



PENENTUAN TINGKAT AKURASI BEBERAPA METODE PREDIKSI EFISIENSI TANGKAPAN (TRAP EFFICIENCY) SEDIMEN DI WADUK MRICA

PUJI UTOMO^{1*}, PRISCA FEBRIANI¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding author: ✉ puji.utomo@staff.uty.ac.id

Naskah diterima : 12 Mei 2021. Disetujui: 08 Agustus 2021

ABSTRAK

Sedimentasi waduk merupakan permasalahan global yang sangat penting dalam perencanaan waduk karena menyebabkan penurunan kapasitas tampungan waduk. Dalam menghitung sedimentasi waduk, biasanya meliputi sedimen yang masuk, sedimen yang keluar, dan endapan sedimen di dalam waduk, sehingga didapatkan imbalan sedimen yang terjadi. Namun dalam praktik di lapangan, tidak semua melakukan ketiga perhitungan tersebut, karena pertimbangan biaya pelaksanaan yang cukup mahal. Untuk mengatasi hal tersebut, perhitungan sedimentasi dilakukan dengan pendekatan konsep efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) sedimen. Selama ini pendekatan konsep ini didasarkan pada hasil penelitian di luar negeri dan tingkat akurasi masih belum optimal. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui tingkat akurasi dari beberapa metode prediksi efisiensi tangkapan sedimen. Penelitian ini dilakukan di Waduk Mrica, Kabupaten Banjarnegara. Data-data yang diperlukan berupa data sekunder, seperti: data debit *inflow*, data *rating curve* debit sedimen, data pengukuran *echosounding*, data analisa butiran sedimen dasar waduk, dan data teknis waduk. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, diantaranya: menghitung sedimen yang masuk, sedimen yang mengendap, efisiensi tangkapan, dan mendapatkan tingkat akurasi dari beberapa metode yang ditinjau. Kriteria statistik dari metode terpilih harus memiliki nilai korelasi $> 0,6$ dan *error* $< 20\%$. Imbalan sedimen di Waduk Mrica menunjukkan bahwa laju sedimen yang masuk sebesar 6,001 juta m^3 /tahun. Sedimen rerata yang mengendap sebesar 3,850 juta m^3 /tahun, sehingga sedimen yang dikeluarkan rerata sebesar 2,151 juta m^3 /tahun. Tingkat akurasi dari metode prediksi efisiensi tangkapan bervariasi dari sedang sampai kuat. Metode prediksi efisiensi tangkapan sedimen Brune, Harbor dkk, dan Jothiprakash dan Garg dianggap paling representatif untuk digunakan pada Waduk Mrica.

Kata kunci : Imbalan Sedimen, *Trap Efficiency*, Sedimentasi Waduk, Tingkat Akurasi, Waduk Mrica

1. PENDAHULUAN

Sedimentasi waduk merupakan permasalahan global yang sangat penting dalam perencanaan waduk karena menentukan keberlanjutan fungsi waduk. Sedimentasi merupakan hasil akumulasi material sedimen yang tererosi di lahan DAS sampai ke waduk

DOI : <https://doi.org/10.25077/jrs.17.3.248-258.2021>

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

dan mengalami pengendapan atau sedimentasi, baik pengendapan permanen maupun sementara. Sedimentasi waduk yang tidak terkendali akan sangat mempengaruhi unjuk kerja waduk, karena menyebabkan usia layanan waduk tidak sesuai dengan umur perencanaan. Banyak waduk di Pulau Jawa sendiri yang mengalami degradasi volume tampungan air akibat dari sedimen yang berasal dari erosi lahan, salah satunya Waduk Mrica. Menurut Utomo (2017) laju erosi lahan rerata tahunan di DAS Waduk Mrica mencapai 5,477 juta m³/tahun.

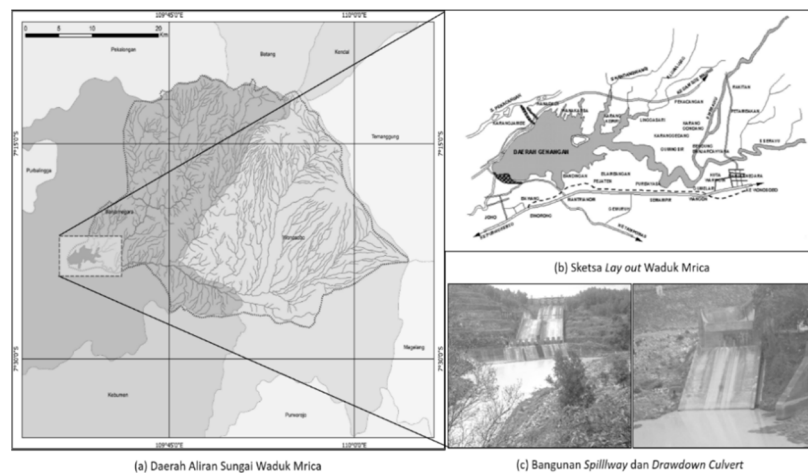
Hasil penelitian Febriani dan Utomo (2018) di Waduk Mrica sedimen yang masuk sebesar 6,543 juta m³/tahun dan volume sedimen yang mengendap sebesar 3,955 m³/tahun. Widarto (2017) menyatakan proses sedimentasi yang masuk ke Waduk Mrica rata-rata 4,2 juta m³/tahun dengan timbunan sedimen 106,3 m³ atau 71% dari kapasitas tampungan mati. Drajiati dan Utomo (2018) sedimen yang masuk sebesar 5,869 juta m³/tahun, laju sedimentasi sebesar 4,097 juta m³/tahun, sehingga sedimen yang dikeluarkan sebesar 1,772 juta m³/tahun. Hasil studi Perum Jasa Tirta I (2015) umur layanan Waduk Mrica diprediksikan akan berakhir pada tahun 2022 jika tanpa ada pengelolaan sedimentasi.

Dalam perhitungan sedimentasi, biasanya meliputi debit sedimen masuk (*sediment inflow*), debit sedimen keluar (*sediment outflow*) dan endapan sedimen di dalam waduk (*sediment deposited*). Selanjutnya dapat ditentukan imbalanced sedimen (*sediment balance*), yaitu masukan dan keluaran sedimen di waduk pada periode tertentu. Namun dalam praktik di lapangan, tidak semua pengelola waduk melakukan ketiga analisis tersebut dalam satu periode tertentu, karena pertimbangan biaya pelaksanaan yang cukup mahal. Untuk mengatasi hal tersebut, analisis sedimentasi di waduk dapat dilakukan dengan pendekatan efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) sedimen dari suatu waduk.

Efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) sedimen sebuah waduk didefinisikan sebagai persentase dari total sedimen yang mengendap di dalam waduk terhadap sedimen yang masuk ke waduk. Selama ini pendekatan konsep ini didasarkan pada hasil penelitian di luar negeri, seperti Brown (1944), Churchill (1948), Brune (1953), Dendy (1974), Gill (1979), Heinmann (1981), Harbor et al (1997), Siyam (2000), Verstraeten dan Poesen (2000), dan Jothiprakash dan Garg (2008). Di Indonesia, sepengetahuan penulis hanya penelitian Susilo (2001) yang mengkaji tingkat akurasi dan melakukan modifikasi terhadap metode prediksi Brown (1944), Churchill (1947), Brune (1953) dengan menggunakan data dari 13 waduk yang ada di Pulau Jawa. Dari semua metode prediksi efisiensi tangkapan sedimen waduk yang dianalisis oleh Susilo (2001), metode Brune yang telah dimodifikasi adalah metode terbaik. Oleh karena itu, masih dimungkinkan untuk melakukan penelitian untuk melihat tingkat akurasi dari beberapa metode efisiensi tangkapan sedimen. Diharapkan dengan penelitian ini, dapat digunakan sebagai acuan oleh pihak pengelola waduk dalam pengambilan kebijakan dan strategi pengelolaan sedimentasi di waduk.

2. METODE PENELITIAN

Waduk Mrica dibangun pada tahun 1983 dan mulai beroperasi pada tahun 1988. Lokasi keberadaan Waduk Mrica ditunjukkan pada **Gambar 1**. Secara geografis, terletak pada posisi 7° LS dan 110° BT. Secara administratif, Waduk Mrica terletak di Kecamatan Bawang, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. Waduk Mrica merupakan waduk buatan yang dibangun dengan membendung sungai Serayu pada DAS Serayu Bogowonto. Daerah tangkapan air Waduk Mrica luasnya mencapai 957 km² dan kapasitas tampungan sebesar 193,5 juta m³.



Gambar 1. Lokasi Waduk Mrica (Utomo, 2018)

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari berbagai instansi, seperti : Data debit *inflow* tahun 2001 - 2015, data *rating curve* debit sedimen, data pengukuran *echosounding* tahun 2001 - 2015, data analisa butiran sedimen dasar waduk, data teknis waduk, dan data dokumen/laporan pendukung terkait studi terdahulu di Waduk Mrica. Setelah meninjau ulang penelitian terdahulu dan pengumpulan data, maka selanjutnya dilakukan pengolahan data. Tahapan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Menghitung volume sedimen yang masuk

Besaran volume sedimen yang masuk per tahun merupakan total dari volume sedimen melayang (*suspended load*) dan sedimen muatan dasar (*bed load*). Besaran debit sedimen melayang (*suspended load*) didapatkan dari hasil *rating curve* debit sedimen. Besaran debit sedimen muatan dasar (*bed load*) melalui pendekatan rumus empirik dari Meyer-Petter-Muller (1948). Hasil *rating curve* debit sedimen di tiga sungai utama dari PT. Indonesia Power adalah sebagai berikut:

$$\text{Sungai Serayu} \quad : Q_s = 0,756 \times Q_w^{2,084} \quad (1)$$

$$\text{Sungai Merawu} \quad : Q_s = 26,525 \times Q_w^{1,745} \quad (2)$$

$$\text{Sungai Lumajang} \quad : Q_s = 11,7372 \times Q_w^{2,8864} \quad (3)$$

dimana, Q_s adalah angkutan sedimen sungai (kg/s) dan Q_w adalah debit sungai (m^3/s)

Perhitungan sedimen dasar (*bed load*) dihitung melalui pendekatan rumus empirik dari Meyer-Petter-Muller (1948), sebagaimana disajikan sebagai berikut:

$$Q_b^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{\gamma_w \left(\frac{K_s}{K_r} \right)^{\frac{3}{2}} RS - 0,047 (\gamma_s - \gamma_w) d}{0,25 \left(\frac{\gamma_w}{g} \right)^{\frac{1}{3}}} \right) \div \frac{1}{(\gamma_s - \gamma_w) (1-e)} L \quad (4)$$

dimana Q_b adalah debit sedimen dasar (m^3/s), γ_w adalah berat jenis air (ton/m^3), γ_s adalah berat jenis sedimen (ton/m^3), R adalah jari-jari hidraulik (m), S adalah kemiringan dasar

sungai, d adalah diameter media $d_{50} - d_{60}$ (m), g adalah percepatan gravitasi m/s^2 , e adalah angka pori, K_s/K_r adalah *ripple factor*, dan L adalah lebar sungai (m). Parameter yang digunakan dalam rumus Meyer Peter and Muller (1948) menggunakan data sekunder sebagaimana penelitian dari Setiawan (2011), diantaranya: ρ_s sebesar 1000 kg/m^3 , ρ_w sebesar 2595 kg/m^3 , nilai K_s/K_r dianggap 1, *slope* (S) sebesar 0,005, d_{50} sebesar 0,002 m, d_{90} sebesar 0,009 m, *void ratio* sebesar 0,49, dan g sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$. Lebar dari masing – masing sungai adalah S. Serayu sebesar 25 m, S. Merawu sebesar 15 m, dan S. Lumajang sebesar 6 m.

Menghitung volume sedimen yang mengendap

Besaran volume sedimen yang mengendap per tahun di waduk didapatkan berdasarkan data sekunder dari hasil pengukuran dengan metode *echosounding*. Pengukuran *echosounding* akan menghasilkan kapasitas tampungan dan laju endapan sedimen per tahun. Pemeruman dilakukan dengan menggunakan alat *echosounder*.

Menghitung efisiensi tangkapan sedimen dengan data lapangan

Besarnya nilai efisiensi (*trap efficiency*) didapatkan dengan dua cara, yaitu melalui data lapangan dan persamaan empirik. Berdasarkan data lapangan, nilai *trap efficiency* (TE) didapatkan dengan cara membagi sedimen yang mengendap dengan volume sedimen yang masuk, sebagaimana disajikan dengan rumus berikut.

$$TE_{obs} = \frac{D_s}{V_s} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

- TE_{obs} : efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) terukur (%)
- D_s : sedimen total yang mengendap di waduk (m³)
- V_s : sedimen total yang masuk ke waduk (m³)

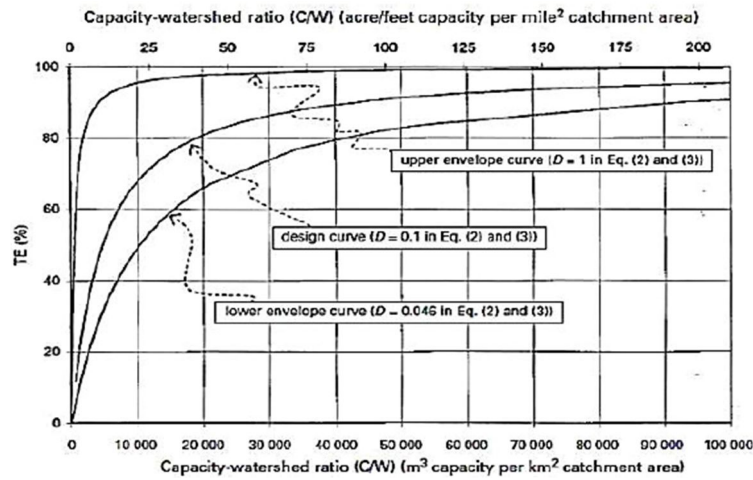
Perhitungan nilai TE juga dilakukan berdasarkan persamaan empirik, diantaranya: Brown (1943), Churchill (1948), Brune (1953), Harbor et al (1997), dan Jothiprakash and Garg (2008), sebagaimana diuraikan sebagai berikut.

Menghitung efisiensi tangkapan sedimen dengan metode Brown

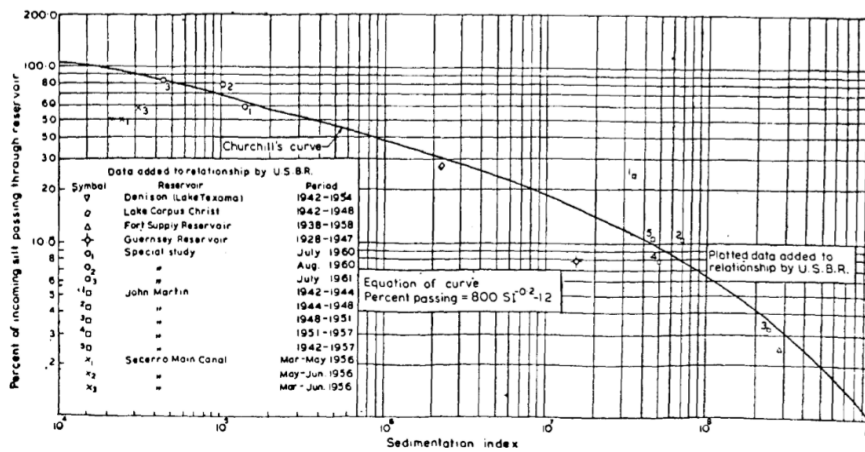
Menurut Brown (1944), nilai efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) merupakan perbandingan antara rasio kapasitas tampungan dengan luas DAS sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2** grafik hubungan C/W dengan efisiensi tangkapan.

Menghitung efisiensi tangkapan sedimen dengan metode Churchill

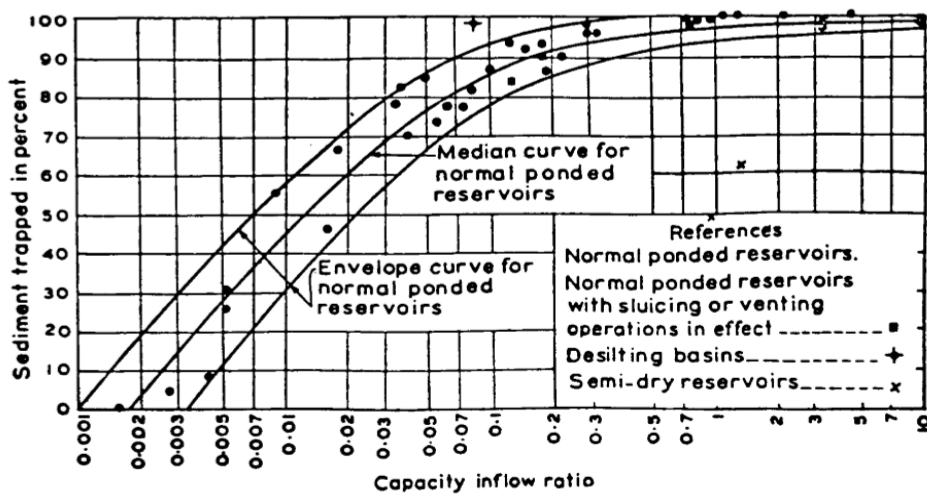
Churchill (1948) mengembangkan hubungan antara efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) dan *indeks sediment* waduk sebagaimana terlihat pada **Gambar 3**. *Indeks Sediment* (SI) adalah perbandingan antara waktu retensi dengan kecepatan rerata waduk.



Gambar 2. Brown's trap efficiency Curve (Brown, 1944)



Gambar 3. Churchill's (1948) trap efficiency curve (Churchill, 1948)



Gambar 4. Brune's Trap Efficiency Curve (Brune, 1953)

Menghitung efisiensi tangkapan sedimen dengan metode Brune

Metode Brune dapat dilakukan dengan nomogram hubungan antara nilai efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) dengan perbandingan antara kapasitas tampungan waduk dan *inflow* rerata tahunan sebagaimana terlihat pada **Gambar 4**.

Menghitung efisiensi tangkapan sedimen dengan metode Harbor dkk

Harbor dkk (1997) melakukan studi eksperimental terkait sedimentasi waduk dan mengembangkan persamaan empirik sebagai berikut:

$$TE = -2 + \left(\frac{119,2 \left(\frac{C}{I} \right)}{0,012 + 1,02 \left(\frac{C}{I} \right)} \right) \quad (6)$$

dimana C adalah kapasitas tampungan waduk (m³) dan I adalah *inflow* rerata tahunan (m³)

Menghitung efisiensi tangkapan sedimen dengan metode Jothiprakash & Garg

Jothiprakash and Garg (2008) menemukan persamaan empirik lain yang diturunkan dari kurva Brune untuk *medium sediment* untuk menentukan nilai *trap efficiency* sebagaimana disajikan sebagai berikut.

$$TE = \frac{\left(\frac{C}{I} \right)}{0,00013 + 0,01 \left(\frac{C}{I} \right) + 0,0000166 \sqrt{\frac{C}{I}}} \quad (7)$$

Hasil simulasi dari beberapa metode estimasi nilai efisiensi tangkapan selanjutnya dievaluasi untuk mengetahui manakah yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan tingkat kesalahan (*error*) yang paling kecil. Evaluasi metode *trap efficiency* dilakukan dengan metode statistik, seperti: korelasi (R), *Relative Mean Error* (RME), dan *Root of Mean Square Error* (RMSE) sebagaimana disajikan pada persamaan berikut.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n TE_{cal_i} \times TE_{obs_i}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n TE_{cal_i}^2 \times TE_{obs_i}^2 \right)}} \quad (8)$$

$$RME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(TE_{obs_i} - TE_{cal_i})}{TE_{obs_i}} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (TE_{obs_i} - TE_{cal_i})^2} \quad (10)$$

Dimana TE_{obs} adalah nilai *trap efficiency* terukur dari data lapangan dan TE_{cal} adalah nilai *trap efficiency* dari persamaan empirik. Tingkat akurasi dari metode dapat diketahui

berdasarkan dari nilai korelasi dan tingkat kesalahan (*error*) dengan digolongkan berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria tingkat akurasi dari metode

No.	Nilai Korelasi	<i>Error</i> (%)	Keterangan
1	0,00 – 0,19	80-100	Sangat Lemah
2	0,2 – 0,39	60-79	Lemah
3	0,4 – 0,59	40-59	Sedang
4	0,6 – 0,79	20-39	Kuat
5	0,8 – 1,0	0-19	Sangat Kuat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sedimen yang masuk (*sediment inflow*) ke Waduk Mrica diprediksi melalui pendekatan angkutan sedimen di sungai. Debit sedimen total yang masuk ke waduk (*total load*) merupakan jumlah dari angkutan sedimen layang (*suspended load*) dan angkutan sedimen dasar (*bed load*). Sedimen layang (*suspended load*) menggunakan data hasil *rating curve* debit sedimen pada tiga sungai utama yang bermuara ke waduk dari PT. Indonesia Power. Perhitungan sedimen atau muatan dasar (*bed load*) dihitung melalui pendekatan rumus empirik angkutan sedimen dari Meyer Peter and Muller (1948), karena merupakan salah satu rumus empirik yang masih populer digunakan secara luas. Besaran volume sedimen yang mengendap per tahun di waduk didapatkan berdasarkan data sekunder dari hasil pengukuran dengan metode *echosounding* dari PT. Indonesia Power (2015). Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) terukur dari data lapangan melalui persentase perbandingan antara sedimen total yang mengendap dalam waduk terhadap sedimen yang masuk waduk. Rekapitulasi hasil analisis sedimen yang masuk, mengendap, dan nilai efisien tangkapan sedimen dari data terukur disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil analisis efisien tangkapan dari data terukur

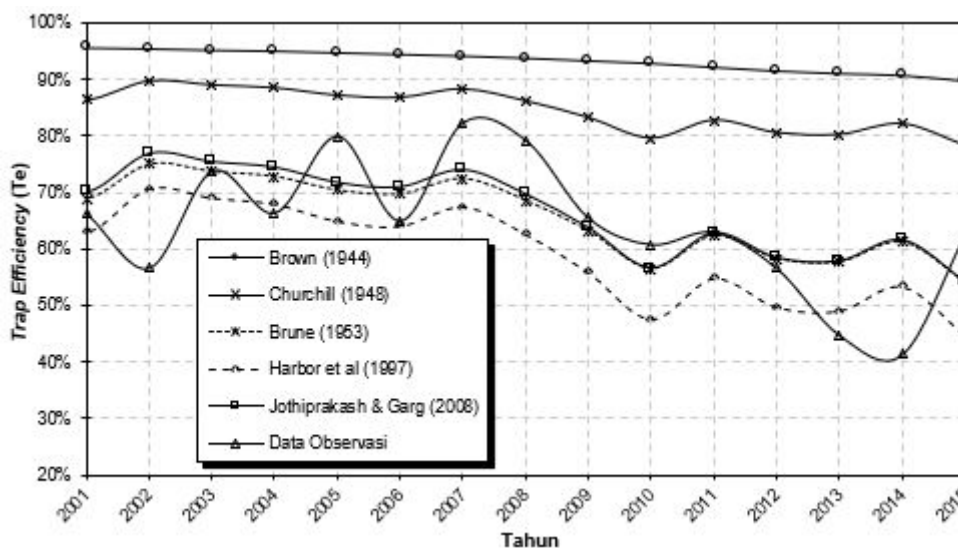
Tahun	V_s <i>Suspended Load</i> (m ³)	V_s <i>Bed Load</i> (m ³)	V_s <i>Total Load</i> (m ³)	D_s (m ³)	V_{out} (m ³)	TE _{obs}
2001	3015414	2093316	5108730	3381701	1727029	66,19%
2002	3642203	2573254	6215457	3523077	2692380	56,68%
2003	3522583	2489704	6012286	4435166	1577120	73,77%
2004	2566661	1794707	4361368	2895168	1466200	66,38%
2005	3401713	2388766	5790479	4627772	1162707	79,92%
2006	3606908	2537740	6144648	3992261	2152387	64,97%
2007	2712362	1870354	4582716	3772284	810432	82,32%
2008	3195472	2235481	5430953	4299048	1131905	79,16%
2009	4269451	3011062	7280512	4763895	2516617	65,43%
2010	3918220	2752336	6670556	4054992	2615564	60,79%
2011	4943958	3501644	8445602	5318774	3126828	62,98%
2012	4294886	3023770	7318656	4141775	3176881	56,59%
2013	3257763	2278834	5536597	2480956	3055641	44,81%
2014	2448717	1679654	4128371	1707932	2420439	41,37%
2015	4099641	2882388	6982029	4355431	2626598	62,38%
Laju rerata /tahun			6000597	3850015	2150582	64,25%

Hasil analisis total sedimen rerata tahunan yang masuk (V_s) ke waduk mencapai sebesar 6,001 juta m³/tahun. Sementara laju sedimentasi (D_s) rerata tahunan mencapai 3,850 juta m³/tahun. Hasil analisis menunjukkan bahwa sedimen yang keluar (V_{out}) dari waduk bervariasi antara 800 ribu – 3 juta m³/tahun. Sedimen yang dapat dikeluarkan terbesar

mencapai 3,177 juta m³/tahun pada tahun 2012 dan terkecil sebesar 810 ribu m³/tahun pada tahun 2007. Total sedimen rerata yang dapat dikeluarkan dari waduk sebesar 2,151 juta m³/tahun. Dari hasil analisis nilai TE_{obs} bervariasi antara 41,37% - 82,32%. Kondisi ini disebabkan karena pengelolaan sedimentasi di Waduk Mrica belum dilakukan secara berkesinambungan. Pada kondisi tertentu besarnya nilai TE_{obs} bisa mencapai 82,32% pada tahun 2007, tetapi ada juga nilai TE_{obs} yang sekitar 41,37% pada tahun 2014. Nilai TE_{obs} rerata dari data lapangan mencapai 64,25 %.

Dalam penelitian ini, besarnya nilai TE_{obs} dibandingkan dengan TE_{cal} dari berbagai persamaan empirik, diantaranya: Brown (1944), Churchill (1948), Brune (1953), Harbor dkk (1997), dan Jothiprakash and Garg (2008). Pemilihan persamaan empirik ini sendiri didasarkan pada kemudahan dan kepraktisan. Hasil analisis besarnya nilai TE_{cal} dari berbagai rumus empirik disajikan dalam Gambar 5.

Dari **Gambar 5** menunjukkan bahwa kecenderungan (*trend*) nilai *trap efficiency* waduk semakin menurun dari tahun ke tahun sebanding dengan penurunan kapasitas tampungan waduk. Berdasarkan nilai TE_{cal} (Brown) menunjukkan nilainya berkisar antara 90 - 100 %. Nilai TE_{cal} (Churchill) berkisar antara 80 - 90 %. Adapun nilai TE_{cal} (Brune) dan TE_{cal} (Jothiprakash and Garg) menunjukkan hasil yang hampir sama nilainya dan berkisar antara 60 - 80 %. Adapapun nilai TE_{cal} (Harbor dkk) menunjukkan hasil yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan yang lain dan berkisar antara 50 - 75%. Berdasarkan TE_{cal} (Churchil), TE_{cal} (Brune), TE_{cal} (Harbor dkk), dan TE_{cal} (Jothiprakash and Garg) memiliki pola yang bergelombang. Hal ini kemungkinan karena tidak adanya pengelolaan sedimentasi secara berkesinambungan. Sementara nilai TE_{cal} (Brown) relatif memiliki pola garis lurus (linier) dan nilainya semakin kecil. Dari masing-masing persamaan empirik, terlihat bahwa pada tahun 2015 memiliki nilai TE_{cal} paling kecil.



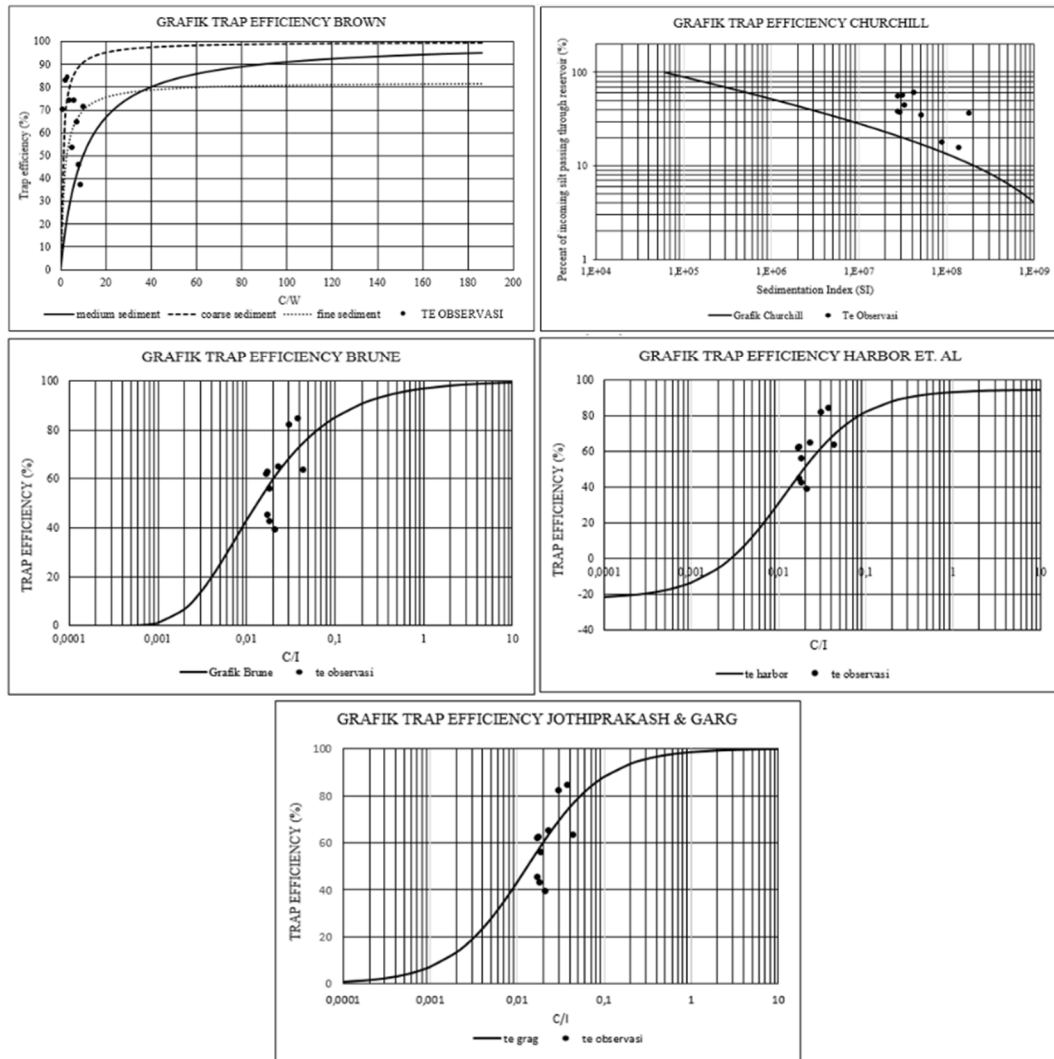
Gambar 5. Nilai TE_{cal} dari berbagai persamaan empirik

Hasil simulasi dari beberapa metode estimasi nilai efisiensi tangkapan selanjutnya dievaluasi untuk mengetahui metode manakah yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan tingkat kesalahan (*error*) yang paling kecil. Evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan 3 kriteria statistik, yaitu: nilai korelasi, RME, dan RMSE dan hasilnya sebagaimana disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Evaluasi dari metode TEcal dari persamaan empirik

No.	Metode	Nilai Korelasi	RME (%)	RMSE (%)	Keterangan
1.	Brown	0,407	50,434	30,820	Sedang
2.	Churchill	0,536	36,088	22,536	Sedang
3.	Brune	0,646	13,638	9,522	Kuat
4.	Harbor et al	0,647	15,755	10,951	Kuat
5.	Jothiprakash dan Garg	0,647	13,976	9,735	Kuat

Nilai korelasi yang berada pada rentang 0 sampai 1 menunjukkan bahwa metode dapat diterima, tetapi perlu dilihat seberapa kuat hubungannya. Metode Brown yang memiliki nilai korelasi sebesar 0,407, memiliki hubungan sedang terhadap nilai TE_{obs} dari data lapangan. Metode yang paling memiliki nilai korelasi tinggi terdapat pada metode Harbor dkk, Brune, dan Jothiprakash dan Garg sebesar 0,647. Hasil perhitungan korelasi belum cukup untuk digunakan dasar dalam menentukan metode yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Semua metode memiliki korelasi yang cukup terhadap nilai efisiensi tangkapan dari data lapangan. Evaluasi dapat dilakukan menggunakan grafik perbandingan nilai TE_{obs} pada grafik metode yang digunakan, seperti disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Grafik perbandingan metode efisiensi tangkapan sedimen

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai TE_{obs} tidak berada di garis metode TE_{cal} yang telah ditentukan untuk metode Brown dan Churchill. Metode ini memang memiliki korelasi sedang, tetapi tidak dapat mewakili nilai TE_{obs} karena nilainya tidak berada digaris TE_{cal} metode. Gambar 6 juga menunjukkan bahwa nilai TE_{obs} berada di sekitar garis TE_{cal} dari metode Brune, Harbor dkk, dan Jothiprakash & Grag. Selain itu metode TE_{cal} Brune, Harbor dkk, dan Jothipraash & Grag dari perhitungan korelasi maupun evaluasi menggunakan grafik metode juga menunjukkan bahwa korelasinya kuat.

Sementara dari hasil evaluasi menggunakan RME dan RMSE (Tabel 3.) bahwa semakin kecil nilai RME dan RMSE, maka metode tersebut akan semakin baik. Hasil analisis didapatkan metode Brown memiliki nilai RME dan RMSE terbesar, yaitu 50,434% dan 30,820%. Kondisi ini menunjukkan bahwa metode ini memiliki tingkat kesalahan yang paling besar daripada metode lainnya. Metode yang memiliki nilai RME dan RMSE yang tekecil adalah metode Brune sebesar 13,638% dengan nilai RMSE sebesar 9,522%.

Evaluasi metode ini menunjukkan berdasarkan nilai R, RME, dan RMSE dapat diketahui bahwa metode yang memiliki tingkat akurasi kuat yaitu, metode Brune, Harbor dkk, dan Jothiprakash & Grag sementara tingkat akurasi dari metode Brown dan Churchill dalam kriteria sedang. Oleh karena itu, metode estimasi nilai efisiensi tangkapan (TE_{cal}) Brune, Harbor et al, dan Jotihprakash dan Garg dianggap paling representatif untuk digunakan pada Waduk Mrica. Kondisi ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Susilo (2001) pada 13 waduk yang ada di Pulau Jawa, dimana metode Brune (1953) yang telah dimodifikasi adalah metode terbaik untuk prediksi efisiensi tangkapan sedimen waduk dibandingkan dengan metode prediksi Brown (1944) dan Churchill (1947).

4. KESIMPULAN

Imbangan sedimen pada Waduk Mrica menunjukkan bahwa laju sedimen yang masuk sebesar 6,001 juta m^3 /tahun. Sedimen rerata yang mengendap di waduk sebesar 3,850 juta m^3 /tahun, sehingga sedimen yang dikeluarkan rerata sebesar 2,151 juta m^3 /tahun. Tingkat akurasi dari metode efisiensi tangkapan bervariasi dari sedang sampai kuat. Kecenderungan (*trend*) nilai *trap efficiency* waduk semakin menurun dari tahun ke tahun sebanding dengan penurunan kapasitas tampungan waduk. Hasil evaluasi metode estimasi nilai efisiensi tangkapan sedimen menunjukkan metode Brune, Harbor dkk, dan Jotihprakash and Garg dianggap paling representatif untuk digunakan pada Waduk Mrica dengan nilai korelasi (R) > 0,6, RME < 20%, dan RMSE < 20%. Diharapkan dengan penelitian ini, dapat digunakan sebagai acuan oleh pihak pengelola waduk untuk mengestimasi imbangan sedimen melalui pendekatan konsep efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) sedimen, tanpa pelaksanaan di lapangan karena pertimbangan biaya pelaksanaan yang cukup mahal. Selanjutnya diharapkan ada penelitian lanjutan dengan cara memodifikasi metode sehingga didapatkan metode baru yang dikembangkan, dengan studi kasus beberapa waduk di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, C. B. (1944). Discussion of Sedimentation in Reservoirs. *Trans. Am. Geophysical Union*, 34(3), 407-418.
- Brune, G. M. (1953). Trap Efficiency of Reservoirs. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 1493-1500.
- Churchill, M. A. (1948). Discussion of "Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data". In L. C. Gottschalk (Ed.), *Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference* (pp. 139-140).
- Dendy, F. E. (1974). Sediment trap efficiency of small reservoirs. *Transactions of the ASAE*, 17(5), 898-901.

- Drajati, C. S. E., & Utomo, P. (2018). Kajian Imbangan Sedimen di Waduk Mrica Kabupaten Banjarnegara Provinsi Jawa Tengah. *Civil Engineering and Environmental Symposium 2018*.
- Febriani, P., & Utomo, P. (2018). *Kajian Tingkat Akurasi Model Efisiensi Tampungan (Trap Efficiency) Sedimen Di Waduk Mrica Jawa Tengah*. University of Technology Yogyakarta.
- Garg, V., & Jothiprakash, V. (2008). Estimation of useful life of a reservoir using sediment trap efficiency. *Journal of Spatial Hydrology*, 8(2).
- Gill, M. A. (1979). Sedimentation and useful life of reservoirs. *Journal of Hydrology*, 44(1-2), 89-95.
- Harbor, J., Bhaduri, B., Angelakis, L., & Snyder, J. (1997). Sediment basins, using modified stormwater management basins and sediment basins to reduce water pollution from construction sites in Ohio. *Dept. of Geology, Kent State Univ., Kent, Ohio*.
- Heinemarm, H. G. (1981). A new sediment trap efficiency curve for small reservoirs 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 17(5), 825-830.
- Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. *IAHSR 2nd Meeting, Stockholm, Appendix 2*.
- Perum Jasa Tirta 1. (2015). *Roadmap Pengelolaan Sedimentasi Waduk Mrica, Wadaslintang, Sempor di Wilayah Sungai Serayu Bogowonto*.
- PT. Indonesia Power. (2015). *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Soedirman 2014*. Unit Bisnis Pembangunan Mrica.
- Siyam, A. M. (2000). *Reservoir sedimentation control*. University of Bristol.
- Susilo, E. (2001). *Kajian Efisiensi Tangkapan Sedimen pada Beberapa Waduk di Jawa*. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Utomo, P. (2017). Mrica Reservoir sedimentation: current situation and future necessary management. *Journal of the Civil Engineering Forum Vol, 3(2)*.
- Verstraeten, G., & Poesen, J. (2000). Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield. *Progress in Physical Geography*, 24(2), 219-251.
- Widarto, O. L. I. (2017). *Kajian Erosi Lahan Di Daerah Tangkapan Waduk Panglima Besar Soedirman Dan Analisis Sedimentasi*. Universitas Gadjah Mada.