

Prediksi Pola Sebaran Sedimentasi Sebagai Penentuan Umur Guna Waduk (Studi Kasus Bendungan Jragung, Kab. Semarang)

Rizki Robbi Rahman Alam¹⁾, Mohammad Risky Ardian
Syah²⁾ Dwi Indriani³⁾ Hendra Wahyudi⁴⁾

¹⁾ Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
Email: rizki_robbi@its.ac.id

²⁾ Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
Email: mrisky64@gmail.com

³⁾ Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
Email: indriyani.dwi13@gmail.com

⁴⁾ Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
Email: ayahkukung@gmail.com

Received: 2025-08-15; Accepted: 2025-08-25; Published: 2025-09-30

Abstract

The Jragung Dam was built in the Jragung River, Candirejo Village, Pringapus District, Semarang Regency, with the aim of being a flood controller, irrigation supply, PLTMH of 1,400 KW, tourism, and a provider of raw water for Semarang City, Demak Regency, and Grobogan Regency. The dam is designed to operate for 50 years, but has the potential to experience a decrease in service life due to sedimentation that can reduce holding capacity. This study aims to predict sediment distribution patterns in order to estimate the service life of reservoirs and develop sediment management strategies. The methods used include hydrological analysis with the Thomas Fiering method to determine the discharge of rising water, sediment transportation, and sediment dispersion modeling using MIKE 21 software. Simulations are carried out annually until the reservoir base is close to the intake elevation. The results showed that the average water discharge entering the reservoir area was 6.20 m³/s, while sediment discharge reached 0.753 million m³ per year, with the dominance of the sand fraction with an average diameter of 1.07 mm. Early sedimentation was identified in the upper and middle parts of the reservoir, with bottom subsidence reaching 0.4 m per year in some locations. The service life of the reservoir is estimated to be only 39 years, shorter than the original plan of 50 years. For this reason, it is proposed to handle sediment through the dredging method with a total dredging volume of 20.095 million m³ in an area of 3.56 million m².

Keywords: Sedimentation; Dam; Reservoir Useful life; MIKE 21; Dredging.

Abstrak

Bendungan Jragung dibangun di Sungai Jragung, Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang, dengan tujuan sebagai pengendali banjir, suplai irigasi, PLTMH sebesar 1.400 KW, pariwisata, serta penyedia air baku untuk Kota Semarang, Kabupaten Demak, dan Kabupaten Grobogan. Bendungan ini dirancang untuk beroperasi selama 50 tahun, namun berpotensi mengalami penurunan umur layanan akibat sedimentasi yang dapat mengurangi kapasitas tampungan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pola sebaran sedimen guna memperkirakan umur layanan waduk dan menyusun strategi pengelolaan sedimen. Metode yang digunakan meliputi analisis hidrologi dengan metode Thomas Fiering untuk menentukan debit air bangkitan, angkutan sedimen, serta pemodelan penyebaran sedimen menggunakan software MIKE 21. Simulasi dilakukan secara tahunan hingga dasar tampungan mendekati elevasi intake. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit air rata-rata yang masuk ke area tampungan sebesar 6,20 m³/dt, sedangkan debit sedimen mencapai 0,753 juta m³ per tahun, dengan dominasi fraksi pasir berdiameter rata-rata 1,07 mm. Sedimentasi awal teridentifikasi di bagian hulu dan tengah tampungan, dengan penurunan dasar mencapai 0,4 m per tahun di beberapa lokasi. Umur layanan waduk diperkirakan hanya mencapai 39 tahun, lebih pendek dari rencana awal 50 tahun. Untuk itu, diusulkan penanganan sedimen melalui metode dredging dengan total volume pengerukan sebesar 20,095 juta m³ di area seluas 3,56 juta m².

Kata Kunci: Sedimentasi; Bendungan; Umur Guna Waduk; MIKE 21; Pengerukan.

PENDAHULUAN

Bendungan merupakan salah satu proyek strategis nasional yang saat ini sedang disebut oleh pemerintah Indonesia. Salah satu contoh bendungan multifungsi yang saat ini sedang disebut oleh pemerintah adalah Bendungan Jragung. Bendungan yang di desain mampu melayani selama 50 tahun ini nantinya akan digunakan sebagai air baku, irigasi, PLTMH, dan pariwisata. Dalam perencanaan sebuah bendungan selain stabilitas, Bendungan juga harus diperhatikan dalam hal sedimentasi yang ada di bendungan.

Sedimen adalah material yang berasal dari pecahan batu, mineral, dan material organik yang ikut terbawa dalam aliran air di dalam sungai (Hermawan, 2016)

Sedimen yang mengalir di sungai terbagi menjadi dua yaitu berupa koloidal (butir halus) yang bercampur dengan air sungai (*suspended load*) dan berupa butir yang mengalir lewat dasar sungai (*bed load*) (Shiami, 2017). Bendungan Jragung saat ini masih dalam masa konstruksi ini di desain hanya mampu menampung sedimen sebesar 21 juta m³. Hal ini perlu diperhatikan

karena akan menyangkut umur guna waduk. Umur guna waduk yang tidak sesuai dengan apa yang direncanakan akan berakibat pada pola operasi waduk (Putra, dkk, 2019). Untuk mengatasi hal itu diperlukan pola sebaran sedimentasi menggunakan pemodelan numerik untuk mempermudah dalam menentukan umur guna waduk.

METODOLOGI

Gambaran Umum

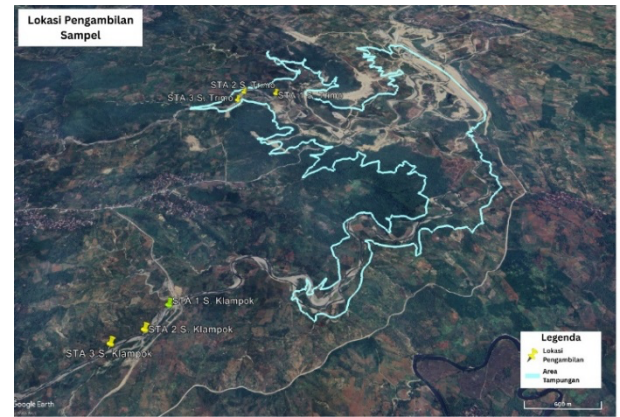
Bendungan Jragung merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) yang dibangun di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang. Secara geografis bendungan ini terletak pada $110^{\circ}21'57''$ - $110^{\circ}39'58''$ BT dan $6^{\circ}50'55''$ - $7^{\circ}13'59''$ LS. Bendungan yang dibangun membendung Sungai Jragung ini secara administratif masuk ke dalam wilayah kerja BBWS Pemali Juana.

Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data sekunder didapatkan oleh penulis dari beberapa instansi terkait. Data-data yang digunakan pada penelitian ini meliputi data sedimen yang diambil langsung di anak sungai yang masuk ke area tampungan Waduk Jragung pada saat kondisi bulan basah (Desember). Data hujan selama 21 tahun dengan rentang waktu 2004 sampai dengan 2024 yang didapatkan dari dinas PUSDATARU Jawa Tengah dengan tiga lokasi stasiun yang berpengaruh yaitu stasiun hujan Rawapening, Jatirunggo, dan BAnyumeneng. Data klimatologi yang didapat dari BBWS Pemali Juana dengan lokasi stasiun berada di Bendung Jragung dengan rentang waktu data dari tahun 2014 sampai dengan tahun 2023. Data topografi dan data teknis Bendungan Jragung yang didapat dari PT. Waskita Karya selaku kontraktor pelaksana proyek Bendungan Jragung Paket 1. Data DEMNAS yang didapat dari *website* tanahair.indonesia.go.id. Data landsat pada tanggal 23 September 2024 yang didapat dari USGS.gov. Data jenis tanah menurut FAO yang didapatkan dari *website* indonesia-geospasial.com.

Analisis Data

Data-data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan analisis data. Data sedimen didapatkan dari pengambilan secara langsung pada kondisi bulan basah (Desember) yang kemudia sampel sedimen tersebut dilakukan uji laboratorium untuk mencari nilai diameter sedimen. Lokasi pengambilan sedimen dapat dilihat pada Gambar 1. Data teknis bendungan digunakan sebagai data penunjang pemodelan 2D menggunakan *software* MIKE 21. Data topografi ini digunakan dalam pemodelan sebagai gambaran kontur dan kedalaman area tampungan waduk. Data hujan pada penelitian ini nantinya akan dibangkitkan selama 50 tahun menggunakan metode Thomas Fiering. Data klimatologi ini akan digunakan sebagai data penunjang untuk analisis F.J Mock. Data DEMNAS nantinya akan digunakan sebagai olah data menjadi data kemiringan lereng sebagai koefisien nilai LS dalam metode USLE dan pembuatan peta DAS. Data landsat digunakan untuk analisis data tutupan lahan. Data jenis tanah digunakan sebagai data untuk mencari koefisien nilai jenis tanah pada metode USLE.



Gambar 1 Lokasi Pengambilan Sampel

1. Thomas Fiering

Metode Thomas Fiering adalah metode yang digunakan untuk membuat data debit sintesis jika dalam suatu data pengamatan masih kurang panjang untuk digunakan dalam masukan dalam simulasi perencanaan wilayah sungai (Aqillaa, dkk, 2023). Metode Thomas Fiering digunakan untuk meramalkan debit aliran sungai yang dimodifikasi dari bentuk aslinya melalui model stokastik untuk membuat debit sintesis. Rumus umum yang dapat digunakan untuk pengkutung Thomas Fiering dapat menggunakan Persamaan 1.

$$R_{i+1,j} = \bar{R}_j + b_j (R_{i,j-1} - \bar{R}_{j-1}) + t_i Sd_j (1 - r_j)^{0.5} \quad (1)$$

Dimana :

- $R_{i+1,j}$ = Hujan hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke $(i+1)$
- $R_{i,j-1}$ = Hujan pada tahun ke i , pada bulan sebelumnya $(j-1)$
- r_j = Koefisien korelasi antara hujan bulan sebelumnya $(j-1)$ dan bulan j
- b_j = Koefisien regesi antara aliran bulan j dan $j-1$
- t_i = Bilangan random normal
- Sd_j = Standard deviasi bulan ke- i

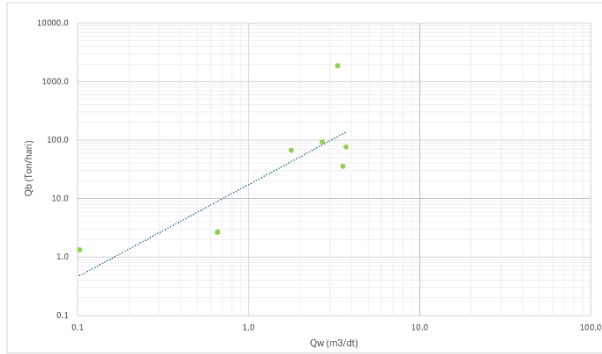
2. MIKE 21

Hydrodynamic Module yang sering digunakan dalam simulasi arus adalah *Flow Model FM*. Model ini dapat mensimulasikan aliran dua dimensi tidak langgeng di dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen) maupun dalam aliran tiga dimensi. Modul ini didasarkan pada solusi numerik persamaan perairan dangkal dua dimensi, kedalaman terintegrasi persamaan Navier-Stokes (Soeyanto dkk., 2018). Modul hidrodinamik dalam MIKE 21 HD merupakan sistem model numerik secara umum untuk memodelkan simulasi muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai.

Sand Transport Module merupakan aplikasi model dari angkutan sedimen non kehesif. Modul ini menghitung hasil dari pergerakan material non kohesif berdasarkan kondisi aliran di dalam *hydrodynamic module* serta kondisi gelombang dari perhitungan gelombang (*spectral wave module*). Pada modul ini memanfaatkan pendekatan formula yang digunakan dalam sediment transport seperti Engelund-Hansen model, Van-Rijnmodel, Engelund-Fredsoe model, serta Meyer-Peter-Muller model (Azhar dkk., 2012).

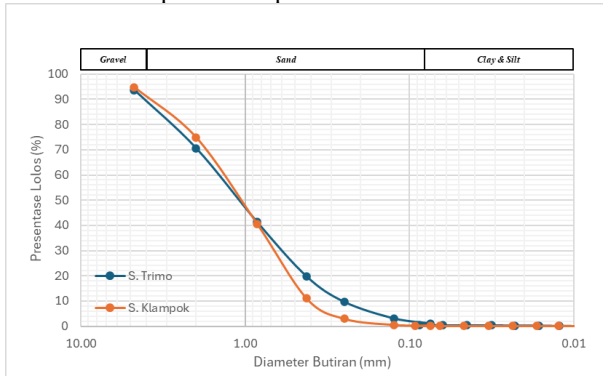
HASIL DAN PEMBAHASAN
Angkutan Sedimen

Data debit sedimen didapatkan dari BBWS Pemali Juana yang diambil di Bendung Jragung. Data debit sedimen ini hasil pengukuran pada periode 2018 sampai dengan 2023 dengan rentang waktu pengukuran per 6 bulan. Data debit sedimen dari BBWS Pemali Juana dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Data Debit Sedimen Bendung Jragung

Selain data debit sedimen, analisis ini juga memerlukan data gradasi sedimen. Data gradasi sedimen diambil di sungai yang masuk ke area tampungan dengan detail lokasi pada Gambar 1 dengan simbol pin warna kuning. Kemudian sampel sedimen diuji di laboratorium untuk mendapatkan data besaran butir sedimennya. Hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Gambar 7.

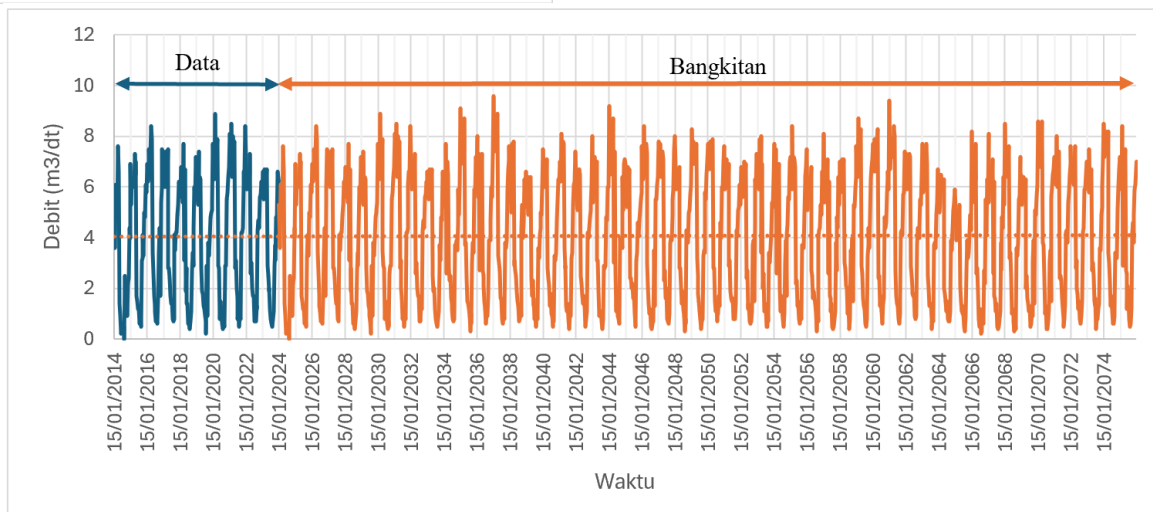


Gambar 7 Hasil Uji Gradasi Sungai Klampok dan Sungai Trimo

Berdasarkan grafik gradasi diatas, didapatkan nilai diameter butiran 50% (d_{50}) untuk Sungai Klampok sebesar 1,005 mm atau 0,00105 m. Sedangkan untuk Sungai Trimo didapatkan diameter 50% (d_{50}) sebesar 1,15 mm atau 0,00115 m. Berdasarkan grafik pada Gambar 7 maka sedimen yang ada di Sungai Klampok dan Sungai Trimo dapat dikategorikan ke dalam jenis tanah berupa pasir/sand.

Untuk menentukan besaran besaran debit sedimen yang akan masuk ke area tampungan selama waduk beroperasi, maka diperlukan data debit air yang masuk. Data debit air menggunakan data dari hasil pengamatan harian yang diamati oleh BBWS Pemali Juana di Bendung Jragung dengan rentang waktu mulai dari tahun 2014-2023. Data tersebut dapat diamati pada Gambar 8 (warna biru). Data debit pengamatan sebagai input untuk analisis proyeksi debit di masa depan dengan pendekatan metode Thomas Fiering. Data debit dan hasil bangkitan data debit dapat dilihat pada Gambar 8. Pada Gambar 8, data debit dan data bangkitan debit memiliki rata-rata debit sebesar 4,083 m^3/dt , nilai standart deviasi sebesar 2,506, koefisien korelasi sebesar 0,903, dan koefisien regresi sebesar 0,905. Berdasarkan nilai koefisien korelasi dan regresi, data tersebut menunjukkan nilai koefisien yang sangat kuat (Sanny, B.I dkk, 2020) sehingga data tersebut bisa digunakan sebagai analisis selanjutnya.

Data sedimen yang didapatkan dari BBWS Pemali Juana dan data debit hasil bangkitan, data tersebut digunakan untuk mencari konsentrasi sedimen yang masuk ke dalam area tampungan Waduk Jragung. Fungsi yang dipakai untuk mencari konsentrasi sedimen adalah $y = 17,3 \times Qw^{3,577}$ Berdasarkan pada Gambar 6. Dengan fungsi tersebut konsentrasi sedimen dapat dicari dan selanjutnya dipakai untuk pemodelan.

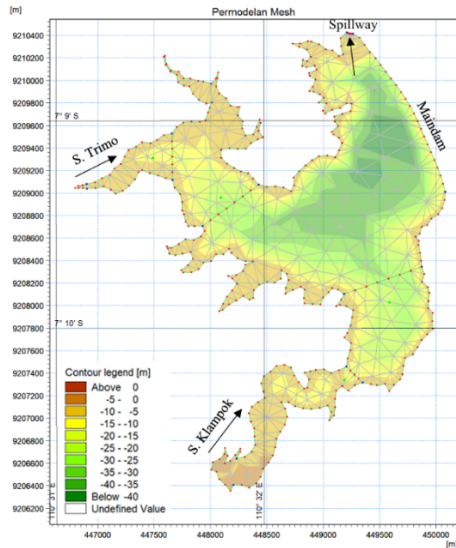


Gambar 8 Data Debit dan Hasil Bangkitan.

Pemodelan Pola Sebaran

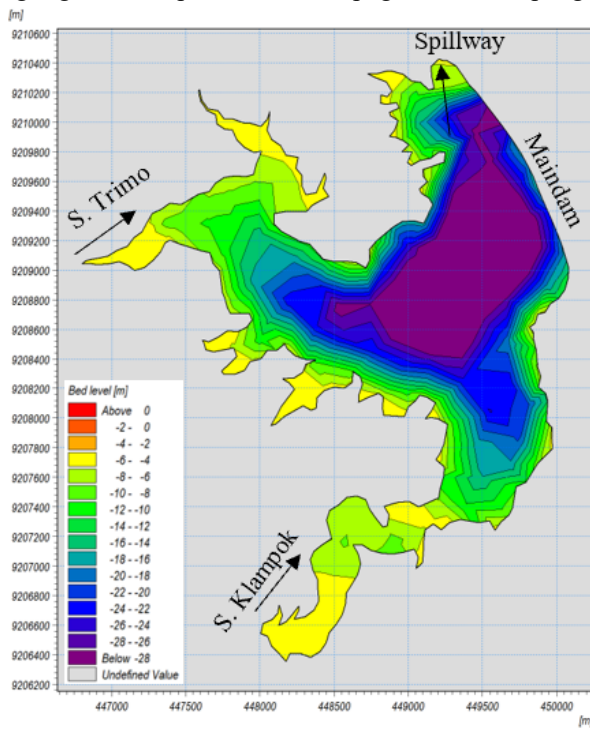
Pemodelan pola sebaran sedimentasi ini dilakukan dari penentuan *grid mesh* dan penentuan batas-batas

boundary. *Grid mesh* dan batas *boundary* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Kondisi Eksisting

Pada Gambar 9 untuk menentukan *grid* dan *mesh* yang digunakan diperlukan data topografi area tampungan



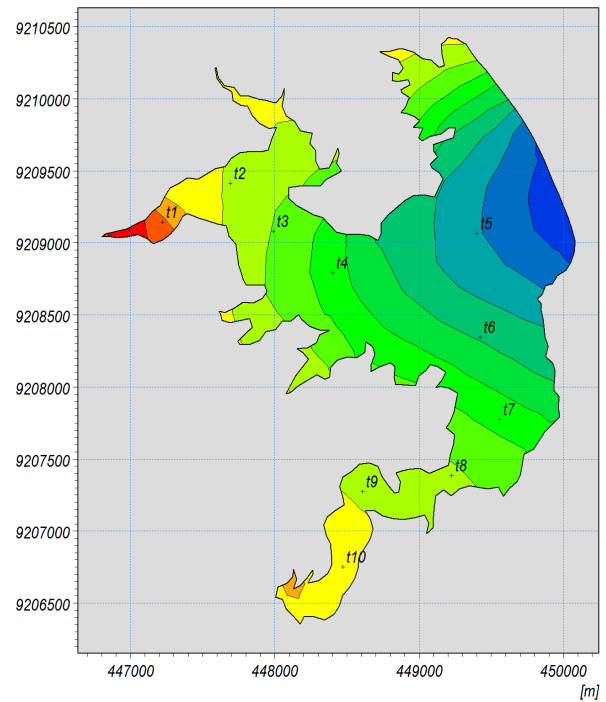
Kondisi Eksisting

Gambar 10 Perbandingan Kondisi Eksisting Dengan 39 Tahun Pemodelan

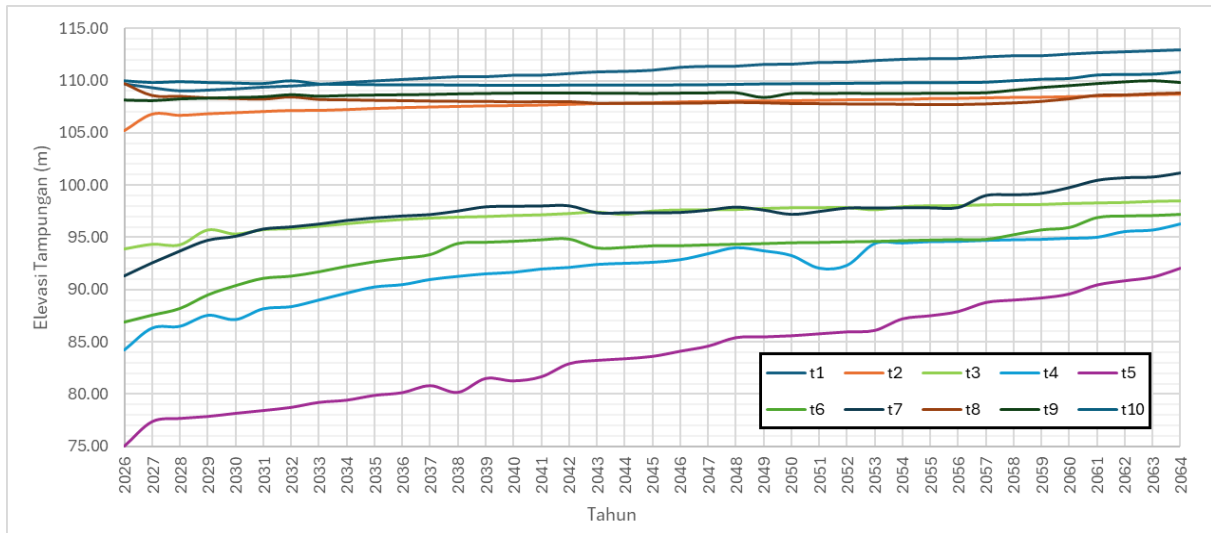
untuk dijadikan menjadi data XYZ sebelum di masukkan sebagai kontur pada MIKE 21. Data topografi ini digunakan karena Bendungan Jragung saat ini masih dalam pelaksanaan konstruksi. Pada pemodelan ini *grid* dan *mesh* pada area tampungan dibagi menjadi tiga yaitu *mesh* rapat, *mesh* transisi, dan *mesh* longgar. Penempatan *mesh* ini dimulai dari hulu tampungan dengan *mesh* rapat lalu mendekati tengah digunakan *mesh* transisi dan pada area tengah tampungan digunakan *mesh* longgar. Pemodelan ini dilakukan hanya sebatas area tampungan waduk saja. hasil dari pengilahan data XYZ dan penentuan *mesh* & *grid* ini disebut dengan konsidi eksisting tampungan.

Kondisi eksisting ini merupakan kondisi dimana kontur pada area tampungan masih sama dengan kontur sebelum dilakukan *impounding* atau pengisian. Kondisi eksisting tersebut kemudian di simulasikan per tahun sampai dengan elevasi sedimen pada tampungan setara/hampir mendekati elevasi *intake*.

Setelah pemodelan selama 39 tahun, didapatkan kondisi elevasi sedimen sudah mencapai elevasi +92,05 m. hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 10.



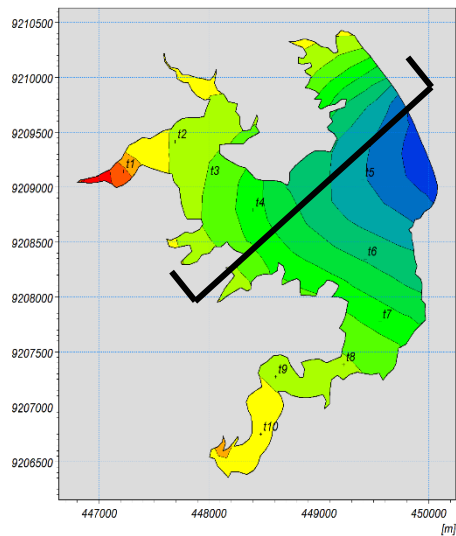
Kondisi Setelah 39 Tahun Pemodelan



Gambar 11 Grafik Perubahan Elevasi Tampungan

Berdasarkan gambar 11, pola sebaran sedimen yang masuk ke dalam area tampungan akan mengendap terlebih dahulu pada hulu tampungan. Hal ini terjadi karena adanya penurunan kecepatan pada *inflow* tampungan (Sisinggih dkk., 2021). Proses seperti ini akan terus berulang seiring dengan meningkatnya laju sedimen waduk. Berdasarkan grafik perubahan elevasi tampungan pada Gambar 12, terjadi perubahan elevasi dasar dari elevasi 109,70 m menjadi elevasi 112,97 m atau terjadi pengendapan sedimen pada Sungai Trimo sebesar 3,27 m. Pada Sungai Klampok terjadi perubahan elevasi dasar dari elevasi 109,99 m menjadi 110,80 m, atau terjadi pengendapan sedimen

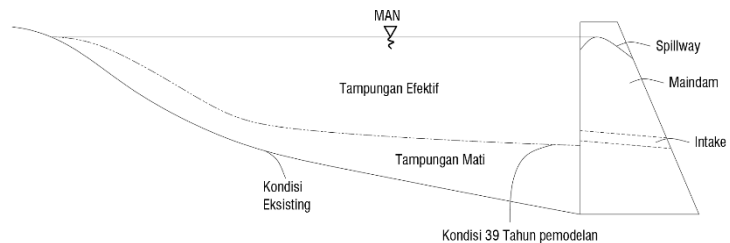
sebesar 0,81 m. Pengendapan yang terjadi pada Sungai Klampok relatif kecil dibandingkan dengan Sungai Trimo karena pada Sungai Klampok tidak hanya terjadi pengendapan tetapi juga terjadi erosi lokal. Sedangkan pada area tengah tampungan terjadi perubahan dasar tampungan dari elevasi 75 m ke elevasi 92,05 m atau terjadi pengendapan 17,05 m dari kondisi awal. Dengan *intake* pada elevasi 93 m, dan untuk menghindari sedimen masuk ke dalam *intake*, diperlukan sebuah penanganan agar sedimen tidak masuk ke dalam *intake*. Ilustrasi pengendapan sedimen pada area tampungan dapat dilihat pada Gambar 13.



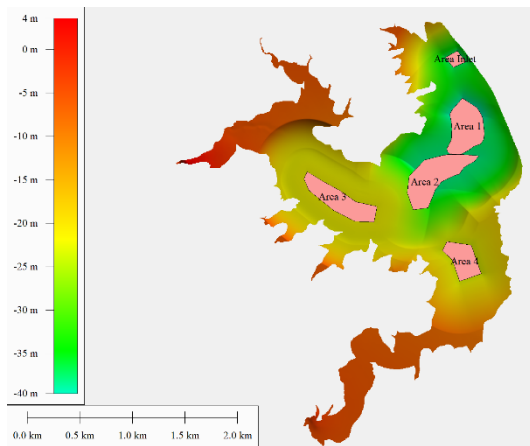
Gambar 2 Potongan Memanjang Tampungan Setelah 39 tahun Pemodelan

Analisis Penanganan

Setelah 39 tahun pemodelan, sedimen yang mengendap pada area tampungan berada pada kondisi kritis atau hampir mendekati elevasi *intake*. Oleh karena itu diperlukan upaya penanganan agar sedimen yang berada pada tampungan mati tidak masuk/menutupi *intake*. Analisis yang dipakai adalah dengan cara dilakukan *dredging* pada area tampungan. Penanganan sedimen dengan cara dilakukan pengerukan/*dredging* ini dipilih karena terowongan pengelak nantinya hanya akan dilalui pipa *intake* dan setelah *impounding* akan dilakukan penutupan secara permanen. Analisis *dredging* ini meliputi

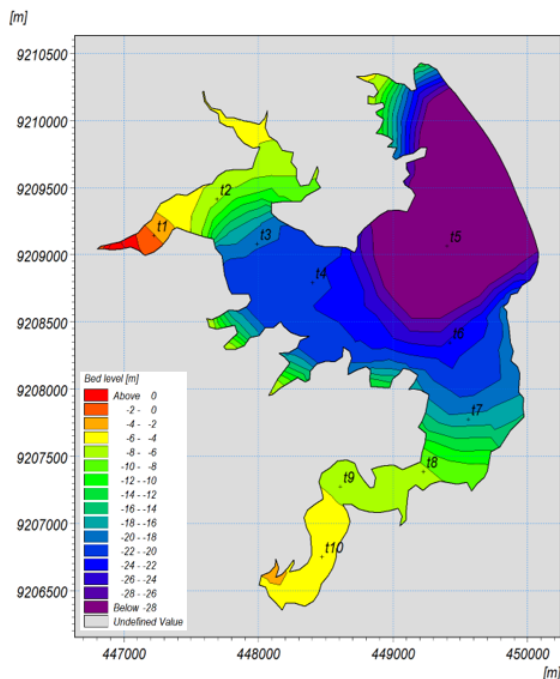


penentuan lokasi dan perhitungan volume *dredging*. Penentuan lokasi *dredging* dilakukan pada area-area yang dapat membuat volume tampungan dapat menurun drastis dan daerah yang kritis seperti area *inlet* dan area tengah tampungan. Lokasi *dredging* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 3 Lokasi Dredging

Perhitungan volume dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting dengan kondisi setelah 39 tahun pemodelan. Pada ArcGIS didapatkan volume yang harus di keruk sebesar 20,095 juta m³ dengan luas 3,56 juta m². Kondisi Batimetri setelah dilakukan *dredging* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 4 Batimetri Tampungan Setelah Dredging

KESIMPULAN

Bedasarkan analisis dan pembahasan didapatkan kesimpulan berupa hasil analisis data debit sedimen periode 2018–2023, diperoleh hubungan antara debit air dan debit sedimen dengan persamaan $y = 17,3 \times Qw^{3,577}$. Dengan persamaan ini dapat digunakan untuk mencari besaran konsentrasi sedimen yang masuk ke area tampungan dan sebagai input pada saat pemodelan pola sebaran. Hasil bangkitan data debit pengukuran menghasilkan standart deviasi, koefisien korelasi, dan koefisien regresi secara berurutan sebesar 2,506, 0,903, dan 0,905. Uji sampel sedimen yang diambil pada sungai yang masuk ke area tampungan menunjukkan bahwa sedimen memiliki klasifikasi berupa pasir/sand.

Hasil Pemodelan menunjukkan sebaran sedimentasi akan mengendap terlebih dahulu pada hulu area tampungan

karena adanya perubahan kecepatan arus dari sungai menuju area tampungan. Hasil pemodelan juga menunjukkan umur layanan waduk hanya berkisar selama 39 tahun dengan rata-rata pengendapan sedimen sebesar 0,11 m per tahun pada hulu tampungan dengan inflow Sungai Trimo. Pada hulu tampungan dengan inflow Sungai Klampok didapatkan pengendapan rata-rata sebesar 0,03 m per tahun dan pada area tengah tampungan terjadi pengendapan sedimen sebesar 0,4 m pertahun.

Hasil pemodelan menggunakan data input debit bangkitan akan penuh pada tahun ke 39 tahun pemodelan. Namun proyeksi tersebut juga diperlukan kalibrasi ulang dengan data debit air dan data debit sedimen yang *realtime*/pengamatan langsung. Upaya yang dapat dilakukan untuk penanganan volume sedimen yang sudah penuh dapat berupa dredging atau pengerukan sedimen. Penanganan berupa dredging ini dipilih karena terowongan yang saat ini digunakan sebagai saluran pengelak nantinya akan dilakukan penutupan permanen. Dari hasil pemodelan didapatkan volume yang harus di keruk sebesar 20,095 juta m³ dengan luas 3,56 juta m². Penanganan berupa dredging ini akan memberikan dampak langsung terhadap area tampungan yaitu penurunan elevasi tampungan yang berdampak pada bertambahnya umur guna waduk. Penurunan elevasi sedimen setelah dilakukan dredging adalah sebesar 37,5 m dari yang semula elevasi sedimeen berada pada elevasi +92,05 m menjadi elevasi +77,5 m. Namun penanganan berupa *dredging* ini tidak hanya memperhatikan verapa volume yang haris di keruk tetapi juga harus memperhatikan faktor baik teknis maupun non teknis lain seperti volume air tampungan, biaya lingkungan, letak *spoilbank*, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2023). *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Aurellia, N., Rahmasari, S. E., Prabawa, R., & Faridatunisa, W. (2023). "Identifikasi Perubahan Lahan Terbangun Dan Non Terbangun Menggunakan Metode Enhanced Built-Up And Berenecs Index (Ebbi) Di Kota Surabaya Wilayah Barat". *Jurnal Geodesi Undip Oktober*.
- Azhar, R. M., Wurjanto, A., & Yuanita, N. (2012). *Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam Di Pantai Tanjung Kait*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Aqillaa, Fauzi, M., & Sebayang, M. (2023). "Pembangkitan Data Debit Daerah Aliran Sungai Rokan Menggunakan Metode Thomas Fiering". *JICE - Journal of Infrastructure and Civil Engineering*.
- Einstein, H. A. (1950). "The Bed-Load Function For Sediment Transportation In Open Channel". United States Department of Agriculture. Washington DC.
- Hadisusanto, N. (2010). *Aplikasi Hidrologi* (Vol. 22, Issue 2). Jogja Mediautama. Yogyakarta.
- Hermawan, F. D. (2016). "Studi Analisa Pola Sebaran Sedimen Dengan Permodelan Menggunakan Surface-Water Modelling System Pada Hulu Bendung PLTA Genyem Kabupaten Jayapura Provinsi Papua". Undergraduate Thesis. Fakultas Teknik. Teknik Pengairan. Univesitas Brawijaya. Malang.

- Liu, Z. (1998). *Aalborg Universitet Sediment Transport*. Aalborg Universitetsforlag. Denmark.
- Marlina, S. (2018). "Identifikasi Pendangkalan Sungai Kahayan Akibat Sedimen". In *Media Ilmiah Teknik Sipil* (Vol. 7, Issue 1).
- Perum Jasa Tirta-1 (PJT-1). (2015). "Kajian Teknis Manajemen Sedimentasi Waduk Sengguruh Malang". Malang.
- Prabandari, A. A., & Manessa, M. D. M. (2024). "Analisis Perkembangan Lahan Terbangun Berdasarkan Metode Supervised Classification Menggunakan Google Earth Engine (Studi Kasus: Desa Ciputi, Kecamatan Pacet, Kab.Cianjur)". *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 11(2), 403–412.
<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.2.11>
- Putra, D. S., Siwu, W. P., & Wulandari, D. A. (2019). "Pengaruh Sedimentasi Terhadap Fungsi Waduk Karian". Xxiv.
<https://journal.uui.ac.id/teknisia/article/download/13596/9740/33042>
- Sanny, B. I., & Dewi, R. K. (2020). "Pengaruh Net Interest Margin (NIM) terhadap Return on Asset (ROA) pada PT Bank Pembangunan Daerah Jawa Barat dan Banten Tbk periode 2013–2017". *Jurnal E-Bis (Ekonomi-Bisnis)*, 4(1), 78–87.
<https://doi.org/10.37339/jurnal%20e-bis.v4i1.239>
- Shiami, F. A. R. (2017). "Prediksi Laju Sedimentasi Pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek". Undergraduated Thesis. Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan. Teknik Sipil. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sisinggih, D., Wahyuni, S., & Hidayat, F. (2021). *Buku Ajar : Sedimentasi Waduk*. Ub Press. Malang.
- Soeyanto, Endro & Arifiyana, Arifiyana. (2018). "Dinamika Proses Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Riko, Teluk Balikpapan". *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 3. 63.
10.14203/oldi.2018.v3i1.139.