

Angkutan Sedimen Total Saluran Pembawa Embung Rawasari menggunakan Metode Empiris dan Software HEC-RAS 6.0

Aswar Amiruddin*¹, Refina Fatriza², Rahmat Faizal³

^{1,2,3}Universitas Borneo Tarakan, Jl. Amal Lama No. 1 Kota Tarakan, Kalimantan Utara
e-mail: *aswaramir89@borneo.ac.id, refinafatriza@gmail.com, rahmatfaizal@borneo.ac.id

Abstract

The need for water will continue to increase, while the availability of water is limited; therefore, the provision of water must be pursued both by the government and independently. Rawasari Reservoir is one of the reservoirs in Tarakan City with a relatively stable volume and an effective storage capacity of 112,982 m³. The water source of Rawasari Reservoir comes from a channel that is a tributary experiencing sedimentation due to the sedimentation process. Based on this, the research team was interested in calculating sediment transport in the conveyance channel of Rawasari Reservoir using both empirical methods and the HEC-RAS 6.0 software. The methods used in this research are empirical using the Engelund Hansen and Laursen equations, as well as the use of HEC-RAS 6.0 software. Based on the analysis results, the sediment transport rate in the conveyance channel of Rawasari Reservoir calculated using the empirical method at STA 0+025 is 1,6427 x 10⁻⁹ ton/s for the Engelund Hansen method and 2,9898 x 10⁻⁹ ton/s for the Laursen method. The simulation of sediment transport in the bed of the conveyance channel of Rawasari Reservoir using the HEC-RAS 6.0 sediment transport model at STA 0+025 is 4,61x10⁻⁵ ton/s with the Engelund Hansen sediment transport function and 0,000306 ton/s using the Laursen sediment transport function.

Keywords: Total sediment transport, Engelund Hansen, Laursen, HEC-RAS 6.0

Abstrak

Kebutuhan air akan terus meningkat sedangkan ketersediaan air yang terbatas, maka penyediaan air wajib diupayakan baik oleh pemerintah maupun secara mandiri. Embung Rawasari merupakan salah satu embung di Kota Tarakan yang volumenya cukup stabil dan memiliki kapasitas tampungan efektif sebesar 112,982 m³. Sumber air Embung Rawasari berasal dari saluran yang merupakan anak sungai persemaian yang saat ini mengalami pendangkalan dikarenakan proses sedimentasi. Berdasarkan hal tersebut maka tim peneliti tertarik untuk menghitung angkutan sedimen di saluran pembawa Embung Rawasari menggunakan metode analitik maupun menggunakan software HEC-RAS 6.0. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analitik menggunakan persamaan Engelund Hansen dan Laursen, serta penggunaan Software HEC-RAS 6.0. Berdasarkan hasil analisis diperoleh laju angkutan sedimen saluran pembawa embung rawasari dihitung menggunakan cara empiris pada STA 0+025 adalah 1,6427 x 10⁻⁹ ton/s untuk metode Engelund Hansen dan 2,9898 x 10⁻⁹ ton/s untuk metode Laursen. Simulasi angkutan sedimen dasar saluran pembawa embung rawasari menggunakan model angkutan sedimen HEC-RAS 6.0 pada STA 0+025 sebesar 4,61x10⁻⁵ ton/s dengan fungsi transpot sedimen Engelund Hansen dan 0,000306 ton/s menggunakan fungsi transport sedimen Laursen.

Kata kunci: Angkutan sedimen total, Engelund Hansen, Laursen HEC-RAS 6.0

1. Pendahuluan

Selain menjadi kebutuhan dasar manusia, air juga sangat dibutuhkan oleh lingkungan (Cahyono et al., 2021). Air digunakan untuk bermacam keperluan dalam menjamin kelangsungan hidup manusia. Seiring berjalannya waktu, jumlah manusia yang terus bertambah, maka kebutuhan air akan terus meningkat (Karepowan et al., 2015). Mengingat kebutuhan air yang tinggi serta ketersediaannya yang terbatas maka penyediaan air wajib diupayakan baik oleh pemerintah maupun secara mandiri. Salah satu usaha pemerintah untuk memenuhi kebutuhan air adalah dengan membangun infrastruktur penyediaan air bersih seperti embung (Ginting, 2014). Istilah embung atau waduk banyak digunakan sebagai istilah dari infrastruktur sumber daya air yang digunakan untuk menyimpan air saat hujan turun dan selanjutnya air tersebut dimanfaatkan dalam pemenuhan kebutuhan air suatu kawasan.

Kota Tarakan terletak di Pulau yang terpisah dari daratan Kalimantan serta dikenal sebagai kota pesisir (Wijaya & Juniwati, 2018). Sebagai kota pesisir yang dikelilingi laut, Kota Tarakan bergantung pada aliran permukaan yang dimanfaatkan sebagai sumber air baku. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan air permukaan sebagai sumber air baku, maka Balai Wilayah Sungai Kalimantan membangun lima embung di Kota Tarakan yang digunakan untuk menyimpan air dan selanjutnya dikelola oleh PDAM menjadi air bersih dan didistribusikan kepada masyarakat Kota Tarakan. Embung Rawasari merupakan salah satu embung di Kota Tarakan yang volumenya cukup stabil dan memiliki kapasitas tampungan efektif sebesar 112,982 m³.

Sumber air Embung Rawasari berasal dari saluran yang mengalirkan air dari arah pegunungan yang berada di belakang Satuan Raider 613 Tarakan menuju Embung Rawasari seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kondisi saluran pembawa Embung Rawasari

Dari gambar 1 terlihat saluran yang mengalirkan air menuju Embung Rawasari mengalami sedimentasi. Sedimentasi menyebabkan suplai air yang mengalir ke arah Embung menjadi tidak optimal, selain itu angkutan sedimen yang masuk menuju embung dapat mempengaruhi ketinggian dasar embung sehingga dapat mengurangi volume tampungan efektif Embung Rawasari, untuk diperlukan adanya kajian yang mengkaji laju angkutan sedimen pada Saluran Rawasari.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung laju angkutan sedimen total diantaranya metode empiris dengan menggunakan metode Bagnold, Shen and Hung, Yang dan Engelund Hansen (Tandirapak et al., 2022)(Munandar & Terunajaya, 2014)(Permana & Mubarok, 2021). Selain menggunakan metode empiris, salah satu metode yang saat ini juga telah banyak digunakan untuk menghitung laju angkutan sedimen total adalah dengan menggunakan bantuan software pemodelan hidraulik HEC-RAS (Cahyani et al., 2021), (Marthaher et al., 2021)(Andrian & Pranoto, 2020).

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan analisis laju angkutan sedimen menggunakan metode empiris yaitu perhitungan manual menggunakan persamaan *Engelun Hansen* dan *Laursen*. Pada penelitian saat ini, tim peneliti tertarik untuk menghitung angkutan sedimen di saluran pembawa Embung Rawasari melalui usulan penelitian berjudul “Angkutan Sedimen Saluran Pembawa Embung Rawasari Menggunakan Cara Empiris dan Software HEC-RAS 6.0”. Tujuan penelitian ini untuk menghitung laju angkutan sedimen total Saluran Rawasari dengan cara empiris dan HEC-RAS 6.0.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini adalah Saluran Rawasari. Saluran ini merupakan saluran yang mengalirkan air menuju Embung Rawasari yang terletak di Kelurahan Karang Harapan, Kecamatan Tarakan Barat, Kota Tarakan. Posisi Embung Rawasari sendiri terletak pada koordinat $3^{\circ}20'37''\text{LU}$ $117^{\circ}34'13''\text{BT}$ seperti terlihat pada Gambar 3. Selanjutnya, panjang saluran yang menjadi objek penelitian ini adalah ± 350 m.



Gambar 2 Lokasi Penelitian

2.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini diantaranya data primer, data sekunder, serta data hasil uji laboratorium sampel sedimen. Data primer didapatkan langsung dari lapangan yang mencakup survei topografi penampang saluran dimana data untuk pemodelan di HEC-RAS, pengukuran suhu, dan sampel sedimen. Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari sumber-sumber yang telah ada berasal dari lembaga atau instansi terkait. Pada penelitian ini data sekunder yang digunakan adalah data hujan dari BMKG tahun 2010-2022. Data hujan ini digunakan untuk menghitung data debit melalui analisis hujan-aliran menggunakan HSS Nakayasu (Soemarto, 1986). Data *Digital Elevation Model* (DEM) dari Badan Informasi Geospasial juga diperlukan untuk melakukan deliniasi batas DAS menggunakan software HEC-HMS (Amiruddin et al., 2021). Selain data primer dan data sekunder yang disebutkan sebelumnya, peneliti juga melakukan pengujian sampel sedimen di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Borneo Tarakan, yaitu pengujian analisa saringan dan berat jenis .

2. 3 Metode Analisis Data

2.3.1 Hidrologi

Sebelum melakukan analisis angkutan sedimen pada Saluran Rawasari terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap parameter-parameter hidrologi yang berpengaruh terhadap kondisi pengaliran di Saluran Rawasari. Parameter hidrologi pada penelitian ini adalah karakteristik Daerah Aliran Sungai atau DAS (Luas dan panjang sungai utama) dan kondisi aliran sungai (debit aliran). Pada penelitian ini data debit dibangkitkan dari data hujan, dimana data hujan terlebih dahulu dianalisis menggunakan analisis dispersi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan dispersi yaitu standar deviasi (S), koefisien *Skewness*(Ck), koefisien Variasi (Cv), dan koefisien Kurtosis (Ck) yang ditunjukkan pada persamaan 1, 2, 3, dan 5 di bawah ini (Triatmodjo, 2010)

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

dimana :

S = standar deviasi
 x_i = nilai variat
 \bar{x} = nilai rata-rata
 n = jumlah data

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \quad (2)$$

dimana :

C_v = koefisien variasi
 S = standar deviasi
 \bar{x} = rata-rata hitung

$$C_s = \frac{a}{S^3} \quad (3)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (4)$$

dimana :

C_s = Koefisien Skewness
 S = standar deviasi
 \bar{x} = rata-rata hitung dari data sampel
 x_i = data ke i
 n = jumlah data
 a = parameter kemencengan

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (5)$$

dimana :

C_k = koefisien kurtosis
 S = standar deviasi

2. Melakukan perhitungan distribusi frekuensi curah hujan dengan menggunakan metode distribusi log pearson III, ditunjukkan pada persamaan 6 dibawah ini :
 jika $Y - \log x$, maka perhitungan dengan distribusi Log Pearson III secara praktis yaitu,

$$Y_T = \bar{Y} + K_T \cdot S \quad (6)$$

dimana :

Y_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

\bar{Y} = nilai rata-rata hitung variat

s = standar deviasi nilai variat

K_T = faktor frekuensi (tabel nilai K_T untuk distribusi Log Pearson III)

nilai K_T ini bergantung dari koefisien kemencengan (*Skewness*) dan probabilitasnya.

- Melakukan pengujian distribusi probabilitas menggunakan uji chi kuadrat yang ditunjukkan pada persamaan 7, 8, dan 9 dibawah ini:

Uji Chi-Kuadrat dipakai dimana untuk menguji simpangan secara vertikal, apakah distribusi dapat diterima atau ditolak.

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (7)$$

$$E_i = \frac{n}{N} \quad (8)$$

$$dk = K - (\alpha + 1) \quad (9)$$

dimana :

X^2 = nilai Chi-Kuadrat terhitung

E_i = frekuensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya

O_i = frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

N = jumlah sub kelompok

K = banyaknya kelas

α = jumlah parameter

Pengujian Chi-Kuadrat selanjutnya dibandingkan antara *chi square* hitung yang didapatkan dengan chi kritik. Nilai dari Chi-Kuadrat tergantung dari derajat kebebasan (dk) dan tingkat signifikansinya.

- Menghitung intensitas hujan metode mononobe ialah metode yang dikembangkan oleh Dr. Mononobe. Dinyatakan pada persamaan 10 yang digunakan (Indarto, 2012)

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \quad (10)$$

dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R_{24} = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = lamanya curah hujan (jam)

- Menganalisis debit banjir rancangan metode HSS Nakayasu dikembangkan berdasarkan sungai-sungai yang berada di Jepang. Di Indonesia sendiri HSS Nakayasu telah banyak diuji pada beberapa karakteristik DAS. Di Sulawesi Tengah misalnya, HSS Nakayasu ini digunakan untuk mengetahui selisih debit puncak HSS terhadap debit puncak hidrograf satuan terukur pada DAS Bangga dengan nilai penyimpangan debit puncak sebesar 36% (Tunas et al., 2015). Bentuk dari HSS Nakayasu diberikan pada persamaan 11, 12, 13, 14, 15, 16 (Limantara, 2018)

6.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A R_e}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad (11)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \quad (12)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \quad (13)$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \quad (14)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (15)$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \quad (16)$$

dimana :

Q_p = debit puncak banjir

A = luas DAS (km²)

R_e = curah hujan efektif (1 mm)

T_p = waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

$T_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)

t_g = waktu konsentration (jam)

T_r = satuan waktu dari curah hujan (jam)

α = koefisien karakteristik DAS biasanya diambil 2

L = panjang sungai utama (km)

2.3.2 Metode Engelund dan Hansen's

Metode *Engelund dan Hansen's* menggunakan pendekatan terhadap tegangan geser. Dengan persamaan berikut (Faizal et al., 2023)

$$q_s = \phi \cdot \gamma_s \cdot \left[\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) g \cdot d_{50} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Dimana, q_s = muatan sedimen; γ_s = berat jenis sedimen (lb/ft³); ϕ = parameter; γ = berat jenis air (lb/ft³); g = percepatan gravitasi (ft/s); d_{50} = diameter sedimen 50% dari material dasar (ft).

2.3.3 Metode Laursen

Metode Laursen mengembangkan fungsi hubungan antara keadaan aliran sungai dengan volume sedimen yang dihasilkan. Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

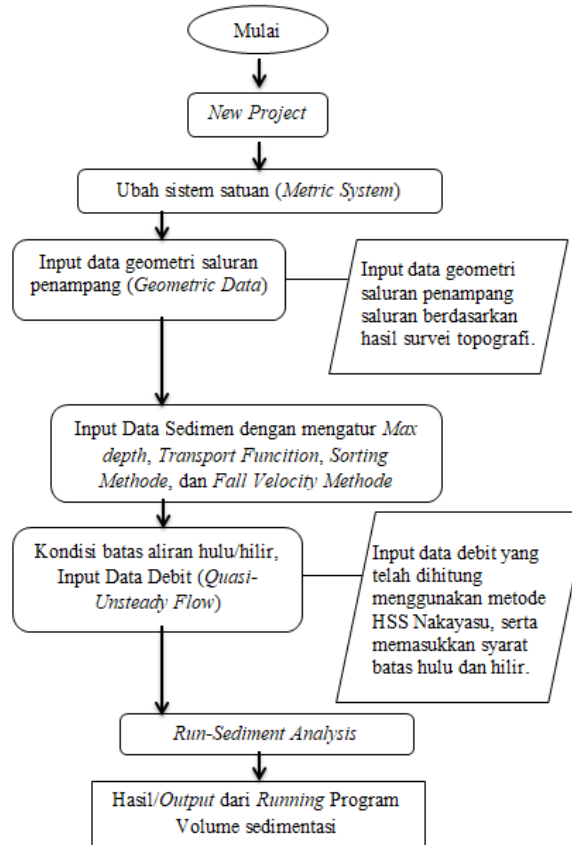
$$C_m = 0,01 y \left(\frac{ds}{D} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1 \right) f \left(\frac{U_*}{w} \right) \quad (18)$$

Dimana, C_t = Konsentrasi sedimen, dalam satuan berat/volume; γ = Berat jenis air (lb/ft³); d_{50} = diameter sedimen 50% dari material dasar (ft); D = Kedalaman (ft); τ_0 = Tegangan geser (lb/ft²); τ_c = Tegangan geser kritis (lb/ft²); $f (U_* w)$ = Persamaan rasio antara kecepatan geser dan kecepatan jatuh.

2.3.4 Analisis Sedimentasi HEC-RAS 6.0

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis angkutan sedimen menggunakan HEC-RAS 6.0 dapat dilihat pada Gambar 3. Pemilihan kondisi batas pengaliran menggunakan quasi unsteady karena kondisi batas ini sangat stabil pada simulasi angkutan sedimen HEC-RAS. Selanjutnya debit yang digunakan pada pengaliran quasi unsteady adalah debit hasil analisis metode HSS Nakayasu Selanjutnya pada kondisi batas pengaliran di hilir dipilih kedalaman normal yang mengikuti kemiringan rata-rata saluran yakni 0,0082. Pilihan transport function yang digunakan adalah Engelund Hansen dan Laursen. Selain pemilihan kondisi batas pengaliran, pada simulasi angkutan sedimen HEC-RAS juga terdapat kondisi batas sedimen, terdapat beberapa pilihan, diantaranya data

sedimen mengikuti gradasi butiran sedimen pada pembahasan hasil Analisa gradasi sedimen. Selain itu, pada kondisi batas sedimen dipilih “flow weight sediment split” karena pada penggunaan flow weight sediment split HEC-RAS akan secara otomatis membagi sedimen pada kondisi ini walaupun tanpa adanya junction (US Army Corps of Engineers, 2023)

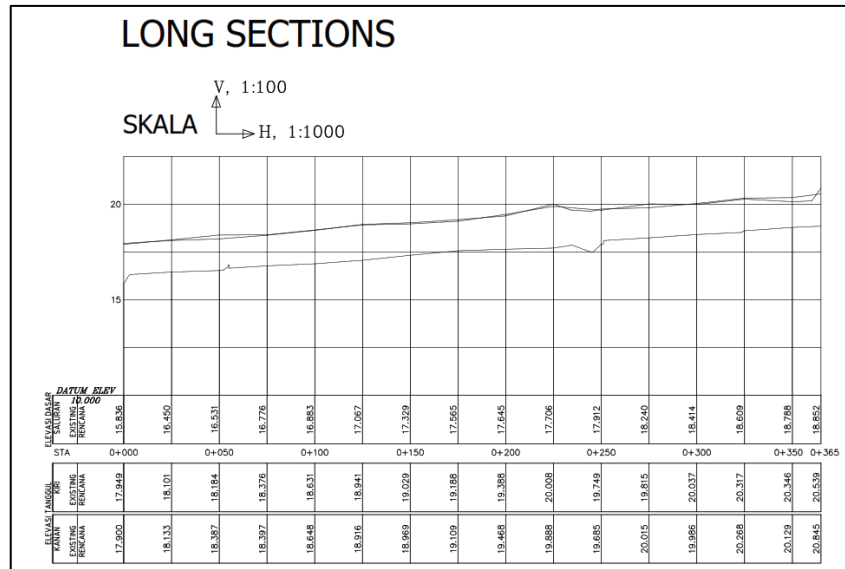


Gambar 3 Bagan Alir analisis Hidraulika dan Transpor Sedimen dengan HEC-RAS

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

Data penampang Saluran Rawasari Kota Tarakan yang diteliti memiliki total panjang 200 m yang kemudian dibagi menjadi beberapa segmen atau titik pengambilan sampel dengan jarak antar segmennya sebesar 25 m. Data topografi saluran pada penelitian ini diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan metode terrestrial (Sobatnu, 2018). Metode ini dipilih dikarenakan untuk memodelkan kondisi pengaliran lapangan menggunakan software HEC-RAS dibutuhkan data topografi yang sangat detail. Data pengukuran selanjutnya dianalisis dengan bantuan software Civil 3D untuk memperoleh gambaran kontur topografi lokasi penelitian. Data kontur topografi diproses lebih lanjut untuk memperoleh gambaran potongan memanjang dan potongan melintang saluran seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Potongan Memanjang Saluran Rawasari

Dari potongan memanjang gambar 4, diperoleh rata-rata kemiringan dasar saluran adalah 0,0082 atau sebesar 0,82 %. Data kemiringan dasar saluran ini selanjutnya akan digunakan pada kondisi batas di hilir yakni *normal depth*. Sampel sedimen yang diambil pada saat pengambilan data primer pada Saluran Rawasari Indah kemudian dibawa ke Laboratorium Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan untuk dilakukan pengujian analisa saringan dan berat jenis. Hasil pengujian sampel sedimen dasar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Uji Analisa Saringan STA 0+025 m

Nomor Saringan	Diameter Lubang Saringan (mm)	Berat Tanah Tertahan (gr)	Tanah yang Tertahan (%)	Kumulatif Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100
10	2	0,90	0,18	0,18	99,82
16	1,18	0,20	0,04	0,22	99,78
30	0,6	5,10	1,02	1,24	98,76
40	0,425	17,00	3,41	4,65	95,35
50	0,3	53,40	10,71	15,37	84,63
100	0,15	289,80	58,15	73,52	26,48
200	0,075	117,50	23,58	97,09	2,91
PAN	0,00	14,50	2,91	100	0,00

Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium

Berdasarkan hasil dari uji analisa saringan sampel sedimen dasar STA 0+025 menggunakan SNI 3423:2008 (Cara Uji Analisis Ukuran Butir) diperoleh nilai d_{50} sebesar 0,21 mm. Sedangkan untuk hasil pengujian berat jenis sampel sedimen sebesar 2,58 gr/cm^3 . Kemudian Hasil dari berat jenis sampel yang ada didapatkan dengan perhitungan yang menggunakan faktor koreksi pada suhu yang bukan 20°C dari tabel faktor koreksi suhu pada SNI 1964:2008.

3.2 Hasil Analisis Hidrologi

Pada perhitungan Hidrograf Satuan Nakayasu data hujan terlebih dahulu dianalisis secara statistik untuk menentukan jenis distribusi mana yang sesuai dengan data yang digunakan. Berdasarkan hasil

analisis statistik dasar diperoleh nilai parameter statistiknya adalah sebagai berikut, nilai standar deviasi $S = 20,75$, nilai koefisien kemencengan $C_s -0,55$, nilai koefisien variat $C_v 0,171$ dan koefisien kurtois $C_k 2,72$.

Dari nilai parameter diatas, maka dipilihlah metode hujan rancangan yang akan digunakan *metode Log Pearson III*. Hasil perhitungan hujan rancangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Curah Hujan Rancangan

PUH	KTR	Log Xt	Xt (mm)
100	1,652	2,211	157,259
50	1,543	2,201	155,047
25	1,402	2,189	151,116
10	1,145	2,167	146,374
5	0,854	2,141	139,732
2	0,150	2,080	123,663

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Setelah memperoleh data hujan rancangan, selanjutnya dilakukan perhitungan distribusi data hujan menggunakan metode mononobe. Perhitungan ini dilakukan untuk memperoleh nilai intensitas hujan yang nantinya akan digunakan pada analisis HSS Nakayasu. Hasil perhitungan intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Intensitas Hujan Metode Mononobe

T (Jam)	Intensitas Hujan (mm/jam)					
	2	5	10	25	50	100
1	68,054	76,898	80,553	83,162	85,326	86,543
2	42,872	48,442	50,745	52,389	53,752	54,519
3	32,717	36,969	38,726	39,980	41,020	41,605
4	27,007	30,517	31,967	33,003	33,862	34,345
5	23,274	26,299	27,549	28,441	29,181	29,597
6	20,611	23,289	24,396	25,186	25,841	26,210

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Pada penelitian ini perhitungan angkutan sedimen total diperhitungkan pada kondisi banjir, sehingga debit yang digunakan sebagai data masukan kondisi batas aliran adalah debit banjir yang dihitung dengan metode HSS Nakayasu. Pada perhitungan HSS Nakayasu, parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

Luas DAS (A) = 2,991 km²

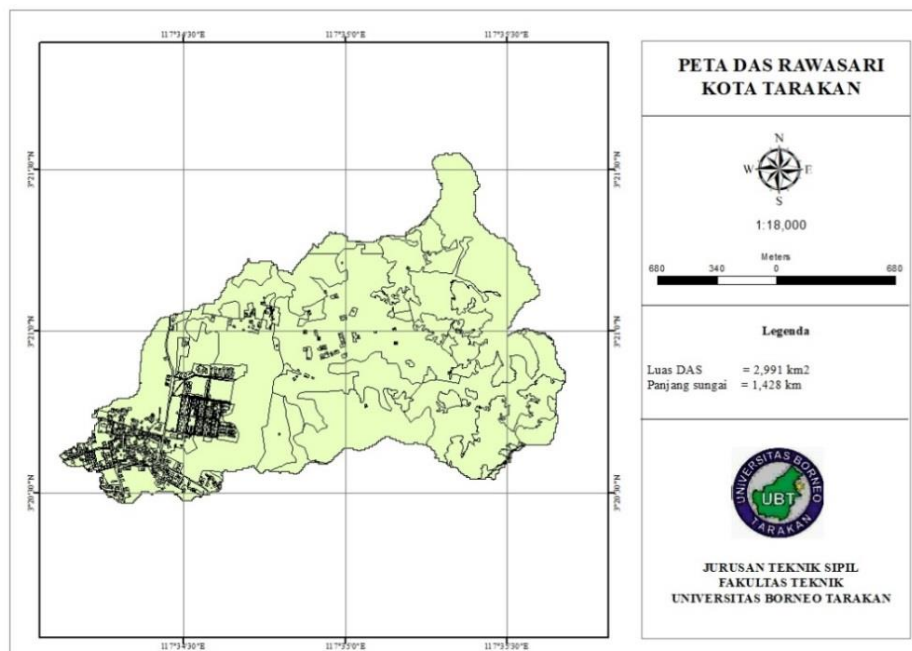
Panjang sungai utama (L) = 1,428 km

Curah hujan satuan (R0) = 1 mm

Kemiringan dasar sungai = 0,0082

Parameter di atas diperoleh melalui analisis SIG menggunakan software HEC-HMS. Software HEC-HMS merupakan produk yang sama dengan HEC-RAS yang dikembangkan oleh *US Army Corps*.

Hasil penentuan batas Daerah Aliran Sungai (DAS) menggunakan HEC-HMS dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Peta Daerah Aliran Sungai Rawasari

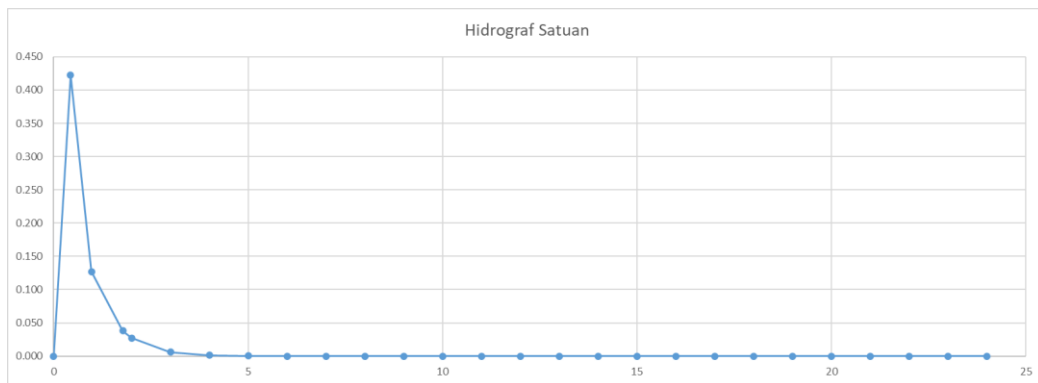
Berdasarkan hasil analisis dengan metode HSS Nakayasu diperoleh debit banjir rancangan untuk periode ulang 2 tahun dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 6.

Tabel 4 HSS Nakayasu

Waktu (Jam ke)	Qa (m ³ /detik/mm)	Qr (m ³ /detik/mm)	Qt (m ³ /detik/mm)	Qtot (m ³ /detik/mm)
0	0,00000			0,00000
0,431	0,42228			0,42228
0,97		0,12684		0,12684
1,779			0,03802	0,03802
2			0,02736	0,02736
3			0,00617	0,00617
4			0,00139	0,00139
5			0,00031	0,00031
6			0,00007	0,00007
7			0,00002	0,00002
8			0,00000	0,00000
9			0,00000	0,00000
10			0,00000	0,00000
11			0,00000	0,00000
12			0,00000	0,00000
13			0,00000	0,00000
14			0,00000	0,00000
15			0,00000	0,00000
16			0,00000	0,00000
17			0,00000	0,00000

Waktu (Jam ke)	Qa (m ³ /detik/mm)	Qr (m ³ /detik/mm)	Qt (m ³ /detik/mm)	Qtot (m ³ /detik/mm)
18			0,00000	0,00000
19			0,00000	0,00000
20			0,00000	0,00000
21			0,00000	0,00000
22			0,00000	0,00000
23			0,00000	0,00000
24			0,00000	0,00000

Sumber : Hasil Analisis, 2023



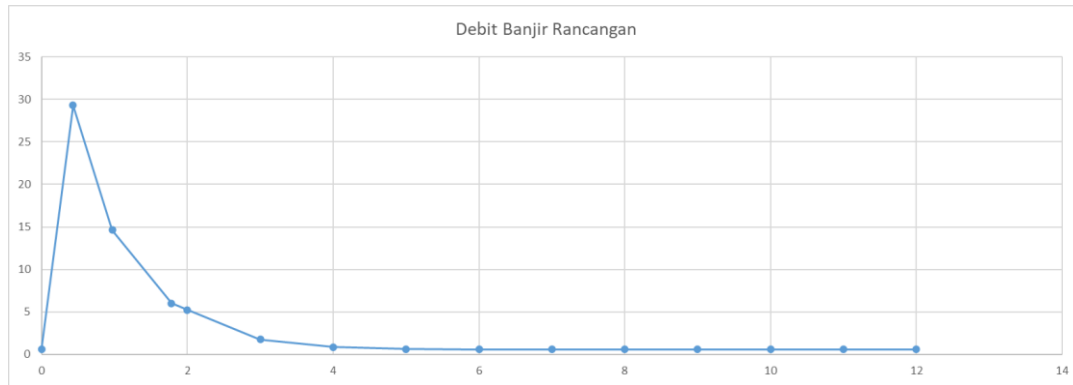
Gambar 6 Bentuk HSS Nakayasu

Sedangkan untuk debit aliran pada Saluran Rawasari menggunakan HSS Nakayasu untuk hujan rancangan 2 tahun dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 7.

Tabel 5 Debit Banjir Metode HSS Nakayasu 2 Tahun

Waktu (Jam ke)	Debit aliran (m ³ /detik)
0.000	0,570
0.431	29,308
0.970	14,640
1.779	6,031
2.000	5,238
3.000	1,766
4.000	0,869
5.000	0,637
6.000	0,585
7.000	0,573
8.000	0,571
9.000	0,570
10.000	0,570
11.000	0,570
12.000	0,570

Sumber : Hasil Analisis, 2023



Gambar 8 Debit Banjir Metode HSS Nakayasu

3.3 Hasil Analisis Angkutan Sedimen

Metode Empiris (*Engelund Hansen dan Laursen*)

Setelah memperoleh data sedimen, selanjutnya dilakukan perhitungan laju angkutan sedimen menggunakan metode empiris dan HEC-RAS. Metode empiris ini merupakan perhitungan manual menggunakan persamaan *Engelund Hansen* dan *Laursen* seperti terlihat pada persamaan (17) dan persamaan (18). Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Engelund Hansen* diperoleh laju angkutan sedimen total Saluran Rawasari di STA 0+000 adalah $5,5443 \times 10^{-8}$ ton/s. Selanjutnya hasil analisis angkutan sedimen metode *Engelund Hansen* STA 0+000 – STA 0+200 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Rekap Hasil Analisis Angkutan Sedimen Total Metode *Engelund Hansen*

Titik	Sta	qs (lb/s)/ft	Gw (lb/s)	Qs (lb/s)	Ct (lb/ft ³)	Qa (ft ³ /s)	Qt (ton/s)
1	0+0	0,1361	2438,6694	1,7410	0,0446	40,0102	$5,5453 \times 10^{-8}$
2	0+25	0,0036	756,6853	0,0522	0,0043	12,2552	$1,6427 \times 10^{-9}$
3	0+50	0,0563	2048,1713	0,7790	0,0237	33,3871	$2,4652 \times 10^{-8}$
4	0+75	0,0385	1322,1466	0,5148	0,0243	21,5600	$1,6298 \times 10^{-8}$
5	0+100	0,0703	647,0964	0,7861	0,0758	10,5339	$2,4842 \times 10^{-8}$
6	0+125	0,1216	882,3303	1,4319	0,1013	14,3731	$4,5283 \times 10^{-8}$
7	0+150	0,1611	1101,9839	2,4573	0,1392	17,9020	$7,7496 \times 10^{-8}$
8	0+175	0,1202	925,4174	1,7750	0,1197	15,0319	$5,5971 \times 10^{-8}$
9	0+200	0,2541	1173,9243	3,7434	0,1991	15,0319	$9,3054 \times 10^{-8}$

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Metode analitik berikutnya yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Laursen*. Berdasarkan analisis menggunakan metode *Laursen* diperoleh angkutan sedimen total STA 0+000 sebesar $2,3807 \times 10^{-7}$ ton/s. hasil lengkap laju angkutan sedimen metode *Laursen* STA 0+000 – STA 0+200 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Rekap Hasil Analisis Angkutan Sedimen Total Metode *Laursen*

Titik	Sta	Ct	Qt (ft ³ /s)	Gw (lb/s)	Ct (lb/ft ³)	Qa (ft ³ /s)	Qt (ton/s)
1	0+25	0,0078	0,0951	756,6853	0,0078	12,2552	$2,9898 \times 10^{-9}$
2	0+50	0,0994	3,2735	2048,1713	0,0998	33,3871	$1,0359 \times 10^{-7}$
3	0+75	0,0874	1,8584	1322,1466	0,0877	21,5600	$5,8830 \times 10^{-8}$

Titik	Sta	Ct	Qt (ft ³ /s)	Gw (lb/s)	Ct (lb/ft ³)	Qa (ft ³ /s)	Qt (ton/s)
4	0+100	0,0561	0,5836	647,0964	0,0563	10,5339	1,8443 x 10 ⁻⁸
5	0+125	0,1419	2,0131	882,3303	0,1424	14,3731	6,3663 x 10 ⁻⁸
6	0+150	0,0478	0,8466	1101,9839	0,0480	17,9020	2,6699 x 10 ⁻⁸
7	0+175	0,0573	0,8533	925,4174	0,0576	15,0319	2,6908 x 10 ⁻⁸
8	0+200	0,0531	1,0026	1173,9243	0,0533	19,0731	3,1622 x 10 ⁻⁸

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Simulasi Angkutan Sedimen HEC-RAS 6.0

Dari hasil simulasi menggunakan kondisi batas di atas diperoleh kumulatif laju angkutan sedimen pada saluran rawasari STA 0+025 adalah 2,156 ton/12 jam atau 4,61x10⁻⁵ ton/s dengan metode Engelund Hansen dan 5,055 ton/12 jam atau 0,000306 ton/s. Simulasi angkutan sedimen menggunakan HEC-RAS sangat bergantung pada setiap kondisi batas yang dipilih oleh pengguna HEC-RAS. Hasil simulasi angkutan sedimen menggunakan HEC-RAS dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8 Hasil Simulasi Angkutan Sedimen Total HEC-RAS Metode Engelund Hansen

STA	Ch Dist (m)	(01JAN2023 07:00:00)- Mass In Cum: All (tonnes)	(01JAN2023 18:00:00)- Mass In Cum: All (tonnes)	Mass In Cum: All (ton/s)
25	0	0	2,156442	4,61x10 ⁻⁵
50	25	0	15,32052	0,000327
75	25	0	8,968378	0,000192
100	25	0	3,629496	7,76x10 ⁻⁵
125	25	0	17,20391	0,000368
150	25	0	6,994869	0,000149
175	25	0	4,020848	8,59E-05
200	25	0	5,012591	0,000107

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Tabel 9 Hasil Simulasi Angkutan Sedimen Total HEC-RAS Metode Laursen

STA	Ch Dist (m)	(01JAN2023 07:00:00)-Mass In Cum: All (tonnes)	(01JAN2023 18:00:00)- Mass In Cum: All (tonnes)	Mass In Cum: All (ton/s)
25	0	0	5,055103	0,000108
50	25	0	24,41987	0,000522
75	25	0	14,34078	0,000306
100	25	0	7,772653	0,000166
125	25	0	26,11275	0,000558
150	25	0	15,18432	0,000324
175	25	0	9,088683	0,000194
200	25	0	9,651673	0,000206

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Hasil simulasi angkutan sedimen total HEC-RAS tabel 8 dan tabel 9 berbeda dengan hasil penelitian laju angkutan sedimen metode empiris, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan penggunaan data, dimana sebelumnya data debit yang digunakan merupakan data debit sesaat (pengukuran debit lapangan), sedangkan pada penelitian HEC-RAS data debit yang digunakan merupakan data debit banjir metode HSS Nakayasu.

Penggunaan data debit HSS dikarenakan data debit yang diolah oleh HEC-RAS merupakan debit *Quasy Unsteady Flow* yang merupakan aliran yang dipengaruhi oleh waktu (Cahyani et al., 2021).

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa laju angkutan sedimen saluran pembawa embung rawasari dihitung menggunakan cara empiris pada STA 0+025 adalah $1,6427 \times 10^{-9}$ ton/s untuk metode Engelund Hansen dan $2,9898 \times 10^{-9}$ ton/s untuk metode Laursen. Selain itu, berdasarkan analisis angkutan sedimen dasar saluran pembawa embung rawasari menggunakan model angkutan sedimen HEC-RAS 6.0 pada STA 0+025 sebesar $4,61 \times 10^{-5}$ ton/s dengan fungsi transport sedimen *Engelund Hansen* dan 0,000306 ton/s menggunakan fungsi transport sedimen Laursen.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang terlibat pada penelitian ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada pimpinan Universitas Borneo Tarakan dan LPPM Universitas Borneo Tarakan, yang mempercayai tim penelitian melalui pembiayaan penelitian skema Riset Kompetensi Dosen Tahun 2023.

Daftar Pustaka

- Amiruddin, A., Asta, A., & Handayani, R. (2021). Penentuan Batas DAS Tojo Berbasis GIS Menggunakan Perangkat HEC HMS 4.4 dan QGIS 3.16. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5(3).
- Andrian, I., & Pranoto, W. A. (2020). Analisis Angkutan Sedimen Dasar Sungai Cibeet Dengan Hec-Ras Dan Uji Laboratorium. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), 31. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i1.7050>
- Cahyani, H. C., Hidayah, E., Wiyono, R. U. A., Halik, G., & Widiarti, W. Y. (2021). Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(1), 64–71.
- Cahyono, C., Susetyo, D., Herawati, H., & Juliastuti. (2021). Evaluasi Kinerja Tampungan Waduk Selorejo Menggunakan Perangkat Lunak HEC-HMS. *JURNAL SAINTIS*, 21(01), 11–20. [https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21\(01\).6695](https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21(01).6695)
- Faizal, R., Timoti, J., & Amiruddin, A. (2023). *Analisis Karakteristik Dan Laju Angkutan Sedimen Total Saluran Rawasari Indah Kota Tarakan*. 7(1).
- Ginting, S. H. (2014). *Analisis profil muka air sungai dengan hec-ras*. Pusat Litbang Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum.
- Indarto, I. (2012). *Hidrologi – Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Bumi Aksara.
- Karepowan, R., Kawet, L., & Halim, F. (2015). Perencanaan Hidrolis Embung Desa Touliang Kecamatan Kakas Barat Kabupaten Minahasa Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 3(6), 383–390. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/8841>
- Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi*. Andi Offset.
- Marthaer, N. A., Daoed, D., & Sunaryo. (2021). *ANALISIS LAJU SEDIMENTASI AKIBAT PEMBANGUNAN CHECK DAM BATANG AIR DINGIN*. 151–158.
- Munandar, A., & Terunajaya. (2014). Analisis Laju Angkutan Sedimen bagi Perhitungan Kantong Lumpur pada D.I Perkotaan Kabupaten Batubara. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 1. <http://202.0.107.5/index.php/jts/article/view/8138>
- Permana, S., & Mubarak, H. (2021). Analisis Perbandingan Pengaruh Sedimentasi Terhadap Penyaluran Debit di Daerah Irigasi Cimanuk Kabupaten Garut. *Jurnal Konstruksi*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-1.877>
- Sobatnu, F. (2018). *Survei Terrestis*. In *Politeknik Bandung Press*. Politeknik Negeri Banjarmasin Press.
- Soemarto, C. D. (1986). *Hidrologi Teknik*. In *Penerbit Usaha Nasional*.
- Tandirapak, S., Bungin, E. R., & Apriyani, I. (2022). Analisis Angkutan Sedimen Pada Sungai Galang-Galang Kampung Paku Kabupaten Polewali Mandar. *Paulus Civil Engineering*

- Journal*, 4(1), 139–149. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i1.387>
- Triatmodjo, B. (2010). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- Tunas, I. G., Anwar, N., & Lasminto, U. (2015). Kinerja HSS Snyder, Nakayasu dan Gama I pada DAS Terukur di Sulawesi Tengah. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 1(2), 107–114.
- US Army Corps of Engineers. (2023). *HEC-RAS 1D Sediment Transport*. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rassed1d/>
- Wijaya, S., & Juniwati, A. (2018). Rusun Nelayan di Tarakan. *Jurnal Edimensi Arsitektur*, 6(1), 1–8.