



**PREDIKSI LAJU SEDIMENTASI DI BENDUNG NGIPENG
BOYOLANGU TULUNGAGUNG**

TUGAS AKHIR

Oleh

Nurfiana Dewi

NIM 141910301098

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2018



**PREDIKSI LAJU SEDIMENTASI DI BENDUNG NGIPENG
BOYOLANGU TULUNGAGUNG**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Nurfiana Dewi
NIM 141910301098

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur hanya kepadaMu ya Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang Engkau berikan sehingga saya bisa menjalani kehidupan dengan kebahagiaan dan menyelesaikan tugas akhir ini. Akhirnya dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih dan Penyayang dengan kerendahan hati kupersembahkan sebuah karya sederhana ini sebagai wujud terimakasih, bukti, dan cintaku pada :

1. Ayahanda Waridi dan Ibunda Watini yang telah mendoakan, memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan serta pengorbanan yang besar dan tidak mungkin bisa dibalas dengan apapun;
2. Kakak-kakakku tersayang Harmoni, Najib dan Tri Andari yang selalu memberikan doa dan motivasi;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi, yang sudah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. PPK Bendungan I BBWS Brantas dan BBWS Brantas Jombang yang telah membantu memberikan data-data sekunder selama proses penyusunan tugas akhir;
5. Sahabatku Ana Baena, Jevabika, Atun, Risacu, Indah, Huri dan Sheren yang selalu ada dan memberikan motivasi;
6. Saudaraku Yesi, Chania dan Arini yang sudah memberikan banyak bantuan saat proses pengambilan data;
7. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

MOTTO

“Sesungguhnya telah datang kepada-Ku sebagian ilmu pengetahuan yang tidak datang kepadamu, maka ikutilah Aku, niscaya Allah akan menunjukkan kepadamu jalan yang lurus”
(Terjemahan surat *Maryam* Ayat 43)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Nurfiana Dewi

NIM : 141910301098

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir yang berjudul: “Prediksi Laju Sedimentasi di Bendung Ngipeng Boyolangu Tulungagung” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Mei 2018

Yang menyatakan,

Nurfiana Dewi

NIM 141910301098

TUGAS AKHIR

**PREDIKSI LAJU SEDIMENTASI DI BENDUNG NGIPENG
BOYOLANGU TULUNGAGUNG**

Oleh

Nurfiana Dewi

141910301098

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Gusfan Halik S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Entin Hidayah M.UM.

PENGESAHAN

Tugas akhir berjudul “Prediksi Laju Sedimentasi di Bendung Ngipeng Boyolangu Tulungagung” karya Nurfiانا Dewi telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 17 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,



Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T.
NIP 19710804 199803 1 002

Pembimbing Anggota,



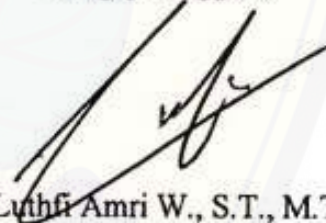
Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 19661215 199503 2 001

Penguji Utama,



Wiwik Yunarni W., S.T., M.T.
NIP 19700613 199802 2 001

Penguji Anggota,



Luthfi Amri W., S.T., M.T.
NIP 760016771

Mengesahkan

Dekan,



Entin Hidayah, M.UM.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Prediksi Laju Sedimentasi di Bendung Ngipeng Boyolangu Tulungagung;
Nurfiana Dewi, 141910301098; 2018: 51 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas
Teknik Universitas Jember.

Erosi lahan dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi pada sungai. Sedimentasi yang terjadi secara terus-menerus akan menyebabkan pendangkalan sungai. Pada Sungai Kalidawir terdapat bendung yang mengalami masalah sedimentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju sedimentasi di Bendung Ngipeng dengan pemodelan *software* HEC-RAS.

Pemodelan yang dilakukan yaitu analisis hidrolika dan analisis sedimen. Analisis hidrolika di dalam HEC-RAS membagi aliran ke dalam dua kategori, yaitu aliran permanen dan tidak permanen. Pada penelitian ini, analisis hidrolika menggunakan aliran *unsteady flow*. Analisis hidrolika memerlukan *input* data yaitu data geometri sungai, data hidrolika, debit sungai dan data sedimen. Hasil analisis hidrolika berupa tinggi muka air dan debit kemudian dibandingkan dengan observasi. Dari hasil kalibrasi mendapat nilai *Manning* 0,025. Uji keandalan analisis hidrolika menggunakan R^2 dan RMSE. Untuk tinggi muka air menghasilkan nilai $R^2 = 0,82$ dan RMSE = 0,379. Sedangkan debit memiliki nilai $R^2 = 0,81$ dan RMSE 4,7. Hasil dari analisis hidrolika selanjutnya dipakai sebagai input pemodelan sedimen.

Model angkutan sedimen yang sesuai dengan kondisi sungai adalah persamaan *Laursen*. Analisis sedimen yang dilakukan menghasilkan nilai laju sedimentasi yaitu 571,91 ton/tahun pada STA 3–6. Sedangkan hasil observasi yaitu 633 ton/tahun pada STA 3–6. Hasil dari pemodelan sedimen diuji keandalan dengan membandingkan hasil model dengan hasil observasi menggunakan NSE. Dari hasil uji keandalan memiliki nilai NSE 0,9 dengan kriteria sangat baik.

SUMMARY

Prediction of Sedimentation Rate in Ngipeng Weir, Boyolangu Tulungagung,
Nurfiana Dewi, 141910301098; 2018: 51 pages; the Civil Engineering
Department, the Faculty of Engineering, Jember University.

Land erosion can cause sedimentation in rivers. Sedimentation that occurs continuously will cause river siltation. In Kalidawir River, there is a weir that has sedimentation problem. This study aims to determine the sedimentation rate in Ngipeng weir by using HEC-RAS.

The modeling used was hydraulic and sediment analysis. The hydraulic analysis in HEC-RAS divided the flow into two categories, called steady and unsteady flow. In this study, the hydraulic analysis used unsteady flow. The hydraulic analysis required data input, such as river geometry data, hydraulic data, discharge data and sediment data. The result of the hydraulic analysis was the water level and the discharge. Then, they were compared with the observation. From the result of calibration it gets value of Manning about 0,025. The validation of hydraulic analysis used R^2 and RMSE. For the water level, it resulted in value of $R^2 = 0,82$ and $RMSE = 0,379$. While the discharge had value of $R^2 = 0.81$ and $RMSE = 4.7$. The result of the hydraulic analysis was then used as sediment modeling inputs.

The sediment transport model corresponding to river condition was the Laursen equation. The sediment analysis performed resulted in sedimentation rate of 571,91 ton/year in STA 3-6, while the observation result was 633 ton/year in STA 3-6. The result of sediment modeling was validated by comparing the model result with the observation result by using NSE. From the reliability test result, it had value of NSE 0.9 with very good criteria

PRAKATA

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Prediksi Laju Sedimentasi di bendung Ngipeng Boyolangu Tulungagung” dapat terselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan tugas akhir, penulis mendapat banyak bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T., dan Dr. Ir. Entin Hidayah M.UM., selaku Dosen Pembimbing;
2. Wiwik Yunarni W., S.T., M.T., dan Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji skripsi;
3. Ririn Endah Badriani, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
4. Willy Kriswardhana, S.T., M.T., dan Winda Wahyuningtyas, S.T., M.T., selaku komisi bimbingan;
5. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember;
6. Ir. Hernu Suyoso, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember;
7. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;

Penulis menerima kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Jember, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN/ <i>SUMMARY</i>	viii
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB 2. LANDASAN TEORI	3
2.2 Analisis Hidrolika	3
2.2.1 Aliran permanen (<i>Steady Flow</i>)	3
2.2.2 Aliran tak permanen (<i>Unsteady Flow</i>).....	7
2.3 Sedimentasi	10
2.3.1 Sedimentasi dengan <i>software</i> HEC-RAS.....	11
2.4 Software HEC-RAS	20
2.5 Uji Keandalan	23
2.5.1 R^2 (koefisien determinasi).....	23
2.5.2 EMSE (<i>Root Mean Square Errors</i>)	23
2.5.3 NSE (<i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i>)	23

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Lokasi	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Metode	26
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Analisis Hidrolika dengan <i>software</i> HEC-RAS	29
4.1.1 Pemodelan HEC-RAS.....	29
4.1.2 Perbandingan hasil model HEC-RAS dengan Observasi.....	32
4.2 Analisis Sedimen	39
4.2.1 Analisis Saringan.....	39
4.2.2 Pemodelan HEC-RAS.....	40
4.2.3 Perbandingan hasil model HEC-RAS dengan Observasi.....	43
BAB 5. PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Range input untuk persamaan angkutan sedimen	16
Tabel 2.2 Klasifikasi ukuran partikel	19
Tabel 2.3 Kriteria penilaian NSE	23
Tabel 4.1 Nilai koefisien kontraksi dan ekspansi.....	31
Tabel 4.2 Tinggi muka air hasil pemodelan.....	33
Tabel 4.3 perbandingan hasil pemodelan dengan observasi	36
Tabel 4.4 Analisis saringan.....	39
Tabel 4.5 Pemilihan persamaan transpor sedimen.....	43
Tabel 4.6 Prosentase butiran bed <i>gradation</i>	45
Tabel 4.7 Hasil pemodelan STA 3 – 6	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram aliran berubah beraturan.....	4
Gambar 2.2 Pembagian tampang untuk keperluan hitungan kapasitas angkut.....	6
Gambar 2.3 Hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di suatu tampang.....	6
Gambar 2.4 Aliran melalui alur utama dan bantaran	9
Gambar 2.5 Skema angkutan sedimen	11
Gambar 2.6 Perubahan dasar saluran	20
Gambar 2.7 Layar pengaturan nilai <i>defaults</i> koefisien kontraksi dan ekspansi.....	22
Gambar 2.8 Layar pengaturan sistem satuan	22
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	24
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian.....	27
Gambar 4.1 Layar utama <i>software</i> HEC-RAS.....	29
Gambar 4.2 Pengisian data geometri (memanjang).....	30
Gambar 4.3 Pengisian data geometri (melintang).....	30
Gambar 4.4 Pengisian data debit.....	32
Gambar 4.5 Perbandingan tinggi muka air dengan n 0,023.....	34
Gambar 4.6 Perbandingan tinggi muka air dengan n 0,025.....	34
Gambar 4.7 Perbandingan tinggi muka air dengan n 0.03.....	35
Gambar 4.8 R^2 tinggi muka air.....	37
Gambar 4.9 R^2 debit.....	37
Gambar 4.10 Grafik analisis saringan.....	40
Gambar 4.11 Layar utama pengisian debit <i>quasi-unsteady</i>	40
Gambar 4.12 Hubungan debit dan waktu.....	41
Gambar 4.13 Layar utama pengisian data sedimen	42
Gambar 4.14 Skema metode <i>sorting</i> dan <i>armoring Thomas</i>	‘
Gambar 4.15 Layar utama pengisian <i>bed gradation</i>	45
Gambar 4.16 Layar utama <i>Boundary Conditions</i>	46
Gambar 4.17 Hasil pemodelan HEC-RAS.....	47
Gambar 4.18 Hasil pemodelan HEC-RAS.....	47

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan hal pokok bagi kehidupan manusia, baik itu untuk konsumsi, sanitasi, pertanian, peternakan atau tenaga listrik. Salah satu sumber air di Indonesia yang berpotensi adalah sungai. Sungai memerlukan perhatian agar dapat berfungsi dengan baik. Persoalan sungai yang menarik untuk diamati adalah terjadinya perubahan morfologi sungai. Perubahan tersebut dapat terjadi secara alami misalnya terjadinya erosi lahan.

Erosi lahan dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi di sungai. Sedimentasi yang terjadi secara terus-menerus akan menyebabkan pendangkalan sungai. Sedimen tersebut akan diendapkan pada tempat-tempat tertentu ketika aliran tidak mampu mengangkut sedimen. Dalam kondisi tertentu endapan sedimen tersebut dapat mengurangi kapasitas sungai.

Sungai Kalidawir merupakan salah satu sungai yang mempunyai peranan penting bagi masyarakat. Sungai ini dimanfaatkan sebagai pengairan sawah, dan pengendalian banjir ketika curah hujan tinggi di bagian hulu. Bendung Ngipeng merupakan salah satu bendung yang ada di Sungai Kalidawir yang berlokasi di Kabupaten Tulungagung, tepatnya di Desa Wajak Kidul, Kecamatan Boyolangu. Pada bagian hulu bendung tersebut mengalami masalah sedimentasi. Sedimentasi tersebut dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas air irigasi. Untuk mengetahui jumlah sedimen maka dilakukan pemodelan laju sedimentasi. Hasil pemodelan sedimen dapat digunakan sebagai acuan penjadwalan pemeliharaan berkala seperti pengerukan sedimen.

Salah satu metode untuk memprediksi sedimentasi pada bendung adalah menggunakan *software* seperti *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System* atau biasa disebut HEC-RAS. Program HEC-RAS merupakan salah satu program pemodelan analisis hidrolika aliran dan sedimentasi pada saluran maupun sungai (*US Army Corps of Engineers 2016*).

Penelitian sedimentasi dengan program HEC-RAS sebelumnya telah dilakukan di beberapa lokasi, diantaranya di Bendung Tugu Trenggalek hasil

perkiraan besar laju sedimentasi dari metode pemodelan HEC-RAS sebesar 22.000 m³/th (Shiami 2017). Di Sungai Deli analisis perubahan dasar sungai dan besarnya angkutan sedimen dengan aplikasi HEC-RAS menghasilkan besaran angkutan sedimen jangka pendek sebesar 625.483,5 ton dan jangka panjang 787.553,1 ton (Fadlun 2009). Dari hasil penelitian terdahulu maka penelitian ini dapat dilakukan dengan *software* HEC-RAS. Dalam penelitian ini akan dilakukan prediksi laju sedimentasi pada Bendung Ngipeng dengan pemodelan *software* HEC-RAS.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

Berapa prediksi laju sedimentasi yang terjadi di Bendung Ngipeng?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah memprediksi laju sedimentasi yang terjadi di Bendung Ngipeng.

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh beberapa instansi terkait seperti: Dinas Pengairan, Balai Besar Wilayah Sungai Brantas dalam menentukan kegiatan pemeliharaan berkala seperti penentuan jadwal pengerukan sedimen.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data input pemodelan prediksi sedimentasi menggunakan data tahun 2017.
2. Pemodelan hidrolika menggunakan pendekatan model 1 dimensi (HEC-RAS).
3. Tidak memodelkan sedimentasi melayang (*suspended load*)

BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur dan kedalaman aliran di batas hilir. Analisis hidrolika aliran di dalam HEC-RAS dilakukan dengan membagi aliran ke dalam dua kategori, yaitu aliran permanen dan tidak permanen. HEC-RAS menggunakan persamaan yang berbeda untuk masing-masing kategori aliran tersebut.

2.2.1 Aliran permanen (*Steady Flow*)

a. Persamaan energi

Muka air dihitung dengan memakai persamaan energi yang diselesaikan dengan metode yang dikenal sebagai *standard step method*. Persamaan energi antara dua tampang lintang dituliskan dalam bentuk berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers. 2016 b*):

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

Y_1, Y_2 = kedalaman aliran

Z_1, Z_2 = elevasi dasar saluran

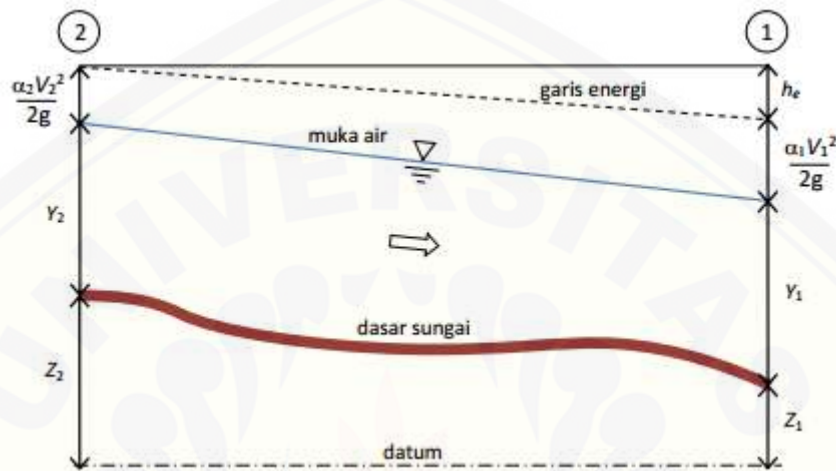
V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (debit dibagi luas tampang basah)

α_1, α_2 = koefisien

g = percepatan gravitasi

h_e = kehilangan tinggi energi

Gambar 2.1 mengilustrasikan profil aliran yang menunjukkan komponen aliran sesuai dengan suku-suku pada persamaan energi. Dari Gambar 2.1 tampak bahwa kedalaman aliran diukur ke arah vertikal. Hal ini membawa konsekuensi bahwa hitungan profil muka air dengan HEC-RAS hanya cocok untuk alur sungai yang memiliki kemiringan dasar kecil.



Gambar 2.1 Diagram aliran berubah beraturan (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b)

b. Kehilangan tinggi energi

Kehilangan (tinggi) energi, h_e , di antara dua tampang lintang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*). Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

L = panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit

$L\bar{S}_f$ = *representative friction slope* antar kedua tampang

C = koefisien kehilangan energi akibat perubahan tampang (kontraksi atau ekspansi)

Panjang ruas sungai antar dua tampang yang diberi bobot sesuai dengan debit, L , dinyatakan dengan persamaan berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$L = \frac{L_{lab}\bar{Q}_{lab} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rab}\bar{Q}_{rab}}{\bar{Q}_{lab} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rab}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

L_{lab}, L_{ch}, L_{rab} = panjang ruas sungai sisi kiri (*left overbank*), alur utama (*main channel*), dan sisi kanan (*right overbank*)

$\bar{Q}_{lab} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rab}$ = debit yang mengalir melalui *left overbank*, *main channel*, dan *right overbank*

c. Kapasitas angkut tampang

Kapasitas angkut dan kecepatan rata-rata di suatu tampang dihitung dengan membagi tampang menjadi beberapa bagian, dan di setiap bagian kecepatan terbagi merata. Satu nilai koefisien *Manning* (n) ditetapkan di setiap bagian tampang tersebut. Di setiap bagian tampang, kapasitas angkut dihitung dengan memakai persamaan *Manning* berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$Q = K\bar{S}_f^{1/2} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$K = \frac{1}{n}AR^{2/3} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

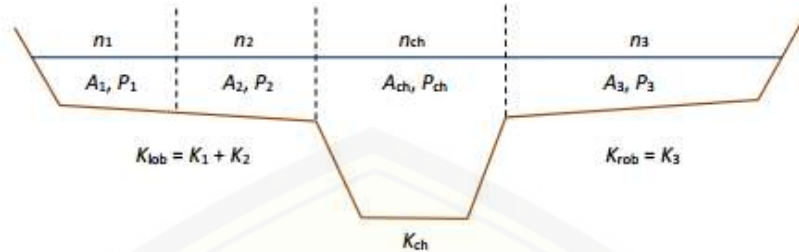
K = kapasitas angkut tiap bagian tampang

n = koefisien kekasaran *Manning* tiap bagian tampang

A = luas tampang basah tiap bagian tampang

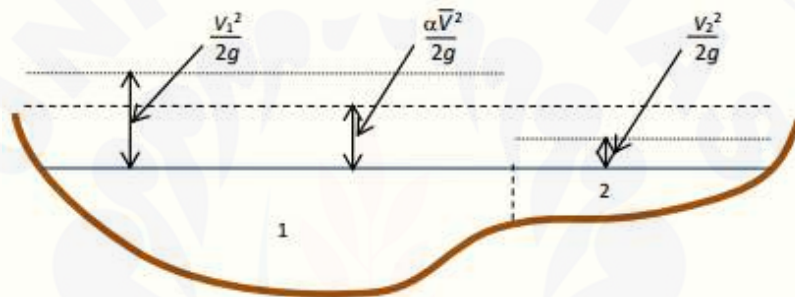
R = radius hidrolik tiap bagian tampang

Kapasitas angkut total suatu tampang adalah jumlah kapasitas angkut seluruh bagian tampang (lihat Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Pembagian tampang untuk keperluan hitungan kapasitas angkut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b)

d. Tinggi energi kinetik rata-rata



Gambar 2.3 Hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di suatu tampang (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b)

Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata, diperlukan koefisien tinggi kecepatan, α , yang dihitung dengan cara sebagai berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$\alpha \frac{\bar{v}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \frac{v_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan demikian :

$$\alpha = \frac{Q_1 v_1^2 + Q_2 v_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{v}^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

atau pada umumnya:

$$\alpha = \frac{|Q_1 v_1^2 + Q_2 v_2^2 + \dots + Q_N v_N^2|}{Q \bar{v}^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

e. Tinggi hilang karena gesekan

Kehilangan energi akibat gesekan (*friction loss*) merupakan perkalian antara kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*), dan panjang ruas sungai antara dua tampang, L. Kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*) di suatu tampang dihitung dengan persamaan *Manning*.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Selain persamaan di atas, HEC-RAS memiliki opsi beberapa persamaan lain untuk menghitung *friction slope*.

Kapasitas angkut rata-rata

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1+Q_2}{K_1+K_2}\right)^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

Friction slope rata-rata

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} \times S_{f2}}{2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Friction slope rata-rata geometrik

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Friction slope rata-rata harmonik

$$\bar{S}_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}} \dots\dots\dots (2.13)$$

f. Koefisien persempitan dan pelebaran tampang

Koefisien kehilangan energi karena kontraksi dan ekspansi dihitung dengan cara sebagai berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

C = koefisien kontraksi atau ekspansi

2.2.2 Aliran tak permanen (*Unsteady Flow*)

a. Persamaan dasar

Aliran di saluran atau sungai merupakan proses fisik yang mengikuti hukum kekekalan momentum. Proses fisik ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis, yang dikenal sebagai persamaan *St. Venant*. Persamaan *St. Venant* terdiri dari persamaan kontinuitas (prinsip konservasi massa) dan persamaan momentum (prinsip konservasi momentum), yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \dots\dots\dots (2.15)$$

Persamaan momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan:

A = luas total tampang aliran (jumlah luas tampang aliran di *main channel* dan *overbank channel*)

Q = debit aliran

Q_l = debit lateral per satuan panjang

V = kecepatan aliran

g = percepatan gravitasi

x = jarak, diukur searah aliran

z = elevasi muka air

t = waktu

S_f = kemiringan garis energi (*friction slope*), dihitung dengan persamaan *Manning*

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^2} \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan:

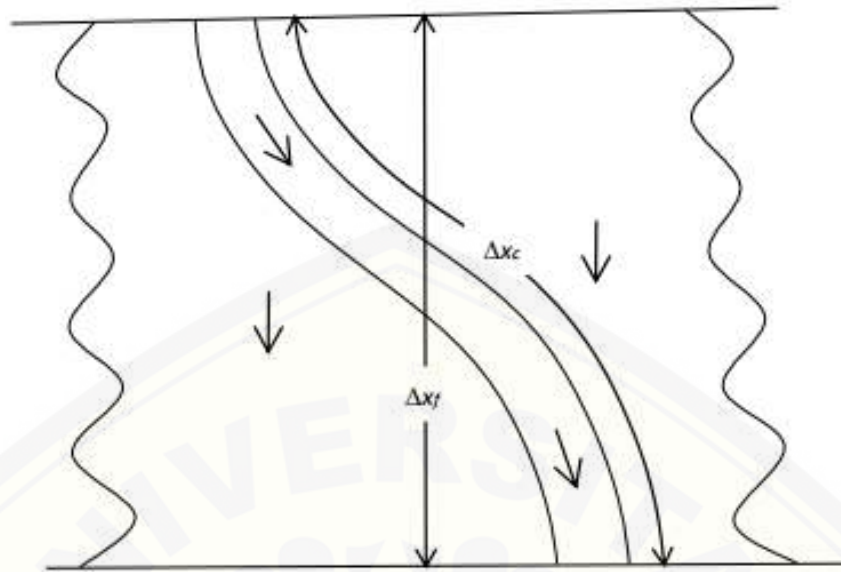
n = koefisien kekasaran *Manning*

R = radius hidrolis

2. Penerapan persamaan aliran tak permanen

HEC-RAS membagi alur saluran menjadi tiga bagian, yaitu bantaran kiri, alur utama, dan bantaran kanan seperti diilustrasikan pada Gambar 2.4 cara HEC-RAS memodelkan aliran di bantaran didasarkan pada metode yang awalnya dikembangkan oleh Fread (1976) dan Smith (1978), yang kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Barkau (1982).

Fread (1976) dan Smith (1978) memandang aliran melalui alur utama dan melalui bantaran sebagai dua aliran yang melewati dua tampang saluran terpisah serta menuliskan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum untuk masing-masing tampang.



Gambar 2.4 Aliran melalui alur utama dan bantaran (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b)

Penyederhanaan dilakukan dengan menganggap muka air di kedua tampang saluran pada arah lateral (tegak lurus arah aliran) datar atau horizontal. Dengan demikian transfer momentum di antara kedua tampang dapat diabaikan, dan debit terbagi ke kedua tampang berdasarkan kapasitas angkut (*conveyance*) masing-masing tampang yaitu (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$Q_c = \phi Q \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

Q_c = debit aliran melalui alur utama (*channel*)

Q = debit total aliran

ϕ = $K_c / (K_c + K_f)$

K_c = kapasitas angkut tampang alur utama

Dengan anggapan tersebut, maka persamaan aliran satu dimensi dapat digabungkan menjadi satu kelompok persamaan sebagai berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)^2 Q^2 / A_f]}{\partial x_f} + gA_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) + gA_f \left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right) = 0 \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

c = mengacu pada alur utama

f = mengacu pada bantaran

Persamaan diatas dijabarkan dengan pendekatan beda hingga implisit dan persamaan yang diperoleh diselesaikan dengan cara iterasi *Newton Rophson*.

2.3 Sedimentasi

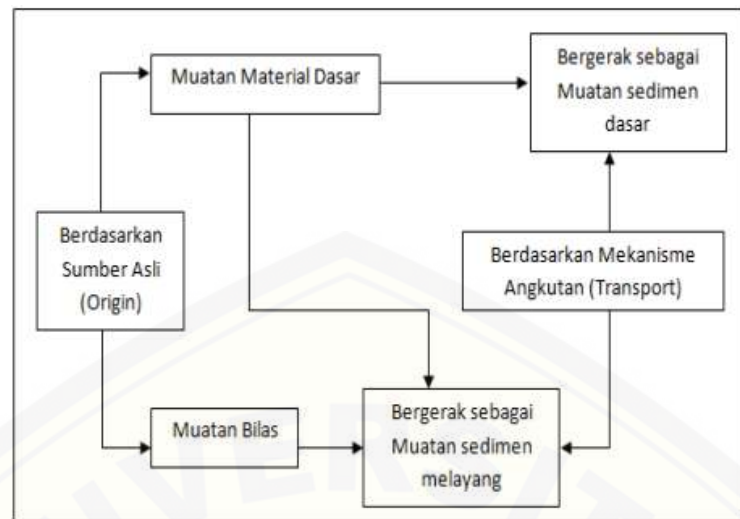
Sedimentasi adalah proses terbawanya sedimen oleh suatu limpasan/aliran air yang diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan airnya melambat atau terhenti seperti pada saluran sungai, waduk, danau maupun kawasan tepi teluk/laut (Arsyad, 1989).

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. Menurut Asdak (2010), pada saat sedimen memasuki badan sungai maka berlangsunglah *transport sediment*. Kecepatan *transport sediment* merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut, sedangkan partikel yang lebih besar, antara lain, pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pada pasir, seperti kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai.

Angkutan sedimen berdasarkan asalnya dibagi menjadi dua macam:

1. Muatan material dasar atau *bed material transport*, dimana asal materialnya dari saluran sendiri. Angkutan sedimen ini dapat berupa *bed load* dan *suspended load*.
2. Muatan bilas atau *wash load* yang materialnya datang dari sumber-sumber luar saluran merupakan akibat dari erosi di hulu. Angkutan *wash load* pada umumnya merupakan *suspended load*.

Angkutan sedimen berdasarkan mekanisme angkutan ada dua yaitu bergerak sebagai muatan sedimen dan bergerak sebagai muatan sedimen melayang.



Gambar 2.5 Skema angkutan sedimen (Sumber: *Breussers*, 1993)

2.3.1. Sedimentasi dengan *Software* HEC-RAS

Software HEC-RAS memiliki kemampuan untuk memprediksi kapasitas transportasi untuk sedimen *non-kohefif* pada satu atau lebih penampang berdasarkan parameter hidrolik yang ada dan sifat sedimen dasar yang sudah diketahui. Sebelum HEC-RAS dapat mensimulasikan transpor sedimen, hidrolika sungai harus didefinisikan lebih dulu. *Software* HEC-RAS menggunakan penyederhanaan hidrodinamik, pendekatan umum banyak digunakan dalam pemodelan transpor sedimen.

a) Kontinuitas sedimen

Penelusuran sedimen pada HEC-RAS menggunakan persamaan kontinuitas sedimen yang juga dikenal sebagai persamaan *Exner* (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$(1 - \lambda_p)B \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial Q_s}{\partial x} \dots \dots \dots (2.21)$$

dengan:

- B = lebar saluran
- η = elevasi saluran
- λ_p = porositas lapisan
- t = waktu
- x = jarak
- Q_s = muatan angkutan sedimen

HEC-RAS memecahkan persamaan kontinuitas sedimen dengan menghitung sebuah kapasitas angkutan sedimen melalui volume kontrol setiap penampang *cross section* tertentu, kapasitas muatan sedimen keluar dibandingkan dengan muatan muatan sedimen yang masuk. Jika kapasitas sedimen keluar lebih banyak dari muatan sedimen yang masuk maka terjadi erosi, jika kapasitas sedimen keluar lebih besar dari pasokan maka ada surplus sedimen yang menyebabkan terjadinya sedimentasi.

b) Perhitungan kapasitas angkutan

Kapasitas angkutan sedimen adalah berapa banyak material dari ukuran sedimen tertentu yang dapat diangkut oleh air. Kapasitas angkut sedimen dihitung dengan salah satu dari beberapa rumus *sediment transport* yang terdapat pada program HEC-RAS. Sebagian besar persamaan sedimen transport ini dihitung dengan ukuran butir tunggal seperti d_{50} atau d_{90} saja. Ada tujuh persamaan daya angkut sedimen pada *software* HEC-RAS (*Sumber: US Army Corps of Engineers. 2016 b*):

1) Ackers and White

Persamaan ini merupakan fungsi *total load* yang dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa angkutan sedimen halus berhubungan dengan fluktuasi turbulen air dan angkutan sedimen kasar berhubungan erat dengan gaya geser atau dalam variable disebut dengan kecepatan rata-rata. Sedimen halus yang dimaksud adalah lanau berukuran kurang dari 0,04 mm dan sedimen kasar berukuran lebih dari 2,5 mm.

$$X = \frac{G_{gr} s d_s}{D \cdot \left(\frac{u_*}{V}\right)^n} \text{ and } G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1\right) \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan:

- X = konsentrasi sedimen per segmen
- G_{gr} = parameter transport sedimen
- s = *specific gravity* sedimen
- d_s = nilai tengah diameter partikel
- D = kedalaman efektif
- u_* = kecepatan geser

- V = kecepatan saluran rata-rata
- n = *transition exponent*, tergantung ukuran sedimen
- C = koefisien
- F_{gr} = parameter mobilitas sedimen
- A = parameter mobilitas sedimen kritis

2) England Hansen

Rumus ini merupakan fungsi prediksi total load yang hasilnya cukup untuk sungai berpasir dengan substansi angkutan melayang. Percobaan dari persamaan ini berasal dari data *flume* dengan ukuran sedimen 0,19 mm sampai 0,93 mm.

$$g_s = 0,05 \gamma_s V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)}} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s-\gamma)d_{50}} \right]^{3/2} \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

- g_s = *unit sediment transport*
- γ = berat jenis air
- γ_s = berat jenis sedimen
- V = kecepatan rata-rata saluran
- τ_0 = tegangan geser dasar
- d_{50} = ukuran partikel 50%

3) Laursen-Copeland

Fungsi prediksi angkutan sedimen total ini diturunkan dari kombinasi analisis kualitatif, eksperimen langsung, dan data pendukung. Rentang ukuran nilai tengah sedimen yang diaplikasikan antara 0,11 mm sampai 29 mm.

$$C_m = 0,01\gamma \left(\frac{d_s}{D}\right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1\right) f\left(\frac{u_*}{\omega}\right) \dots\dots\dots (2.24)$$

- C_m = konsentrasi aliran sedimen
- γ = berat jenis air
- d_s = nilai tengah diameter partikel
- D = kedalaman efektif
- τ_0 = tegangan geser halus
- τ_c = tegangan geser dasar kritis

$f\left(\frac{u_*}{\omega}\right)$ = fungsi dari rasio kecepatan geser dan kecepatan jatuh

4) Meyer-peter Muller

$$\left(\frac{k_r}{k'_r}\right)^{3/2} \gamma RS = 0,047(\gamma_s - \gamma)d_m + 0,25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s}\right)^{2/3} g_s^{2/3} \dots \quad (2.25)$$

dengan:

g_s = unit sediment transport rate dalam berat/waktu/lebar

k_r = koefisien kekasaran

k'_r = koefisien kekasaran berdasarkan butiran

γ = berat jenis air

γ_s = berat jenis sedimen

g = percepatan gravitasi

d_m = nilai tengah diameter partikel

R = radius hidrolis

S = gradien energi

5) Toffaleti

Zona rendah

$$g_{ssL} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-0,756z}}{1+n_v-0,756z} \dots \quad (2.26)$$

Zona tengah

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left[\left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-z} - \left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-z} \right]}{1+n_v-z} \dots \quad (2.27)$$

Zona atas

$$g_{ssU} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left(\frac{R}{2,5}\right)^{0,5z} \left[R^{1+n_v-1,5z} - \left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-1,5z} \right]}{1+n_v-1,5z} \dots \quad (2.28)$$

Zona dasar

$$g_{sb} = M(2d_m)^{1+n_v+0,756z} \dots \quad (2.29)$$

$$M = 43,2C_L(1 + n_v)VR^{0,756z-n_v} \dots \quad (2.30)$$

$$g_s = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb} \dots \quad (2.31)$$

dengan:

g_{ssL} = angkutan sedimen melayang pada zona rendah

g_{ssM} = angkutan sedimen melayang pada zona tengah

- g_{ssU} = angkutan sedimen melayang pada zona atas
- g_{sb} = angkutan sedimen dasar
- g_s = angkutan sedimen total
- M = parameter konsentrasi sedimen
- C_L = konsentrasi sedimen pada zona rendah
- R = radius hidrolis
- d_m = nilai tengah diameter partikel
- z = nilai yang menggambarkan hubungan antara sedimen dan karakteristik hidrolis
- n_v = nilai temperatur

6) Yang

Untuk pasir $d_m < 2 \text{ mm}$

$$\log C_t = 5,435 - 0,286 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,457 \log \frac{u_*}{\omega} + \left(1,799 - 0,409 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,314 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr} S}{\omega} \right) \dots\dots\dots (2.32)$$

Untuk kerikil $d_m \geq 2 \text{ mm}$

$$\log C_t = 6,681 - 0,633 \log \frac{\omega d_m}{v} - 4,816 \frac{u_*}{\omega} + \left(2,784 - 0,305 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,282 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr} S}{\omega} \right) \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan:

- C_t = total konsentrasi sedimen
- ω = kecepatan jatuh partikel
- d_m = nilai tengah diameter partikel
- v = kecepatan kinematik
- u_* = kecepatan geser
- V = rata-rata kecepatan saluran

7) Wilcock

Pemilihan rumus angkutan sedimen perlu dipertimbangkan berdasarkan data yang dibutuhkan dalam persamaan tersebut. Berikut pada Tabel 2.1 ditunjukkan kebutuhan data yang diperlukan dari masing-masing persamaan.

Tabel 2.1 *Range* input untuk persamaan angkutan sedimen

Fuction	d	Dm	s	V	D	S	W	T
Ackers-White (Flume)	0.04-7.0	NA	NA	0.07-7.1	0.01-1.4	0.00006-0.037	0.23-4.0	46-89
England-Hansen (Flume)	NA	0.19-0.93	NA	0.65-6.34	0.19-1.33	0.000055-0.019	NA	45-93
Laursen (Field)	NA	0.08-0.7	NA	0.068-7.8	0.67-54	0.0000021-0.0018	63-3640	32-93
Laursen (Flume)	NA	0.011-29	NA	0.7-9.4	0.03-3.6	0.00025-0.025	0.25-6.6	46-83
Meyer-Peter Muller (Flume)	0.4-29	NA	1.25-4.0	1.2-9.4	0.03-3.9	0.0004-0.02	0.5-6.6	NA
Tofaletti (Field)	0.062-4.0	0.095-0.76	NA	0.7-7.8	0.07-56.7R	0.000002-0.0011	63-3640	32-93
Tofaletti (Flume)	0.062-4.0	0.45-0.91	NA	0.7-6.3	0.07-1.1R	0.00014-0.019	0.8-8	40-93
Yang (Field-Sand)	0.15-1.7	NA	NA	0.8-6.4	0.04-50	0.000043-0.028	0.44-1750	32-94
Yang (Field-gravel)	2.5-7.0	NA	NA	1.4-5.1	0.08-0.72	0.0012-0.029	0.44-1750	32-94

(Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b)

dengan:

- d = semua diameter partikel (mm)
- dm = nilai tengah diameter partikel (mm)
- s = *spesific gavity* sedimen
- V = kecepatan rata-rata penampang (fps)
- D = kedalaman penampang (ft)
- S = kemiringan garis energi
- W = lebar saluran (ft)
- T = suhu air (°F)
- R = jari-jari hidrolis (ft)
- NA = data tidak ditentukan

c) Kecepatan jatuh

Kecepatan jatuh berpengaruh besar dalam proses angkutan sedimen. Suatu sedimen akan tetap melayang atau tidak mengendap selama kecepatan aliran arah vertikal lebih besar dari kecepatan jatuh. Pada *software* HEC-RAS terdapat tiga metode perhitungan kecepatan jatuh yaitu Toffaleti (1968), Van Rijn (1993), dan Rubey (1933).

Faktor bentuk penting untuk partikel bergolongan ukuran medium sand atau yang lebih besar. Toffaleti menggunakan sf 0,9. Perbedaan kecepatan jatuh dipengaruhi oleh suhu dan ukuran partikel. Sedangkan Van Rijn nilai sf -nya 0,7 yang sama dengan perkiraan untuk besar pasir murni. Persamaan kecepatan jatuh menurut Van Rijn adalah sebagai berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

Untuk $0,001 < d \leq 0,1$ mm

$$\omega = \frac{(s-1)gd}{18\nu} \dots\dots\dots (2.34)$$

Untuk $0,1 < d \leq 1$ mm

$$\omega = \frac{10\nu}{d} \left[\left(1 + \frac{0,01(s-1)gd^3}{\nu^2} \right)^{0,5} - 1 \right] \dots\dots\dots (2.35)$$

Untuk $d > 1$ mm

$$\omega = 1,1[(s-1)gd]^{0,5} \dots\dots\dots (2.36)$$

dengan:

ω = kecepatan jatuh partikel

ν = viskositas kinematis

s = *specific gravity* partikel

d = diameter partikel

Persamaan Rubey dapat digunakan untuk jenis partikel sedimen dari lanau, pasir, dan kerikil. *Specific gravity* yang terbaik untuk diaplikasikan adalah 2,65. Persamaan Rubey adalah sebagai berikut (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b):

$$\omega = F_1 \cdot [(s-1)gd]^{0,5} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dengan nilai F_1

$$F_1 = \sqrt{\frac{3}{2}} + \frac{36v^2}{gd^3(s-1)} - \sqrt{\frac{36v^2}{gd^3(s-1)}} \dots \dots \dots (2.38)$$

d) Gradasi sedimen

Gradasi partikel sedimen berpengaruh besar dalam terjadinya angkutan sedimen. Kapasitas angkutan sedimen untuk semua ukuran merupakan penjumlahan dari kapasitas angkutan sedimen total (*Sumber: US Army Corps of Engineers. 2016 b*).

$$g_s = \sum_{i=1}^n g_{si} p_i \dots \dots \dots (2.39)$$

dengan:

- g_s = angkutan sedimen total
- n = jumlah kelas ukuran sedimen
- g_{si} = angkutan sedimen ukuran i
- p_i = fraksi kelas ukuran i

Kelas ukuran sedimen berdasarkan *American Geophysical Union* yang digunakan sebagai pada *software* HEC-RAS ditunjukkan oleh Tabel 2.2.

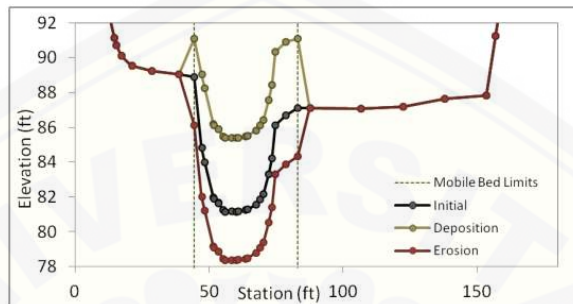
Tabel 2.2 Klasifikasi ukuran partikel

Material Sedimen	Kisaran Diameter Butiran(mm)	Nilai Tengah Diameter (mm)
Lumpur	0.002-0.004	0.003
Lanau sangat halus	0.004-0.008	0.006
Lanau halus	0.008-0.016	0.011
Lanau sedang	0.016-0.032	0.023
Lanau kasar	0.032-0.0625	0.045
Pasir sangat halus	0.0625-0.125	0.088
Pasir halus	0.125-0.250	0.177
Pasir sedang	0.250-0.5	0.354
Pasir kasar	0.5-1.0	0.707
Pasir sangat kasar	1-2	1.41
Kerikil sangat halus	2-4	2.83
Kerikil halus	4-8	5.66
Kerikil sedang	8-16	11.3
Kerikil kasar	16-32	22.6
Kerikil sangat kasar	32-64	45.3
Batu kecil	64-128	90.5
Batu besar	128-256	181
Batu kecil	256-512	362
Batu sedang	512-1024	724
Batu besar	1024-2048	1448

(Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016)

e) Perubahan dasar

Surplus maupun defisit sedimen pada *cross section* tertentu akan menimbulkan perubahan pada dasar saluran baik berupa erosi maupun sedimentasi. Perubahan dasar sungai akibat erosi dan sedimentasi ditunjukkan pada Gambar 2.6 (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b).



Gambar 2.6 Perubahan dasar saluran (Sumber: *US Army Corps of Engineers*. 2016 b)

2.4 Software HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resource* (IWR). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*).

HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi:

- a. Hitungan profil muka air aliran permanen
- b. Simulasi aliran tak permanen
- c. Hitungan *transport* sedimen
- d. Hitungan kualitas air.

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidrolis yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidrolis, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan.

1) *Graphical User Interface*

Interface ini berfungsi sebagai penghubung antara pemakai dan HEC-RAS. *Graphical Interface* dibuat untuk memudahkan pemakaian HEC-RAS dengan tetap mempertahankan efisiensi. Melalui *Graphical Interface* ini, dimungkinkan untuk melakukan hal-hal berikut ini dengan mudah:

- a) manajemen file,
 - b) menginputkan data serta mengeditnya,
 - c) melakukan analisis hidrolik,
 - d) menampilkan data masukan maupun hasil analisis dalam bentuk tabel dan grafik,
 - e) penyusunan laporan, dan
 - f) mengakses *on-line help*.
- ### 2) Analisis hidrolika

Berdasarkan karakter sungai, maka analisis yang digunakan untuk menghitung profil muka air aliran adalah aliran tidak permanen. *Software* HEC-RAS dapat mensimulasikan aliran tak permanen satu dimensi pada sungai yang memiliki alur kompleks, mensimulasikan transport sedimen satu dimensi (simulasi perubahan dasar sungai) akibat gerusan atau deposisi dalam waktu yang cukup panjang (umumnya tahunan, namun dapat pula dilakukan simulasi perubahan dasar sungai akibat sejumlah banjir tunggal), dan menganalisis kualitas air di sungai.

3) Penyimpanan Data dan Manajemen Data

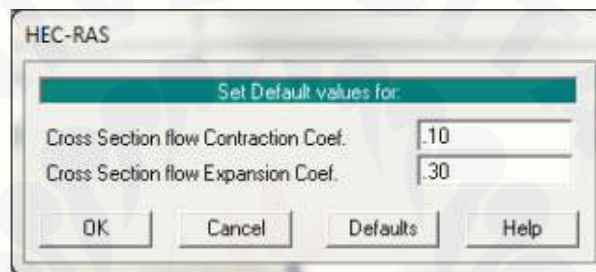
Data masukan dari pemakai HEC-RAS disimpan ke dalam file-file yang dikelompokkan menjadi: *project*, *plan*, *geometry*, *steady flow*, *unsteady flow*, dan *sediment data*. Hasil keluaran model disimpan ke dalam *binary file*. Manajemen data dilakukan melalui *user interface*. Pemakai diminta untuk menuliskan satu nama file untuk *project* yang sedang dibuat.

4) Grafik Pelaporan

Software HEC-RAS menyediakan fitur plot 3D beberapa tampang lintang sekaligus. Hasil keluaran model dapat berupa grafik dan tabel yang ditampilkan pada layar, dicetak, atau dicopy ke *clipboard* untuk dimasukkan ke dalam program

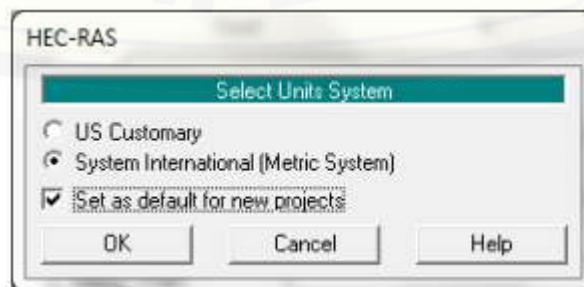
aplikasi lain. Fasilitas pelaporan pada HEC-RAS dapat berupa percetakan data masukan dan keluaran hasil pada *printer* atau *plotter*.

Sebelum melakukan langkah utama, lebih baik melakukan pengaturan awal program. Menu *Options* menyediakan fasilitas untuk melakukan beberapa parameter dalam HEC-RAS sesuai kebutuhan. Untuk mengatur nilai *default* koefisien persempitan (kontraksi) pelebaran (ekspansi) tampang saluran menggunakan menu *Contraction and Expansion Coefficients*. Untuk mengubah nilai *default* kedua koefisien ini, klik *Options | Defaults Parameters | Expansion and Contraction Coefficients* seperti tampak pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Layar pengaturan nilai *defaults* koefisien kontraksi dan Ekspansi (Sumber: Istiarto, 2014)

Sistem satuan yang dipakai dalam HEC-RAS dapat mengikuti sistem Amerika (*US Customary*) atau Sistem Internasional (SI). Untuk mengubah satuan klik *Options | Unit System (US Customary/SI)... | System International (Metric System)*. Agar sistem satuan SI menjadi sistem satuan *default* setiap kali membuat *project* baru, klik *Set as default for new projects* (Gambar 2.8). Pengubahan sistem satuan yang telah ditetapkan pada suatu *project*, dari *US Customary* ke SI atau sebaliknya, selalu dapat dilakukan dengan memakai menu *Options | Convert Project Unit*.



Gambar 2.8 Layar pengaturan sistem satuan (Sumber: Istiarto, 2014)

2.5 Uji Keandalan

2.5.1 R² (koefisien determinasi)

Koefisien determinasi adalah ukuran kecocokan hasil estimasi sebuah model regresi linier dengan data yang dimodelkan. Jika nilai R² semakin besar atau mendekati 1, maka model semakin tepat.

2.5.2 RMSE (*Root Mean Square Errors*)

RMSE bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat selisih antara nilai keluaran model terhadap nilai observasi. Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model perkiraan mendekati variasi nilai observasi. Nilai RMSE dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.40)$$

dengan:

- Y_i = data awal (data observasi)
- Ŷ_i = data akhir (data hasil pemodelan)
- n = jumlah data

2.5.3 NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*)

Nilai NSE dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum(Q_{observasi} - Q_{simulasi})^2}{\sum(Q_{observasi} - Q_{rata})^2} \right) \dots\dots\dots (2.41)$$

NSE memiliki beberapa kriteria seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Kriteria penilaian NSE

Nilai NSE	Kriteria Penilaian
0,75 < NSE ≤ 1,00	Sangat baik
0,65 < NSE ≤ 0,75	Baik
0,5 < NSE ≤ 0,65	Cukup
NSE ≤ 0,5	Buruk

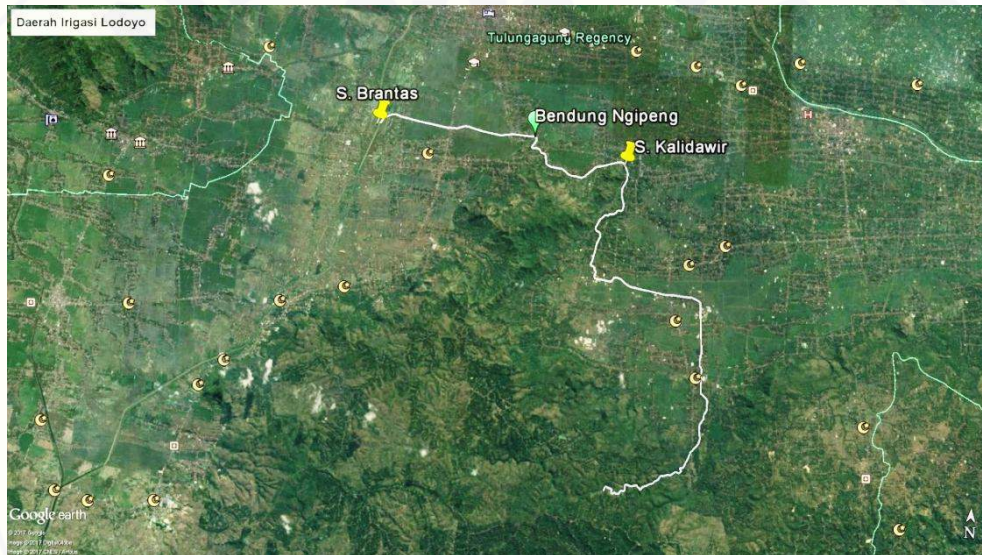
(Sumber: Moriasi et al, 2007)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini dimulai dengan survei pendahuluan, studi literatur, pengumpulan data, perumusan konsep pengerjaan, pengolahan data dan penarikan kesimpulan.

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di Bendung Ngipeng yang terletak di Kecamatan Boyolangu Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur. Secara geografis lokasi bendung terletak pada koordinat $8^{\circ}06'41''$ BT dan $111^{\circ}55'14''$ LS. Panjang lokasi penelitian 16.5 km.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Sumber: *Google Earth*, 2018)

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Komputer
- Software HEC-RAS 5.0.3

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Data sedimen
- Data debit
- Data geometri
- Data hidrolika

3.3 Metode

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi dan mendapatkan informasi mengenai Bendung Ngipeng secara langsung.

b. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori tentang hidrologi, hidrolika sungai dan bendung, sedimentasi dan penggunaan *software* HEC-RAS. Literatur yang akan digunakan sebagai dasar pengerjaan tugas akhir ini berupa buku, jurnal, makalah, skripsi, tesis dan sumber lainnya.

c. Pengumpulan Data

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

- 1) Data geometri, berupa data *cross section* sungai.
- 2) Data debit yang tersedia sungai.
- 3) Data sedimen, berupa data diameter dan konsentrasi sedimen yang digunakan untuk input data sedimen dan untuk kontrol kesesuaian model pada *software* HEC-RAS.

d. Setting parameter hidrolika

Analisis hidrolika memerlukan input data antara lain:

- 1) Data Geometri
 - Skema Alur Sungai
 - Data *cross section*
- 2) Data debit sungai yang tersedia
- 3) Data Hidrolika
 - Nilai koefisien *Manning*
 - Koefisien ekspansi dan kontraksi
 - Kemiringan dasar sungai (n)

e. Analisis hidrolika dengan *software* HEC-RAS

Hasil analisis hidrolika berupa tinggi muka air dan debit

f. Uji keandalan Model

Uji keandalan model dilakukan satu titik di STA 0 pada bulan Desember 2017. Dengan cara membandingkan tinggi muka air dan debit hasil model dengan observasi. Untuk mendapatkan model yang sesuai dilakukan kalibrasi nilai *Manning*. Uji keandalan model yang dilakukan yaitu:

- Nilai R^2 , apabila nilai yang didapatkan mendekati 1 maka model dinyatakan baik.
- Nilai RMSE pada persamaan (2.40), apabila nilai yang didapatkan mendekati 0 maka model dinyatakan baik

g. Pemilihan model laju sedimentasi pada *software* HEC-RAS

Pemilihan model laju sedimen sesuai dengan:

- Diameter butiran sedimen
- Kecepatan aliran
- Kedalaman sungai

h. Setting parameter model

Analisis sedimen membutuhkan data:

- Model laju sedimen
- Diameter butiran sedimen
- Kecepatan jatuh
- Kedalaman maksimum dan elevasi minimum

i. Analisis sedimen dengan *software* HEC-RAS

Hasil dari analisis sedimen adalah laju sedimentasi dengan satuan ton.

j. Uji keandalan model

Uji keandalan model dilakukan di STA 3 – 6 pada tahun 2017. Dengan cara membandingkan hasil model dengan observasi. Data sedimen observasi didapat dari data pengerukan di STA 3 – 6 pada tahun 2017. Uji keandalan menggunakan NSE seperti pada persamaan (2.41), apabila nilai yang didapat mendekati 1 maka model dinyatakan baik.

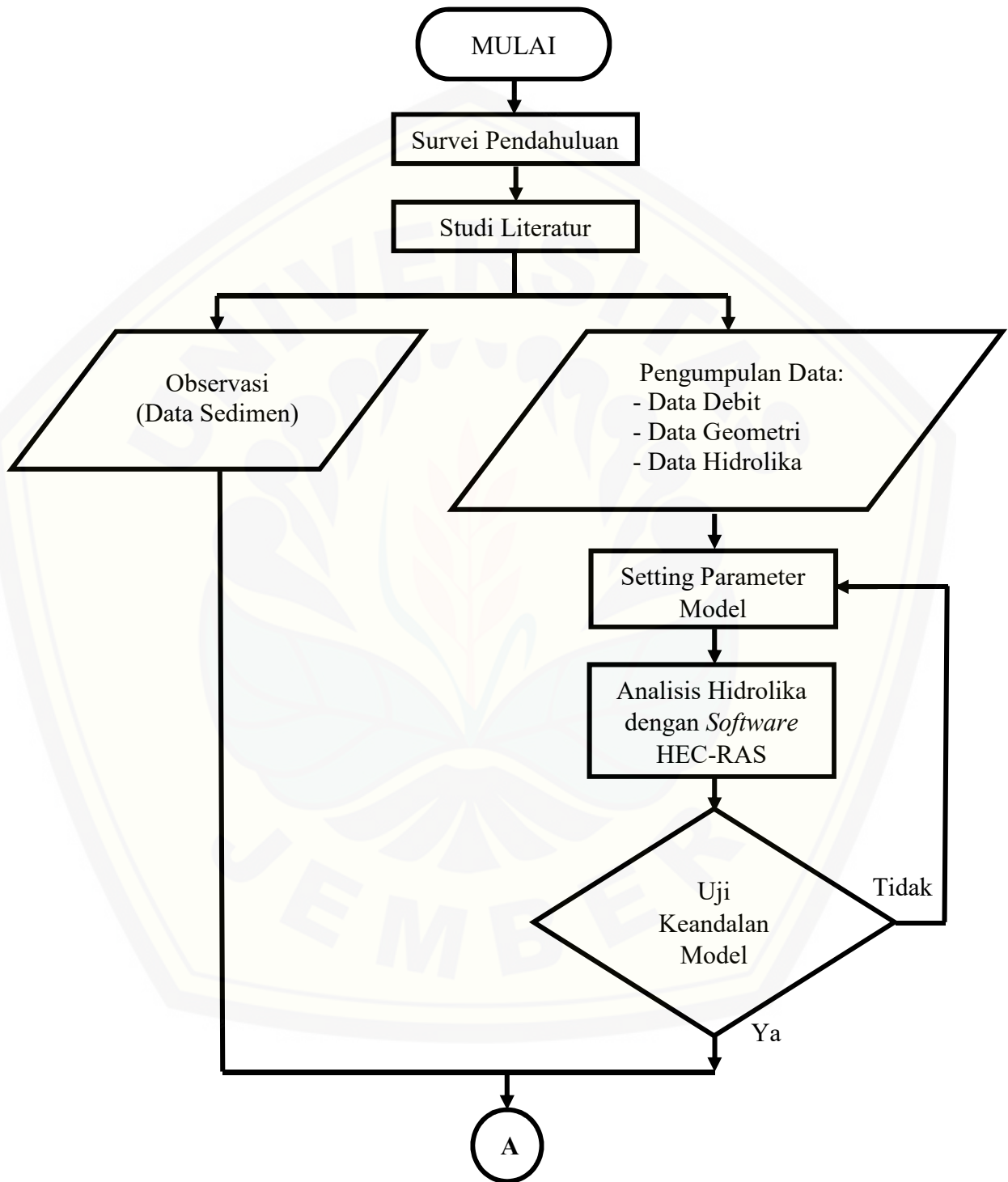
k. Hasil dan pembahasan

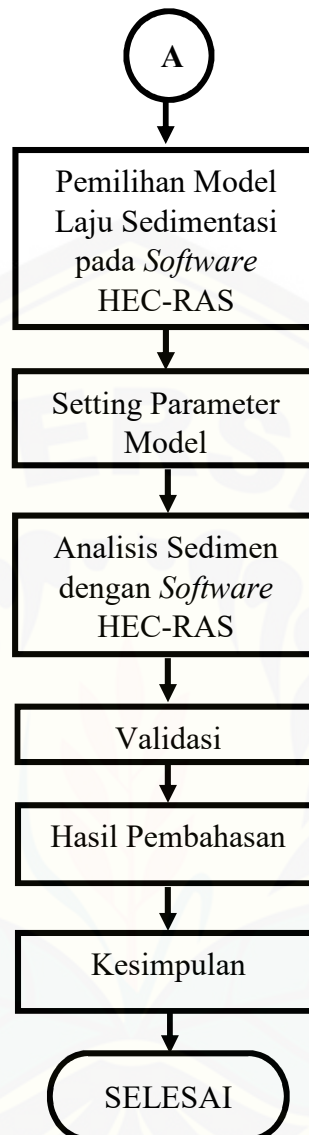
l. Kesimpulan

Hasil yang didapatkan adalah besar laju sedimentasi dari pemodelan.

m. Diagram Alur Pengolahan Data

Diagram alur pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.





Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa, prediksi laju sedimentasi di Bendung Ngipeng yang dihitung dengan metode Laursen pada HEC-RAS adalah 571,9 ton/tahun. Hasil sedimen observasi adalah 633 ton/tahun. Keandalan pemodelan sedimen dengan HEC-RAS memiliki nilai NSE sebesar 0,9 dengan kriteria sangat baik.

5.2 Saran

Pemodelan HEC-RAS merupakan pemodelan dengan pendekatan satu dimensi sehingga memiliki keterbatasan. Untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal dapat menggunakan program 2 dimensi atau 3 dimensi seperti MIKE21 dan *Surface Modeling System* (SMS).

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M. F. 2011. Studi Pengaruh Buang Lumpur Lapindo Terhadap Agradasi dan Degradasi Kali Porong dengan Menggunakan Model HEC-RAS V4.1.0. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.
- Asdak, Chay, 2002, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Asdak, Chay, 2010, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Breusser, 1993. *Lecture Notes on Sediment Transport*. International of Hydraulics Engineering. Delft. Netherlands.
- Fadlun, M. 2009. Analisis Pengendalian Sedimen di Sungai Deli dengan Model HEC-RAS. *Skripsi*. Medan: Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Hydrologic Engineering Center.2016. a. *HEC-RAS River Analysis System, Application Guide, Version 5.0, February 2016*.U.S. Army Cormps of Engineers, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center.2016. b. *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 5.0, February 2016*. U.S. Army Cormps of Engineers, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center.2016. c. *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 5.0, February 2016*.U.S. Army Cormps of Engineers, Davis, CA
- Irawan, E. S. 2014. Analisis Pemodelan Sedimentasi di Saluran Kencong Timur (Bedodo) Menggunakan Program HEC-RAS. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Istiarto. 2014. *Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras. Modul Pelatihan Simple Geometry River*. Yogyakarta.
- Moriasi DN, Arnold JG, Liew Van WM, Bingner LR, Harmel RD, Veith LT. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Vol.50(3):885-900.
- Shiami, F. A. R. 2017. Prediksi Laju Sedimentasi pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November.

Wardhana, P. N. 2015. Analisis Transpor Sedimen Sungai Opak dengan Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0. *Jurnal Teknesia*. 20(1): 22.

