memenuhi kebutuhan pengambilan pada saat musim kering. Sedangkan batasan-batasan yang digunakan adalah draft biasanya diambil konstan, tidak mungkin menghitung keandalan berdasarkan besar tampungan, volume tampungan dihitung bukan dengan probabilitas kegagalan.

Sebelum menuju ke pehitungan metode *ripple* ada beberapa analisis yang harus dilakukan terlebih dahulu seperti harus mengetahui data:

1. Inflow

Aliran yang masuk kedalam waduk meliputi aliran permukaan, aliran bawah permukaan, dan air yang masuk ke dalam waduk

2. Outflow

Aliran yang keluar waduk meliputi aliran bawah permukaan, aliran permukaan maupun air yang keluar dari waduk

3. Ketersediaan air

Ketersediaan air adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi (bendung atau bangunan air lainnya) di sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu (Triatmodjo, 2008).

4. Hujan Rata-rata

Dalam penelitian ini analisis hidrologi yang digunakan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tangkapan air. yaitu menggunakan metode Metode *Polygon Thiessen* Pengukuran Lebar Aliran Permukaan. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata (Triatmodjo,2008).

Untuk menentukan nilai hujan rerata pada metode *polygon thiessen* pada suatu luasan DAS menggunakan persamaan berikut (Triatmodjo, 2008) :

$$\bar{p} = \frac{A_1 \cdot p_1 + A_2 \cdot p_2 + \dots + A_n \cdot p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots (3.1)$$

dengan :

\bar{p} = Hujan rerata kawasan

p_1, p_2, \dots, p_n = Hujan pada stasiun 1, 2, 3,....., n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3,.....n

5. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah keseluruhan jumlah air yang berasal dari permukaan tanah, air dan vegetasi yang diuapkan kembali ke atmosfer. Dengan kata lain, besarnya evapotranspirasi adalah jumlah antara evaporasi (penguapan air berasal dari permukaan badan air) dan transpirasi (penguapan air tanah ke atmosfer melalui vegetasi) (Asdak, 1995 dalam Putra, 2006). Evapotranspirasi sebagai data masukkan dari metode *Ripple*, oleh sebab itu perlu dicari terlebih dahulu sebelum masuk ke analisis perhitungan metode *ripple*

Langkah – langkah perhitungan evapotranspirasi (*ET*) berdasarkan Metode Thornthwaite persamaannya berikut ini (Triatmodjo,2008) :

$$ET = 1.62 \left[\frac{10 \cdot TM}{I} \right]^a \dots \dots \dots (3.1)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left[\frac{TM}{5} \right]^{1.514} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$ET = f \times Et \dots \dots \dots (3.3)$$

dengan :

$$\alpha = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 492 \times 10^{-3}$$

T_m = Temperatur bulanan rata – rata (°C).

I = Indeks panas tahunan.

f = Koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi.

Untuk menentukan nilai evapotranspirasi potensial (ET) wilayah, maka perlu dikonversi nilai evapotranspirasi potensial yang ada dengan koefisien penyesuaian menurut garis lintang/bujur. Koefisien penyesuaian menurut bujur dan bulan (f)

6. Kapasitas Waduk

Dalam perhitungan kapasitas waduk menggunakan *metode ripple* dalam penelitian ini menggunakan persamaan berikut :

$$Z = (Q_{in} - Q_{out}) + \text{Volume tertampung bulan } 1,2,3,4 \dots \dots \dots (3.18)$$

dengan :

Q_{in} = Hujan rerata + debit Inflow (m^3)

Q_{out} = Debit outflow + evaporasi + draft kebutuhan (m^3)

B. Keandalan Waduk

Keandalan suatu waduk adalah sebagai besarnya peluang bahwa waduk akan mampu memenuhi kebutuhan yang direncanakan sepanjang masa hidupnya tanpa adanya kekurangan (*Linsley, 1989*).

Prosedur perhitungan keandalan waduk dengan metode simulasi adalah:

- Menentukan kapasitas aktif waduk dan dianggaenghitung p keadaan awal waduk penuh ($Z_t=C$)
- Menghitung banyaknya kejadian kegagalan (P), yaitu pelepasan air dari waduk yang tidak dapat memenuhi kebutuhannya
- Menghitung tingkat keandalan waduk dengan rumus sebagai berikut:

$$Pe = \frac{\sum P}{N} \dots \dots \dots (3.19)$$

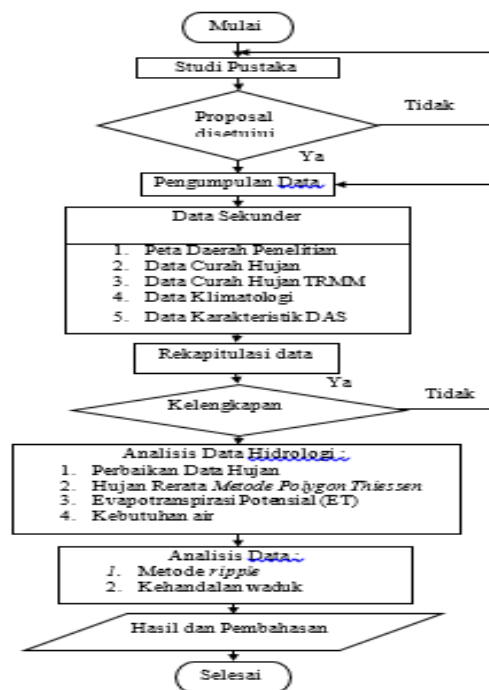
Dengan :

P = Jumlah waduk kosong selama waktu tertentu

N = Jumlah panjang data yang dianalisis

Pe = Presentase data kegagalan

4. Metode Penelitian



A. Prosedur pengumpulan data

Untuk kelancaran penelitian ini perlu dipersiapkan suatu urutan pelaksanaan untuk memberi arah dan mempermudah jalannya penelitian. Adapun urutannya adalah sebagai berikut :

- Studi kasus
Studi kasus bertujuan untuk memberi gambaran dan wawasan tentang ruang lingkup penelitian
- Penyusunan jadwal rencana
Penyusunan jadwal rencana penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan pedoman waktu
- Perizinan penelitian
Perizinan ini penting artinya guna mendapatkan persetujuan penelitian dan untuk memudahkan dalam mencari data

B. Data Sekunder

untuk mendukung studi kasus ini hanya membutuhkan data sekunder dan data teknis saja karna data *primer* adalah data-data yang diperoleh dengan *survei* keadaan dan obyektipitas yang terjadi dilapangan, data skunder tersebut meliputi :

1. Kondisi volume kapasitas waduk
Suatu kondisi kapasitas tampungan air waduk berupa volume efektif, volume mati dan volume total
2. *Inflow* waduk
Suatu aliran air yang masuk dan ditampung pada waktu yang akan digunakan pada saat-saat yang dibutuhkan. Pada studi kasus ini panjang data yang digunakan 60 bulan
3. *Outflow* waduk
Aliran yang keluar dari tampungan waduk melalui *spillway* untuk menuju ke bagian hilir

C. Data Teknis

1. Bendungan utama :
 - a. Tipe : Urugan batu ber zona dengan inti kedap air
 - b. Elevasi : + 141,60 m
 - c. Panjang : 190,00 m
 - d. Lebar : 8,00 m
 - e. Tinggi Max : 58,60 m
 - f. Volume timbunan : 568.000 m³
2. Bangunan pelimpah (*spillway*)
 - a. Tipe : “ogee” tanpa pintu
 - b. Elevasi mercu bendungan : + 136,60 m
 - c. Lebar pelimpah : 26 m
 - d. Peredam energi : lantai peredam energi
3. Terowongan
 - a. Bentuk : tapal kuda
 - b. Diameter : 4,20 m
 - c. Kapasitas : 179,50 m³/det
 - d. Elevasi Inlet : + 89,00 m
 - e. Elevasi Outlet : + 84,00 m
4. Waduk
 - a. Luas DPS : 21,5 km²
 - b. Elevasi muka air
 - 1) Normal : + 136,60 m
 - 2) Minimum : + 113,70 m
 - 3) Banjir : + 139,13 m
 - 4) Banjir PMF : + 140,88 m
5. Luas genangan waduk : 1,57 km²
6. Kapasitas rencana tampungan waduk
 - a. Efektif : 21,90 jt. m³
 - b. Mati : 3,10 jt. m³
 - c. Total : 25,00 jt. m³

D. Analisis Data Hidrologi

Untuk mendapatkan kapasitas waduk dan kehandalan waduk dilakukan dengan menganalisis data – data sekunder dengan parameter yang telah didapatkan. Tahapan – tahapan analisis data hidrologi sebagai berikut

1. Perbaikan Data Curah Hujan
Cara melakukan perbaikan data curah hujan dilakukan karena data curah hujan yang didapatkan dari dinas atau instansi terkait mempunyai data yang kosong pada waktu dan periode tertentu. Untuk perbaikan data dalam penelitian ini selain menggunakan data curah hujan dari dinas ataupun instansi terkait, data curah hujan yang digunakan yaitu data curah hujan TRMM.
 - a. Perhitungan Nilai Rata – rata Hujan Perbulan Stasiun
Mencari jumlah nilai kumulatif hujan dari data hujan BBWSO dan data hujan TRMM pada periode bulan yang sama pertahunnya setiap stasiun hujan. Setelah itu mencari nilai rata – rata hujan periode bulan yang sama pertahunnya pada setiap stasiun hujan. Untuk mencari nilai rata – rata hujan perbulan setiap stasiun menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Rerata hujan bulan} = \frac{\sum \text{Hujan bulanan/tahun}}{\text{Jumlah tahun}} \dots \dots \dots (4.1)$$
 - b. Perhitungan Nilai Selisih Hujan
Nilai rata –rata hujan BBWSO perbulan dikurang dengan nilai rata- rata hujan TRMM perbulan. pada periode bulan yang sama dan setiap masing – masing stasiun hujan. Setelah itu akan mendapatkan nilai selisih hujan perbulan di setiap masing – masing stasiun hujan dari kedua data hujan tersebut. Untuk mencari nilai selisih hujan perbulan setiap stasiun menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Selisih} = \text{Rerata bulan BBWS} - \text{Rerata bulan TRMM} \dots (4.2)$$
 - c. Sebaran Hujan
Sebaran hujan menggunakan data hujan TRMM yang telah didapatkan secara *online* dalam periode bulan Januari

2007 s/d Desember 2016. Nilai selisih di sebar ke data hujan *TRMM* pertahun setiap stasiun hujan. Dengan cara nilai hujan perhari ditambah nilai selisih hujan, lalu dibagi dengan jumlah data hujan yang ada setiap bulannya. Untuk mencari nilai sebaran hujan setiap stasiun menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Rerata hujan bulan} = \frac{\text{Hujan harian} + \text{Selisih}}{\text{Jumlah data hujan}} \dots\dots (4.3)$$

Dari penjelasan tahapan – tahapan perbaikan atau kalibrasi data curah hujan diatas menghasilkan data hujan yang digunakan pada penelitian ini. Karena data sekunder yang di minta dari instansi terkait ada beberapa masalah pada nilai curah hujannya.

2. Hujan rerata polygon thiessen

Dalam memperhitungkan hujan rerata *polygon thiessen* pada daerah tangkapan yang ditinjau pada penelitian ini menggunakan bantuan *software ARCGIS 10.2* dalam membuat *polygon thiessen* daerah tangkapan dan untuk mengetahui luas daerah hujan pada setiap stasiun hujan yang berpengaruh terhadap DAS yang ditinjau. Data curah hujan yang digunakan dalam perhitungan hujan rerata *polygon thiessen* menggunakan data curah hujan hasil perbaikan atau kalibrasi. Untuk menghitung nilai hujan rerata pada DAS yang ditinjau dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\bar{p} = \frac{A_A \cdot p_A + A_B \cdot p_B + \dots + A_n \cdot p_n}{A_A + A_B + \dots + A_n} \dots\dots\dots (4.4)$$

dengan :

\bar{p} = Hujan rerata kawasan

p_1, p_2, \dots, p_n = Hujan pada stasiun 1, 2, 3,, n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3,.....n

3. Evapotranspirasi potensial (ET)

Pada penelitian ini evapotranspirasi potensial (ET) dihitung menggunakan metode penman modifikasi dan metode thornthwaite. Perhitungan evapotranspirasi potensial

menggunakan data hasil perhitungan hujan rerata dan data klimatologi.

Untuk menghitung nilai evapotranspirasi potensial metode penman modifikasi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$ET = C \cdot (W \cdot R_n + (1 - W)(e_a - e_d)) \dots\dots\dots(4.5)$$

dengan :

ET = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

W = Faktor pembobot

R_n = Radiasi bersih

1-W = Elevasi daerah

e_a-e_d = Perbedaan tekanan uap

f(u) = Fungsi kecepatan angin

C = Konstanta

Sedangkan untuk menghitung nilai evapotranspirasi potensial metode thornthwaite dengan menggunakan persamaan berikut :

$$ET = 1.62 \left[\frac{10 \cdot T_m}{I} \right]^{\alpha} \dots\dots\dots (4.6)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left[\frac{T_m}{5} \right]^{1.514} \dots\dots\dots (4.7)$$

$$ET = f \times E_t \dots\dots\dots (4.8)$$

dengan :

$$\alpha = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 492 \times 10^{-3}$$

T_m = Temperatur bulanan rata – rata (°C).

I = Indeks panas tahunan.

f = Koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi.

5. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN
A. Analisis Metode Ripple

| 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------|--------|--------|-------|--------|
| 3.223 | 10.234 | 12.071 | 9.613 | 11.896 |
| 6.094 | 10.282 | 11.687 | 7.343 | 8.450 |
| 4.852 | 8.000 | 6.032 | 6.475 | 6.010 |
| 6.104 | 8.419 | 4.192 | 6.657 | 7.835 |
| 7.912 | 7.389 | 1.167 | 6.214 | 1.583 |
| 3.486 | 0.364 | 0.523 | 6.787 | 1.553 |
| 2.858 | 0.295 | 0.227 | 2.991 | 1.013 |
| 2.149 | 0.005 | 0.016 | 0.071 | 0.078 |
| 5.829 | 0.022 | 0.014 | 0.044 | 0.049 |
| 8.820 | 0.022 | 1.107 | 3.108 | 0.211 |
| 6.906 | 9.928 | 6.621 | 8.780 | 12.276 |
| 6.249 | 8.310 | 13.483 | 8.623 | 14.360 |

Tabel 5.1 Debit *inflow*

1. Debit *inflow*

Data debit inflow yang dipakai adalah rata-rata per bulan, pada tahun 2010 sampai 2014 untuk lebih jelasnya bisa di lihat pada tabel 5.1

Dari tabel 5.1 bisa dilihat debit inflow per bulan yang masuk ke dalam waduk sermo selama tahun 2010 sampai 2014 sangat bervariasi per tahun nya, karena dipengaruhi oleh faktor alam dan kondisi sungai di bagian hilir.

2. Tabel 5.2 Debit *Outflow*

| 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3.183 | 4.372 | 3.144 | 4.610 | 4.752 |
| 1.504 | 2.437 | 2.259 | 4.476 | 3.470 |
| 2.978 | 4.606 | 3.735 | 3.265 | 3.868 |
| 5.434 | 6.481 | 5.426 | 6.368 | 5.642 |
| 6.317 | 5.272 | 3.791 | 4.645 | 4.439 |
| 4.883 | 4.971 | 4.702 | 5.725 | 4.679 |
| 0.671 | 0.481 | 0.472 | 0.732 | 0.634 |
| 1.386 | 1.491 | 1.518 | 1.704 | 1.612 |
| 3.764 | 2.831 | 2.670 | 2.964 | 3.583 |
| 5.011 | 2.334 | 2.202 | 2.436 | 4.692 |
| 6.085 | 5.954 | 5.957 | 6.876 | 6.108 |
| 5.990 | 4.242 | 3.209 | 4.187 | 3.178 |

Data yang dipakai adalah data debit inflow per bulan yang di dapatkan dari BBWS Serayu-Opak. Dari tabel 5.2 dapat di lihat bahwa air yang keluar dari waduk cenderung beragam per tahunnya dan nilai tertinggi aliran yang keluar waduk terdapat pada bulan maret 2011 dengan 6.481 juta m³

3. Analisis kebutuhan air

Analisa data kebutuhan irigasi menggunakan hasil analisis (Rakasani, 2017) dalam kebutuhan irigasi waduk sermo. Dengan total suplai untuk daerah area irigasi 7.152 Ha dan ditambah dengan kebutuhan air untuk air minum sesuai dengan data teknis waduk yaitu 150 liter/det. Dengan hasil analisis kebutuhan air waduk sermo seperti pada tabel 5.3

Tabel 5.3 contoh analisis kebutuhan air pada tahun 2010

| Tahun | Kebutuhan air (irigasi + PDAM) juta m ³ |
|-------|--|
| 2010 | 2.769 |
| | 1.405 |
| | 2.599 |
| | 4.314 |
| | 3.168 |
| | 3.713 |
| | 0.150 |
| | 1.170 |
| | 2.512 |
| | 2.030 |
| | 4.496 |
| | 2.347 |

Sumber: Analisis perhitungan

Kebutuhan air pada waduk sermo sesuai dengan rencana awal pengoperasiannya untuk irigasi sawah dan kebutuhan air minum, maka dalam penelitian ini untuk draft kebutuhan terdiri dari jumlah kebutuhan irigasi dan jumlah kebutuhan air minum dalam setiap bulan.

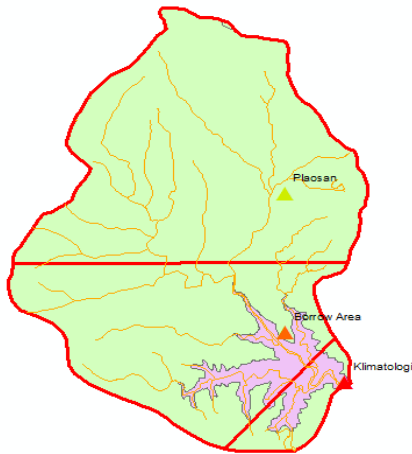
4. Analisis hujan rata-rata

Stasiun hujan yang dipakai untuk tinjauan penelitian yaitu stasiun klimatologi, stasiun borrow area, dan stasiun plaosan.

Tabel 5.4 Luasan *Polygon Thiessen* Sub DAS

| Stasiun | Luas |
|---------------------|----------------------|
| Stasiun Klimatologi | 1.24 km ² |
| Stasiun Borrow Area | 8.17 km ² |
| Stasiun Plaosan | 12.10 km |

Sumber : Analisis perhitungan



Gambar 5.1 *Polygon Thiessen* Sub DAS Ngrancah

Berdasarkan perbaikan data curah hujan dari tahun 2007 s/d 2016, data curah hujan tersebut dianalisis lebih lanjut ke hujan rerata menggunakan Metode *Polygon Thiessen*. Hujan Rerata dengan Metode *Polygon Thiessen* menggunakan persamaan (3.1) sebagai berikut :

$$\bar{p} = \frac{1.24 \cdot 2.4 + 8.17 \cdot 0.8 + 12.10 \cdot 0}{21.5}$$

$$\bar{p} = 0.4 \text{ mm/hari}$$

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Hujan Rerata

Tahun 2007

| Tanggal | TAHUN 2007 | | | | | | | | | | | |
|---------|------------|----------|-------|-------|------|------|------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| | Januari | Februari | Maret | April | Mei | Juni | Juli | Agustus | September | Oktober | November | Desember |
| 1 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 24.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 76.8 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.8 |
| 3 | 0.0 | 3.3 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.9 | 1.9 | 0.0 |
| 5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.1 |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.0 |
| 7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.4 |
| 9 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 6.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.7 | 0.2 |
| 11 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 27.8 |
| 12 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 35.0 |
| 13 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.4 | 38.6 |
| 14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 30.7 | 4.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 15 | 0.0 | 21.2 | 0.0 | 6.4 | 12.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.8 |
| 16 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 72.3 |
| 17 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 84.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 18 | 1.8 | 0.0 | 16.3 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| 19 | 0.6 | 61.6 | 0.0 | 56.4 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.6 |
| 20 | 0.4 | 0.2 | 30.1 | 19.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 |
| 21 | 0.6 | 0.0 | 2.6 | 11.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.7 |
| 22 | 0.1 | 0.3 | 40.9 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.4 |
| 23 | 8.8 | 0.1 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 |
| 24 | 0.0 | 15.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 25 | 0.0 | 12.9 | 0.2 | 18.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.4 |
| 26 | 1.1 | 0.0 | 9.9 | 8.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 27 | 0.3 | 48.8 | 0.0 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.2 |
| 28 | 0.0 | 0.0 | 16.4 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.0 |
| 29 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 |
| 30 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 81.6 |
| 31 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 0.2 |
| Jumlah | 14.2 | 178.5 | 127.2 | 311.7 | 19.2 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.8 | 121.4 | 349.9 |

Sumber: Hasil analisis

5. Analisis evapotranspirasi

Pada analisis evapotranspirasi potensial (ET_o) dalam penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode perhitungan yaitu Metode *Penman* Modifikasi dan Metode *Thornthwaite*. Dalam perhitungan evapotranspirasi ini menggunakan data klimatologi.

Analisis evapotranspirasi Metode *Thornthwaite*

Untuk analisis evapotranspirasi potensial (ET_o) menggunakan Metode *Thornthwaite* memanfaatkan suhu udara sebagai indeks ketersediaan energi

- (1). Menghitung indeks panas pertahun. Perhitungan menggunakan data suhu udara klimatologi tanggal 1 November 2010 dan menggunakan persamaan (3.16) sebagai berikut :

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left[\frac{26.00}{5} \right]^{1.514} = 12.13$$

- (2). Menghitung nilai (α) sebagai berikut :

$$\alpha = (675 \times 10^{-9} \times 12.13^3) - (771 \times 10^{-7} \times 12.13^2) + (179 \times 10^{-4} \times 12.13) + (492 \times 10^{-3}) = 0.7$$

- (3). Menghitung evapotranspirasi potensial (ET) menggunakan persamaan (3.15) sebagai berikut :

$$ET = 1.62 \left[\frac{10.T \times 26.00}{12.13} \right]^{0.7} = 13.80 \text{ mm} = 13.80 \text{ mm}$$

- (4). Menghitung faktor pengkali (f) berdasarkan Tabel 3.5 menggunakan interpolasi sebagai berikut :

$$f = 1.00 - \left(\frac{10 - 7.86}{10 - 5} \right) (1.00 - 1.01) = 1.01$$

- (5). Menghitung evapotranspirasi potensial (ET) koreksi menggunakan persamaan (3.20) sebagai berikut :

$$ET = 1.01 \times 13.80 = 13.53 \text{ mm/hari}$$

Perhitungan evapotranspirasi menggunakan Metode *Thornthwaite* di atas mendapatkan nilai evapotranspirasi potensial (ET_o) sebesar 14.53 mm/hari pada tanggal 1 November 2010. Hasil analisis evapotranspirasi potensial menggunakan Metode *Thornthwaite* pada bulan November 2007 dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.7 Hasil Thornwit

| Hari | Tm | I | A | ET | Faktor Penggali | ET |
|------|-------|-------|------|-------|--------------------|---------|
| | (°C) | | | (mm) | | (mm/hr) |
| 1 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 2 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 3 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 4 | 25.50 | 11.78 | 0.69 | 13.65 | 0.98 | 13.38 |
| 5 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 6 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 7 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 8 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 9 | 25.50 | 11.78 | 0.69 | 13.65 | 0.98 | 13.38 |
| 10 | 25.50 | 11.78 | 0.69 | 13.65 | 0.98 | 13.38 |
| 11 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 12 | 25.00 | 11.44 | 0.69 | 13.51 | 0.98 | 13.24 |
| 13 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 14 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 15 | 25.00 | 11.44 | 0.69 | 13.51 | 0.98 | 13.24 |
| 16 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 17 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 18 | 25.50 | 11.78 | 0.69 | 13.65 | 0.98 | 13.38 |
| 19 | 25.50 | 11.78 | 0.69 | 13.65 | 0.98 | 13.38 |
| 20 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 21 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 22 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 23 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 24 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 25 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 26 | 25.50 | 11.78 | 0.69 | 13.65 | 0.98 | 13.38 |
| 27 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 28 | 26.00 | 12.13 | 0.70 | 13.80 | 0.98 | 13.53 |
| 29 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |
| 30 | 26.50 | 12.49 | 0.70 | 13.95 | 0.98 | 13.67 |

Sumber: Hasil analisis perhitungan

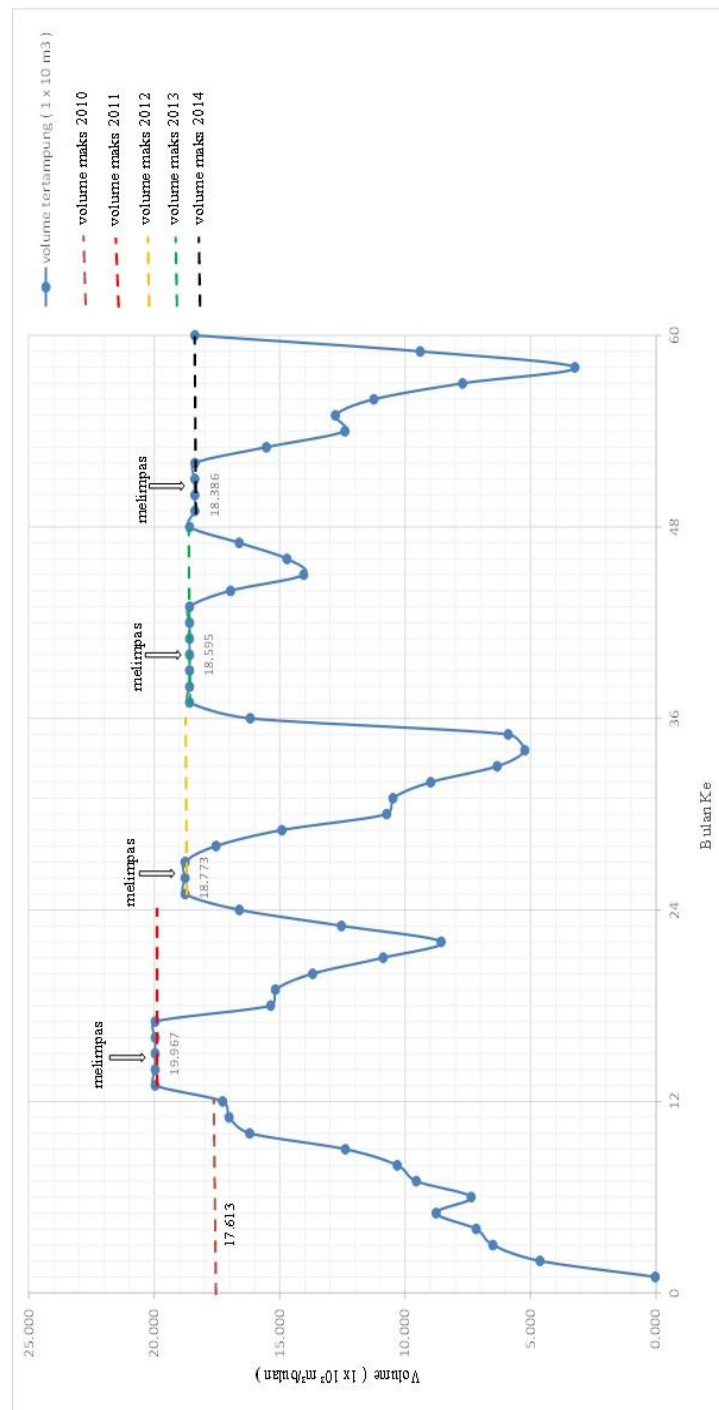
6. Analisis Kapasitas Waduk

| tahun | volume mati (m ³) | volume efektif (m ³) | volume total (m ³) |
|-------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 2010 | 1.508.900 | 17.613.300 | 19.122.200 |
| 2011 | 1.381.280 | 17.627.620 | 19.008.900 |
| 2011 | 1.579.858 | 19.967.383 | 21.547.241 |
| 2012 | 1.393.890 | 18.773.410 | 20.167.300 |
| 2013 | 1.591.070 | 18.595.430 | 20.186.500 |
| 2014 | 1.499.020 | 18.385.880 | 19.884.900 |

Dalam metode ripple ini volume efektif digunakan sebagai volume kapasitas maksimal yang tertampung dalam waduk, jika melebihi angka volume efektif, maka waduk dinyatakan

melimpas. Sedangkan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tahun 2010, 2011, 2012, 2013 dan 2014

Dari hasil perhitungan menggunakan Metode Ripple dengan persamaan (3.18) diketahui kapasitas waduk per bulan dan kegagalan waduk dalam memenuhi kebutuhannya seperti pada gambar 5.2



B. Keandalan waduk

| Kondisi | Kegagalan (%) | Keandalan (%) | Volume Efektif (1x10 ⁶) |
|---------|---------------|---------------|-------------------------------------|
| 2010 | 0 | 100 | 17,613 |
| 2011 | 8,33 | 91,67 | 19,967 |
| 2012 | 5 | 95 | 18,773 |
| 2013 | 13,33 | 86,67 | 18,595 |
| 2014 | 8,33 | 91,67 | 18,386 |

Nilai keandalan waduk sermo pada tahun 2010 adalah 100%, sedangkan pada tahun 2011 nilai keandalannya 91,67% dengan nilai kegagalannya 8,33% , pada tahun 2012 nilai keandalannya 95% dengan nilai kegagalannya 5% pada tahun 2013 adalah 86,67% dengan nilai kegagalannya 8,33% dan pada tahun 2014 adalah 91,67% dengan tingkat kegagalannya adalah 13,33%. Kapasitas waduk pada tahun 2010 sebesar 17.613.300 m³, pada tahun 2011 sebesar 19.967.383 m³, pada tahun 2012 sebesar 19.967.383 m³, pada tahun 2013 sebesar 18.595.430 m³, dan pada tahun 2014 sebesar 18.385.880 m³.

6. Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengumpulan data sekunder serta analisis pengolahan data dengan menggunakan metode *ripple* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Metode *Ripple* diperoleh volume kapasitas sebesar 17.613.300 m³ pada tahun 2010 dan tidak terjadi kegagalan, tahun 2011 terjadi 5 kali kegagalan dengan volume kapasitas sebesar 19.967.383 m³, tahun 2012 terjadi 3 kali kegagalan dengan volume sebesar 19.967.383 m³, tahun 2013 terjadi 8 kali kegagalan atau yang paling banyak dalam 5 tahun dengan volume kapasitas sebesar 18.595.430 m³, dan pada tahun 2014 terjadi kegagalan 5 kali dengan volume kapasitas sebesar 18.385.880 m³
2. Nilai keandalan waduk sermo pada tahun 2010 adalah 100%, sedangkan pada tahun 2011 nilai keandalannya 91,67%, pada tahun 2012 adalah 95%,

pada tahun 2013 adalah 86,67% dan pada tahun 2014 adalah 91,67%

B. Saran

1. Penelitian akan lebih akurat apabila rentang data yang tersedia semakin panjang.
2. Untuk mengetahui tingkat keandalan dari suatu waduk dapat dianalisis dengan metode dan program lain yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Buku-Buku

- Jr. Ray K Linsley, Kohler, Max A dan Paulus, Joseph L.H (1989), *Hidrologi Untuk Insinyur*, Edisi Ketiga, Terjemahan Yandi Hermawan, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Mc Mahon, A.Russel, 1978, *Reservior Capacity and Yield*, Oxford, New York.
- Triatmodjo, Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.

Jurnal, Skripsi, dan Tesis

- Asrul, Sani., 2008. *Analisis Kapasitas Waduk dengan Metode Ripple dan Behaviour (Studi Kasus Pada Waduk Mamak Sumbawa)*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Azura Ulfa., 2016. *Perhitungan Kinerja Waduk dan Evaluasi Kapasitas Waduk Ngancar Batuwarno, Wonogiri Jawa Tengah*. Tugas Akhir. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

SNI

- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Pengembangan Air Minum, Dirjen Cipta Karya (2007), *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007, tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta
- BBWS Serayu Opak. *Data Hidrologi Sungai Opak BBWS Serayu Opak. Laporan Tahunan*. Yogyakarta: BBWS Serayu Opak.