

PERHITUNGAN KINERJA WADUK DAN EVALUASI KAPASITAS WADUK NGANCAR BATUWARNO, WONOGIRI, JAWA TENGAH

Azura Ulfa
Azura_Ulfa29@yahoo.com

Slamet Suprayogi
Ssuprayogi@ugm.ac.id

Abstract

Ngancar Reservoir located in Selopuro, Batuwarno, Wonogiri, Jawa Tengah. Shallowing problem in reservoir caused by the height of sedimentation that decrease the reservoir capacity to contain and provide water. Measuring reservoir ability needed to decide the benefit and effective capacity. Evaluating reservoir capacity should be done to measure the ability of volume changes of Ngancar Reservoir from early measurement until 2016. The research purpose is measuring the volume of Ngancar Reservoir using Bathimetri method, it analyze the fluctuation volume and evaluating volume capacity of Ngancar Reservoir using Ripple method. Measuring the topography of Ngancar Reservoir by Bathimetri method, it was an aquatic method with systematic random sampling by using echosounder equipment. Analyzing capacity of Ngancar Capacity done by Ripple method using mass curve of Ngancar Reservoir since 2008-2015. Fluctuation analysis of reservoir volume done by calculation effective volume and curve of reservoir since 1946-2016. The result of volume calculation in Ngancar Reservoir based on topography map show the effective volume of Ngancar Reservoir in 2016 is 1269905 m^3 and the effective wide pool is 1393416 m^2 . Sedimentation volume in reservoir is increase from 2011-2016 is about 296119.75 m^3 with sedimentation rate around $59223.95 \text{ m}^3/\text{year}$. The maximum volume of water contained in the reservoir (w) curve berdasarkan mass of 2000000 m^3 , which must be added the maximum capacity due to excess water in the reservoir (Z) of 1000000 m^3 , and the largest flow rate can be held is $1558962.72 \text{ m}^3/\text{s}$.

Keywords: Reservoir Ngancar , Volume , Ripple method.

Abstrak

Perhitungan kinerja waduk sangat diperlukan untuk menentukan target manfaat dan kapasitas tampung efektif yang diperlukan. Evaluasi kapasitas waduk diperlukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan volume efektif Waduk Ngancar dari awal pengukuran hingga tahun 2016. Tujuan penelitian ini adalah mengukur volume Waduk Ngancar menggunakan metode bathimetri dengan alat *echosounder*, menganalisis perubahan fluktuasi volume Waduk Ngancar dari tahun 1946 hingga 2016, dan mengevaluasi kapasitas tampung Waduk Ngancar menggunakan metode Ripple. Pengukuran topografi Waduk Ngancar dilakukan dengan metode bathimetri metode akuatik sistematis *random sampling* melalui jalur tertentu menggunakan alat *echosounder*. Analisis kapasitas dilakukan dengan metode Ripple menggunakan kurva massa Waduk Ngancar tahun 2008-2015. Analisis fluktuasi perubahan volume dilakukan dengan perhitungan volume efektif waduk tahun 1946-2016 dan grafik. Perhitungan volume Waduk Ngancar dari peta topografi menghasilkan nilai volume efektif tahun 2016 adalah 1269905 m^3 dan luas genangan efektif adalah 1393416 m^2 . Terjadi kenaikan volume sedimentasi dari tahun 2011-2016 sebesar 296119.75 m^3 dengan laju sedimentasi adalah $59223.95/\text{tahun}$. Volume air maksimal yang terdapat pada waduk (w) berdasarkan kurva massa adalah 2000000 m^3 , kapasitas maksimum yang harus ditambah akibat kelebihan air (Z) adalah 1000000 m^3 , dan laju aliran terbesar yang bisa diselenggarakan adalah $1558962.72 \text{ m}^3/\text{det}$.

Kata kunci: Waduk Ngancar, Volume, Metode Ripple.

PENDAHULUAN

Waduk Ngancar terletak di Desa Selopuro, Kecamatan Batuwarno, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Waduk ini memberi manfaat irigasi untuk 637 ha pertanian di sekitar Kecamatan Batuwarno. Waduk Ngancar membendung Sungai Beling dan Sungai Teleng yang merupakan anak Sungai Jarak serta beberapa anak sungai disekitarnya. Daerah tangkapan air (DTA) Waduk Ngancar yaitu Sub-DAS Temon memiliki luas 6,889 km², terletak di hulu DAS Bengawan Solo dan memiliki topografi yang secara umum berbukit hingga bergunung dengan ketinggian maksimum 626 mdpl dan elevasi waduk setinggi 218 mdpl.

Hasil penelitian dari Balai Sungai Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo, volume Waduk Ngancar pada musim kemarau rata-rata sebesar 170.820 m³ untuk mengairi lahan pertanian seluas 10 ha yang berlangsung pada bulan September hingga awal desember. Sedangkan volume waduk normal sebesar 2,05 juta m³ untuk mengairi irigasi lahan pertanian seluas 637 ha. Hal ini menunjukkan bahwa Waduk Ngancar tidak dapat menyuplai air untuk lahan pertanian sekitar waduk pada saat musim kemarau.

Seiring dengan bejalannya waktu, Waduk Ngancar mengalami penurunan fungsi dan kinerjanya yang meliputi penurunan kapasitas serta efektifitas kinerjanya yang diakibatkan oleh penurunan debit inflow dari Sub-DAS Temon dan pendangkalan dasar waduk akibat tingginya sedimentasi yang masuk ke waduk. Sedimentasi yang besar terjadi di Waduk Ngancar menyebabkan pendangkalan pada

waduk sehingga mengurangi kapasitas dan fungsi waduk, hal ini mengakibatkan operasi dan pemeliharaan waduk menjadi lebih sulit dan mahal. Berdasarkan hasil penelitian studi pengukuran waduk di WA Bengawan Solo tahun 2011, pada awal pengoperasian waduk, volume efektif waduk sebesar 2,05 juta m³ dan pada tahun 2011 mengalami sedimentasi sebesar 483.975 m³.

Evaluasi kapasitas waduk diperlukan untuk mengetahui seberapa besar waduk dapat menampung volume air dan perhitungan kinerja dilakukan untuk mengetahui seberapa mampu waduk menjalankan fungsinya. Salah satu cara untuk menghitung kapasitas waduk adalah dengan melakukan perhitungan volume waduk dengan pengukuran batimetri waduk menggunakan metode *ecosounding* untuk menganalisis kinerja waduk dalam menjalankan fungsinya sebagai waduk konservasi.

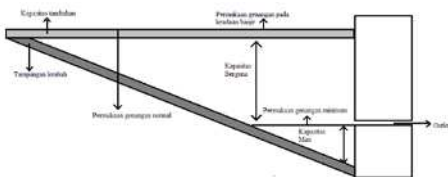
Berbagai masalah ini menjadi dasar dilakukannya penelitian di Waduk Ngancar. Pemeliharaan waduk khususnya dalam upaya pemeliharaan sumberdaya air dilakukan dengan menganalisis aspek sedimentasi meliputi analisis (volume sedimen, laju sedimentasi), aspek kinerja waduk meliputi (analisis volume tampungan waduk, kapasitas waduk, dan data teknis Waduk Ngancar terbaru), aspek hidrologi yang meliputi analisis ketersediaan air, serta aspek operasi waduk yang meliputi ketersediaan dan kebutuhan air irigasi Waduk Ngancar

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur volume Waduk Ngancar menggunakan metode batimetri dengan alat echosounder.

2. Menganalisis perubahan fluktuasi volume Waduk Ngancar.
3. Mengevaluasi kapasitas tampung Waduk Ngancar menggunakan metode Rippl.

Waduk (Reservoir) adalah wadah air yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bangunan sungai dalam hal ini bangunan bendungan dan berbentuk pelebaran alur/ badan/ palung sungai (Standard Nasional Indonesia). Waduk memiliki 2 kategori yaitu waduk penyimpanan yang secara umum berfungsi sebagai konservasi sumberdaya air dan waduk distribusi yang berfungsi untuk mengalirkan air (Nursa'ban, 2008). Karakteristik fisik dari waduk meliputi fungsi utama waduk sebagai penyimpan air dan karakteristik yang lebih penting adalah kapasitas waduk (Kinsley dan Franzini, 1979). Bagian tampungan waduk disajikan pada Gambar 1.



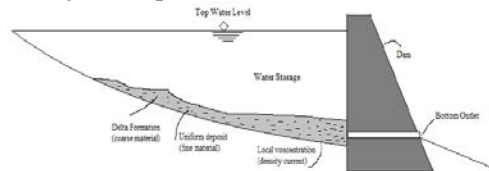
Gambar 1. Bagian-Bagian Tampungan di dalam Waduk

(Sumber: Kinsley dan Franzini, 1979)

Batimetri adalah ilmu yang mempelajari kedalaman di bawah air dan studi tentang tiga dimensi waduk/danau. Sebuah peta batimetri umumnya menampilkan relief lantai atau dataran dengan kontur-kontur yang disebut kontur kedalaman atau isobath, dan dapat memiliki informasi tambahan berupa informasi navigasi permukaan. Pemeruman adalah proses dan aktivitas yang ditujukan untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan (topografi) dasar perairan. Proses penggambaran dasar perairan tersebut

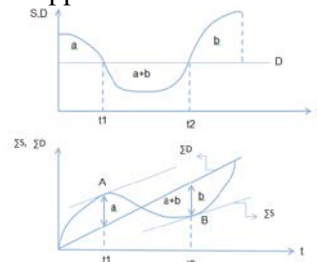
sejak pengukuran hingga pengolahan serta visualisasi disebut dengan survey batimetri. Model batimetri (kontur kedalaman) diperoleh dengan menginterpolasikan titik-titik pengukuran kedalaman bergantung pada skala model yang ingin dibuat.

Kapasitas total waduk data direncanakan berdasar perhitungan volume tampungan air tanpa adanya sedimentasi (Subarkah, 1980). Seiring berjalannya waktu pengoperasian waduk, terjadi sedimentasi di areal genangan sehingga menyebabkan berkurangnya kapasitas tampungan. Deskripsi berkurangnya kapasitas waduk ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Deskripsi Berkurangnya Kapasitas Waduk Akibat Sedimentasi (Sumber: Mays et al., 1992)

Metode Ripple atau kurva massa ditemukan oleh Ripple (1883) untuk menghitung besarnya kapasitas tampung reservoir yang memadai pada tingkat kebutuhan air tertentu (efektif untuk kebutuhan air yang konstan). Berikut adalah Gambar 3 yang menjelaskan diagram Ripple.



Gambar 3. Metode Kurva Massa dan Analisis Kurva Massa (Sumber: Ripple, 1883)

Metode kurva massa/ ripple diagram (Gambar 3) adalah plotting debit kumulatif waduk dengan kemiringan kuva massa adalah nilai inflow (S) pada waktu tertentu. Kemiringan kurva permintaan (D) atau imbuhan adalah kebutuhan air. Analisis kurva massa dilakukan dengan melihat perbedaan antara garis (b+) yang bersinggungan dengan garis permintaan (D) ditarik pada titik tertinggi dan titik terendah dari kurva massa (S) memberikan tingkat penarikan dari waduk selama periode kritis. Nilai kumulatif maksimum antara garis singgung adalah kapasitas penyimpanan yang diperlukan (active storage).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data perimer yang meliputi data titik kedalaman berdasarkan hasil *echosounding* tahun 2016 dan data tekstur tanah berdasarkan hasil uji lab tanah dan survey kondisi daerah kajian serta penggunaan lahan, dan citra satelit Landsat 8 tahun 2015 untuk identifikasi kondisi geomorfologi. Data sekunder meliputi data debit *inflow*, *intake*, kebutuhan irigasi mingguan Waduk Ngancar, volume Waduk Ngancar tahun 2008-2015, dan data curah hujan harian Waduk Ngancar stasiun ngancar, giriwoyo, baturetno PP, dan sbatuwarno pp tahun 2008-2015.

Pengukuran bathimetri Waduk Ngancar dilakukan dengan alat *echosounder* dengan metode akuatik sistematik random sampling melalui jalur tertentu. Hasilnya diperoleh data kedalaman waduk dari muka air waduk, jarak, dan titik koordinat.

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada sub-DAS Temon dengan metode *stratified randon sampling*, pada

6 titik pengamatan berdasarkan perubahan bentuklahan dan penggunaan lahan. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan membuat profil tanah. Hasilnya di analisis di lab dan diperoleh tekstur tanah.

Pengumpulan data citra satelit dilakukan dengan menggunakan software ArcGIS, global mapper, dan google earth. Hasil citra di analsis menjadi peta satuan lahan. Data sekunder diperoleh dari berbagai instansi meliputi Perum Jasa Tirta I WS Bengawan Solo, BPSDA WS Bengawan Solo, dan BBWS Bengawan Solo.

Hasinya *sounding* diolah menggunakan Ms. Excel dan ArcGIS, diperoleh peta topografi waduk. Dilakukan perhitungan luas dan volume waduk menggunakan rumus (1), dihasilkan nilai pengurangan volume waduk dan lengkung kapasitas Waduk Ngancar tahun 2016.

$$V = \sum_{n}^{n+1} V_n - (n+1) = \frac{Dx(A_n + A_{(n+1)} + \sqrt{A_n \times A_{(n+1)}})}{3} \quad (1)$$

)

Keterangan:

V = Volume

D = Jarak antara dua potongan melintang (m)

A_n = Luas potongan melintang A_n (m²)

A_{n+1} = Luas potongan melintang A_{n+1} (m²)

(Soewarno, 2015)

Perhitungan kapasitas waduk dengan metode Ripple/ kurva massa digunakan untuk menghitung besarnya kapasitas tampung *reservoir* yang memadai pada tingkat kebutuhan air tertentu. Dari data mingguan debit *inflow*, dan debit kebutuhan di olah menjadi data bulanan dan diubah menjadi data volume. Data volume kemudian diolah menjadi volume kumulatif *inflow* dan volume kumulatif

demand. *Demand* yang digunakan adalah kebutuhan irigasi data BPSDA tahun 2008-20015 dan *demand* hasil perhitungan 80% rata-rata debit *inflow* waduk di rumus (2), (3), (4).

$$\text{Inflow rata - rata} = \frac{\sum \text{inflow}}{\sum n} \quad (2)$$

$$\text{Kebutuhan air} = 80\% \times \text{inflow rata - rata} \quad (3)$$

$$\text{Laju kebutuhan air} = \text{kebutuhan air} \times \text{waktu (t)} \quad (4)$$

Analisis yang dilakukan meliputi analisis deskriptif dan grafis. Analisis kapasitas waduk meliputi analisis karakteristik waduk, hasil kurva lengkung kapasitas Waduk Ngancar tahun 2016, perubahan fluktuasi volume waduk dan perbandingan volume *sounding* 2016 dengan 2011, dan 1946. Analisis kinerja waduk meliputi volume dan laju sedimen waduk. Analisis debit sungai dan *intake* Waduk Ngancar. Analisis kapasitas waduk dengan metode Ripple meliputi laju aliran, *reservoir*, dan penyediaan air Waduk Ngancar tahun 2008-2015.

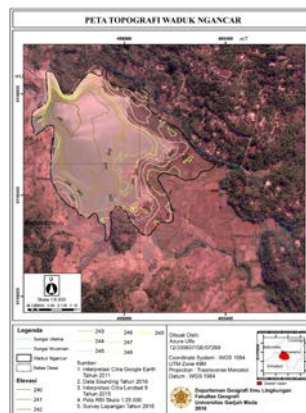
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kapasitas Waduk Ngancar Hasil *Echosounder*

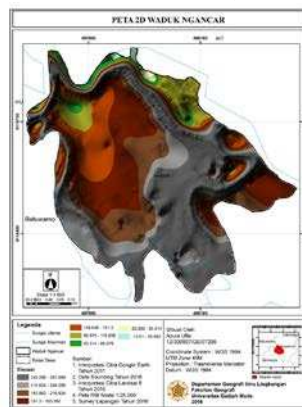
Berdasarkan hasil pemetaan bathimetri dihasilkan peta topografi Waduk Ngancar tahun 2016, terjadi pengurangan luas genangan waduk yang ditunjukkan oleh peta topografi Waduk Ngancar pada Gambar 4. Penurunan luas genangan waduk disebabkan oleh bertambah tingginya volume Waduk Ngancar akibat sedimentasi. Saat musim kemarau, debit *inflow* yang masuk ke waduk sangat kecil dan mengakibatkan sedimen terendapkan di sekitar hulu waduk sehingga dapat dilihat daerah yang paling dangkal terdapat di hulu waduk bagian timur.

Saat musim hujan, debit *inflow* yang masuk ke waduk besar dan

mengakibatkan air akan memiliki energi tinggi untuk mengangkut sedimen dengan jumlah yang banyak. Sedimen yang lebih halus akan mengendap di dasar waduk dan jika berlangsung lama mengakibatkan pendangkalan waduk. Peta 2D Waduk Ngancar disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Peta Topografi Waduk Ngancar
(Sumber: Hasil analisis, 2016)



Gambar 5. Peta 2D Waduk Ngancar
(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan hasil perhitungan elevasi, luas genangan, dan volume (Lampiran 1), dihasilkan lengkung kapasitas Waduk Ngancar tahun 2016 seperti pada Gambar 6. Ketinggian normal waduk berdasarkan kurva lengkung kapasitas yaitu sebesar 246 m. Luas permukaan waduk pada ambang

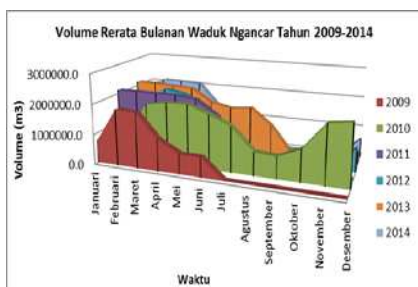
spillwat sebesar didapat 796957 m³. Volume tampung waduk pada ambang *spillway* sebesar 690494.9014 m³.



Gambar 6. Lengkung Kapasitas Waduk Ngancar Tahun 2016

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan hasil pengukuran volume waduk menggunakan data hidrologi, maka dihasilkan grafik perubahan volume Waduk Ngancar tahun 2008-2015 pada Gambar 7.

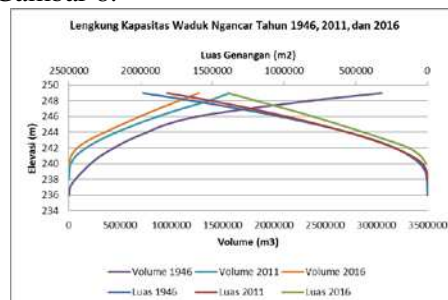


Gambar 7. Volume Rerata Bulanan Waduk Ngancar Tahun 2009-2014

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Dari hasil perhitungan volume waduk rata-rata bulanan dari tahun 2009 hingga 2014, diketahui volume paling kecil sepanjang bulan dalam satu tahun yaitu pada tahun 2009 dengan lama waktu kekosongan waktu selama 6 bulan yaitu bulan juli-desember. Sedangkan volume waduk paling besar terdapat pada tahun 2010, dimana terjadi 2 kali kenaikan volume dan saat terjadinya penurunan volume, waduk tetap dalam kondisi terisi air. Pola diagram volume Waduk Ngancar menunjukkan adanya kesamaan kenaikan volume waduk,

dimana waduk terisi pada saat awal tahun. Hal ini dipengaruhi oleh musim hujan dan curah hujan wilayah yang terjadi. Perbandingan hasil pengukuran topografi Waduk Ngancar tahun 2016, 2011, dan 1946 (Lampiran 2) disajikan pada kurva lengkung kapasitas waduk Gambar 8.



Gambar 8. Lengkung Kapasitas Waduk Ngancar Tahun 1946, 2011, dan 2016

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan Gambar 7, diketahui kenaikan volume aduk pada tahun 2016 lebih cepat dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Kapasitas optimal waduk/volume tampung waduk pada ambang *spillway* terdapat pada elevasi 246 m. Berdasarkan hasil perhitungan volume dan luas genangan Waduk Ngancar, volume kapasitas tampungan waduk pada elevasi 246 di tahun 1946 adalah sebesar 1250000 m³ dengan luas genangan sebesar 1027420 m². Sedangkan pada tahun 2011, kapasitas optimal Waduk Ngancar adalah sebesar 844400 m³ dan luas genangannya sebesar 982363 m².

2. Kinerja Waduk Ngancar

Salah satu faktor yang mempengaruhi perubahan kapasitas waduk adalah besarnya sedimen yang masuk dan mengendap di dasar waduk. Sedimen tersebut masuk ke dalam waduk, sebagian besar melalui alur sungai dan hanya sebagian kecil yang berasal dari intake waduk. Berikut

adalah tabel yang menjelaskan hasil perhitungan volume sedimen Waduk Ngancar berdasarkan hasil *echosounding* tahun 2016 pada Tabel 1.

Tahun	Elevasi Dasar m	Spillway m	Luas Genangan m ²	Kapasitas Waduk m ³	Volume Sedimentasi m ³	Laju Sedimentasi m ³ /th
1946	236	248.7	349000	2050000		
2011	238	248.7	309126	1566024	483975.6	7445.78
2016	240	248.7	201751	1269905	296119.7	59223.95

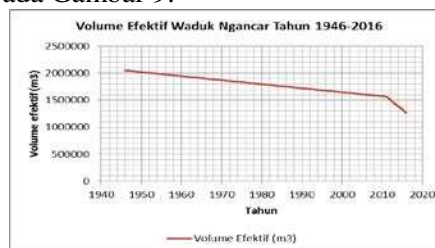
(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan pengukuran batimetri waduk, diketahui elevasi dasar waduk 2016 mengalami peningkatan yaitu dari 236 m menjadi 238 m. Pada tahun 2016 elevasi dasar waduk mengalami peningkatan menjadi 240 m. Elevasi dasar waduk pada tahun 2011 dan 2016 ditetapkan berdasarkan ketinggian terendah dari hasil pengukuran menggunakan echosounder. Sedangkan muka air normal waduk adalah 248.7 m.

Luas genangan Waduk mengalami penurunan yaitu sebesar 349000 m² tahun 1946, menjadi 309126 m² pada tahun 2011, dan 201751 m² pada tahun 2016. Penurunan luas genangan waduk diikuti oleh penurunan kapasitas Waduk Ngancar. Apabila tahun 1946 kapasitas waduk belum terisi oleh sedimen, kapasitas waduk sebesar 2050000 m³. Tahun 2011, kapasitas waduk menjadi 1566024 m³ sehingga selama kurun waktu 65 tahun yaitu dari tahun 1946-2011 sedimen menumpuk pada Waduk Ngancar sebesar 483975.6 m³. Hasil pengukuran *echosounding* pada tahun 2016 menunjukkan volume Waduk Ngancar mengalami penurunan sebesar 1269905 m³. Sehingga dalam kurun waktu 5 tahun yaitu 2011-2016, terjadi penumpukan sedimen pada waduk sebesar 296119.7 m³.

Laju sedimentasi tahun 1946-2011 sebesar 7445.78 m³/th. Sementara perbandingan volume sedimen tahun 2011-2016, menunjukkan laju sedimentasi sebesar 59223.95 m³/th. Laju sedimentasi yang tinggi pada

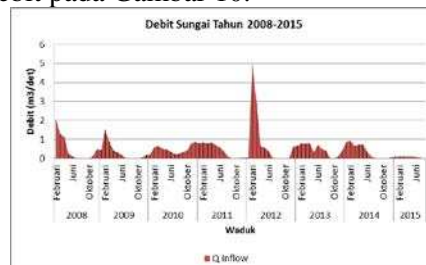
Waduk Ngancar disebabkan oleh erosi yang cukup tinggi pada daerah pegunungan di bagian selatan waduk dan masuk ke waduk melalui lembah-lembah antar pegunungan dan sungai. Sedimen melayang akan berada di permukaan waduk lebih lama dan akhirnya akan mengendap di dasar, sedimen yang sangat halus di dasar waduk akan menuju ke bagian hilir waduk dan akan mengendap di daerah *dead storage*, sedimen dengan ukuran yang besar akan tinggal di daerah hulu dan menendap. Berdasarkan hasil perhitungan laju sedimentasi waduk, maka dapat dihitung penurunan volume efektif Waduk Ngancar dari awal pengoperasian hingga tahun 2016 seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Volume Efektif Waduk Ngancar Tahun 1946-2016

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

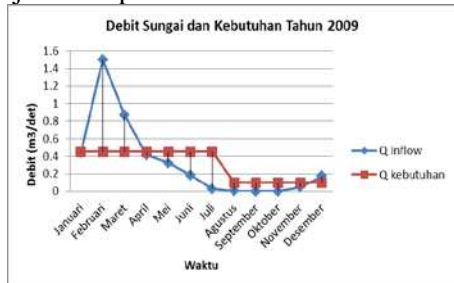
Analisis data hidrologi sangat penting dilakukan untuk mengetahui potensi hidrologi suatu wilayah. Berdasarkan debit sungai Temon tahun 2008-2015, maka dapat dibuat grafik debit pada Gambar 10.



Gambar 10. Debit Sungai Temon Tahun 2008-2016

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Kenaikan debit paling besar terjadi pada tahun 2012 yaitu pada bulan februari sebesar $4.917 \text{ m}^3/\text{det}$. Sedangkan kenaikan debit sungai paling rendah terjadi pada bulan februari tahun 2015 yaitu sebesar $0.105 \text{ m}^3/\text{det}$. Sedangkan saat musim kemarau, debit paling rendah yang masuk ke Waduk Ngancar sebesar $0 \text{ m}^3/\text{det}$. Artinya saat musim kemarau, Waduk Ngancar tidak mendapat input dari sungai sehingga waduk menjadi kering dan pemenuhan untuk kebutuhan air irigasi tidak terpenuhi secara maksimal. Hal ini dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11. Debit Sungai dan Kebutuhan Tahun 2009

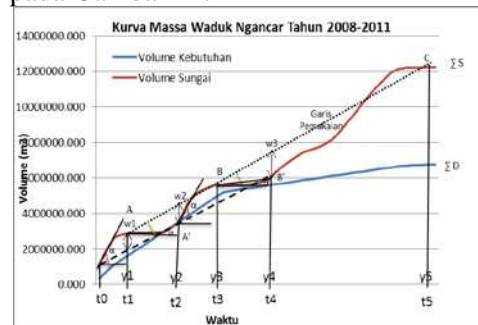
(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Metode yang digunakan dalam analisis kapasitas waduk dalam penelitian ini yaitu metode Rippl. Metode ini digunakan untuk menghitung besarnya kapasitas tampung *reservoir* yang memadai pada tingkat kebutuhan air tertentu. Data yang digunakan adalah data volume *inflow* kumulatif waduk, dan kebutuhan air irigasi waduk.

Kebutuhan irigasi pada penelitian ini menggunakan debit kebutuhan Waduk Ngancar tahun 2008-2015 dan debit kebutuhan irigasi Waduk Ngancar yang dihitung berdasarkan 80% inflow rata-rata dari Waduk Ngancar. Dari hasil perhitungan dihasilkan kebutuhan air (*release reservoir*) Waduk Ngancar sebesar $0.35921 \cdot t$. Debit kebutuhan diolah menjadi volume maka dihasilkan

nilai volume kebutuhan air irigasi sebesar 218375.0695 m^3 .

Kurva massa adalah kurva yang digunakan untuk keperluan desain awal suatu waduk maupun untuk melihat kinerja waduk setelah dioperasikan. Diagram Rippl dapat digunakan sebagai alat untuk menentukan target manfaat dan kapasitas tampungan efektif yang diperlukan. Prinsipnya bahwa waduk berfungsi untuk menampung air pada saat musim hujan dan kemudian memanfaatkannya pada saat musim kemarau. Kurva massa Waduk Ngancar dengan *demand* data PSDA disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Kurva Massa Waduk Ngancar Tahun 2008-2011

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan Gambar 12, terlihat bahwa ordinat y_1 menunjukkan jumlah volume air yang mengalir selama $t=t_0$ hingga $t=t_1$ yaitu sebesar 2819396.1 m^3 dan ordinat y_2 menunjukkan jumlah volume air yang mengalir dari $t=t_0$ hingga $t=t_2$ sebesar 448308.0 m^3 . Begitu seterusnya hingga ordinat y_5 . Dari gambar kurva massa menunjukkan $y_2 - y_0$ merupakan jumlah air yang mengalir selama waktu $t=t_0$ hingga $t=t_2$. Kemiringan garis A'-B' menyatakan laju aliran rata-rata selama periode t_0 hingga t_2 . Laju aliran tersebut sama dengan t_{α} yaitu sebesar $0.491 \text{ m}^3/\text{det}$. Bersarnya laju aliran rata-rata untuk t_2

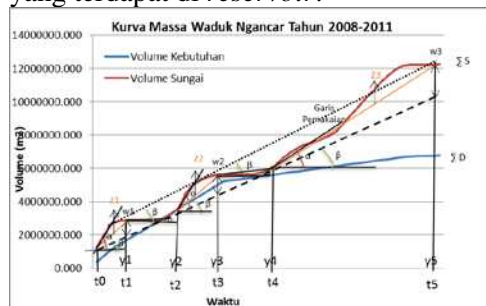
ditunjukkan oleh $tg\alpha_2$ yaitu sebesar $0.342 \text{ m}^3/\text{det}$.

Laju aliran yang masuk ke waduk umumnya tidak tetap dan berubah-ubah karena itu garis massanya tidak berupa garis lurus. Pada Gambar 13, menunjukkan pada saat t_1 *reservoir* menjadi penuh. Aliran air yang masuk dengan laju aliran yang berubah-ubah. Agar *reservoir* tidak meluap maka mulai t_1 itu, aliran yang masuk harus dikeluarkan. Pengeluarnya harus dilakukan sesuai dengan laju aliran masuk.

Berdasarkan Gambar 13 menunjukkan saat waduk penuh, yaitu t_1 , maka harus ada air yang dikeluarkan dari waduk. Laju aliran yang keluar ditunjukkan oleh $tg\beta$. Garis ini disebut sebagai garis pemakaian (kebutuhan) yang ditunjukkan oleh garis putus-putus pada kurva massa. Garis pemakaian adalah garis yang menghubungkan antar puncak ordinat. Kurva massa Waduk Ngancar Tahun 2008-2011 menjelaskan, garis merah merupakan kumulatif *inflow* dan garis biru merupakan kumulatif kebutuhan irigasi berdasarkan data PSDA tahun 2008-2011. Berdasarkan hasil perhitungan laju aliran masuk dan keluar waduk dari kurva massa tahun 2008-2011 diketahui laju aliran terbesar terdapat pada $t=t_0$ hingga t_1 yaitu dengan laju aliran masuk sebesar $1.554 \text{ m}^3/\text{det}$ dan laju aliran keluar sebesar $0.773 \text{ m}^3/\text{det}$. Laju aliran keluar disebut sebagai $tg\beta$.

Dari Gambar 13, menunjukkan, bahwa laju aliran keluar $tg\beta$ yang dibutuhkan untuk irigasi lebih kecil daripada laju aliran masuk $tg\alpha$, maka kebutuhan air dapat terpenuhi, bahkan terdapat sisa aliran masuk yang ditampung *reservoir*. Mulai saat t_1 , laju aliran masuk atau $tg\alpha$ lebih kecil dari

aliran keluar. Sehingga kebutuhan air dipenuhi dengan laju aliran yang tersedia dan sisanya dipenuhi oleh air yang terdapat di *reservoir*.



Gambar 13. Kurva Massa Waduk Ngancar Tahun 2008-2011

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Volume air yang ada di dalam waduk (w) dihitung berdasarkan jarak vertikal antara garis *inflow* terhadap garis pemakaian. Nilai w_1 yaitu volume waduk yang tersedia pada $t=t_0$ hingga t_1 sebesar 1000000 m^3 , nilai w_2 dari $t=t_2$ hingga t_3 sebesar 1200000 m^3 , dan nilai w_3 dari $t=4$ hingga t_5 sebesar 2000000 m^3 .

Saat musim hujan tiba, waduk dalam keadaan penuh yang digambarkan oleh kurva massa dari $t=t_0$ hingga t_1 . Pada saat t_1 , waduk dalam keadaan penuh sehingga air harus dibuang/ diluapkan agar tidak merusak bangunan waduk. Jika air dalam waduk tidak dapat dibuang karena berbagai sebab, maka diperlukannya kapasitas yang harus ditambah (Z). Nilai Z dihitung berdasarkan jarak vertikal *inflow* dengan garis yang menghubungkan puncak ordinat pada saat *inflow* tertinggi pada kurva. Pada saat $t=t_0$ hingga menuju t_1 , kapasitas yang harus ditambah atau jumlah air yang seharusnya diluapkan yaitu sebesar Z_1 adalah 600000 m^3 , sedangkan kapasitas yang harus ditambah pada Z_2 sebesar 800000 m^3 , dan pada Z_3 sebesar 1000000 m^3 . Berdasarkan hasil perhitungan dapat

disimpulkan bahwa pada tahun 2008-2011 memiliki volume air terbesar adalah 2000000 m³ dengan volume air maksimum yang harus diluapkan saat musim hujan adalah 1000000 m³. Berikut adalah kurva massa tahun 2012-2015 pada Gambar 14.



Gambar 14. Kurva Massa Waduk Ngancar Tahun 2012-2015
(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan Gambar 14, diketahui pada saat $t=t_0$ waduk dalam keadaan terisi penuh dengan volume aliran yang masuk sebesar 5728181.760 m³ dengan laju pengaliran rata-rata $tg\alpha$ sebesar 1.579 m³/det dan laju aliran keluar $tg\beta$ sebesar 0.096 m³/det. Saat $t=t_1$ waduk penuh dengan volume air yang berada di waduk sebesar 400000 m³ dan volume air yang diluapkan untuk mengantisipasi banjir ketika waduk terlalu penuh sebesar 200000 m³. Pada saat $t=t_2$ *reservoir* kosong, dan jika $tg\beta > tg\alpha$ maka kebutuhan air seluruhnya tidak dapat dipenuhi, melainkan hanya sebagian, yaitu dengan laju aliran $tg\alpha$ sebesar 0.007125 m³/det. *Reservoir* tetap kosong dan dari garis massanya terlihat besar pemenuhan kebutuhan yang ditunjukkan oleh garis pemakaian semakin besar yaitu dengan laju $tg\beta$ pada t_1 sebesar 0.008 m³/det. Mulai t_2 hingga t_3 laju aliran masuk menjadi lebih besar daripada laju pemakaian. Mulai saat itu kebutuhan air dapat dipenuhi penuh dan mulai ada air yang

ditampung lagi di dalam *reservoir*. Pada saat t_3 volume air yang ditampung di *reservoir* mencapai w_2 sebesar 400000 m³. Jika air w_2 melampaui kapasitas *reservoir*, maka air lebih dibuang melalui peluap. Jika tidak boleh ada air yang dibuang, kapasitas waduk harus ditambah dengan nilai Z 100000 m³. Pembuangan air akan berlangsung hingga t_3 , laju aliran masuk lebih kecil daripada kebutuhan. Maka kebutuhan air untuk untuk sebagian dipenuhi dengan air dan aliran yang masuk dan sisanya dipenuhi dipenuhi dengan air yang ditampung di *reservoir*. Keadaan ini berlangsung hingga t_4 . Pada saat t_4 *reservoir* kosong dan mulai t_4 hingga t_5 laju aliran masuk lebih besar daripada laju aliran keluar yaitu $tg\alpha$ sebesar 0.615 m³/det. Volume waduk yang tersedia saat waduk penuh pada t_5 sebesar 400000 m³. Saat t_5 hingga t_6 , laju aliran keluar lebih besar daripada laju aliran masuk yaitu $tg\beta$ sebesar 0.013 m³/det.

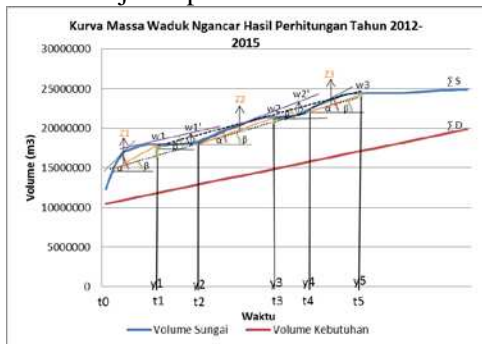
Kurva massa berdasarkan hasil perhitungan 80% rata-rata inflow disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Kurva Massa Waduk Ngancar Hasil Perhitungan Tahun 2008-2011
(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan grafik kurva massa dengan *demand* hasil perhitungan, diketahui bahwa nilai kebutuhan irigasi yang terlihat pada kurva lebih mendekati volume *inflow*. Garis kebutuhan irigasi

dan garis pemakaian memiliki pola yang sama. Hal yang membedakan antara kurva hasil perhitungan dan data PSDA adalah letak dan jumlah ordinat. Hal ini dipengaruhi oleh pola kebutuhan irigasi yang ditunjukkan pada garis kebutuhan irigasi pada grafik *inflow* dan *outflow*. Gambar 15 menunjukkan garis kebutuhan yang lurus (konstan). Sebelum waduk penuh pada Kurva massa hasil perhitungan tahun 2012-2015 disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Kurva Massa Waduk Ngancar Hasil Perhitungan Tahun 2012-2015

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

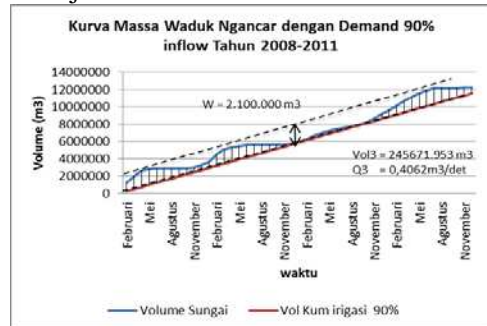
Berdasarkan hasil analisis grafik penentuan besarnya pengaliran tertentu/ volume yang dibutuhkan untuk menyelenggarakan pengaliran tertentu (W) pada perhitungan tahun 2008-2011 ditunjukkan oleh Gambar 17.



Gambar 17. Volume *Inflow* dan *demand* Hasil Perhitungan Tahun 2008-2011

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Besarnya pengaliran yang di selenggarakan yaitu sebesar Q1 yang dihitung berdasarkan 80% rata-rata *inflow* waduk. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan irigasi waduk dari 90% rata-rata dari *inflow*, maka grafik hubungan *inflow* dan *demand* ditunjukkan oleh Gambar 18.



Gambar 18. Kurva massa *demand* 90% Tahun 2008-2011

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan irigasi waduk dari 100% rata-rata dari *inflow*, maka grafik hubungan *inflow* dan *demand* ditunjukkan oleh Gambar 19.



Gambar 19. Kurva massa *demand* 100% Tahun 2008-2011

(Sumber: Hasil analisis, 2016)

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pengukuran batimetri tahun 2016 menghasilkan nilai volume

- Waduk Ngancar sebesar 1.269.904,65 m³ dengan ketinggian normal waduk sebesar 246 m, luas permukaan waduk pada ambang spillway sebesar 796.957 m³, dan volume tampung waduk pada ambang spillway sebesar 690.494,90 m³.
2. Volume Waduk Ngancar dari tahun 1946, 2011, dan 2016 berturut-turut sebesar 2.050.000 m³, 1.566.024 m³, dan 1.269.905 m³ dengan perubahan luas genangan sebesar 1.982.420 m³ di tahun 1946, 1.814.101,4 m³ di tahun 2011, dan 1.393.416 m³ di tahun 2016. Penurunan volume dan luas genangan diasumsikan terjadi akibat pengendapan sedimen.
 3. Analisis diagram Ripple menghasilkan nilai laju aliran pada setiap periode akan berbeda dan dipengaruhi oleh debit *inflow*. Volume air maksimal yang ada di dalam waduk (w) selama tahun 2008-2015 sebesar 2.000.000 m³, kapasitas yang harus ditambah maksimum akibat kelebihan air di waduk (Z) sebesar 1.000.000 m³, laju aliran terbesar yang bisa diselenggarakan untuk perhitungan tahun 2008-2011 dan tahun 2012-2015 berturut-turut adalah sebesar 2.57 m³/det dan 5.04 m³/det, dan volume maksimum untuk perencanaan pengaliran tertentu pada volume demand 80% dari *inflow* sebesar 1.400.000 m³. Pemenuhan

kebutuhan irigasi dan ketersediaan air pada waduk masih dapat terpenuhi, namun terjadi penurunan volume pada musim kemarau sehingga dapat dikatakan Waduk Ngancar memiliki kinerja yang cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Kinsley, R. d. (1979). *Water Resources Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Mays, L. W. (1992). *Hydrosystem Engineering and Management*. New York: McGraw Hill.
- Nursa'ban, M. (2008). Evaluasi Sediment Yield di Daerah Aliran Sungai Cisanggarung Bagian Hulu dalam Memperkirakan Sisa Umur Waduk Darma. *Jurnal Penelitian Sainstek Vol 13 No 1, 47-64*.
- Ripple. (1883). *Operasi Waduk*. Yogyakarta: Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Subarkah, I. (1980). *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma Bandung.