

ANALISA PREDIKSI SEDIMENTASI PADA DAS METRO KOTA MALANG DENGAN METODE HEC-RAS

Firdaus Ihwan Ibadi¹, Eko Noerhayati², Azizah Rokhmawati³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,

e-mail: ihwanibadi@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,

e-mail: eko.noerhayati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,

e-mail: azizah.rachmawati@unisma.ac.id

ABSTRAK

DAS Metro adalah merupakan daerah yang rawan terjadi tanah longsor dan banjir, peristiwa itu terjadi karena mengingat di sepanjang DAS berdiri perumahan padat penduduk mengakibatkan lebar sungai mengalami penyempitan dan pendangkalan yang apabila terjadi penambahan debit air yang tinggi secara tiba-tiba tentu membuat air tersebut meluap ke perkampungan penduduk. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui besar debit aliran sungai, mengetahui nilai rata-rata sedimentasi, karakteristik sedimen, dan terakhir untuk mengetahui rata-rata nilai angkutan sedimen. HEC-RAS merupakan aplikasi (*software*) untuk memodelkan aliran di sungai, satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady onedimensional flow model*). Dari perhitungan didapatkan nilai angkutan sedimen di titik A diperoleh hasil 3,997 m³/det/m, di titik B diperoleh hasil 7,111 m³/det/m, di titik C diperoleh hasil 4,721, dan di titik D diperoleh hasil 5,952. Dari kedua nilai angkutan sedimen tersebut rata-rata nilai angkutan sedimen di Sungai Metro sebesar 5,455 m³/det/m. Pengaruh sedimen yang berpindah mengakibatkan sungai menjadi lebih dalam. Angkutan sedimen juga meningkat seiring panjangnya sungai dapat dilihat perbandingan pada STA 0+000 hingga STA 4+300. Dari hasil running simulasi sedimen menggunakan program HEC-RAS dapat dilihat bahwa pada sungai Metro pergerakan angkutan sedimen mengarah pada proses Erosi.

Kata Kunci : *Sedimentasi, HEC-RAS, Debit Aliran, Sungai Metro Malang.*

ABSTRACT

The Metro watershed is an area that is prone to landslides and floods, this incident occurred because along the watershed there were dense housing estates, resulting in narrow and shallow river widths which if there was a sudden addition of high water discharge, of course, the water overflowed. to populated villages. The purpose of this study was to determine the amount of river flow discharge, to determine the average value of sedimentation, sediment characteristics, and finally to determine the average value of sediment transport. HEC-RAS is an application (*software*) for modeling flow in rivers, one-dimensional permanent flow or non-permanent (*steady and non-steady one-dimensional flow models*). From the calculation, it is obtained that the sediment transport value at point A is 3,997 m³/s/m, at point B the results are 7,111 m³/s/m, at point C the results are 4,721, and at point D the results are 4,721. 5,952 results were obtained. From the two values of sediment transport, the average value of sediment transport in the Metro River is 5,455 m³/s/m. The influence of moving sediment causes the river to become deeper. Sediment transport also increases with the length of the river that can be seen compared to STA 0+000 to STA 4+300. From the simulation results of running sediment using the HEC-RAS program, it can be seen that in the Metro river the movement of sediment transport leads to the erosion process.

Key Words : *Sedimentation, HEC-RAS, Flow Discharge, Metro Malang River*

Rumusan Masalah

Berapakah besar debit aliran yang terjadi di Sungai Metro., berapa nilai rata-rata hasil pengujian berat jenis sedimen di Sungai Metro., berapa nilai rata-rata angkutan sedimen yang terjadi di Sungai Metro., bagaimanakah kondisi dan karakteristik sedimentasi di Sungai Metro.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai merupakan wilayah daratan yang dibatasi serta dapat menangkap dan menampung air hujan kemudian mengalirkannya ke laut melalui sungai utama. DAS adalah suatu sistem ekologis multi aspek yang didalamnya terdapat aktivitas manusia seperti permukiman, pertanian serta industri yang berpotensi mencemari lingkungan khususnya pada badan sungai (Rokhmawati, 2015).

Sungai merupakan jaringan alur-alur pada permukaan bumi yang terbentuk secara alamiah, mulai dari bentuk kecil dibagian hulu sampai besar dibagian hilir (Sudira, Mananoma, and Manalip 2013).

Sungai Metro merupakan basin block daerah aliran sungai Brantas sub (Daerah Aliran Sungai DAS) Brantas hulu. Sungai Metro menjadi sumber air bagi kegiatan manusia sebagai air bersih, air irigasi, air industri, air penggelontoran dan air tambak bagi daerah hilir aliran sungai Brantas dari potensi sebesar 103 juta m³/detik (Hendriarianti 2014).

Kota Malang merupakan kota terbesar kedua di Jawa Timur. Namun, Kota Malang juga dikenal sebagai kota yang rawan banjir, setidaknya terdapat 58 (lima puluh delapan) kawasan di wilayah Kota Malang yang terjadi banjir saat musim hujan, tanah longsor, banjir, maupun putting beliung. Kawasan banjir tersebut berada di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) Brantas, DAS Metro, DAS Amprong, DAS Bangau, dan DAS Sukun. Sepanjang kawasan tersebut selain terdapat pemukiman padat penduduk, juga memiliki karakteristik palung tajam dengan susunan tanah yang mudah longsor. Sebut saja kawasan permukiman di Jalan Kintamani RW 08, Kelurahan Penanggungan Kecamatan Klojen, Kota Malang atau yang lebih dikenal dengan Permukiman Betek yang merupakan salah satu kawasan rawan banjir di Kota Malang yang lokasinya tepat di bantaran sungai DAS Brantas (Sugiyanto 2010).

TUJUAN PUSTAKA

Sungai

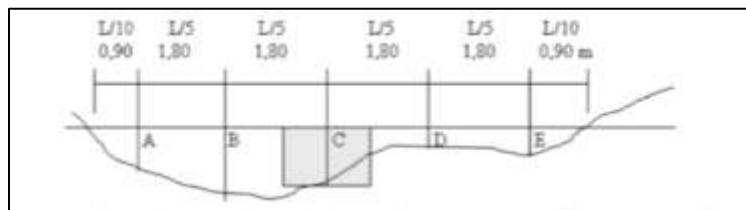
Sungai merupakan air tawar yang mengalir dari sumbernya di daratan menuju dan bermuara di laut, danau atau sungai yang lebih besar. Sungai juga berfungsi sebagai sarana alat transportasi, sumber bahan baku tenaga listrik, dan sebagai tempat mata pencaharian. Di daerah perkotaan sungai digunakan sebagai tempat mengalirnya air ketika hujan. Karena itu sungai merupakan bagian yang penting dari suatu kota. Apabila sungai tersumbat, aliran air yang mengalir di daratan tentunya tidak bisa tersalurkan dengan lancar, hal itu bisa mengakibatkan terjadinya banjir (Junaidi 2014). Sungai merupakan jaringan alur-alur pada permukaan bumi yang terbentuk secara alamiah, mulai dari bentuk kecil dibagian hulu sampai besar dibagian hilir (Sudira, Mananoma, and Manalip 2013).

Debit Aliran

Debit aliran merupakan satuan untuk mendekati nilai-nilai hidrologis proses yang terjadi di lapangan. Kemampuan pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu wilayah DAS (Finawan, n.d.).

Pengukuran Debit Air,

Cara mengukur debit untuk saluran berbentuk penampang bebas (saluran alam) apalagi yang cukup besar seperti anak sungai untuk sumber irigasi. Metode yang paling umum adalah dengan menggunakan prinsip matematika dan kalkulus, yaitu benda dibagi menjadi beberapa persegi panjang,



Gambar 1: Penampang Sungai
(Sumber : <http://mayong.staff.ugm.ac.id>)

Luas penampang basah adalah jumlah luas dari lima kotak, dengan kedalamannya seperti yang dapat diukur di titik A, B, C, D, dan E. Lebarnya tiap kotak adalah seperlima dari lebar saluran/sungai. (Finawan, n.d.)

Besaran debit air dapat dihitung dengan:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(1)$$

Q = Debit

V = Kecepatan aliran air (m/dt)

A = Luas penampang basah (m^2)

Luas penampang basah adalah sangat tergantung pada bentuk penampang dinamakan air mengalir, misalnya sebuah penampang irigasi yang biasanya berbentuk trapesium, maka luas penampang basah dapat diperoleh dengan:

$$A = (LD + LPA)/2 \times h \dots\dots\dots(2)$$

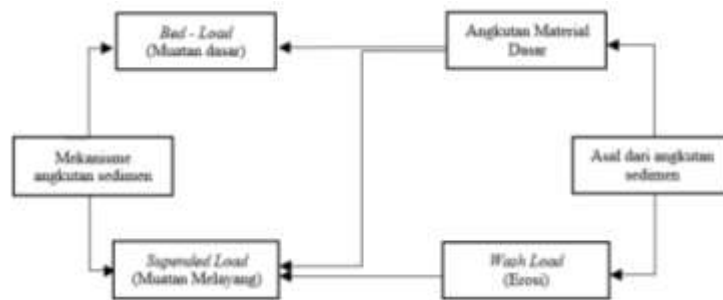
LD = Lebar Dasar penampang (m)

LPA = Lebar Permukaan Air (m)

h = tinggi permukaan air (m)

Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang terangkut oleh aliran dari bagian hulu akibat dari erosi. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Sedimen dapat berada di berbagai lokasi dalam aliran, tergantung pada keseimbangan antara kecepatan ke atas pada partikel (gaya tarik dan gaya angkat) dan kecepatan pengendapan partikel (Asdak 2004).



Gambar : Aliran melalui alur utama dan bantaran
(Sumber: Direktorat Jenderal SDA. 2009)

Konsentrasi Sedimen

Untuk menentukan besarnya konsentrasi sedimen menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$w = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_3} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

w = Konsentrasi Sedimen
w1 = Berat Tanah Basah + Berat Cawan
w2 = Berat Tanah Kering + Berat Cawan
w3 = Berat Cawan

Berat Jenis Sedimen

Untuk mendapatkan besarnya berat jenis butiran sedimen, digunakan rumus sebagai berikut :

$$G_s = \frac{(w_2 - w_1)}{(w_4 - w_1)T_1 - (w_3 - w_2)T_2} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

G_s = Berat jenis butiran sampel
W₁ = berat piknometer kosong (gr)
W₂ = berat piknometer + sampel sedimen kering (gr)
W₃ = berat piknometer + sampel sedimen kering + aquades (gr)
W₄ = berat piknometer + aquades (gr)
T₁ = suhu pada W₄ (oC)
T₂ = suhu pada W₃ (oC)

Saringan

Presentase tanah tertahan

$$(\% \text{ tertahan}) = \frac{W_{\text{tertahan}}}{W_{\text{total}}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Presentase tanah lolos

$$(\% \text{ lolos}) = 100\% - \% \text{ tertahan}$$

Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen (sediment transport) adalah mekanisme pemindahan partikel sedimen dari tempat lepasnya ke tempat barunya akibat aliran air. Laju pengangkutan sedimen tersebut disebut debit sedimen (Endyi, Kartini, and Gunarto 2017).

Menurut Mulyanto (2007) ada tiga macam angkutan sedimen yang terjadi di dalam alur sungai, antara lain:

- Wash load atau muatan bilas adalah angkutan partikel halus yang berupa lempung (silt) dan debu (dust) yang ikut terbawa masuk ke dalam sungai dan melayang sampai mencapai laut atau genangan air lainnya.
- Suspended load atau muatan sedimen melayang yang terdiri dari pasir halus dan bergerak secara melayang dalam aliran.
- Bed load atau muatan sedimen dasar adalah butiran material dengan ukuran yang besar bergerak di dasar sungai

Karakteristik Sedimen

Dalam Nizar Achmad (2011) karakteristik sedimen dalam terhadap aliran air dapat dijelaskan dengan mengetahui pertama bagaimana gerakan jatuh sedimen (kecepatan pengendapan = settling velocity) dengan adanya aliran air. Kedua bagaimana aliran dapat menggerakkan partikel sedimen.

Software HEC-RAS

Menurut (Istiarto 2014), HEC-RAS merupakan aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, River Analysis System (RAS), software ini dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam Institut for Water Resources (IWR). HEC-RAS merupakan software satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (steady and unsteady onedimensional flow model), HEC-RAS memiliki empat komponen analisa hidrolika satu dimensi untuk :

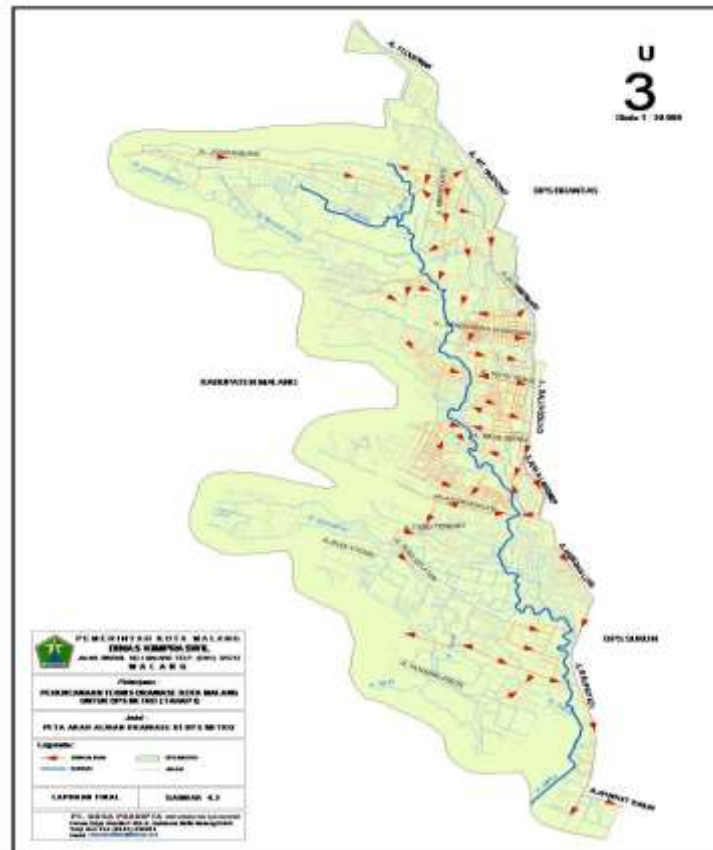
- 1) hitungan profil muka air aliran permanen,
- 2) simulasi aliran tak permanen,
- 3) hitung transpor sedimen,
- 4) hitungan kualitas air.

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut.

METODELOGI

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di pada 4 titik yaitu titik dan jarak antar titik penelitian sekisar 1,5 km dan total dari semua titik 4,50 Km dengan panjang sungai 18,2 Km (dalam Kota Malang).



Gambar 2 : Peta DAS Metro
(Sumber : Dinas KIMPRA SWIL Kota Malang)

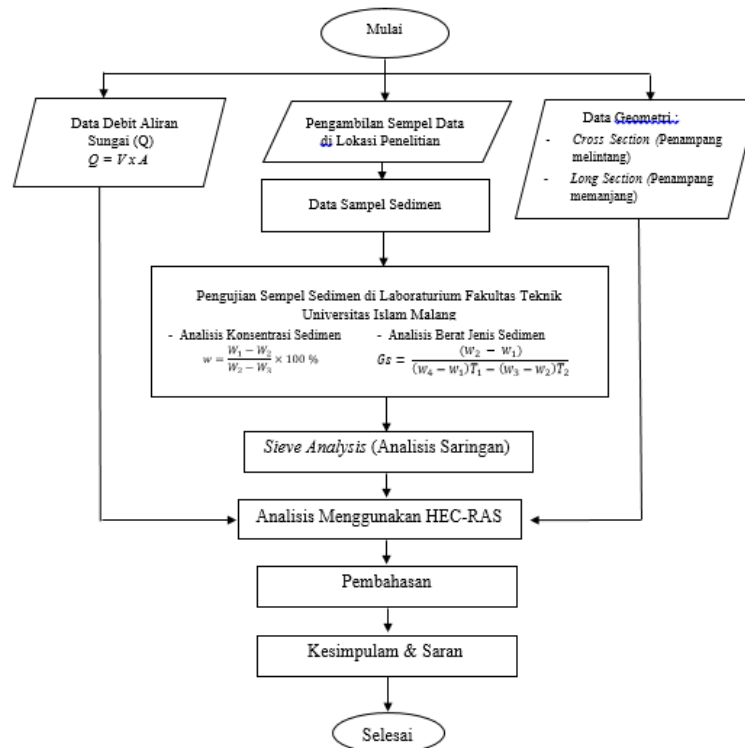
Proses Pengambilan Sedimen

Proses pengambilan sampel merupakan langkah awal dalam proses penelitian ini. Pengambilan sampel adalah mengambil beberapa bagian contoh yang ada di lapangan untuk diteliti, dihitung dan diukur. Alam penelitian ini sampel berupa hasil sedimen yang ada di sungai. Sampel diambil di sungai Metro, di empat titik titik yakni titik A, B, C, dan D dimana jarak antar titik sepanjang 1.433 m. Dari titik tersebut diambil 6 sampel, masing-masing 3 sampel yang diperoleh dari sisi kanan sungai, sisi tengah sungai dan sisi kiri sungai. Titik A memiliki lebar 6,5m sedangkan titik B memiliki lebar 14m. Titik A diasumsikan sebagai hulu dan titik D diasumsikan sebagai hilir, hal tersebut karena aliran air berjalan dari titik A ke titik D. Lebar sungai dibagi kedalam beberapa section, dimana dari section tersebut digunakan untuk menghitung debit total. Masing-masing

section memiliki lebar 1m. Pembagian lebar sungai menjadi beberapa section bertujuan untuk mempermudah menghitung luas penampang dan debit total sungai.

Diagram Alir

Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir ini ditampilkan pada Gambar dibawah ini :



Gambar 3 : Diagram Alir Penelitian
(Sumber : Dokumen pribadi)

ANALISA DAN PEMBAHASAAN

Debit Aliran

Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan debit aliran sungai. Debit aliran adalah jumlah air yang melewati sungai dalam suatu periode waktu tertentu. Pengukuran debit diperlukan untuk mengetahui kondisi hidrologis sungai, dalam penelitian ini untuk mengetahui kondisi hidrologis sungai metro. Pehitungan debit dilakukan di dua titik penelitian, di titik A dan titik B. Rumus debit aliran:

Contoh perhitungan:

Untuk menghitung debit aliran di titik A:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(6)$$

$$Q = 0,7 \text{ m/s} \times 2,75 \text{ m}^2$$

$$Q = 1,925 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit Aliran Sungai

Section	V m/s	Luas Penampang m ²	Q m ³ /s
A	0.7	2.75	1.925
B	0.8	9.71	7.768
C	0.4	29.42	11.768
D	0.3	25.25	7.575

Berat Jenis Sedimen

Berat jenis sedimen merupakan perbandingan berat tanah kering dengan berat air pada volume yang sama pada suhu tertentu. Pengujian dilakukan pada 3 piknometer untuk setiap sampel. Perhitungan berat jenis sedimen menggunakan rumus:

$$G_s = \frac{(w_2 - w_1)}{(w_4 - w_1)T_1 - (w_3 - w_2)T_2} \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

- G_s = Berat jenis butiran sampel
- W₁ = berat piknometer kosong (gram)
- W₂ = berat piknometer + sampel sedimen kering (gram)
- W₃ = berat piknometer + sampel sedimen kering + aquades (gram)
- W₄ = berat piknometer + aquades (gram)
- T₁ = suhu pada W₄ (oC)
- T₂ = suhu pada W₃ (oC)

Contoh perhitungan:

Berat jenis sedimen pada sampel A1 piknometer 1

$$G_s = \frac{(w_2 - w_1)}{(w_4 - w_1)T_1 - (w_3 - w_2)T_2}$$

$$G_s = \frac{(68,6 - 43,9)}{(143,2 - 43,9) - (157,9 - 68,6)}$$

$$G_s = \frac{24,7}{99,3 - 89,3}$$

$$G_s = 2,470 \text{ gram/cm}^3$$

Hasil Pengujian Berat Jenis Sampel A-1

No	Uraian	Satuan	1	2	3
1	Berat piknometer kosong (W1)	Gr	43.9	44.6	49.8
2	Berat piknometer + tanah kering (W2)	Gr	68.6	60.3	71.2
3	Berat piknometer + tanah + air (W3)	Gr	157.9	153.5	159.5
4	Berat Piknometer + air (W4)	Gr	143.2	143.7	146.9
5	Tempratur	°C	28°	28°	28°
6	(W2) - (W1)	Gr	24.7	15.7	21.4
7	(W4) - (W1)	Gr	99.3	99.1	97.1
8	(W3) - (W2)	Gr	89.3	93.2	88.3
9	Berat Jenis (Gs)	Gr/cm ³	2.470	2.661	2.432

10	Rata-Rata Berat Jenis	Gr/cm ³	2.521
----	-----------------------	--------------------	-------

Angkutan Sedimen

Perhitungan distribusi angkutan sedimen menggunakan metode perhitungan Meyer-Peter Muller. Perhitungan dilakukan pada kedua titik dan selanjutnya analisis angkutan sedimen menggunakan aplikasi HEC-RAS. Rumus perhitungan Meyer-Peter Muller yang digunakan ialah:

$$\phi = ((4 \times \psi) - 0,188)^{1,5} \dots\dots\dots(7)$$

dengan nilai sedimen total:

$$S = \phi (g \cdot \Delta \cdot (D_{50}^3))^{0,5} \dots\dots\dots(8)$$

Langkah-langkah dalam menghitung nilai angkutan sedimen titik A:

- Menentukan Jari-jari Hidrolik (R)

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} &&= \frac{2,223-1}{1} \\ &= \frac{2,75}{7,13} &&= 1,223 \\ &= 0,386 \text{ m} &&\psi = \frac{\mu \times R \times S}{\Delta \times D_{50}} \end{aligned}$$

- Menentukan Friction Factor (C)

$$\begin{aligned} C &= \frac{V}{(R \times I)^{0,5}} &&= \frac{2,260 \times 2,260 \times 0,0018604651}{1,223 \times 0,000329} \\ &= \frac{0,23}{(0,386 \times 0,018604651)^{0,5}} &&= 4,031 \\ &= 29,513 \end{aligned}$$

- Menentukan Koefisien Chezy (C')

$$\begin{aligned} C' &= 18 \log \left[\frac{12R}{D_{90}} \right] \\ &= 18 \log \left[\frac{12 \times 0,386}{0,00453} \right] = 54,185 \end{aligned}$$

Menentukan Ripple Factor (μ)

$$\begin{aligned} \mu &= \left[\frac{C}{C'} \right]^{1,5} \\ &= \left[\frac{7,99}{54,185} \right]^{1,5} \\ &= 2,260 \end{aligned}$$

- Menghitung Intensitas Pengaliran (ψ)

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

- Menghitung Nilai angkutan sedimen

$$\begin{aligned} &(\phi) \\ \phi &= ((4 \times \psi) - 0,188)^{1,5} \\ &= ((4 \times 4,031) - 0,188)^{1,5} \\ &= 63,621 \end{aligned}$$

- Total angkutan sedimen dasar

$$\begin{aligned} S &= \phi (g \cdot \Delta \cdot (D_{50}^3))^{0,5} \\ &= 63,621 (9,81 \times 1,223 \\ &\times (0,000392^3))^{0,5} \\ &= 3,997 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m} \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dihitung total angkutan sedimen dasar dari masing masing titik

Hasil perhitungan total angkutan sedimen dasar

Keterangan	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
Jari-jari Hidrolik (R)	0.386	0.795	1.597	1.544
<i>Friction Factor</i> (C)	93.327	67.594	38.524	42.909
Koefisien Chezy (C')	54.185	59.842	65.293	65.030
<i>Ripple Factor</i> (μ)	2.260	1.200	0.453	0.536
Perbedaan BJ (Δ)	1.223	1.364	1.349	1.313
Intensitas Pengaliran (ψ)	4.031	3.958	3.034	3.565
Nilai angkutan sedimen (ϕ)	63.621	61.875	41.306	52.786
Total angkutan sedimen dasar	3.997	7.111	4.721	5.952

Dari perhitungan diatas nilai angkutan sedimen di titik A diperoleh hasil 3,997 m³/det/m, B: 7,111 m³/det/m, C: 4,721 , D: 5,952 Dari kedua nilai angkutan sedimen tersebut rata-rata nilai angkutan sedimen di Sungai Metro sebesar 5,455 m³/det/m.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan analisis perhitungan dengan menggunakan data- data yang ada,dapat disimpulkan sebagai berikut :

Besar debit aliran Sungai Metro adalah 1.925 m³/s pada titik A, 7.768 m³/s pada titik B, 11.768 m³/s pada titik C, 7.575 m³/s pada titik D. Hasil rata- rata pengujian berat jenis adalah sampel A = 2.223 gr/cm³, sampel B = 2.364 gr/cm³, sampel C = 2.349 gr/cm³, sampel D = 2.313 gr/cm³. Total rata – rata pengujian berat jenis yaitu 2.31225 gr/cm³. Dari perhitungan didapatkan nilai angkutan sedimen di titik A diperoleh hasil 3,997 m³/det/m, di titik B diperoleh hasil 7,111 m³/det/m, di titik C diperoleh hasil 4,721, dan di titik D diperoleh hasil 5,952. Dari kedua nilai angkutan sedimen tersebut rata-rata nilai angkutan sedimen di Sungai Metro sebesar 5,455 m³/det/m. Pengaruh sedimen yang berpindah mengakibatkan sungai menjadi lebih dalam. Angkutan sedimen juga meningkat seiring panjangnya sungai dapat dilihat perbandingan pada STA 0+000 hingga STA 4+300. Dari hasil running simulasi sedimen menggunakan program HEC-RAS dapat dilihat bahwa pada sungai Metro pergerakan angkutan sedimen mengarah pada proses Erosi.

Saran

Berdasarkan hasil dari studi ini, berbagai masukan yang dapat disampaikan kepada instansi terkait perihal perencanaan dan perawatan Sungai Metro adalah sebagai berikut:

Pada penelitian ini analisa perhitungan menggunakan aplikasi HEC-RAS, guna membantu dan mempercepat proses analisa perhitungan. Untuk penelitian selanjutnya bisa menganalisis sedimentasi dengan skala lebih besar mencakup 2 kecamatan atau lebih. Bisa dipertimbangkan menggunakan metode Metode L.C. Van Rijn dalam perhitungan angkutan sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Nizar, and M Eng. 2011. "Persamaan Angkutan Sedimen," 58. Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- Asdak, Chay. 2004. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Edisi Kedua)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Asdak. 2010. "Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Air Sungai: Edisi Revisi Kelima." Yogyakarta: Gadjah Mada University Press Yogyakarta.
- Endyi, Endyi, Kartini Kartini, and Danang Gunarto. 2017. "Analisa Angkutan Sedimen Di Sungai Jawi Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya." Tanjungpura University.
- Finawan, Aidi. n.d. "Pengukuran Debit Air Berbasis Mikrokontroler AT89S5" 8: 4.
- Hendrianti, Evy. 2014. "Skenario Pengelolaan Kualitas Air Sungai Metro Kota Malang Dari Analisa Daya Tampung Beban Pencemaran." Jurnal Purifikasi 14 (2): 125–35. <https://doi.org/10.12962/j25983806.v14.i2.18>.
- Istiarto, Istiarto. 2014. "Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras Dasar Simple Geometry River Juli, 2014."
- Laksana, Galih Putra. 2018. "Studi Tingkat Erosi Dan Limpasan Di Sub DAS Lesti, Malang." Jurnal Rekayasa Sipil 2 (2): 136–44.
- Mahyudin, Mahyudin, Soemarno Soemarno, and Tri Budi Prayogo. 2015. "Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro Di Kota Kepanjen Kabupaten Malang." Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development 6 (2).
- Rachmawati, Azizah. n.d. "Analisa Erosi Dan Fungsi Kawasan Berdasarkan Arlkt (Arahan Rehabilitasi Lahan Dan Konservasi Tanah) Pada Sub Das Roban Bangun Kabupaten Mojokerto." Jurnal Rekayasa Sipil 3 (1): 12.
- Republik Indonesia Nomor 37, Peraturan Pemerintah. 2012. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Dengan Rahmat Tuhan Yang Maha Esa Presiden Republik Indonesia*. 37. Pemerintah Republik Indonesia.
- Sudira, I Wayan, Tiny Mananoma, and H Manalip. 2013. "Analisis Angkutan Sedimen Pada Sungai Mansahan" 3 (1): 4.
- Sugiyanto, Suyatmoko. 2010. "Studi Penelusuran Banjir (Flood Routing) Dengan Metode Muskingum Antara Stasiun Debit Banjir Gadang Sampai Stasiun Debit Banjir Sengguruh Di Sungai Brantas." Universitas Negeri Malang.
- Utomo, Dwi Refrilian, Eko Noerhayati, and Azizah Rachmawati. n.d. "Studi Evaluasi Kapasitas Penampang Sungai Kening Kabupaten Bojonegoro Dengan Menggunakan Metode HEC-RAS," 10.