

## **Efektifitas Tampungannya Penyimpanan Air Waduk Terhadap Besar Sedimen di Waduk Bade Kabupaten Boyolali**

**Putri Mahardhika Nuraini<sup>[1]</sup>, Tri Prandono<sup>[2]</sup>**

<sup>[1]</sup> Alumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Surakarta

<sup>[2]</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Surakarta

Email: [putrimn039@gmail.com](mailto:putrimn039@gmail.com), [tri.prandono@gmail.com](mailto:tri.prandono@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Air merupakan salah satu unsur yang sangat penting dan di butuhkan oleh semua makhluk hidup. Di Jawa Tengah utamanya Kabupaten Boyolali terdapat beberapa waduk diantaranya adalah Waduk Bade yang dimanfaatkan masyarakat. Untuk itu harus dilakukan suatu analisis kapasitas tampung penyimpanan air di waduk bade, maka dari itu tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan besarnya volume debit waduk bade dan besar sedimen yang masuk ke waduk bade. Dalam perhitungan sedimen, sedimen dasar menggunakan metode Einstein dan MP&M sedangkan untuk sedimen melayang menggunakan metode Asdak Chay dan Forcheimer. Volume efektif waduk ditentukan dengan nilai besaran volume rata-rata waduk dan volume sedimen total. Hasil dari perhitungan kapasitas tampung waduk bade telah diketahui Waduk Bade mempunyai debit rata-rata sebesar 0,589 m<sup>3</sup>/dtk. Sedimen dasar Waduk Bade sebesar 678,62 m<sup>3</sup>/hari. Dan untuk sedimen melayang Waduk Bade sebesar 2,41 m<sup>3</sup>/hari. Dan Sedimen total Waduk Bade sebesar 681,03 m<sup>3</sup>/hari.

**Kata Kunci:** Neraca Air, Epanet 2.0, Jaringan Pipa, Debit waduk, Total Sedimen.

### **ABSTRACT**

*Water is one of the most important elements and is needed by all living things. In Central Java, especially Boyolali Regency, there are several reservoirs, including the Bade Reservoir which is utilized by the community. For this reason, an analysis of the water storage capacity in the Bade Reservoir must be carried out, therefore the purpose of this study is to obtain the volume of the Bade Reservoir discharge and the amount of sediment entering the Bade Reservoir. In calculating sediment, the bottom sediment uses the Einstein and MP&M methods while for floating sediment using the Asdak Chay and Forcheimer methods. The effective volume of the reservoir is determined by the value of the average volume of the reservoir and the total sediment volume. The results of the calculation of the Bade Reservoir capacity have shown that the Bade Reservoir has an average discharge of 0.589 m<sup>3</sup>/second. The bottom sediment of the Bade Reservoir is 678.62 m<sup>3</sup>/day. And for the floating sediment of the Bade Reservoir is 2.41 m<sup>3</sup>/day. And the total sediment of the Bade Reservoir is 681.03 m<sup>3</sup>/day.*

**Keywords:** *Water Balance, Epanet 2.0, pipe network, Reservoir discharge, Total Sediment.*

## **1. PENDAHULUAN**

Air merupakan salah satu unsur yang sangat penting dan di butuhkan oleh semua makhluk hidup. Di Jawa Tengah utamanya Kabupaten Boyolali terdapat beberapa waduk diantaranya adalah Waduk Bade yang dimanfaatkan masyarakat jika musim kemarau tiba yang menyebabkan mengeringnya sejumlah mata air, merupakan tinggi muka air sumur-sumur masyarakat.

Tinggi muka air bendungan yang mengakibatkan sejumlah lahan pertanian mengering. Kebiasaan masyarakat yang saat ini banyak membuang-buang air atau menggunakan air secara berlebihan sehingga pada musim kemarau banyak daerah yang kekurangan air untuk meminimalisi hal tersebut, maka kita harus memanfaatkan air yang ada dengan sebaik mungkin terutama air waduk karena air waduk berguna untuk persediaan pada musim kemarau.

Waduk Bade yang dibangun pada tahun 1987-1990 dengan konsultan desain PT. Indah Karya berada di Kabupaten Boyolali memanfaatkan irigrasi seluas 1.353 Ha, selain masalah kekeringan hal yang dapat mempengaruhi ketersediaan air waduk adalah rusaknya DAS, rusak daerah tangkapan air yang tersedia perubahan fungsi lahan dan penebangan liar disekitar DAS sehingga mengakibatkan sedimentasi dan mengakibatkan menurunnya kapasitas waduk karena kedalaman waduk berkurang yang diakibatkan oleh sedimentasi.

Selain masalah diatas, penurunan fungsi Waduk Bade juga disebabkan oleh degradasi lingkungan, proses eksploitasi sumber daya alam, baik di Waduk Bade itu sendiri maupun di Daerah Aliran Sungai (DAS) nya. Hal ini merupakan permasalahan di daerah hulu yang salah satunya akan mengakibatkan pandangkalan pada waduk. Sedangkan dibagian hilir permasalahan yang dihadapi adalah peraturan pola tanam dan kebiasaan petani mengangkut pengoperasian pompa air liar, sehingga sering berakibat petani yang memiliki sawah dibagian bawah tidak dapat mendapatkan air secara utuh.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah unit hidrologi dasar bila kita memandang suatu system yang mengalir yang dapat diterapkan pada suatu daerah aliran sungai, maka akan nampak struktur sistem dari daerah ini adalah Daerah Aliran Sungai yang merupakan lahan total dan permukaan air yang dibatasi oleh suatu batas air, topografi dan dengan salah satu cara memberikan sumbangan terhadap debit sungai pada suatu daerah. Daerah aliran sungai merupakan dasar pengelolaan untuk sumber daya air. Gabungan beberapa DAS menjadi satuan Wilayah Sungai (Buku PSDA).

Daerah aliran sungai adalah suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah, dimana semua air hujan yang jatuh ke daerah ini akan mengalir melalui sungai dan anak sungai yang bersangkutan. Defenisi lain yaitu suatu daerah tertentu yang bentuk dan sifat alamnya sedemikian rupa, sehingga merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang melalui daerah tersebut dalam fungsinya untuk menampung air yang berasal dari air hujan dan sumber-sumber air lainnya yang penyimpanannya dan pengalirannya dihimpun dan ditata berdasarkan hukum-hukum alam sekelilingnya demi keseimbangan daerah tersebut, daerah sekitar sungai meliputi punggung bukit atau gunung merupakan

tempat sumber air dan semua curahan air hujan yang mengalir ke sungai, sampai daerah dataran dan muara sungai (Kamus Istilah Penataan Ruang dan Pengembangan Wilayah Ditjen Tata Ruang dan Pengembangan Wilayah. (Kodotie, R. Sjarief, 2002).

Kerapatan aliran sungai menggambarkan kapasitas penyimpanan air permukaan dalam cekungan-cekungan seperti danau, rawa dan badan sungai yang mengalir di suatu DAS. Kerapatan aliran sungai dapat dihitung dari rasio total panjang jaringan sungai terhadap luas DAS yang bersangkutan. Semakin tinggi tingkat kerapatan aliran sungai, berarti semakin banyak air yang dapat tertampung di badan-badan sungai. Kerapatan aliran sungai adalah suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS. Indeks tersebut dapat diperoleh dengan persamaan:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Dengan:

Dd = indeks kerapatan aliran sungai (km/km)

L = jumlah panjang sungai termasuk panjang anak-anak sungai (km)

A = luas DAS (km)

Indeks kerapatan aliran sungai diklasifikasikan sebagai berikut:

**Tabel 1** Indeks kerapatan aliran sungai

Dd	< 0.25 km/km	Rendah
Dd	0.25 - 10 km/km	Sedang
Dd	10 - 25 km/km	Tinggi
Dd	> 25 km/km	sangat tinggi

Sumber: Soewarno, 1991

Berdasarkan indeks tersebut dapat dikatakan bahwa indeks kerapatan sungai menjadi kecil pada kondisi geologi yang permeable, tetapi menjadi besar untuk daerah yang curah hujannya tinggi. Disamping itu, jika nilai kerapatan aliran sungai:

- < 0.62 km/km, maka DAS akan sering mengalami penggenangan.

- > 3.10 km/km, maka DAS akan sering mengalami kekeringan.

Waduk menurut pengertian umum adalah tempat pada permukaan tanah yang dimaksudkan untuk menyimpan/ menampung air saat terjadi kelebihan air/musim penghujan, kemudian air yang melimpah tersebut dimanfaatkan untuk keperluan pertanian dan berbagai keperluan lainnya pada saat musim kemarau.

Dalam satu tahun, persediaan air di alam khususnya di Indonesia berubah-ubah, pada musim penghujan air sangat melimpah sedangkan pada saat musim kemarau tiba air sangat langka. Dengan kapasitas tampungan yang besar dan elevasi muka air yang tinggi, sebuah waduk selain dapat mengatur besar aliran sungai di sebelah hilirnya agar menjadi lebih merata sepanjang tahun, juga dapat berfungsi sekaligus sebagai sarana pengendali banjir yang efektif dan berbagai manfaat lainnya.

Adapun macam macam waduk dapat dijelaskan sebagai berikut, Waduk berguna untuk tujuan tunggal (*single purpose*) merupakan waduk yang dibangun

untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk pembangkit tenaga listrik, irigasi, pengendali banjir, atau tujuan lainnya tetapi hanya untuk satu tujuan saja.

Waduk multi guna/ serba guna (*multi purpose*) merupakan waduk yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya: pembangkit tenaga listrik (PLTA) dan irigasi, pengendali banjir dan PLTA, air minum dan irigasi, air baku, PLTA dan irigasi dan lain sebagainya.

Waduk penampungan air (*storage*) merupakan waduk yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan, termasuk dalam bendungan penampungan adalah tujuan rekreasi, perikanan, pengendali banjir dan lain – lain.

Waduk pembelok (*diversion*) adalah waduk yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air ke dalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan.

Waduk penahan (*detention*) adalah waduk yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seminimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Air ditampung secara berkala/ sementara, dialirkan melalui pelepasan (*outlet*). Air ditahan selama mungkin dan dibiarkan meresap di daerah sekitarnya.

Waduk untuk dilewati air (*overflow*) adalah waduk yang dibangun untuk dilimpasi air pada bangunan pelimpah (*spillway*).

Waduk untuk menahan air (*non overflow*) adalah waduk yang sama sekali tidak boleh dilimpasi air.

Bendungan urugan (*rock fill dam, embankment dam*) adalah bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan (*material*) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimiawi, jadi betul – betul bahan pembentuk bangunan asli.

Bendungan beton (*concrete dam*) adalah bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya ramping. Bendungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu bendungan beton berdasarkan berat sendiri stabilitas tergantung pada massanya, bendungan beton dengan penyangga (*buttress dam*) dimana permukaan hulu menerus dan di hilirnya pada jarak tertentu ditahan, bendungan berbentuk lengkung serta bendungan beton kominasi.

Waduk Bade berfungsi menampung air yang mengalir agar dapat ditampung kemudian dialirkan ke hilir sesuai dengan yang dibutuhkan. Fungsi waduk akan optimal jika waduk mampu mencukupi kebutuhan air sesuai rencana penggunaannya. Perencanaan volume waduk biasanya didekti dengan perkiraan besar air yang masuk kedalam waduk serta rencana pengeluarannya. Pola Operasi Waduk adalah suatu pola acuan atau pedoman mengatur air untuk pengoperasian waduk yang disepakati oleh para pemanfaat air dan pengelola.

Dalam satu tahun dibuat 3 jenis Rencana Operasi Waduk, yaitu:

1. Rencana Operasi Waduk Musim Hujan (Periode banjir), berlaku saat pengendalian banjir dan pengisian waduk November sampai dengan April.
2. Rencana Operasi Waduk Musim Kemarau (Periode non-banjir), berlaku saat pemakaian air waduk mulai Mei sampai dengan Oktober.
3. Waktu pengisian dan pemakaian air untuk masing-masing jenis waduk.

Perhitungan volume waduk (*reservoir sizing*) merupakan salah satu kegiatan utama dalam proses perencanaan pembangunan sebuah waduk. Volume tampung waduk multifungsi biasanya dibagi atas 3 bagian tampungan waduk, antara lain :

1. Kapasitas tampung pengendalian (*flood control storage*)  
*Flood Control storage* disediakan untuk mengendalikan atau menurunkan puncak banjir yang datang dari hulu waduk.
2. Kapasitas berguna  
*Conservation storage* digunakan untuk mengatur besarnya air yang keluar dari waduk (*release*) guna memenuhi kebutuhan air (*demand*) bagi bermacam kebutuhan.
3. Kapasitas tampungan mati (*dead storage*)  
*Dead storage* disediakan guna menampung sedimen dan keperluan rekreasi. Pada penelitian ini, istilah kapasitas waduk dimaksudkan untuk kapasitas berguna atau *conservation storage*. Penelitian ini menyatakan model matematik yang dikembangkan oleh Simonovic (1992), yang merupakan model simulasi optimasi untuk menghitung kapasitas waduk yang optimal guna memenuhi kebutuhan air tertentu dengan tingkat *reliability* (keandalan) yang diinginkan.

Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga jumlah dan bentuknya dipengaruhi oleh klimatologi seperti angin, temperatur, dan tekanan atmosfer (Bambang T., 2008). Derasnya hujan yang jatuh di suatu tempat diketahui dengan mengamati stasiun pencatat curah hujan. Curah hujan yang tercatat pada setiap stasiun pengamatan hujan hanya berupa curah hujan titik, untuk mengetahui besarnya curah hujan suatu kawasan dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya dengan rata-rata arimatik.

Metode Rerata Arimatik (Aljabar) merupakan cara perhitungan hujan wilayah yang paling sederhana. Pengukuran dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlah dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam perhitungan biasanya adalah yang berada di dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan (Bambang T., 2008). Perhitungan hujan wilayah dapat dicari dengan rumus:

$$P = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) / X$$

Dengan:

- P = Hujan rerata kawasan
- P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ..., P<sub>n</sub> = Hujan di stasiun 1, 2, ..., n
- X = Jumlah stasiun

Hujan rata-rata bulanan yang digunakan adalah hujan rata-rata bulanan dengan 20% kering. Data hujan rata-rata dari hasil perhitungan dengan Metode Rata – Rata Arimatika kemudian di hitung dengan pendekatan distribusi normal, dengan rumus:

$$R_{80} = P \text{ rata-rata} - K_f \cdot S_d$$

Dengan:

- P rata-rata = Jumlah rata-rata.
- R<sub>80</sub> = Hujan probabilitas 80 persen.
- K<sub>f</sub> = Faktor frekuensi (untuk 20% kering nilainya- 0,842).
- S<sub>d</sub> = Standart deviasi.

Sedimentasi merupakan pengendapan material yang dibawah oleh angin, air, atau gletser. Semua hasil erosi akan diendapkan disuatu tempat, baik di sungai, lembah, lereng pegunungan ataupun dasar laut yang dangkal. Kadang kala hasil sedimentasi kembali mengalami erosi.

Foster dan Meyer (1977) berpendapat bahwa erosi sebagai penyebab timbulnya sedimentasi yang disebabkan oleh air terutama meliputi proses pelepasan (*detachment*), penghanyutan (*transportation*), dan pengendapan (*deposition*) dari partikel-partikel tanah yang terjadi akibat tumbukan air hujan dan aliran air.

1. Berdasarkan pada jenis partikel dan kemampuan partikel untuk berinteraksi, sedimentasi dapat diklasifikasikan kedalam 4 tipe yaitu:
2. *Settling tipe I* : merupakan pengendapan partikel diskret, partikel mengendap secara individual dan tidak ada interaksi antarpartikel.
3. *Settling tipe II* : merupakan pengendapan partikel flokulen, terjadi interaksi antarpartikel sehingga ukuran meningkat dan kecepatan pengendapan bertambah.
4. *Settling tipe III* : merupakan pengendapan pada lumpur biologis, dimana gaya antarpartikel saling menahan partikel lainnya untuk mengendap.
5. *Settling tipe IV* : terjadi pemampatan partikel yang telah mengendap yang terjadi karena berat partikel.

Sedangkan proses Terjadinya Sedimentasi dapat digolongkan sebagai berikut

1. Sedimentasi fluvial, merupakan proses pengendapan materi yang diangkut oleh sungai dan diendapkan disepanjang aliran sungai, danau, waduk, atau muara sungai. Hasil bentuknya antara lain delta dan bantaran sungai.
2. Sedimentasi eolis (sedimentasi teresterial) merupakan proses pengendapan materi yang diangkut oleh angin. Bentuknya antara lain berupa gugus pasir (*sand dunes*) atau gundukan pasir yang seringkali ditemukan di pantai.
3. Sedimentasi laut (*marine sedimentation*), merupakan hasil abrasi pantai yang kemudian diendapkan kembali disepanjang pantai. Contoh hasil bentukannya, antara lain endapan puing karang (*beach*), endapan gosong pasir (*bar*), dan Endapan pasir yang menghubungkan dua pulau (*tombolo*).

Sedimen di dalam sungai, terlarut atau tidak terlarut, merupakan produk dari pelapukan batuan induk yaitu partikel-partikel tanah. Begitu sedimen memasuki badan sungai, maka berlangsunglah pengangkutan sedimen. Kecepatan pengangkutan sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut (*wash load*). Pasir halus bergerak dengan cara melayang (*suspended load*), sedang partikel yang lebih besar antara lain, pasir kasar cenderung bergerak dengan cara melompat (*saltation load*). Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*). Karena *bed load* senantiasa bergerak, maka permukaan dasar sungai kadang-kadang naik (*agradasi*), tetapi kadang-kadang turun (*degradation*) dan naik turunnya dasar sungai disebut alterasi dasar sungai (*river bed alteration*). *Washload* dan *suspended load* tidak berpengaruh pada alterasi dasar sungai, tetapi dapat mengendap di dasar-dasar waduk atau

muara-muara sungai. Penghasil sedimen terbesar adalah erosi permukaan lereng pegunungan, erosi sungai (dasar dan tebing alur sungai) dan bahan-bahan hasil letusan gunung berapi yang masih aktif.

Proses sedimentasi dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu:

1. Proses sedimentasi secara geologis,  
Sedimentasi secara geologis merupakan proses erosi tanah yang berjalan secara normal, artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas-batas yang diperkenankan atau dalam keseimbangan alam dari proses degradasi dan agradasi pada permukaan kulit bumi akibat pelapukan.
2. Proses sedimentasi yang dipercepat,  
Sedimentasi yang dipercepat merupakan proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu yang cepat, bersifat merusak atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup. Kejadian tersebut biasanya disebabkan oleh kegiatan manusia dalam mengolah tanah. Cara mengolah tanah yang salah dapat menyebabkan erosi tanah dan sedimentasi yang tinggi.

Proses pengangkutan sedimen (*sediment transport*) dapat diuraikan meliputi tiga proses sebagai berikut:

1. Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat di atas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat menggerakkan partikel-partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama-sama limpasan permukaan (*overland flow*).
2. Limpasan permukaan (*overland flow*) juga mengangkat bahan sedimen yang terdapat di permukaan tanah, selanjutnya dihanyutkan masuk kedalam alur-alur (*rills*), dan seterusnya masuk kedalam selokan dan akhirnya ke sungai.
3. Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat (*pick up velocity*) dan mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*) yang dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran.

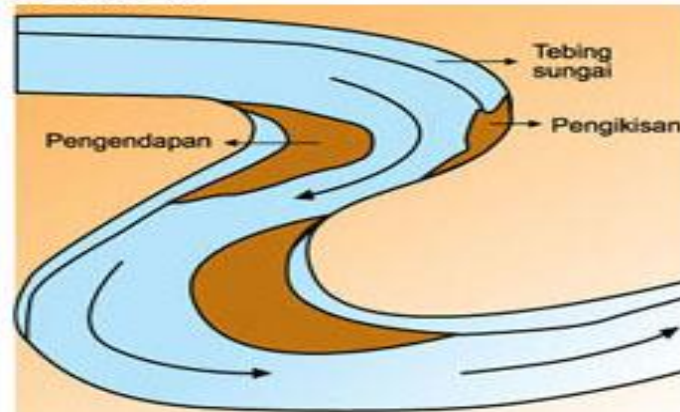
Besarnya ukuran sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut:

1. Ukuran sedimen yang masuk ke badan sungai.
2. Karakteristik saluran.
3. Debit dan karakteristik fisik partikel sedimen.

Besarnya sedimen yang masuk sungai dan besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal datangnya sedimen. Sedang karakteristik sungai yang penting, terutama bentuk morfologi sungai, tingkat kekasaran dasar sungai dan kemiringan sungai. Interaksi dari masing-masing faktor tersebut akan menentukan jumlah dan tipe sedimen serta kecepatan pengangkutan sedimen.

Pada bagian tengah, yang wilayahnya mulai datar aliran air mulai lambat dan membentuk meander. Proses meander terjadi pada tepi sungai, baik bagian dalam maupun tepi luar. Di bagian sungai yang alirannya cepat akan terjadi pengikisan, sedangkan bagian tepi sungai yang lamban alirannya akan terjadi pengendapan. Apabila hal itu berlangsung secara terus-menerus, akan membentuk meander.

Meander biasanya terbentuk pada sungai bagian hilir, di mana pengikisan dan pengendapan terjadi secara berturut-turut. Proses pengendapan yang terjadi secara terus-menerus akan menyebabkan kelokan sungai terpotong dan terpisah dari aliran sungai, sehingga terbentuk oxbox lake.



**Gambar 1 Meander**

Sumber: [www.e-duka.si.net](http://www.e-duka.si.net)

Kondisi aliran akan menghasilkan sedimen sedimen yang selalu berbeda konsentrasinya, untuk membuat lengkung sedimen dapat dilaksanakan menurut tahapan sebagai berikut (Soewarno, 1991:753):

1. Pengumpulan data konsentrasi sedimen hasil analisa laboratorium beserta data debitnya.
2. Apabila diinginkan lengkung sedimen itu merupakan hubungan antara debit sedimen dan debit, hitung debit sedimen dari setiap besaran konsentrasi.
3. Hitung persamaan lengkung sedimen dengan persamaan sebagai berikut

$$Q_s = a(Q) b$$

Dengan:

$Q_s$  = debit sedimen (ton/hari)

$Q$  = debit ( $m^3/dtk$ )

$a$  = konstanta

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi yang menjadi obyek penelitian adalah Waduk Bade, Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah yang berada di wilayah BBWS Pemalai Juana dengan memanfaatkan irigrasi seluas 1.353 Ha. Waduk Bade adalah bendungan dengan tipe urugan tanah homogen, tinggi dari dasar galihan terdalam adalah 12.00 m dan elevasi puncak bendungan  $\pm$  241.00 m, panjang 770.00 m dan lebar 4.00 m dengan kemiringan Lereng Upstream 1 : 2,50 sedangkan Lereng Downstream 1 : 2,50. Waduk Bade di bangun pada tahun 1987-1990 dengan konsultan desain PT. Indah Karya.





**Gambar 2** Peta Lokasi Penelitian.

Penelitian dilaksanakan bulan Maret – Juni 2024. Penelitian terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pengambilan data dan sampel di lapangan dan tahap analisa laboratorium.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data-data penelitian yang diperlukan baik data primer maupun data sekunder. Adapun data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

Data primer adalah data yang diperoleh langsung oleh peneliti dari lokasi penelitian, data primer berupa data dari sedimen dan data aliran dari sungai itu sendiri. Adapun data-data yang dimaksud meliputi:

1. Data Sedimen

Data sedimen merupakan data yang nantinya akan menjadi sampel pada pengujian laboratorium untuk pemeriksaan karakteristik sedimen. Sampel sedimen diambil langsung pada titik pengambilan sampel yang sudah ditentukan. Data sedimen ada dua macam yaitu:

- a. Sedimen melayang (*Suspended Load*).
- b. Sedimen Dasar (*Bed Load*).

2. Data Debit Aliran

Data ini berupa data hasil pengukuran kecepatan aliran yang diperoleh dari pengukuran langsung di lokasi penelitian yang selanjutnya dibuat hubungan dengan luas penampang sungai hingga diperoleh nilai debit air. Adapun yang termasuk kedalam data tersebut berupa data lebar dan kedalaman sungai yang nantinya akan digunakan untuk memperoleh profil dan luas dari penampang sungai.

Data Sekunder adalah data yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Pengambilan/ Pengumpulan data sekunder dapat diperoleh berdasarkan acuan dan literatur yang berhubungan dengan materi, karya tulis ilmiah yang berhubungan dengan penelitian atau dengan mendatangi instansi terkait untuk mengambil data-data yang diperlukan.

Metode pengambilan sampel yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengambilan sampel sedimen dilakukan secara langsung di Waduk Bade Kabupaten Boyolali. Hal ini meliputi:

1. Pengambilan Sampel Sedimentasi Dasar (*Bed Load*)  
Metode pengambilan yang dilakukan pada pengambilan sampel sedimen yaitu dengan menggunakan alat sediment grab pada titik yang telah ditentukan turun langsung kealiran sungai yang melintasi Waduk Bade dan mengambil sedimen yang mengendap pada dasar sungai. Sedimen yang diambil dilokasi adalah sedimen yang mengendap pada dasaran sungai.
2. Pengukuran Kecepatan Aliran  
Pada pengukuran kecepatan aliran pada muara sungai tersebut menggunakan alat *current meter*. Alat *current meter* diturunkan kedalam air, posisi alat diposisikan tidak menghalangi arus dibelakang *current meter*. Melalui alat ini kemudian dibaca nilai kecepatan aliran pada alat *current meter*. Hasil pengukuran *current meter* pada titik pengukuran kemudian dicatat.

#### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data yang diketahui sebagai data awal penelitian ini berupa data volume air Waduk Bade tahun 2012-2016 dan data sedimen dasar Waduk Bade. Data debit Waduk Bade yang digunakan adalah data rata-rata debit pada tahun 2020-2024. Data tersebut terdapat dalam Tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2** Data debit rata rata waduk selama 5 tahun

Bulan	Tahun				
	2020	2021	2022	2023	2024
Januari	0,709	0,960	0,374	0,721	0,282
Februari	0,909	1,084	0,679	1,042	0,562
Maret	0,671	1,063	1,021	0,992	0,782
April	0,754	1,045	0,919	1,047	0,768
Mei	0,652	0,728	0,869	0,770	0,715
Juni	0,566	0,781	0,689	0,333	0,780
Juli	0,426	0,896	0,650	0,282	0,831
Agustus	0,282	0,741	0,573	0,197	0,800
September	0,154	0,547	0,417	0,139	0,580
Oktober	0,054	0,369	0,211	0,088	0,705
November	0,111	0,267	0,199	0,080	0,713
Desember	0,051	0,288	0,524	0,106	0,807

Sumber : Balai BBWS Pemali Juana ( $m^3/dtk$ )

Data debit Waduk Bade yang digunakan adalah data rata-rata volume pada tahun 2012-2016. Data tersebut terdapat dalam Tabel 3 sebagai berikut.

**Tabel 3** Data Volume Waduk Bade

Bulan	Tahun				
	2020	2021	2022	2023	2024
Januari	1.784.509	2.949.300	970.770	1.902.748	375.269
Februari	2.186.455	2.710.978	1.836.485	2.330.350	1.458.696
Maret	1.744.096	2.754.116	2.573.719	2,574.064	2.527.910
April	1.887.373	2.707.503	2.296.213	2.713.953	1.282.920
Mei	1.687.800	2.378.296	2.105.354	1.910.690	1.793.161
Juni	1.417.433	2.023.053	2.317.533	866.866	2.018.520
Juli	1.104.209	2.339.258	1.655.129	682.767	2.153.251
Agustus	750.922	1.921.406	1.485.787	494.416	1.306.587
September	390.280	1.818.273	679.680	364.560	1.502.386
Oktober	136.206	930.983	530.716	24.907	1.884.619
November	251.360	694.983	519.886	200.666	1.846.613
Desember	1.219.238	768.164	1.314.338	281.587	1.774.180

Sumber : Balai BBWS Pemali Juana ( $m^3$ )

Perhitungan Volume waduk rata-rata pada tahun 2020-2024 sebagai berikut:

$$R = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) : n$$

$$R = (14.559.881 + 23.995.607 + 18.285.810 + 14.347.594 + 19.924.472) : n$$

$$= 1.822.267 \text{ m}^3$$

Sedimen dasar Waduk Bade yang digunakan diambil dari 3 titik pengambilan yang berbeda. Sampel sedimen dasar tersebut kemudian dilakukan penelitian untuk memperoleh data, data tersebut terdapat dalam Tabel 4.3 sebagai berikut.

**Tabel 4** Data Sedimen Dasar Waduk Bade

No.	Data	Lokasi Pengambilan Sampel		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	Lebar Dasar Waduk/R (m)	770	770	770
2	Kemiringan Dasar Waduk/I	$1,7454 \times 10^{-3}$	$1,7454 \times 10^{-3}$	$1,7454 \times 10^{-3}$
3	Kedalaman Pengambilan Sampel/h (m)	1,40	1,50	1,70
4	Komposisi Butiran Dasar			
	a. d35	0,230	0,600	0,195
	b. d50	0,570	1,085	0,445
	c. d65	0,700	1,820	0,640
5	Rapat Massa			
	$\rho_s$	2,630	2,630	2,630
	$\rho_w$	1,000	1,000	1,000
6	Rapat Massa Relatif	1,63	1,63	1,63

Sumber : Penelitian Laboratorium Sedimen Dasar Waduk Bade dan Survey

Sedimen dasar Waduk Bade yang digunakan diambil dari 3 titik pengambilan yang berbeda. Sampel sedimen dasar tersebut kemudian dilakukan penelitian untuk memperoleh data, data tersebut terdapat dalam Tabel 4.4 sebagai berikut.

**Tabel 5** Data Sedimen Melayang Waduk Bade

No	Data	Lokasi Pengambilan Sampel		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	Kedalaman Pengambilan Sampel	1,80 cm	10 cm	7,10 cm
2	Konsentrasi Sedimen (gr/lit)	0,0161	0,1579	0,0323
3	Berat Volume ( $\text{kg/m}^3$ )	0,0100	0,0900	0,0200
4	Berat Jenis Air ( $\text{kg/m}^3$ )	0,61419	0,56379	0,61588
5	Kemiringan Dasar Waduk	$1,7454 \times 10^{-3}$	$1,7454 \times 10^{-3}$	$1,7454 \times 10^{-3}$

Sumber : Hasil Survey dan Laboratorium

Analisis data debit ditujukan untuk menentukan nilai rata-rata debit waduk. Data debit periode 2020-2024 yang telah dikumpulkan sebagai data masukan perhitungan untuk menentukan besarnya nilai rata-rata debit waduk.

Contoh perhitungan debit rata-rata pada bulan Januari sebagai berikut:

$$R = (R1 + R2 + R3 + R4 + R5) : n$$

$$R = (0,709 + 0,960 + 0,374 + 0,721 + 0,282) : 5$$

$$= 0,609 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

**Tabel 6** Hasil Analisis Debit

No	Bulan	Rata-rata
1	Januari	0,609
2	Februari	0,855
3	Maret	0,906
4	April	0,907
5	Mei	0,747
6	Juni	0,630
7	Juli	0,617
8	Agustus	0,519
9	September	0,367
10	Oktober	0,285
11	November	0,274
12	Desember	0,355
	Rata-rata	0,589

Sumber: Analisis Data ( $\text{m}^3/\text{dtk}$ )

Pengukuran sedimentasi dimaksudkan untuk memperoleh debit sedimen yang dilaksanakan dengan cara mengambil contoh untuk kemudian dibuat hubungan antara debit air dengan debit sedimen.

Analisis Angkut Sedimen Dasar (Rumus Einstein). Persamaan angkut sedimen dasar menurut Einstein (1950) dirumuskan sebagai berikut:

$$T_b = \omega \cdot \rho_s \cdot g^{3/2} \cdot \Delta^{1/2} \cdot D^{3/2}$$

Perhitungan sedimen dasar pada titik 1 sebagai berikut:

Diketahui kedalaman 1,40 m atau  $h = 1,40$  m

$$R = h = 1,40 \text{ m}$$

$$U = \sqrt{g \cdot R \cdot I}$$

$$= \sqrt{9,8 \cdot 1,40 \cdot 0,0017454}$$

$$= 0,15 \text{ m/s}$$

Persamaan kecepatan Manning

$$U = 1/n R^{2/3} I^{1/2}$$

$$= 1/0,35 (1,40)^{2/3} (0,0017454)^{1/2}$$

$$= 0,14$$

Persamaan distribusi kecepatan untuk aliran turbulen kasar

$$U = 5,75 U \log ((12 \cdot R)/k)$$

$$0,15 = 5,75 \times 0,14 \times \log (12 \cdot 1,40/k)$$

$$\log (16,8/k) = 4,98$$

$$k = 0,52$$

Metode Einstein (1950)

$$C = 18 \log ((12 \cdot R)/k)$$

$$= 18 \log (12 \cdot 1,40/0,52)$$

$$= 27,16 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$C_{d90} = 18 \log ((12 \cdot R)/d_{90})$$

$$= 18 \log (12 \cdot 1,40/(1,95 \cdot [10]^{-3}))$$

$$= 70,83 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$\text{Ripple factor} = \mu (C/C_{d90})^{3/2}$$

$$\mu = (27,16/70,83)^{3/2} = 0,23$$

Parameter fungsi Einstein

Intensitas geser  $\psi = \Delta d^{3/2} / \mu R I$

$$\phi = (1,63 \times 0,23 \cdot [10]^{-3}) / (0,23 \times 1,40 \times 0,0017454)$$

$$= 0,667$$

$$= 0,67$$

$\phi = 0,67 \rightarrow$  dari grafik S1 fungsi Einstein diperoleh intensitas angkutan butiran yaitu = 20

$$T_b = 20 \cdot 2,630 \cdot (9,8)^{3/2} \cdot (1,63)^{1/2} \cdot (0,0000230)^{3/2}$$

$$= 0,227 \text{ N/m.s}$$

$$\text{Total} = 0,227 \times 770 = 174,79 \text{ N/M}$$

$$Q_b = 174,79 / \rho g$$

$$= 174,79 / (2,630 \times 9,8)$$

$$= 6,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dalam 1 hari

$$Q_b \text{ Total} = 6,78 \cdot 10^{-4} \times 24 \times 3600 = 58,58 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Perhitungan sedimen dasar pada titik 2 dan titik 3 dilakukan dengan cara perhitungan di atas kemudian dibuatkan tabel seperti pada tabel 7 berikut ini,

**Tabel 7** Hasil Analisis Sedimen Dasar Waduk Bade Metode Einstein

Titik Sampel	$\omega$	$\rho_s$	G	$\Delta$	$d_{35}$	$T_b(N/M)$	Qb (m <sup>3</sup> /hari)
1	20	2,630	9,8	1,63	$0,230 \times 10^{-4}$	174,79	58,58
2	55	2,630	9,8	1,63	$0,600 \times 10^{-4}$	2027,41	678,62
3	15	2,630	9,8	1,63	$0,195 \times 10^{-4}$	588,28	197,16
Rata-rata							311,45

Sumber: Analisis Data

Analisa sedimen melayang dapat juga digunakan rumus Forcheimer sebagai perbandingan dari hasil perhitungan sedimen secara logaritma. Untuk hasil analisa sedimen melayang Waduk Bade terdapat dalam Tabel 8.

Contoh hitungan sedimen melayang pada titik 1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 U &= \sqrt{g \times h \times s} \\
 &= \sqrt{9,8 \times 0,018 \times (1,7454 \times 10^{-3})} \\
 &= 0,017 \\
 q_{ss} &= 0,54 \times \frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \times \frac{U^5}{Q} \\
 &= 0,54 \times \frac{0,00061419}{0,0100 - 0,00061419} \times \frac{1,641}{17,677} \\
 &= 0,0032 \text{ m/dtk} \\
 G_{ss} &= q_{ss} \times \gamma_s \times B \\
 &= 0,0032 \times 0,0100 \times 770 \\
 &= 0,02464 \\
 &= 2,16 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

**Tabel 8** Hasil Analisis Sedimen Melayang Metode Forcheimer

Titik Sampel	U	Qss (m/dtk)	B	Gss (m <sup>3</sup> /hari)
1	0,017	0,0032	770	2,16
2	0,041	0,0040	770	2,41
3	0,109	1,563	770	2,07
Rata-rata				2,21

Sumber : Analisis Data

Dari hasil perhitungan sedimen dasar dan sedimen melayang, maka diperoleh total sedimen di Waduk Bade sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Sedimen Total} &= \text{Sedimen Dasar} + \text{Sedimen Melayang} \\
 &= 311,45 + 2,21 \\
 &= 313,65 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan berapa hari waduk dikuras adalah dengan membagi volume waduk dibagi dengan jumlah total sedimen, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R &= \text{Volume Waduk} / \text{Total jumlah sedimen.} \\
 &= 1.822.267 / 313,65
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 5.809,78 \text{ hari} \\
\text{Atau jika dihitung dalam tahun} \\
&= 5.809,78 / 365 \\
&= 15,91 \\
&= 16 \text{ tahun}
\end{aligned}$$

Jadi umur efektif waduk adalah 15,91 dan setiap 16 tahun sekali waduk harus di kuras (digali kembali). Secara umum untuk waduk dengan ukuran kecil atau sedang umur rencana ditetapkan selama 25 tahun dan dalam kasus waduk Bade baru berumur 16 tahun harus segera dilakukan pengerukan hal ini terjadi karena daerah aliran sungai waduk sebagai catchment area sudah banyak terjadi erosi dan hal ini bisa dijadikan bahan penelitian lebih lanjut.

## 5. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Waduk Bade mempunyai Debit rata-rata sebesar 0,589 m<sup>3</sup>/dtk. Dan Volume Waduk Bade sebesar 1.822.267 m<sup>3</sup>
2. Sedimen dasar Waduk Bade sebesar 311,45 m<sup>3</sup>/hari. Dan untuk sedimen melayang Waduk Bade sebesar 2,21 m<sup>3</sup>/hari. Sedimen total Waduk Bade sebesar 313,65 m<sup>3</sup>/hari. Perhitungan Volume tersebut mengharuskan waduk bade agar dilakukan pengerukan setiap 15,91 tahun sekali atau setiap 16 tahun sekali waduk harus dikuras (digali kembali).
3. Hasil tersebut membuktikan bahwa daerah tangkapan atau catchment area sudah banyak terjadi erosi atau pembalakan hutan dan ini menjadi kesempatan penelitian lebih lanjut bagi peneliti selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, Badan Standarisasi Nasional. (2011). Sni 7511-2011. Tata cara pemasangan pipa transmisi dan pipa distribusi serta bangunan pelintas pipa. : Jakarta.
- Anonim, 18/PRT/M/2007, P. N. (2007). Penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum.
- Abrar Ikram Hafi, Sutikno, M. Z. (2021). Perencanaan Jaringan Pipa Air Bersih di Kecamatan Ranuyoso Kabupaten Lumajang. *Jurnal JOS-MRK*, 2(4), 92–97. <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2021.02.04.92-97>
- Akmad, A. (2021). Perencanaan Jaringan Distribusi Air Bersih di Kampus 2 Politeknik Negeri Ujung Pandang. *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2021*, ii, 107–112.
- Ariska, W. E. (2018). Perencanaan Sistem Distribusi Air Bersih Kecamatan Taman Krocok Kabupaten Bondowoso Menggunakan Epanet 2.0.
- Balqis Nanda Rahmania, Y. D. (2017). Perencanaan Jaringan Perpipaian Kecamatan Kaliwates Kabupaten Jember Menggunakan Epanet. 1–10.
- Dwi Ariyani, K. N. P. K. (2019). PERMODELAN NERACA AIR DI EMBUNG OELTUA UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN AIR DOMESTIK DI. 02(01).
- Dwirari Febrian Bima Adimanggala Putra, Ratih Indri Hapsari, M. E. (2022). Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Bersih Kecamatan

- Tugu Kabupaten Tenggelek. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Kontruksi (JOS-MRK)*, 3(2), 48–53.
- Faradillah Saves, Hudhiyantoro, A. S. (2020). Perencanaan Embung Berdasarkan Kebutuhan Air Baku Desa Pasarenan Kabupaten Sampang Tahun 2027. *Eternitas: Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.30822/eternitas.v1i1.544>
- Indarjanto, A. T. L. dan H. (2016). Analisis dan Rencana Pengembangan Jaringan. 5(2), 1–39.
- Indarjanto, F. Y. dan H. (2017). Analisis perencanaan sistem perpipaan air limbah kawasan pemukiman penduduk. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 25–29.
- Jordy G. Makuniman, Dolly W. Karels, D. S. K. (2021). Perencanaan jaringan air bersih di desa bolok kecamatan kupang barat kabupaten kupang. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(2), 174–185. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.09>
- Makawimbang, A. F., Tanudjaja, L., & Wuisan, E. M. (2017). Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih di Desa Soyowan Kecamatan Ratatotok Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Sipil Statik*, 5(1), 31–40.
- Marlan Nathan, Erai Rante Bungin, H. W. T. (2022). Analisis Jaringan Distribusi Air Bersih Menggunakan Epanet 2.0 (Studi Kasus Perumahan Telkomas Kecamatan Tamalanrea). *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(1), 133–138. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i1.386>
- Muhlis, A., & Rollyannor, A. (2011). Perencanaan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih Pada Kecamatan Banjarmasin Utara Kota Banjarmasin. 1, 13–18.
- Mulyadi, M. N., Novita, E., & Nurhayati, N. (2018). Kelayakan Distribusi Dan Ketersediaan Air Bersih Di Desa Mojo Kecamatan Padang Kabupaten Lumajang. *Jurnal Agroteknologi*, 12(01), 15. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v12i1.7884>
- Nordiansa. (2020). Pengembangan Sistem Distribusi Air Minum Desa Gapurana Kecamatan Talango Kabupaten Sumenep. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wiraraja Sumenep, 1-. <http://repository.wiraraja.ac.id>
- Ridwan Nur Arifianto, Kustmar, I. wayan M. (2020). Perencanaan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih Desa Ngebel Kecamatan Ngebel Kabupaten Ponorogo. *Student Journal Gelagar*, 2(2), 231–241. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/gelagar/article/download/3016/2505>
- Sari, K. I. (2021). Evaluasi Jaringan Pipa Distribusi Air Minum Dengan Menggunakan Epanet 2.0 Di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun. *Buletin Utama Teknik*, 16(3), 1–8.