

Prediksi Laju Sedimentasi Sungai Keser pada Bendungan Tugu Trenggalek dengan Metode HEC-RAS

Toyyibah, Eko Noerhayati, Azizah Rachmawati

Mahasiswa Sarjana Teknik Universitas Islam Malang

Dosen Jurusan Teknik sipil Universitas Islam Malang

Email : toyyibahazzahra@gmail.com

ABSTRAK

Hal terpenting dalam perencanaan waduk selain desain hidrolis bendungan adalah sedimentasi. Sedimen yang mengendap di waduk merupakan faktor pembatas kapasitas tampungan efektif waduk, sehingga jumlah sedimen di waduk biasa digunakan untuk menetapkan masa guna waduk. Prediksi sedimentasi yang terjadi pada waduk dilakukan dengan memperhitungkan besar laju sedimentasi berdasarkan metode perhitungan analitik, namun untuk mempermudah dalam menggambarkan sedimentasi yang terjadi pada waduk dilakukan metode pemodelan menggunakan software HEC-RAS. Program HEC-RAS sendiri merupakan salah satu program pemodelan analisis angkutan sedimen pada saluran maupun sungai. Tujuannya adalah untuk memprediksi besar laju sedimentasi pada Waduk Tugu dengan metode perhitungan analitik dan pemodelan software HEC-RAS, kemudian kedua hasilnya dibandingkan. Pada perhitungan maupun pemodelan sedimentasi menggunakan HEC-RAS data yang dibutuhkan adalah data geometri sungai, data hidrolika, debit sungai, dan parameter sedimen.

Pemodelan sedimentasi dengan HEC-RAS dilakukan dengan mencoba beberapa model. Pemodelan pertama berupa sungai dan tubuh bendung. Pemodelan kedua dengan penambahan ambang pelimpah. Pemodelan ketiga, sungai yang dimodelkan hanya alur sungai bagian hilir. Pemodelan keempat penambahan culvert sebagai saluran pengambilan. Pemodelan kelima dengan menambah lateral inflow pada hulu tubuh bendung sebagai alternatif lain untuk memodelkan saluran pengambilan. Pemodelan keenam sama dengan pemodelan keempat namun dengan debit inflow pertama yang dibesarkan sebagai asumsi bahwa waduk terisi penuh baru dioperasikan.

Perhitungan analitik dihitung dengan metode total load Laursen yang juga digunakan dalam pemodelan HEC-RAS dan dihitung pada penampang melintang bagian hulu. Hasil perhitungan analitik berupa besar angkutan sedimen yang kemudian dibandingkan dengan pemodelan HEC-RAS. Angkutan sedimen hasil dari perhitungan analitik cenderung lebih kecil daripada hasil dari pemodelan HEC-RAS, dimana perkiraan besar laju sedimentasi dari metode pemodelan HEC-RAS sebesar 22.000 m³/th sedangkan laju sedimentasi hasil perhitungan analitik sebesar 19.400 m³/th. hal ini dikarenakan penyederhanaan geometri penampang pada perhitungan analitik, sedangkan geometri pada model lebih detail.

Kata Kunci—Perhitungan Analitik, Sedimentasi, *Software* HEC- RAS, waduk.

1. PENDAHULUAN

Bendungan merupakan salah satu prasarana pengembangan sumber daya air yang banyak dikembangkan di Indonesia. Sebuah waduk selain difungsikan sebagai *reservoir*, juga dapat difungsikan sebagai bangunan pengairan, pembangkit listrik tenaga air, pengendali banjir dan pariwisata. Bendungan Tugu sendiri di bangun pada aliran Sungai Keser, Kabupaten Trenggalek, yang mempunyai potensi bencana banjir. Belum adanya suatu bangunan pengendali air berakibat pada sumber air sangat melimpah di saat musim hujan dan sebaliknya sulitnya mencari air di saat musim kemarau sehingga sering terjadi kekeringan. Kurangnya sarana sumber air, khususnya berupa *reservoir* (tampungan air) menyebabkan potensi sumber air belum bisa dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, Bendungan Tugu bertujuan sebagai penyedia sumber air baku untuk berbagai keperluan (air minum, irigasi, rumah tangga, dll.) yang memenuhi persyaratan baik secara kuantitas maupun kualitasnya. Dari segi lingkungan, dengan adanya waduk maka bisa menjadi lokasi konservasi air dan menjaga kelestarian hayati. Pembangunan Bendungan Tugu juga bermanfaat sebagai tujuan pariwisata yang berpotensi besar karena berada di jalur nasional yang menghubungkan Trenggalek dan Ponorogo.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Analisa Hidraulika

Bangunan pelimpah berfungsi mengalirkan air banjir yang menyebabkan naiknya muka air waduk untuk menghindarkan dari bahaya *over topping*. Secara umum bangunan pelimpah terdiri dari saluran pengarah, pelimpah, saluran peluncur dan pemecah energi. Untuk saluran pengarah dan saluran peluncur direncanakan harus mampu menampung debit banjir maksimum sehingga elevasi muka air banjir di *reservoir* tetap terkendali, sementara saluran pemecah energi direncanakan mampu untuk melindungi dasar sungai, tebing dan fasilitas lainnya. Penentuan tipe bangunan pelimpah harus mempertimbangkan banyak faktor yaitu kondisi geologi, topografi, segi keamanan, sosial ekonomi, cara operasi pemeliharaan dan juga bendungan itu sendiri. Berdasarkan pertimbangan bentuk topografi pada as bendungan, dimana pada tebing kiri merupakan tebing yang terjal sedangkan di tebing kanan relatif lebih landai, maka posisi bangunan pelimpah direncanakan pada tebing sebelah kanan. Ambang pelimpah hasil dari perhitungan optimasi terletak pada Elevasi +620,00 dan menggunakan tipe Pelimpah Samping dengan Terowongan. Ambang pelimpah direncanakan mampu melewati debit banjir dengan kala ulang 1000 tahun (Q_{1000}) yang diregulasi oleh waduk dengan kontrol debit PMF (Q_{PMF}).

b. Analisa Debit

Analisis hidrologi pada perencanaan bendungan dilakukan dengan tujuan memperoleh debit andalan dan banjir rencana sehingga dapat direncanakan dimensi bendungan. Analisa hidrologi terdiri dari perhitungan curah hujan rencana, analisa distribusi efektif, uji kecocokan distribusi hujan, analisa curah hujan efektif, perhitungan hidrograf, lengkung kapasitas waduk, analisa debit andalan, analisa kebutuhan air baku, kapasitas efektif, dan perhitungan *flood routing*. Analisis hidrologi pada tugas akhir ini telah dilakukan oleh konsultan perencana proyek Bendungan Tugu yaitu PT.Indra Karya Persero, sehingga

3. METODOLOGI

a. Lokasi Penelitian

Bendungan Tugu terletak di Sungai Keser, Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek, Propinsi Jawa Timur. Secara geografis bendungan ini terletak pada posisi 111°34'-111°37' Bujur Timur dan 8°1'-8°3' Lintang Selatan. Luas daerah aliran sungai di lokasi bendungan sebesar 43,06 km² dengan panjang sungai 9.295 km.

b. Waktu Penelitian

Studi ini direncanakan berlangsung dalam waktu satu tahun yaitu tahun 2019. Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi pengumpulan data, pengamatan di lapangan, analisis data, dan penulisan laporan. Dalam studi ini digunakan data sekunder (data yang diperoleh dari *Balai Besar Wilayah Sungai Brantas*).

c. Data Yang Diperlukan

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Brantas. Data Bendungan Tugu tersebut meliputi:

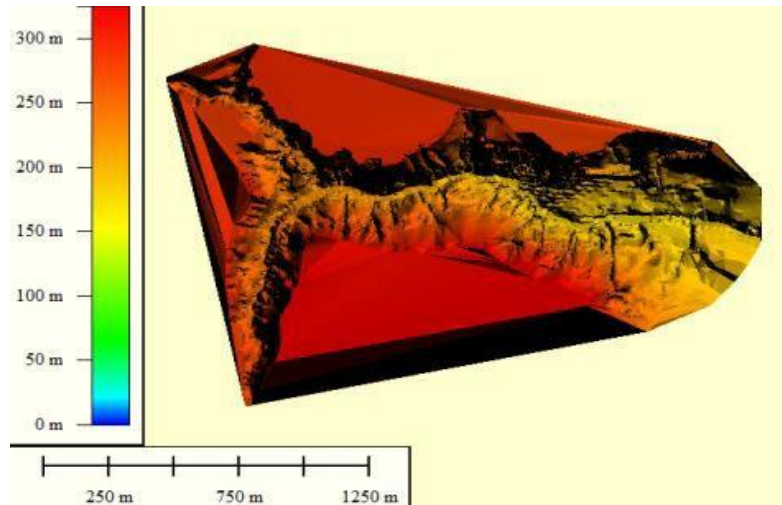
- a) Data Geometri, berupa data peta kontur wilayah Bendungan Tugu sehingga dapat diketahui *cross section* dari sungai maupun daerah genangan dan alur memanjang sungai.
- b) Data Hidrolika, yaitu penampang melintang maupun memanjang dari sungai dan bangunan pada bendungan, seperti tubuh bendung, saluran pengambilan, dan bangunan pelimpah, yang disesuaikan dengan data geometri.
- c) Data Hidrologi, berupa data debit tersedia sungai.
- d) Data Sedimen, berupa data diameter dan konsentrasi sedimen yang digunakan untuk mengetahui besar sedimentasi pada aliran sungai yang kemudian mempengaruhi tumpungan Bendungan Tugu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

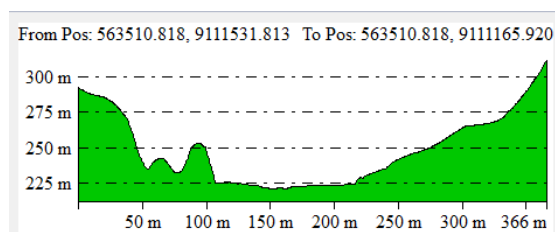
a. Pemodelan dengan Software HEC-RAS

• Data Geometri

Data geometri awal berupa data kontur dengan format dwg. File geometri yang dibutuhkan adalah berformat xyz agar dapat diinputkan ke *software* Global Mapper untuk mendapat koordinat *cross section* sungai. Langkah pertama, file tersebut di-export ke format dxf dengan *software* Autocad. Kemudian dengan *software* DXF2XYZ file diconvert ke format xyz. Data kontur berformat xyz yang dimasukkan ke Global Mapper dan akan tampak pada Gambar 3 dan Gambar 4.

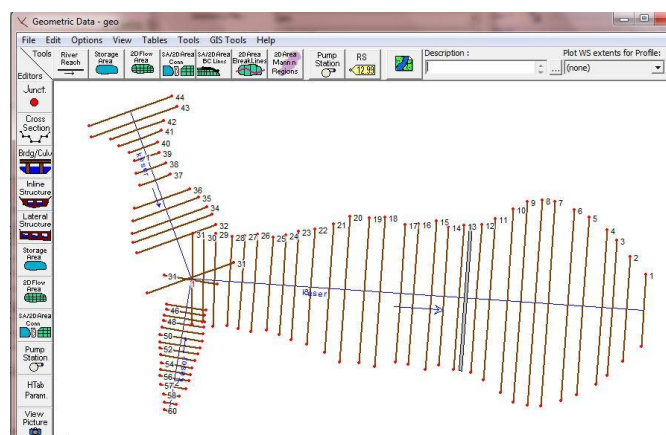


Gambar 3. Kontur Sungai pada Global Mapper.



Gambar 4. Hasil cross section pada salah satu *river station*

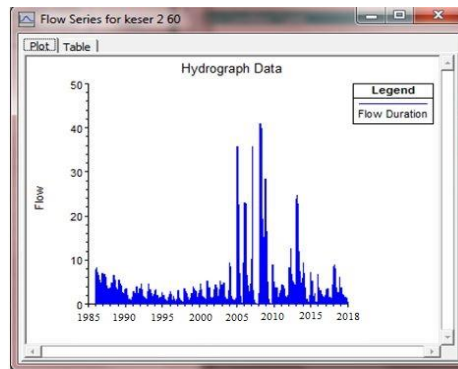
Data setiap *cross section* dimasukkan ke HEC-RAS dengan parameter lain yang dibutuhkan seperti jarak antar cross section, koefisien Manning, dan stuktur melintang sungai dalam hal ini adalah bendungan. Setelah semua data dimasukkan maka geometric data pada HEC-RAS akan tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Geometric Data pada *software* HEC-RAS.

1. Data Quasi-Unsteady Flow

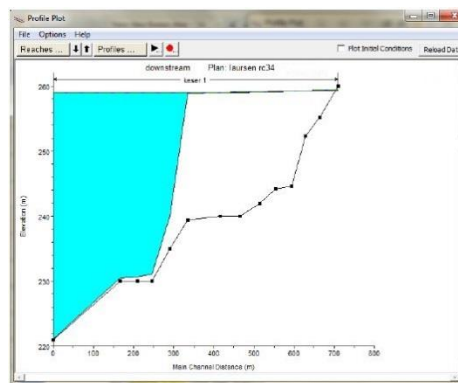
Data yang dimasukkan pada *flow series* merupakan data debit bulanan selama 34 tahun dari tahun 1985-2018 dengan *computation increment* setiap 24 jam (Gambar 6). Sedangkan kondisi batasan untuk daerah hulu diatur *normal depth*. Selain itu juga diperlukan data temperatur yang diasumsikan pada suhu normal 25°C.



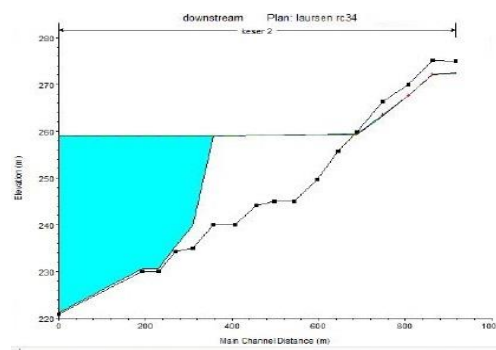
Gambar 6. Hydrograh Flow Series Data.

2. Data Sedimen

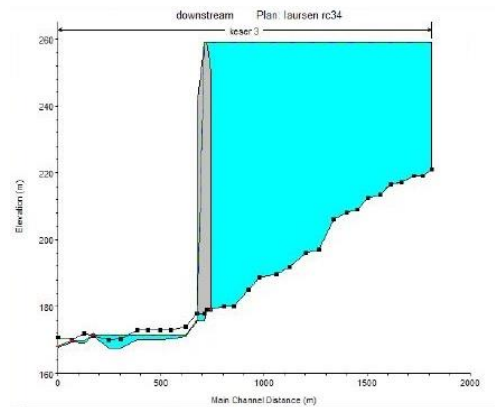
Data sedimen adalah data ukuran butiran (Gambar 7).



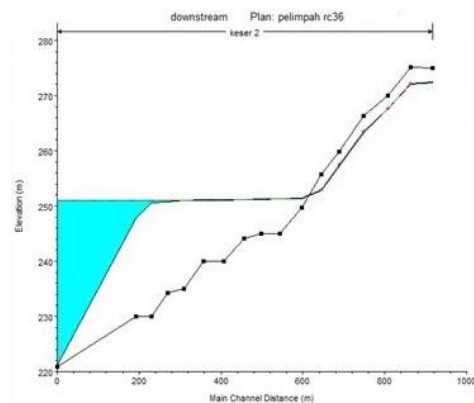
Gambar 7. Data ukuran butir sedimen.



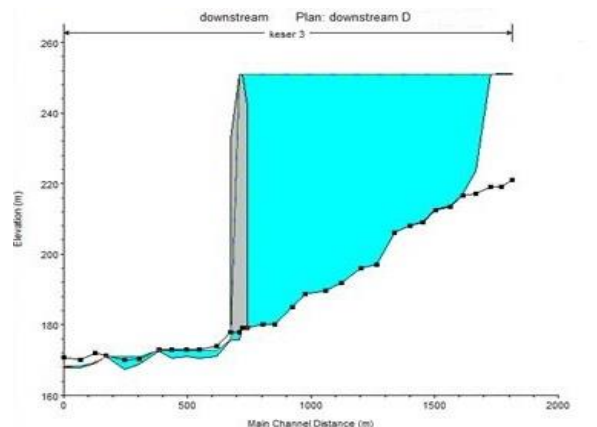
Gambar 8. Profile Plot *Reach* 1 pada tahun ke 34.



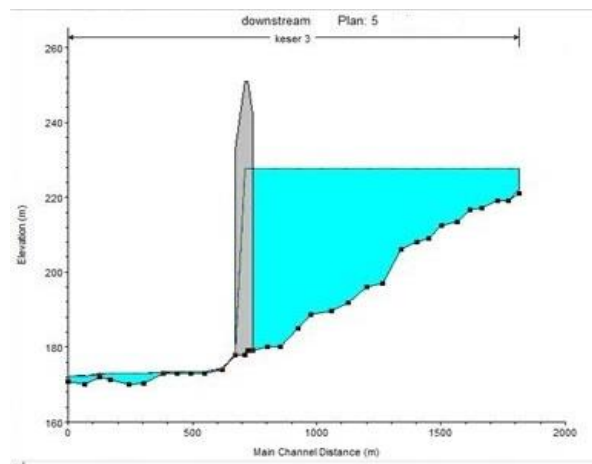
Gambar 9. Profile Plot *Reach 2* pada tahun ke 34.



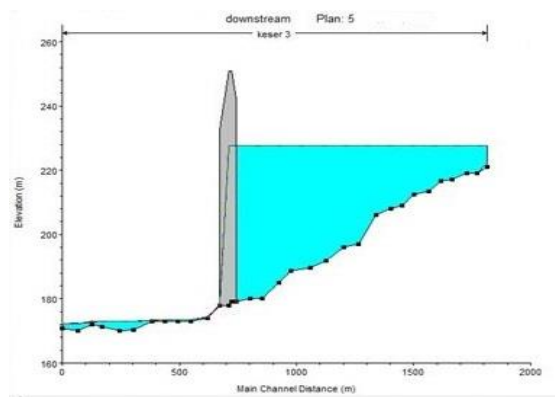
Gambar 10. Profile Plot *Reach 3* pada tahun ke 34.



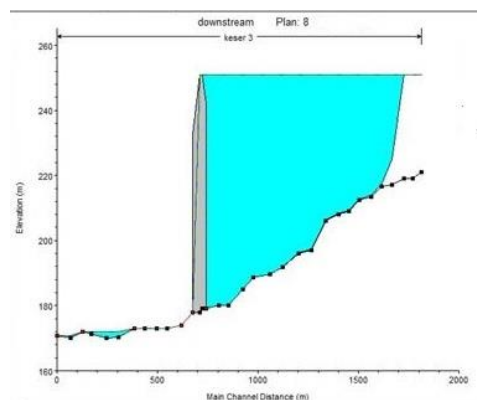
Gambar 11. Profile Plot *Reach 1* Tahun ke 34 Setelah Penambahan Pelimpah.



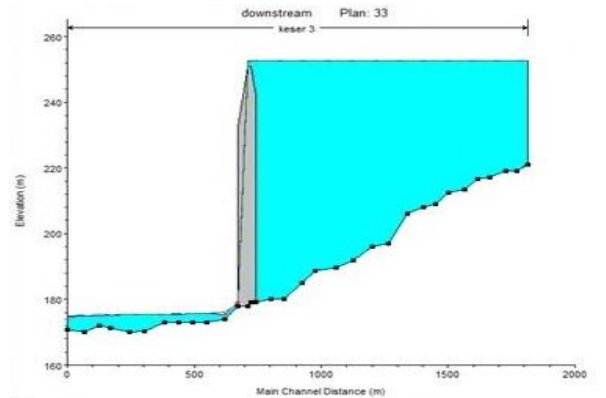
Gambar 12. Profile Plot *Reach 2* Tahun ke 34 Setelah Penambahan Pelimpah.



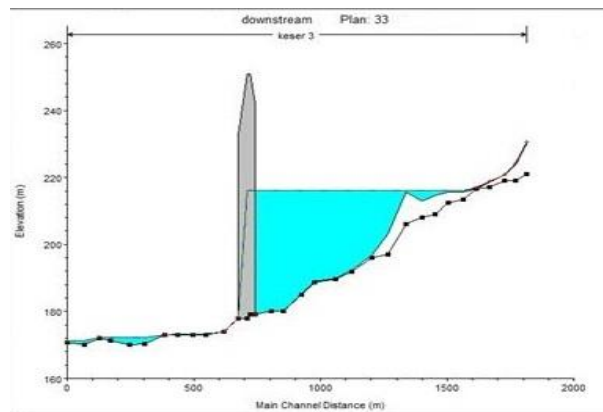
Gambar 13. Profile Plot *Reach 3* Tahun ke 34 Setelah Penambahan Pelimpah.



Gambar 14. Profile Plot tahun ke 34 dari Pemodelan Ketiga.



Gambar 15. Profile Plot Tahun ke-1 dari Pemodelan Keempat.



Gambar 16. Profile Plot Tahun ke-34 dari Pemodelan Keempat.

b. Output Running Sediment Analysis

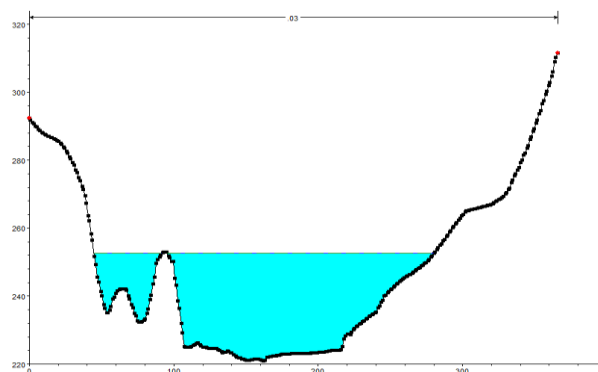
1. Pemodelan pertama terlihat sedimentasi yang terjadi hanya pada *reach* hulu, sedangkan pada *reach* bagian hilir (setelah percabangan) tidak terjadi sedimentasi. Hal ini dikarenakan kecepatan pada *reach* tersebut bernilai nol, sehingga tidak ada pula sedimentasi pada *reach* tersebut (Gambar 8-10).
2. Pada pemodelan kedua ini dimodelkan pelimpah dengan cara merubah elevasi tubuh bendungan sesuai elevasi ambang pelimpah yaitu +251,00 dan pada *station* sepanjang lebar ambang yaitu 22 meter dengan tujuan agar kecepatan di bagian hulu tersebut tidak bernilai nol, namun ternyata *output* yang terjadi masih sama dengan pemodelan pertama dimana tidak ada sedimentasi di *reach* hilir (Gambar 11-13)
3. Pemodelan ketiga dimodelkan dengan *reach* hilir saja, hal ini dengan maksud bahwa tidaknya adanya pada pemodelan sebelumnya dikarenakan percabangan yang ada. Hasil pemodelan ini tampak sedimen namun sangat kecil dan hanya pada bagian hulu, sedangkan pada bagian hilir yang dekat dengan bendungan tidak ada sedimentasi (Gambar 14).

4. Pemodelan keempat dimodelkan dengan penambahan saluran pengambilan berbentuk lingkaran dengan diameter 1 meter pada *station* bendungan. Penambahan saluran pengambilan ini dimodelkan dengan *input culvert* pada RS bendungan, dengan cara memilih menu *culvert* pada kotak editor *Inline Structure Data*. Pada *Sediment Data* juga dilakukan perubahan pada *Max Depth* menjadi 0 m. Pada pemodelan ini *input culvert* dimaksudkan agar ada kecepatan pada daerah hilir sehingga terjadi sedimentasi hingga bagian hilir. *Output* dari pemodelan ini tampak sedimentasi lebih ke hilir pada bagian sebelumnya namun pada *running* waktu pertama air waduk turun, sedangkan pada prinsipnya air waduk diisi dulu hingga penuh lalu kemudian dioperasikan (Gambar 15 dan Gambar 16)
5. Pemodelan kelima dengan memasukkan debit lateral pada *River Station* hulu bendungan yaitu *River Station* 13. Besar debit lateral yaitu besar debit pengambilan namun dengan tanda negatif, sebagai penanda pengganti saluran pengambilan yaitu -0,7 m³/dt. Sedangkan saluran pengambilan yang dimodelkan dengan *circular culvert* pada pemodelan sebelumnya tidak digunakan dalam pemodelan kelima ini (Gambar 17).
6. Pemodelan keenam dilakukan dengan memodelkan saluran pengambilan sebagaimana pemodelan keempat, namun yang membedakan adalah pada data *flow series* debit pertama diperbesar hingga 100 m³/detik. Hal ini dilakukan dengan asumsi air waduk diisi dulu sampai penuh baru dioperasikan. Sehingga model pada profil pertama berupa waduk yang penuh airnya. Pemodelan keenam di menghasilkan *output* yang tidak berbeda jauh dari pemodelan keempat, dimana sedimentasi terjadi hingga hampir di hulu bendungan (Gambar 18 dan Gambar 19) Pada pemodelan ini dipilih metode angkutan sedimen fungsi Laursen data variabel dari persamaan ini tersedia dan kondisi diameter sedimen yang ada sesuai dengan Laursen yang diperuntukkan untuk pasir halus sampai lanau.

c. Perhitungan Analitik

$$C_t = 0,01 \gamma \sum_i P_i \left(\frac{d_i}{D} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau'}{\tau_{ci}} - 1 \right) f \left(\frac{U_*}{\omega_i} \right)$$

$$\tau' = \frac{\rho V^2}{58} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{1/3}$$



Gambar 4. 62 Mencari Kecepatan Jatuh

Dengan penyederhanaan geometri sungai diasumsikan berbentuk trapesium dengan data sebagai berikut

Lebar sungai B = 145 m = 475,722 ft

Kemiringan tebing sungai = m = 1

Data lain dari Sungai Keser adalah sebagai berikut:

Ukuran partikel median = $d_{50} = 0.181 \text{ mm} = 1,81 \times 10^{-4} \text{ m} = 5,94 \text{ ft}$

Kemiringan = S = 0,00325

Rapat masa air = $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3 = 62,428 \text{ lb/ft}^3$

Rapat masa sedimen = $\rho_s = 2731 \text{ kg/m}^3 = 170,491 \text{ lb/ft}^3$

Temperatur = T = 25 C

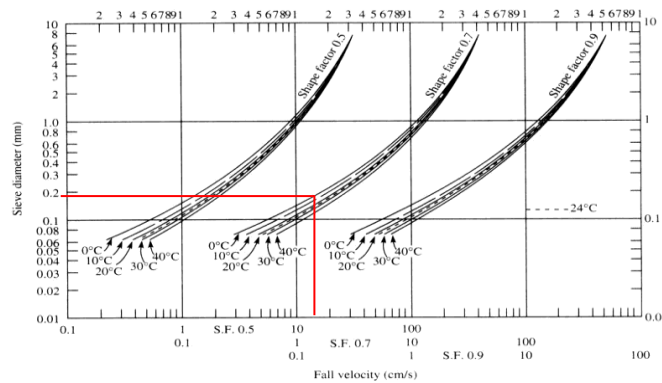
Viskositas kinematis = $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik} = 1,08 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{dt}$

Percepatan gravitasi = $g = 9,81 \text{ m/detik}^2 = 32,185 \text{ ft/dt}$

Debit = Q = 71.65 m³/dt = 2530,296

Hal yang perlu diperhatikan adalah dalam perhitungan analitik ini menggunakan satuan US *Customary*.

Kecepatan jatuh diperoleh dari grafik hubungan diameter butiran dengan kecepatan jatuh. Untuk diameter 0,181 mm, suhu air 25C, dan *shape factor* diasumsikan 0,7 karena pasir alami makadiperoleh kecepatan jatuh = $\omega = 27 \text{ cm/s} = 0,27 \text{ m/s} = 0,886 \text{ ft/s}$ sebagaimana ditunjukkan



Gambar 4. 62 Mencari Kecepatan Jatuh

Kedalaman rata-rata penampang diperoleh dari *trial and error* sehingga diperoleh nilai koefisien Manning sesuai dengan data yaitu 0,03. Koefisien Manning tersebut dihitung dengan persamaan

$$n = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{V}$$

Dimana

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + mh)h}{b + 2h\sqrt{m^2 + 1}}$$

dicoba nilai kedalaman rata-rata = D = h = 0.571 m = 1,874 ft

Luas penampang basah A = (b + mh)h

$$= (475,722 + 1 \times 1,874) \times 1,874 = 894,878 \text{ ft}^2$$

Keliling basah P = $b + 2h\sqrt{m^2 + 1}$

$$= 475,722 + 2 \times 1,874\sqrt{1^2 + 1} = 481,021 \text{ ft}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis, } R = \frac{A}{P} = \frac{849,878}{481,021} = 1,86 \text{ ft}$$

Nilai R yang mendekati nilai h menunjukkan bahwa saluran tergolong saluran lebar sekali (*wide channel*) yang jika lebar sungai 5 hingga 10 kali kedalaman airnya maka besar jari-jari hidrolisnya sama dengan kedalaman alirannya.

$$\text{Kecepatannya rata-rata, } V = \frac{Q}{A} = \frac{2530,269}{849,878} = 2,828 \text{ ft/s}$$

$$\text{Koefisien Manning } n = \frac{1,86^{2/3} \times 0,00325^{1/2}}{2,828} = 0,03 \text{ (OK)}$$

$$\text{Kecepatan Geser } U_* = \sqrt{g \cdot D \cdot S}$$

$$= \sqrt{32,185 \times 1,874 \times 0,00325} = 0,443 \text{ ft/s}$$

Angka Reynold

$$Re = \frac{U_* \cdot d_{50}}{\nu} = \frac{0,443 \times 5,94 \times 10^{-4}}{1,08 \times 10^{-5}} = 24,424$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan geser } \tau' &= \frac{\rho V^2}{58} \left(\frac{D_{50}}{D} \right)^{1/3} \\ &= \frac{62,428 \times 2,828^2}{58} \left(\frac{5,94 \times 10^{-4}}{1,874} \right)^{1/3} = 0,587 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

Tegangan geser kritis diperoleh dari diagram Shield dengan berdasarkan pada besar angka Reynold. Dari grafik tersebut terlebih dahulu didapatkan nilai *dimensionless shear stress* (), sehingga tegangan geser kritis dapat dihitung.

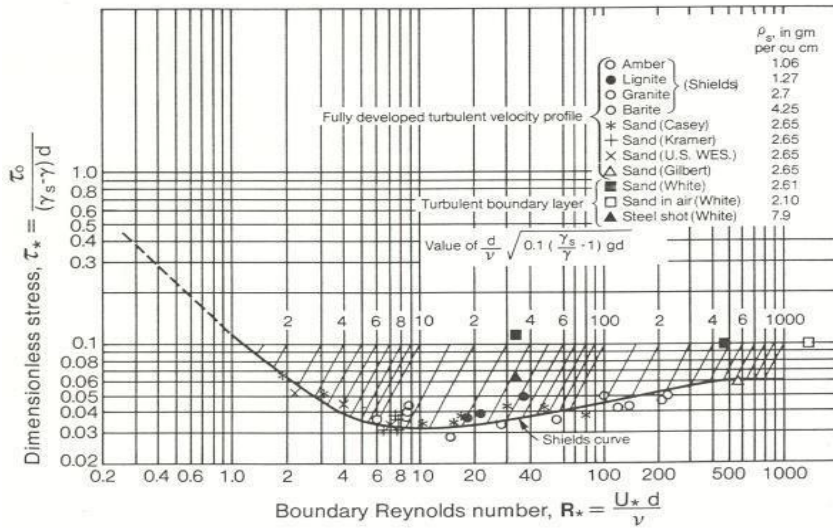
Untuk $Re = 24.424$ diperoleh besar $\tau_* = 0.035$ (Gambar 4.69), maka tegangan geser kritis

$$\tau_c = \tau_* (\gamma_s - \gamma) \cdot d_{50}$$

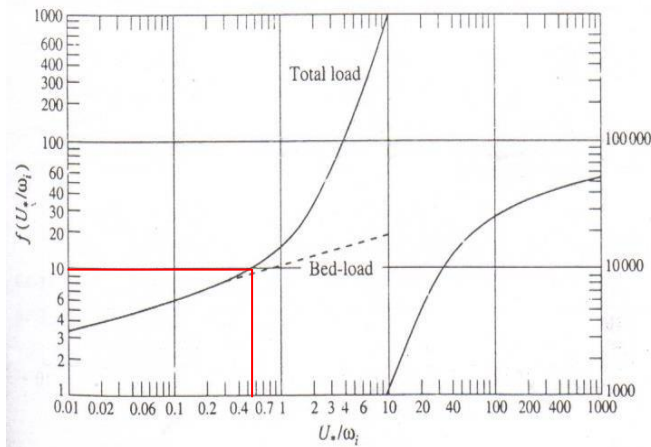
Parameter $f\left(\frac{U_*}{\omega_*}\right)$ di peroleh dari grafik hubungan dengan $\frac{U_*}{\omega_*}$

Dimana $\frac{U_*}{\omega_*} = \frac{0,443}{0,886} = 0,499$

maka dari gambar 4.70 diperoleh $f\left(\frac{U_*}{\omega_*}\right) = 10$



Gambar 4. 63 Mencari Tegangan Geser Kritis



Gambar 4. 64 Mencari nilai $f(U_*/\omega_i)$ pada Tahun 1976

Konsentrasi sedimen

$$C_t = 0,01 \gamma \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau'}{\tau_{ci}} - 1 \right) f \left(\frac{U_*}{\omega_i} \right)$$

$$C_t = 0,01 \times 61,248 \left(\frac{5,94 \times 10^{-4}}{1,478} \right)^{7/6} \left(\frac{0,687}{0,00225} - 1 \right) \times 10$$

$$= 0,138 \text{ lb/ft}^3$$

$$C_t = 0,138 \times 16,018 = 2,217 \text{ lb/ft}^3 = 2217 \text{ ppm}$$

Debit per satuan lebar penampang

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{71,65}{145} = 0,494 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

Debit muatan sedimen per satuan lebar penampang

$$qt = q \times C_t = 0,494 \times 2,217 = 1,096 \text{ kg/s/m}$$

Debit muatan sedimen

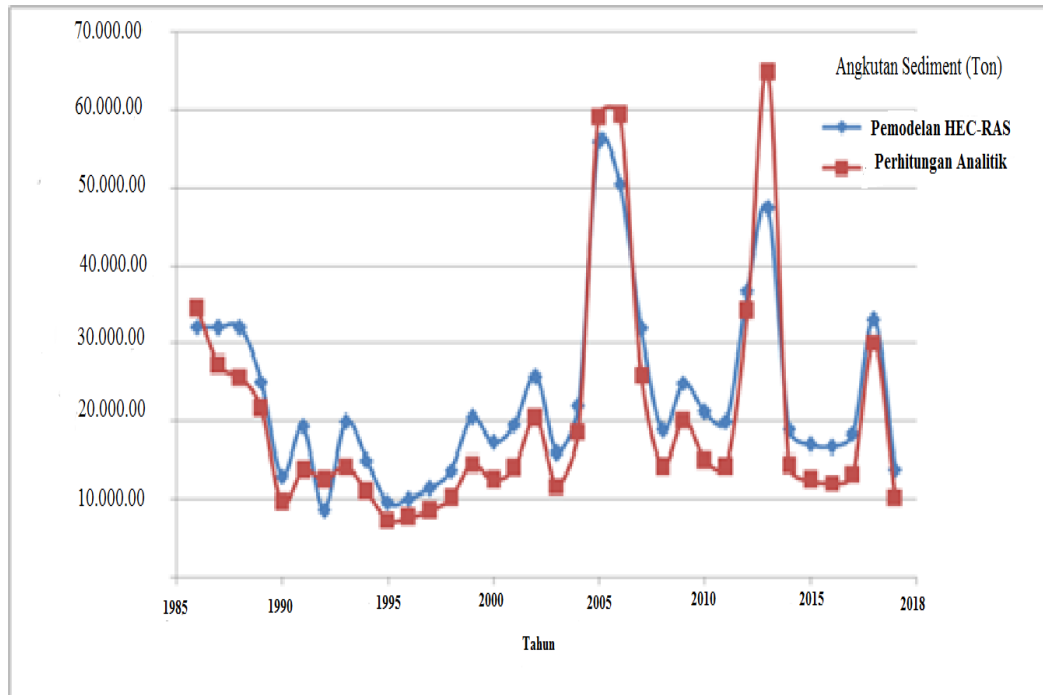
$$Qt = qt \times B = 1,096 \times 145 = 158,85 \text{ kg/s}$$

Perhitungan besar angkutan sedimen untuk setiap tahun yang lain dapat dilihat pada Lampiran Tabel 10. Berikut ini adalah tabel nilai angkutan sedimen dari pemodelan HEC-RAS dan hasil perhitungan analitik (Tabel 4.5)

Untuk memudahkan perbandingan dibuat grafik hubungan tahun dengan besar angkutan sedimen pada gambar 4.66 berikut

Tabel 4. 5 Perbandingan Angkutan Sedimen dalam ton

Tahun	Pemodelan HEC-RAS	Perhitungan Analitik	Tahun	Pemodelan HEC-RAS	Perhitungan Analitik
1985	32,155.11	34,548.14	2002	15,984.83	11,654.97
1986	32,072.08	27,268.98	2003	21,951.97	18,703.11
1987	32,122.00	25,692.63	2004	56,023.15	59,205.80
1988	25,131.88	21,686.00	2005	50,575.14	59,491.25
1989	12,987.67	9,557.29	2006	31,926.42	26,014.58
1990	19,329.06	13,795.08	2007	18,923.52	14,216.15
1991	8,593.45	12,473.53	2008	24,980.11	20,149.22
1992	19,932.01	14,272.05	2009	21,234.18	15,031.50
1993	15,036.31	10,990.13	2010	19,929.14	14,226.57
1994	9,501.15	7,263.92	2011	36,849.29	34,280.19
1995	10,036.71	7,604.86	2012	47,413.37	65,030.10
1996	11,416.59	8,508.96	2013	18,995.40	14,398.85
1997	13,707.39	10,121.84	2014	16,973.48	12,490.87
1998	20,503.68	14,569.09	2015	16,753.80	12,114.69
1999	17,269.35	12,473.53	2016	18,407.37	13,240.14
2000	19,567.64	14,104.56	2017	33,162.06	30,130.76
2001	25,821.65	20,329.45	2018	13,847.10	10,174.95



7. PENUTUP

a. Kesimpulan

- Besar angkutan sedimen hasil perhitungan analitik cenderung lebih kecil dibanding pemodelan HEC-RAS, dimana perkiraan besar laju sedimentasi dari metode pemodelan HEC-RAS sebesar 22.000 m³/th sedangkan laju sedimentasi hasil perhitungan analitik sebesar 19.400 m³/th.
- Pada output pemodelan HEC-RAS terlihat *sedimentasi* yang terjadi hanya pada *reach* hulu, sedangkan pada *reach* bagian hilir (setelah percabangan) tidak terjadi *sedimentasi*.
- Keterbatasan pemodelan angkutan sedimen menggunakan HEC-RAS antara lain:
 - a. Pemodelan ini merupakan analisis satu dimensi, yang artinya kecepatan aliran di satu penampang melintang merupakan kecepatan rata-rata, sedangkan kenyataannya dalam satu penampang melintang kecepatan aliran dapat berbeda-beda. Hal ini menyebabkan sedimentasi yang tergambarkan tidak sesuai dengan teori yang ada.
 - b. Diperlukannya data yang lebih lengkap dibanding jika menghitung secara analitik seperti data suhu air, data geometri, dan data hubungan debit dengan konsentrasi sedimen.

Kelebihan pemodelan angkutan sedimen menggunakan HEC-RAS antara lain:

- a. Memiliki tingkat akurasi yang baik terutama dari segi geometri sungai.
- b. Besar sedimentasi setiap waktunya dapat dilihat dengan jelas baik berupa gambar, grafik maupun tabel besarnya sedimentasi.
- c. Untuk menyimulasikan sedimentasi pada bendungan menggunakan

software HEC-RAS, apabila terdapat alternatif desain maka dapat disimulasikan dengan cepat.

b.saran

Dari kesimpulan diatas dapat diberikan saran terkait dengan prediksi laju sedimentasi pada Bendungan Tugu yaitu, Simulasi yang digunakan dengan HEC-RAS 5.03 merupakan pemodelan satu dimensi sehingga memiliki beberapa keterbatasan. Untuk hasil yang lebih maksimal pemodelan ini bisa dilanjutkan dengan *software* HEC- RAS maupun *software* lain yang menggunakan model 2 atau 3 dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

C. T. Yang, *Sediment Transport Theory and Practice*. New York, 1996.
Anggrahini, *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya, 1997.

Dep.PU Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, "Laporan Akhir Pekerjaan Proyek Pembangunan Bendungan Tugu," Trenggalek, 2010.

Dep.PU Dirjen Sumber Daya Air, "Pedoman Pengelolaan Sedimentasi Waduk," Jakarta, 2004.

Hydrologic Engineering Center, "HEC-RAS River Analysis System, Application Guide, Version 5.0, February 2016. U.S. Army Cormps of Engineers," Davis, 2016.