



**ANALISIS SEDIMENTASI PADA DAS KALI TANGGUL KABUPATEN
JEMBER MENGGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS 4.1**

SKRIPSI

Oleh

**FEBRIYANTI DWI NURWAHYUNI
NIM. 161910301151**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS SEDIMENTASI PADA DAS KALI TANGGUL KABUPATEN
JEMBER MENGGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS 4.10**

SKRIPSI

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program
Studi Strata 1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Jember

Oleh:

**FEBRIYANTI DWI NURWAHYUNI
NIM. 161910301151**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Almamater Program Studi Teknik Universitas Jember
2. Ayahanda Wahyudi dan Ibunda Rustini Nur Wahyuni, Saudara-saudara saya Riskiyaning Amd. Kep dan Aisyah Mayly Nur Zaniyah yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan pengorbanan selama ini
3. Guru-guruku sejak SD sampai SMA dan semua dosen jurusan teknik sipil yang terhormat, yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya dengan penuh kesabaran.

MOTTO

“Bertaqwalah pada Allah maka Allah akan mengajarimu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.”

(Al-Baqarah:282)

“Boleh jadi kamu membeni sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah Maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui.”

(Al-Baqarah:216)

“Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak memanfaatkannya untuk memotong, ia akan memotongmu (menggilasmu).”

(H.R. Muslim)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Febriyanti Dwi Nurwahyuni

NIM : 161910301151

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Sedimentasi Pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember Menggunakan Program Hec-Ras 4.1” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isisnya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 17 Juli 2018

Yang menyatakan,

FEBRIYANTI DWI NURWAHYUNI

NIM. 161910301151



**ANALISIS SEDIMENTASI PADA DAS KALI TANGGUL KABUPATEN
JEMBER MENGGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS 4.10**

SKRIPSI

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Strata 1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Jember

Oleh

**FEBRIYANTI DWI NURWAHYUNI
NIM. 161910301151**

Skripsi ini telah disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Juli 2018:

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

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

Retno Utami A.W., S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 760017219

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Analisis Sedimentasi Pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember Menggunakan Program HEC-RAS 4.1” telah di uji dan di sahkan pada,

Hari : Selasa
Tanggal : 17 Juli 2018
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota



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



Retno Utami A.W., S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 760017219

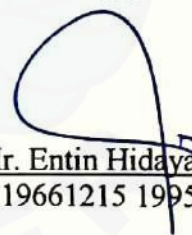
Tim Penguji:

Penguji 1

Penguji 2



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



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

Mengesahkan,
Dekan



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Sedimentasi Pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember Menggunakan Program HEC-RAS 4.1”.

Skripsi ini disusun untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Skripsi ini ditulis dengan tujuan untuk mengetahui tingkat sedimen pada DAS Kali Tanggul sehingga dapat menjadi masukan bagi instansi-instansi terkait untuk membantu dalam pola perencanaan dan pengelolaan secara berkelanjutan pada DAS Kali Tanggul. Perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan program HEC-RAS 4.1 yang oleh penemunya dirancang untuk komponen analisa hidrolika terpisah, kemampuan manajemen dan tampungan data serta fasilitas pelaporan dan grafik.

Dalam penyusunan proyek akhir ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ayahanda Wahyudi dan Ibunda Rustini Nurwahyuni yang selalu aku banggakan, mendoakan, memberikan dukungan dan pengorbanan untuk ku selama ini;
2. Kakak dan Adikku tercinta, Riskiyaning Amd. Kep dan Aisyah Mayly Nur Zaniyah yang selalu memberikan dukungan, doa dan semangat selama ini;
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku ketua Program Studi Strata 1 (S1) Teknik Sipil Universitas Jember;
4. Ir. Hernu Suyoso, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember;
5. Wiwik Yunarni W., S.T., M.T. dan Retno Utami A. W., S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dalam penyusun skripsi ini telah membimbing dengan sabar dan memberikan masukan untuk penyusunan skripsi ini;

6. Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini;
7. Bapak maupun Ibu Dosen Teknik Sipil Universitas Jember beserta jajarannya yang banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini;
8. Guru-guruku yang telah berjasa membimbing dan memberi banyak ilmu sejak SD hingga SMA;
9. Almamater Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember, tempatku menuntut ilmu;
10. Puguh Febilaksono sebagai pendamping yang selalu mendukung dan membantu saya selama proses penyelesaian skripsi ini;
11. Anak Ayam yang menjadi *partner* baik selama 5 tahun, selalu memberikan semangat, selama penyusunan skripsi ini.

Tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak tersebut, maka penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan.

Demikian kiranya semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi peneliti dan pembaca, serta penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata selain uapan terima kasih, penulis juga meminta maaf yang sebesar-besarnya apabila ada kekurangan-kekurangan dalam skripsi ini.

Jember, 17 Juli 2018

Penulis,

Febriyanti Dwi Nurwahyuni
NIM. 161910301151

RINGKASAN

Analisis Sedimentasi pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0, Febriyanti Dwi Nurwahyuni, NIM. 161910301151, 2018, 49 halaman, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Sungai merupakan salah satu sumber air untuk kehidupan manusia. Sungai berfungsi untuk mengalirkan air hujan dalam bentuk *surface rain off*. Selain itu sungai juga mengangkut material yang berupa hasil erosi. DAS Kali Tanggul merupakan salah satu daerah yang rawan banjir. Banjir terjadi karena adanya pengendapan sedimen di daerah aliran sungai. Sedimen yang mengendap di daerah aliran sungai merupakan faktor pembatas kapasitas tampungan efektif. Analisis sedimentasi yang terjadi pada DAS Kali Tanggul dilakukan dengan memperhitungkan besar laju sedimentasi berdasarkan metode analitik, namun untuk mempermudah dalam menggambarkan sedimentasi yang terjadi pada DAS Kali Tanggul menggunakan program *HEC-RAS 4.1.0*. Program *HEC-RAS* merupakan salah satu program pemodelan analisis angkutan sedimen pada saluran maupun sungai.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui volume sedimen pada DAS Kali Tanggul dengan menggunakan pemodelan program *HEC-RAS*. Data yang dibutuhkan berupa data geometri sungai, data hidrolika, debit sungai, dan parameter sedimen. Pemilihan *transport function* berdasarkan kondisi yang spesifik meliputi besaran debit yang ditinjau, ukuran butiran sedimen, kemiringan serta kondisi geometric saluran. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data sedimen kemudian dilakukan uji laboratorium analisa saringan dengan total 3 sampel sedimen. Dari sekian banyak *transport function* yang ada dalam program *HEC-RAS*, fungsi pengangkutan sedimen yang sesuai dengan karakteristik sampel sedimen dan kondisi geometric DAS Kali Tanggul adalah Laursen (*field*).

Berdasarkan hasil simulasi *quasi unsteady flow* pada *HEC-RAS* 4.1.0 selama 365 hari di DAS Kali Tangul dengan *transport function* laursen (*field*) menunjukkan adanya pengendapan sedimen di sepanjang DAS Kali Tanggul. Perubahan dasar sungai tertinggi akibat angkutan sedimen terjadi pada *river* sta 13.4 sebesar 0,0019 m dan perubahan dasar sungai terkecil terjadi pada *river* sta 11.2 sebesar 0,0001 m. Hasil model angkutan sedimen DAS Kali Tanggul sebesar 1086,4867 m³/tahun. Sedangkan hasil observasi sebesar 725,0916 m³. Sehingga diperoleh hasil uji keandalan model NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency*) sebesar 0,752 dengan kriteria sangat baik.

Bidang Hidroteknik, Program Studi Strata 1 (S1), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

RINGKASAN

Analisis Sedimentasi pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0, Febriyanti Dwi Nurwahyuni, NIM. 161910301151, 2018, 49 halaman, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Sungai merupakan salah satu sumber air untuk kehidupan manusia. Sungai berfungsi untuk mengalirkan air hujan dalam bentuk *surface rain off*. Selain itu sungai juga mengangkut material yang berupa hasil erosi. DAS Kali Tanggul merupakan salah satu daerah yang rawan banjir. Banjir terjadi karena adanya pengendapan sedimen di daerah aliran sungai. Sedimen yang mengendap di daerah aliran sungai merupakan faktor pembatas kapasitas tampungan efektif. Analisis sedimentasi yang terjadi pada DAS Kali Tanggul dilakukan dengan memperhitungkan besar laju sedimentasi berdasarkan metode analitik, namun untuk mempermudah dalam menggambarkan sedimentasi yang terjadi pada DAS Kali Tanggul menggunakan program *HEC-RAS 4.1.0*. Program *HEC-RAS* merupakan salah satu program pemodelan analisis angkutan sedimen pada saluran maupun sungai.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui volume sedimen pada DAS Kali Tanggul dengan menggunakan pemodelan program *HEC-RAS*. Data yang dibutuhkan berupa data geometri sungai, data hidrolika, debit sungai, dan parameter sedimen. Pemilihan *transport function* berdasarkan kondisi yang spesifik meliputi besaran debit yang ditinjau, ukuran butiran sedimen, kemiringan serta kondisi geometric saluran. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data sedimen kemudian dilakukan uji laboratorium analisa saringan dengan total 3 sampel sedimen. Dari sekian banyak *transport function* yang ada dalam program *HEC-RAS*, fungsi pengangkutan sedimen yang sesuai dengan karakteristik sampel sedimen dan kondisi geometric DAS Kali Tanggul adalah Laursen (*field*).

Berdasarkan hasil simulasi *quasi unsteady flow* pada *HEC-RAS 4.1.0* selama 365 hari di DAS Kali Tanggul dengan *transport function* laursen (*field*) menunjukkan adanya pengendapan sedimen di sepanjang DAS Kali Tanggul. Perubahan dasar sungai tertinggi akibat angkutan sedimen terjadi pada *river* sta 13.4 sebesar 0,0019 m dan perubahan dasar sungai terkecil terjadi pada *river* sta 11.2 sebesar 0,0001 m. Hasil model angkutan sedimen DAS Kali Tanggul pada RS 13.4-13.6 sebesar 305,4527 m³/tahun. Sedangkan hasil observasi pada RS 13.4-13.6 sepanjang 211 m sebesar 235,5957 m³. Sehingga diperoleh hasil uji keandalan model NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency*) sebesar 0,912 dengan kriteria sangat baik.

Bidang Hidroteknik, Program Studi Strata 1 (S1), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

SUMMARY

Analysis Of Sedimentation In Tanggul River Watershed Jember Regeny Using HEC-RAS 4.1.0 Program, Febriyanti Dwi Nurwahyuni, NIM. 161910301151, 2018, 49 pages, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

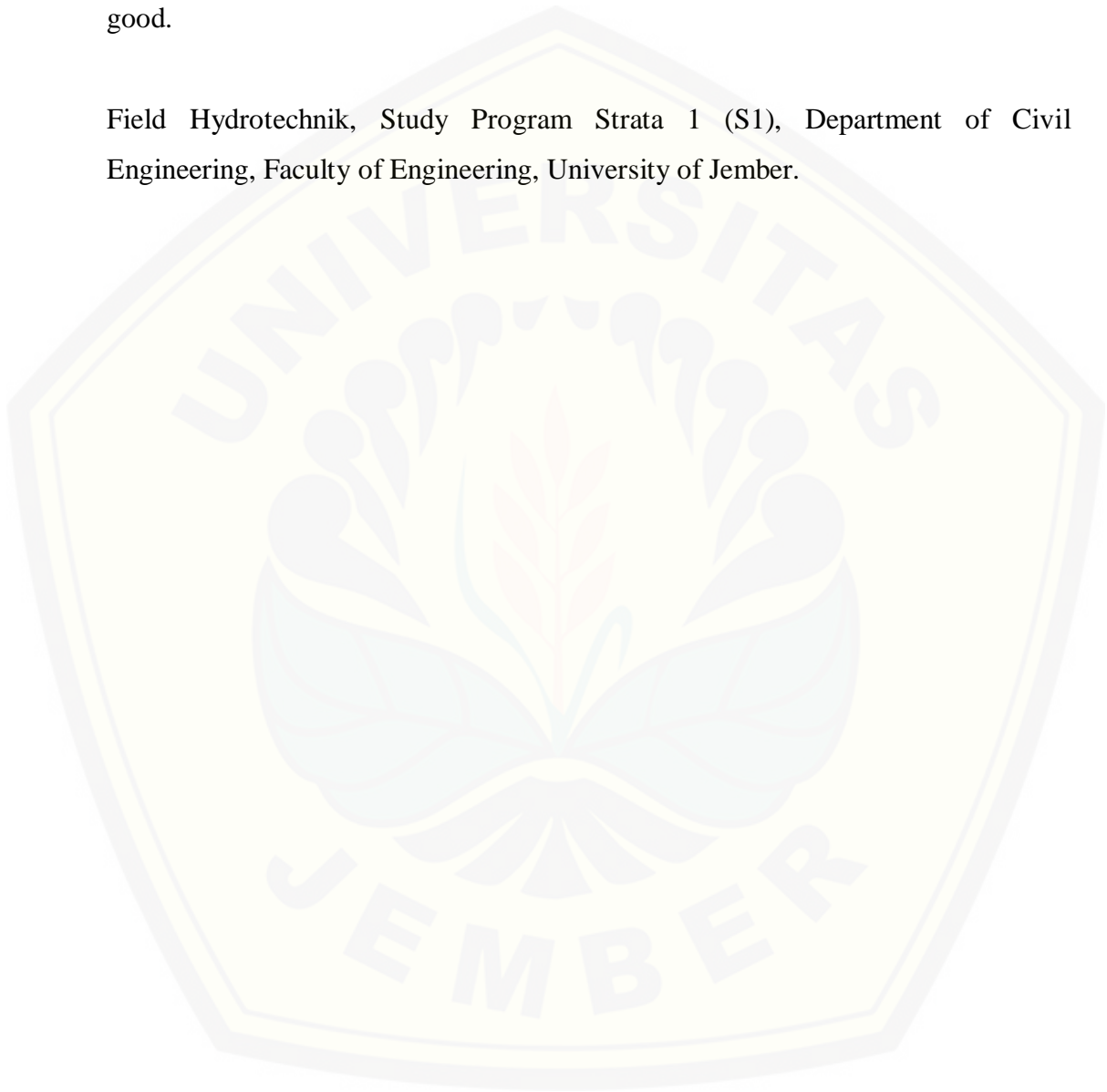
River function to drain water in form of surface rain off. In addition, the river also carries material in the form of erosion. The Tanggul River watershed location in Tanggul District Jember Regency is one of the areas prone to flooding. Flooding occurs because of sedimentation in the watershed. Sediments were deposited in the watershed is a factor limiting the effective storage capacity. Sedimentation analysis in Tanggul River watershed was done by calculating the sedimentation rate based on the analytical method, but to make it easier to describe the sedimentation that occurred at the Tanggul River watershed using HEC-RAS 4.1.0 program. The HEC-RAS program is one of the models for analyzing sediment transport on channels and rivers.

The purpose of this research is to know the volume of sediment in Tanggul River watershed by using HEC-RAS programming model. Required data are river geometry data, hydraulics data, river discharge, and sediment parameters. The selection of transport function under specific conditions includes the amount of discharge observed, the size of the sediment grains, the slope and the geometric conditions of the channel. This research was conducted by taking sediment data and then done by laboratory test of sieve analysis with three samples of sediment. Of the many transport functions available in the HEC-RAS program, the sediment transport function corresponding to the characteristics of the sediment samples and geometric conditions of the Tanggul River watershed is Laursen (field).

Based on the result of quasi unsteady flow simulation at HEC-RAS 4.1.0 for 365 days in Tanggul River watershed with transport function laursen (field) shows sediment deposition along the Tanggul River watershed. The highest change of riverbed due to sediment transport occurred at river sta 13.4 by 0,0019 m and the

smallest change of river basin occurred at river sta 11.2 of 0.0001 m. The result of sediment transport model of Tanggul River watershed by 1086,4867 m³/year. While the results of observations by 725,0916 m³. So that obtained reliability test results model of NSE (Nash Sutcliffe Efficiency) equal to 0,725 with criterion good.

Field Hydrotechnik, Study Program Strata 1 (S1), Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.



SUMMARY

Analysis Of Sedimentation In Tanggul River Watershed Jember Regeny Using HEC-RAS 4.1.0 Program, Febriyanti Dwi Nurwahyuni, NIM. 161910301151, 2018, 49 pages, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

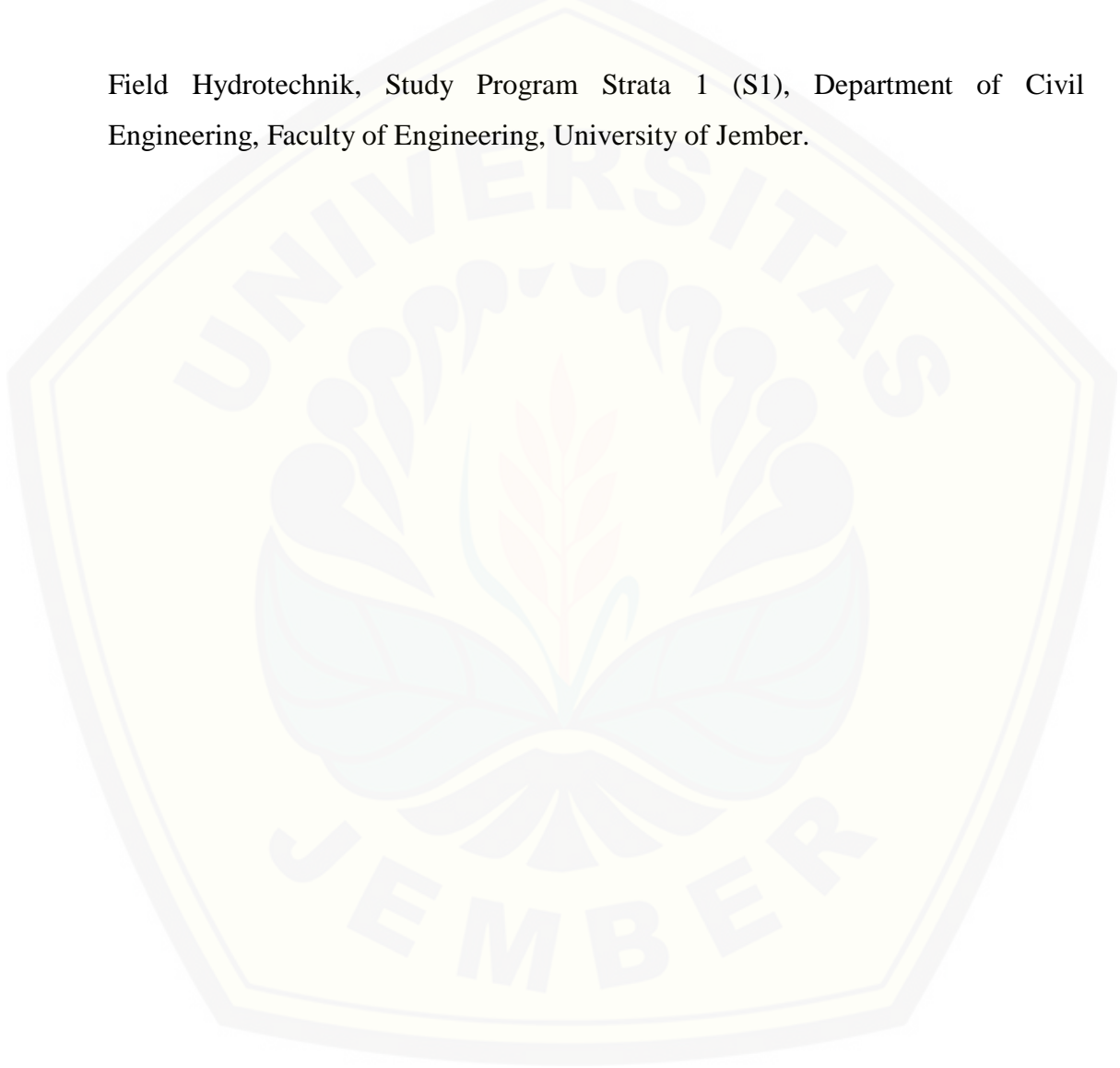
River function to drain water in form of surface rain off. In addition, the river also carries material in the form of erosion. The Tanggul River watershed location in Tanggul District Jember Regency is one of the areas prone to flooding. Flooding occurs because of sedimentation in the watershed. Sediments were deposited in the watershed is a factor limiting the effective storage capacity. Sedimentation analysis in Tanggul River watershed was done by calculating the sedimentation rate based on the analytical method, but to make it easier to describe the sedimentation that occurred at the Tanggul River watershed using HEC-RAS 4.1.0 program. The HEC-RAS program is one of the models for analyzing sediment transport on channels and rivers.

The purpose of this research is to know the volume of sediment in Tanggul River watershed by using HEC-RAS programming model. Required data are river geometry data, hydraulics data, river discharge, and sediment parameters. The selection of transport function under specific conditions includes the amount of discharge observed, the size of the sediment grains, the slope and the geometric conditions of the channel. This research was conducted by taking sediment data and then done by laboratory test of sieve analysis with three samples of sediment. Of the many transport functions available in the HEC-RAS program, the sediment transport function corresponding to the characteristics of the sediment samples and geometric conditions of the Tanggul River watershed is Laursen (field).

Based on the result of quasi unsteady flow simulation at HEC-RAS 4.1.0 for 365 days in Tanggul River watershed with transport function laursen (field) shows sediment deposition along the Tanggul River watershed. The highest change of riverbed due to sediment transport occurred at river sta 13.4 by 0,0019 m and the

smallest change of river basin occurred at river sta 11.2 of 0.0001 m. The result of sediment transport model of Tanggul River watershed in river station 13.4-13.6 is 305,4527 m³ / year. While the results of observations on river station 13.4-13.6 along 211 m by 235.5957 m³. So that obtained reliability test results model of NSE (Nash Sutcliffe Efficiency) equal to 0,912 with criterion very good.

Field Hydrotechnik, Study Program Strata 1 (S1), Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN KATA PENGANTAR.....	vii
RINGKASAN.....	ix
SUMMARY.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1.PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sungai	4
2.2 Prinsip Dasar Aliran	5
2.2.1 Aliran Permanen (<i>Steady Flow</i>)	5
2.2.2 Aliran Tidak Permanen (<i>Unsteady Flow</i>)	11
2.3 Sedimentasi	13
2.4 Analisis Angkutan Sedimen	13
2.4.1 Fungsi Angkutan Sedimen	14
2.4.2 Kecepatan Jatuh	18
2.4.3 Gradasi Sedimen	18

2.5	HEC-RAS	20
2.5.1	Langkah untuk Memulai HEC-RAS	21
2.6	Uji Keandalan Simulasi	26
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1	Studi Literatur	30
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	30
3.3	Teknik Pengumpulan Data	31
3.4	Analisis Data.....	31
3.5	Diagram Alir <i>HEC-RAS</i>	33
3.5	Time Schedule Penelitian	35
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1	Pengambilan Sampel Sedimen.....	36
4.2	Kondisi Sedimen.....	36
4.2.1	Pelaksanaan Uji Analisis Saringan	36
4.3	Penyesuaian <i>Input</i> Model <i>HEC-RAS</i>	37
4.3.1	Penyesuaian <i>Input</i> Koefisien Struktur Hidrolika	38
4.3.2	Penyesuaian <i>Input</i> Gradasi Sedimen	41
4.3.3	Pemilihan Fungsi Pengangkutan Sedimen.....	41
4.4	Hasil Simulasi Angkutan Sedimen	43
4.4.1	Perubahan Dasar Sungai Akibat Sedimen.....	45
4.5	Uji Keandalan Hasil Simulasi.....	46
BAB 5.	PENUTUP	48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49	
DAFTAR LAMPIRAN	51	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Koefisien Kontraksi dan Ekspansi	9
Tabel 2.2 Koefisien Angka Kekasaran (<i>Manning</i>)	11
Tabel 2.3 Klasifikasi Ukuran Partikel.....	19
Tabel 2.4 Kriteria Penilaian NSE	27
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu	28
Tabel 3.1 Time Schedule Penelitian	35
Tabel 4.1 Persentase Gradasi Butiran Dasar (<i>Bed Load</i>).....	36
Tabel 4.2 Penentuan Nilai Koefisien Konsentrasi dan Ekspansi.....	38
Tabel 4.3 Nilai Koefisien <i>Manning</i> (n).....	39
Tabel 4.4 Perbandingan Muka Air Observasi dengan Muka Air Simulasi...	39
Tabel 4.5 Penyesuaian <i>Input</i> Gradasi Sedimen	41
Tabel 4.6 Analisis Jangkauan <i>Input</i>	42
Tabel 4.9 Perubahan Dasar Sungai	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Aliran Berubah Beraturan.....	6
Gambar 2.2 Pembagian Tampang untuk Angkutan Sedimen	8
Gambar 2.3 Hitungan Tinggi Energi Kinetik	8
Gambar 2.4 Aliran Melalui Alur Utama dan Bantaran	12
Gambar 2.5 Tampilan Layar Utama HEC-RAS	21
Gambar 2.6 Tampilan Layar Geometric Data	22
Gambar 2.7 Tampilan Layar <i>Cross Section</i>	22
Gambar 2.8 Tampilan Layar <i>Steady Flow Data</i>	23
Gambar 2.9 Tampilan Layar <i>Unsteady Flow Data</i>	24
Gambar 3.1 Peta Lokasi DAS Kali Tanggul	30
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian	32
Gambar 3.3 Diagram Alir <i>HEC-RAS</i>	33
Gambar 4.1 Gradasi Sedimen Dasar (<i>Bed Load</i>)	37
Gambar 4.2 Perbandingan Tinggi Muka Air Observasi dan Simulasi	40
Gambar 4.3 Kecepatan Aliran Awal dan Akhir Simulasi	43
Gambar 4.4 Massa Sedimen Akhir Simulasi.....	44
Gambar 4.5 Penampang Sungai pada Akhir Simulasi	46

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Hasil Kecepatan Aliran Awal Simulasi Dan Akhir Simulasi pada
HECRAS
- Lampiran 2. Hasil Kapasitas Sedimen Akhir Simulasi HEC-RAS Selama Satu
Tahun Pada DAS Kali Tanggul
- Lampiran 3. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 20
- Lampiran 4. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.9
- Lampiran 5. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.8
- Lampiran 6. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.7
- Lampiran 7. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.6
- Lampiran 8. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.5
- Lampiran 9. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.4
- Lampiran 10. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.3
- Lampiran 11. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.2
- Lampiran 12. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19.1
- Lampiran 13. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 19
- Lampiran 14. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.9

- Lampiran 15. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.8
- Lampiran 16. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.7
- Lampiran 17. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.6
- Lampiran 18. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.5
- Lampiran 19. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.4
- Lampiran 20. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.3
- Lampiran 21. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.2
- Lampiran 22. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18.1
- Lampiran 23. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 18
- Lampiran 24. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.9
- Lampiran 25. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.8
- Lampiran 26. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.7
- Lampiran 27. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.6
- Lampiran 28. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.5
- Lampiran 29. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.4

- Lampiran 30. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.3
- Lampiran 31. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.2
- Lampiran 32. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14.1
- Lampiran 33. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 14
- Lampiran 34. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.9
- Lampiran 35. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.8
- Lampiran 36. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.7
- Lampiran 37. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.6
- Lampiran 38. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.5
- Lampiran 39. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.4
- Lampiran 40. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.3
- Lampiran 41. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.2
- Lampiran 42. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13.1
- Lampiran 43. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 13
- Lampiran 44. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 11.3

- Lampiran 45. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 11.2
- Lampiran 46. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 2
- Lampiran 47. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.9
- Lampiran 48. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.8
- Lampiran 49. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.7
- Lampiran 50. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.6
- Lampiran 51. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.5
- Lampiran 52. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.4
- Lampiran 53. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.3
- Lampiran 54. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.2
- Lampiran 55. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1.1
- Lampiran 56. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 1
- Lampiran 57. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.9
- Lampiran 58. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.8
- Lampiran 59. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.7

Lampiran 60. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.6

Lampiran 61. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.5

Lampiran 62. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.4

Lampiran 63. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.3

Lampiran 64. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.2

Lampiran 65. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0.1

Lampiran 66. Perubahan Dasar Sungai Awal Simulasi dan Akhir Simulasi Pada
River Sta 0

Lampiran 67. Perhitungan Volume Sedimen Observasi

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai secara umum memiliki karakteristik sifat terjadinya perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran. Perubahan ini terjadi karena faktor alam dan faktor manusia seperti pembuatan bangunan-bangunan air. Sifat sungai yang dinamis dalam waktu tertentu mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di sekitarnya. Sungai berfungsi untuk mengalirkan air hujan dalam bentuk *surface rain off*. Selain itu sungai juga mengangkut material yang berupa hasil erosi baik yang berasal dari sungai itu sendiri maupun berasal dari permukaan tanah saat aliran *surface rain off* mengalir menuju sungai (Wardhana, 2015).

DAS Kali Tanggul terletak di Kecamatan Tanggul, Kabupaten Jember merupakan salah satu daerah yang rawan banjir. Banjir terjadi karena adanya pengendapan sedimen di daerah aliran sungai. Sedimentasi merupakan proses pengendapan hasil erosi pada tempat-tempat yang lebih rendah berupa cekungan dasar sungai yang mengakibatkan timbulnya pendangkalan pada sungai. Peningkatan sedimentasi mengakibatkan berkurangnya kapasitas tampungan efektif dari sungai. Hal ini menyebabkan berkurangnya usia guna dan mengganggu manfaat dari sungai itu sendiri (Kurniawan, 2016).

Penelitian angkutan sedimen dengan menggunakan program *HEC-RAS* sebelumnya telah dilakukan oleh Mudjib (2013) dan Hidayah (2013). Penelitian tersebut dibuat untuk mengurangi terjadinya banjir. Upaya pengendalian sedimen dilakukan dengan pembuatan kantong sedimen dan pemeliharaan kantong sedimen. Penelitian prediksi laju sedimentasi menggunakan *software HEC-RAS* juga dilakukan oleh Shiami (2017) dan Anugrah (2017). Penelitian ini dijadikan salah satu alternatif untuk mengatasi pendangkalan dan menetapkan masa guna pada sungai dengan mengetahui volume angkutan perpindahan sedimen yang terjadi.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis ingin melakukan penelitian guna mengetahui tingkat sedimentasi di DAS Kali Tanggul dengan judul “Analisis Sedimentasi Pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember Menggunakan Program *HEC-RAS 4.1*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana tingkat sedimentasi yang terjadi pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui tingkat sedimentasi yang ada pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti

Menambah wawasan tentang bagaimana cara analisis sedimentasi serta dapat mengaplikasikan *software HEC-RAS*.

2. Bagi Pengguna

Sebagai bahan pertimbangan bagi pihak yang berkepentingan dalam hal penanganan sedimen di kali Tanggul Jember yang diharapkan dapat membantu dalam pola perencanaan dan pengelolaan secara berkelanjutan.

3. Bagi Akademisi

Menambah referensi pengetahuan terhadap buku-buku pedoman tentang sedimentasi menggunakan program *HEC-RAS*.

1.5 Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan agar penelitian ini lebih terarah dan tidak meluas, maka perlu adanya pembatasan sebagai berikut:

- a. Tidak membahas sedimen *suspended load*
- b. Tidak menganalisis pola operasi pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember

- c. Tidak membahas mengenai bangunan pengendali sedimen, *check dam* dan *groundsill*
- d. Pemodelan laju sedimentasi hanya dilakukan pada tahun 2017



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Pasal 1 Tahun 2011 tentang sungai, bahwa sungai adalah alur atau wadah air alami dan atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sungai berfungsi untuk tempat menampung hujan, mengalirkan air dari daratan tinggi ke daratan rendah, tempat hidup suatu ekosistem, ladang mata pencaharian penduduk, dan pembangkit listrik tenaga air.

Secara umum, aliran sungai terbagi menjadi 3 bagian yaitu:

a. Bagian Hulu

Bagian Hulu sungai merupakan daerah sumber erosi karena pada umumnya alur sungai melalui daerah pegunungan, bukit, atau lereng gunung yang memiliki ketinggian yang cukup besar dari muka air laut. Alur sungai yang ada di bagian hulu memiliki kecepatan aliran yang lebih besar dibandingkan dengan bagian hilir.

b. Bagian Tengah

Bagian tengah sungai merupakan daerah peralihan antara bagian hulu dan hilir. Kemiringan dasar sungai lebih landai sehingga kecepatan alirannya relatif lebih kecil dari pada bagian hulu. Bagian ini merupakan daerah keseimbangan sedimentasi yang sangat bervariasi dari musim ke musim.

c. Bagian Hilir

Bagian hilir biasanya melalui dataran yang mempunyai kemiringan dasar sungai yang landai sehingga kecepatan alirannya lambat. Keadaan tersebut mempermudah terbentuknya pengendapan atau sedimentasi. Endapan yang terbentuk biasanya berupa pasir halus, lumpur, endapan organik dan berupa jenis endapan lain yang sangat labil.

2.2 Prinsip Dasar Aliran

2.2.1 Aliran Permanen (*Steady Flow*)

Aliran permanen (*steady flow*) merupakan kondisi untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah beraturan (*steady gradually varied flow*). Aliran yang dilakukan adalah aliran subkritis, super kritis, maupun kritis. Langkah hitungan profil muka air yang dilakukan didasarkan pada penyelesaian persamaan energi (satu-dimensi). Kehilangan energi dianggap diakibatkan oleh gesekan (Persamaan *Manning*) dan kontraksi atau ekspansi (koefisien dikalikan beda tinggi kecepatan). Persamaan momentum dipakai ketika menjumpai aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*), misalnya campuran regime aliran subkritis dan superkritis (*hydraulic jump*), aliran melalui jembatan, aliran di percabangan sungai (*stream junctions*). Berikut persamaan yang digunakan pada aliran permanen (Istiarto, 2014).

a. Persamaan Energi

Untuk aliran permanen, HEC-RAS menghitung profil muka air di sepanjang alur urut dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. 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:

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

dengan:

Y_1, Y_2 = Kedalaman aliran

Z_1, Z_2 = Elevasi dasar saluran

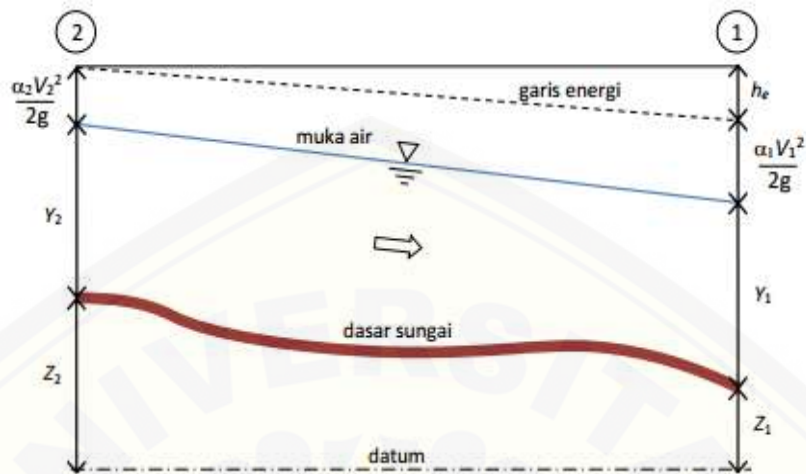
V_1, V_2 = Kecepatan rata-rata (debit dibagi luas tampang basah)

α_1, α_2 = Koefisien

g = Percepatan gravitasi

h_e = Kehilangan tinggi energi

Gambar berikut merupakan ilustrasi dari suatu aliran berubah beraturan berdasarkan persamaan energy.



Gambar 2.1 Diagram Aliran Berubah Beraturan

b. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi (h_e) diantara dua penampang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*) dan kehilangan energi karena perubahan tampang (Kontraksi atau Ekspansi). Persamaan dari kehilangan energi adalah sebagai berikut: (*HEC-RAS Reference Manual, 2016*)

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

dengan:

- L = Panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit
- $L\bar{S}_f$ = Kemiringan gesekan (*friction losse*)
- C = Koefisien ekspansi dan kontraksi.

Panjang ruas sungai antar dua tampang (jarak sepanjang bentang) dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

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 pada sisi kiri (*left overbank*), tengah (*main channel*), dan sisi kanan (*right overbank*).

c. Kapasitas Angkut Sedimen

Kapasitas angkut dan koefisien kecepatan pada penampang dihitung dengan membagi tampang menjadi tiga alur yaitu alur bantaran kiri (*left overbank*), alur utama (*main channel*), dan alur bantaran kanan (*right overbank*). Di setiap bagian tampang, kapasitas angkut dihitung dengan persamaan *Manning's* berikut:

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

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

dengan:

K = Kapasitas angkut tiap bagian tampang

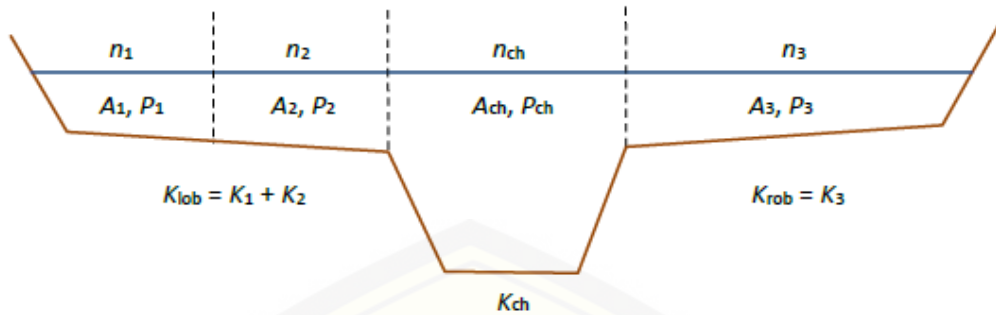
S_f = Kemiringan pada garis energi

n = Koefisien kekasaran *Manning* tiap bagian tampang

A = Luas tampang basah tiap bagian tampang

R = Radius hidrolis tiap bagian tampang

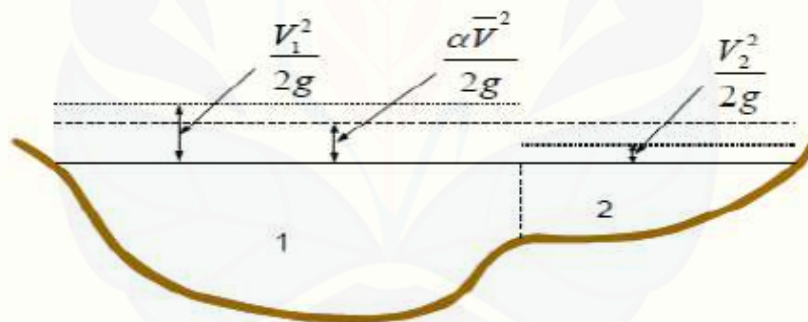
Angkutan sedimen pada saluran dihitung secara normal sebagai elemen angkutan tunggal. Total angkutan sedimen untuk penampang diperoleh dengan menjumlahkan angkutan pada tiga bagian diantaranya bagian kiri, tengah, dan kanan (lihat Gambar 2.2)



Gambar 2.2 Pembagian Tampang untuk Angkutan Sedimen

d. Energi Kinetik

Tinggi energi kinetik rata-rata dihitung dengan merata-ratakan tinggi energi kinetik di ketiga bagianampang (tepi kiri, tengah, dan tepi kanan) yang diberi bobot berdasarkan debit di setiap bagianampang. Gambar 2.3 berikut merupakan contoh hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di sebuahampang lintang bagian tengah dan tepi kanan (tidak ada bagian tepi kiri).



Gambar 2.3 Hitungan Tinggi Energi Kinetik

Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata diperlukan koefisien tinggi kecepatan (α) yang dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

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. Kehilangan Energi Akibat Gesekan

Kehilangan energi akibat gesekan (*friction loss*) merupakan perkalian antara kemiringan garis energi karena gesekan (S_f) dan panjang sungai (L). Kemiringan garis energi karena gesekan pada suatu penampang dihitung dengan persamaan *Manning* sebagai berikut:

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

f. Koefisien Penyempitan dan Pelebaran Tampang

Penentuan nilai koefisien kontraksi dan ekspansi merupakan penentuan nilai koefisien berdasarkan kondisi tampang lintang aliran yang memenuhi sepanjang saluran. Nilai koefisien ini nantinya akan digunakan untuk input data *HEC-RAS*. *HEC-RAS Reference Manual* (2016) telah menjelaskan bagaimana penentuan nilai koefisien kontraksi dan ekspansi. Koefisien kehilangan energi karena kontraksi dan ekspansi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan:

C = Koefisien kontraksi atau ekspansi (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien Kontraksi dan Ekspansi

<i>Subcritical flow contraction and expansion coefficient</i>	<i>Contraction</i>	<i>Expansion</i>
<i>No Transition Loss Computed</i>	0	0
<i>Gradual Transition</i>	0,1	0,3
<i>Typical Bridge Sections</i>	0,3	0,5
<i>Abrupt Transitions</i>	0,6	0,8

Sumber : *Hec-Ras Reference Manual 2010*

Menurut *Hec-Ras Reference Manual*, ada beberapa kategori penyesuaian koefisien Kontraksi dan Ekspansi, yaitu:

- Ketika perubahan penampang sungai kecil, dan alirannya bertahap, maka nilai koefisien kontraksi dan ekspansi adalah 0,1 dan 0,3

- Ketika perubahan pada penampang efektif adalah tiba-tiba misalnya aliran pada jembatan, maka nilai koefisien kontraksi dan ekspansi adalah 0,3 dan 0,5
- Ketika perubahan penampang terjadi tiba-tiba dan bentuk penampang gorong gorong maka nilai koefisien kontraksi dan ekspansi adalah 0,6 dan 0,8.

g. Angka Kekasaran (*Manning's*)

Angka kekasaran adalah nilai koefisien yang menunjukkan kekasaran suatu permukaan saluran atau dasar sungai. Semakin besar nilai angka kekasaran (*Manning*), maka semakin kecil kecepatan aliran pada suatu penampang. Untuk perhitungan kecepatan pada saluran terbuka dapat menggunakan rumus *Manning*. Parameter yang dijadikan acuan antara lain adalah jari-jari hidrolis, kemiringan dasar saluran dan koefisien *Manning* yang dapat dilihat dari Tabel 2.2. Untuk persamaannya bisa dilihat pada rumus berikut ini. (Robert Manning, 1889)

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

- V = Kecepatan aliran (m/s)
 R = Jari-jari hidrolis (m)
 i = Kemiringan dasar saluran
 n = Koefisien *Manning*

Dalam menentukan kekasaran *Manning* yang sesuai untuk berbagai kondisi sungai bervariasi dan tergantung dari berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi menurut *Hec-Ras Reference Manual* adalah tumbuhan, kedalaman air dan debit, kekasaran permukaan, taraf air dan debit, trase saluran, pengendapan dan gerusan, serta ukuran dan bentuk butiran. Pemilihan angka *Manning* dapat memperhitungkan elevasi muka air. Berikut penentuan nilai koefisien *Manning* disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Koefisien Angka Kekasaran (*Manning*)

Saluran Alam (Dataran Banjir)	n
a. Padang Rumput Tanpa Belukar	
Rumput pendek	0.025-0.035
Rumput tinggi	0.03-0.05
b. Daerah Pertanian	
Tanpa tanaman	0.02-0.04
Tanaman dibariskan	0.025-0.045
Tanaman tidak dibariskan	0.03-0.05

Sumber : Ven Te Chow (1997)

2.2.2 Aliran Tidak Permanen (*Unsteady Flow*)

Aliran tidak permanen (*unsteady flow*) merupakan kondisi aliran apabila kecepatan, kedalaman, dan debit aliran tidak berubah terhadap waktu. Pada kondisi ini dapat dilakukan pada kondisi subkritis, kritis, dan superkritis. Pada aliran tak permanen merupakan proses fisik pada aliran di suatu saluran dengan mengadopsi konsep kekekalan massa dan kekekalan momentum. Proses fisik ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis, yang dikenal sebagai Persamaan St. Venant. Persamaan tersebut terdiri dari persamaan kontinuitas (prinsip konservasi massa) dan persamaan momentum (prinsip konservasi momentum), yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut. (Istiarto, 2014).

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - ql = 0 \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan Momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

- A = Luas total tampang aliran
- Q = Debit aliran
- ql = Debit lateral per satuan panjang
- V = Kecepatan aliran

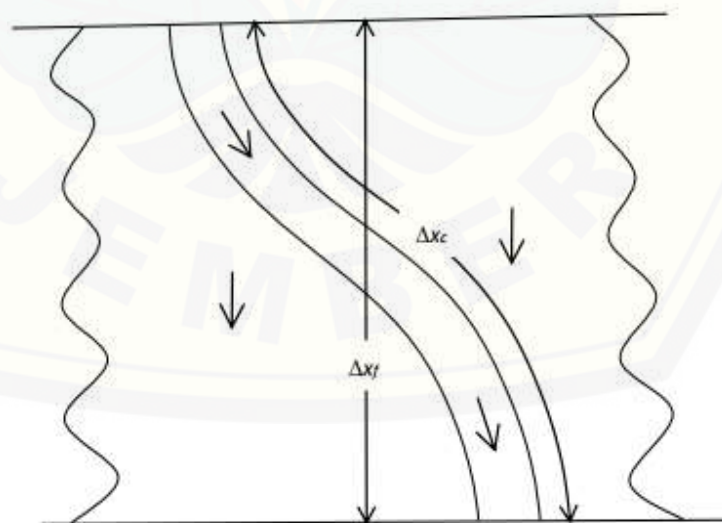
- g = Percepatan grafitasi
 x = Jarak, diukur searah aliran
 z = Elevasi muka air
 t = Waktu
 S_f = Kemiringan garis energi (*friction slope*), dihitung dengan persamaan *Manning*

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^2} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan:

- n = Koefisien kekasaran *Manning*
 R = Radius hidrolis

Saluran dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bantaran kiri, alur utama, dan bantaran kanan. Saat air sungai naik, air bergerak menyamping, menjauh dari alur utama, menggenangi bantaran dan mengisi tampungan-tampungan yang ada di sepanjang bantaran. Saat air mulai surut, air di bantaran bergerak menuju alur utama, menggantikan aliran di alur utama. Karena arah utama aliran adalah sepanjang alur utama, aliran dua dimensi ini sering dapat didekati dengan anggapan aliran satu dimensi.



Gambar 2.4 Aliran Melalui Alur Utama dan Bantaran

2.3 Sedimentasi

Sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengangkutan, melayang dalam air (suspensi) atau mengendapnya material fragmental oleh air. Sedimentasi diakibatkan dari adanya erosi dan mengakibatkan kurangnya volume efektif dalam waduk. Sebagian besar jumlah sedimen dialirkan oleh sungai-sungai yang mengalir ke waduk dan sebagian kecil berasal dari longsoran tebing-tebing sungai atau berasal dari longsoran tebing-tebingnya oleh limpasan permukaan (Soemarto, 1987).

Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi (Arsyad, 2010).

Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus kemudian menggelinding bersama aliran sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen.

Menurut Yang (2003), sedimentasi pada waduk dapat berdampak serius pada pasokan air dan pengendalian banjir, oleh sebab itu sedimentasi pada waduk harus diatur dan dikendalikan. Pengerukan dianggap sebagai penanggung utama untuk memperbaiki situasi tersebut.

2.4 Analisis Angkutan Sedimen

Analisis angkutan sedimen dilakukan untuk menganalisis pergerakan sedimen pada sebuah saluran, sehingga dapat diketahui perubahan dasar salurannya. Perubahan dasar saluran akibat adanya transpor sedimen dibagi menjadi 2 jenis, yaitu degradasi dan aggradasi. Degradasi adalah turunnya dasar saluran akibat tergerusnya dasar saluran, sedangkan aggradasi adalah naiknya dasar saluran akibat adanya timbunan angkutan sedimen yang dibawa dari bagian hulu. Beberapa persamaan angkutan sedimen yang dapat digunakan pada analisis angkutan sedimen menggunakan *software HEC-RAS* adalah Persamaan Ackers White, Engelund Hansen, Yang, Laursen, dan Meyer Peter Muller.

2.4.1 Fungsi Angkutan Sedimen

a. Ackers White

Ackers-White mengembangkan teori untuk angkutan sedimen beban total. Persamaan ini dikembangkan berdasarkan ukuran diameter butiran sedimen tak berdimensi dan mobilitas partikel sedimen. Ukuran yang tak berdimensi digunakan untuk membedakan antara ukuran sedimen halus, transisi dan kasar. Rumus umum Ackers White (1973) sebagai berikut:

$$X = \frac{Ggrx \frac{\gamma_s}{\gamma} x D_{50}}{Hx \left(\frac{u}{v}\right)^n} \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan:

X = konsentrasi angkutan sedimen (ppm)

Ggr = tingkat angkutan sedimen tak berdimensi

γ_s = berat jenis sedimen (kg/m³)

γ = berat jenis air (kg/m³)

D₅₀ = diameter butiran (m)

H = kedalaman air (m)

u = kecepatan geser (m/dtk)

v = kecepatan aliran (m/dtk)

n = transisi eksponen

b. Englund Hansen

Englund Hansen (1972) menerapkan konsep bagnold, berikut rumus

Englund-Hansen:

$$\phi = \frac{q_s}{\gamma_s} \left[\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) g x D_{50}^3 \right]^{-1/2} \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan:

q_s = konsentrasi angkutan sedimen (kg/m.dtk)

γ_s = berat jenis sedimen (kg/m³)

γ = berat jenis air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/dtk²)

D_{50} = diameter butiran (m)

Adapun rumus yang digunakan menurut Englund and Hansen berdasarkan pendekatan tegangan geser sebagai berikut:

$$q_s = 0,05 \times \gamma \times V^2 \left(\frac{D_{50}}{\frac{g(\gamma_s - \gamma)}{\gamma}} \right)^{1/2} \left(\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) D_{50}} \right)^{3/2} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$Q_s = W \times q_s \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\tau_0 = \gamma \times D \times S \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

τ_0 = tegangan geser (kg/m²)

Q_s = muatan sedimen (kg/s)

c. Yang's

Adapun rumus-rumus yang digunakan, sebagai berikut:

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

$$\log C_t = 5,435 - 0,286 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,457 \log \frac{u_*}{\omega} + \left(1,799 - 0,409 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,314 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{vS}{\omega} - \frac{v_{cr}S}{\omega} \right) \dots\dots\dots (2.21)$$

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

$$\log C_t = 6,681 - 0,633 \log \frac{\omega d_m}{v} - 4,816 \frac{u_*}{\omega} + \left(2,784 - 0,305 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,282 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{vS}{\omega} - \frac{v_{cr}S}{\omega} \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

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

d. Meyer Peter Muller

- **Suspended Load**

Suspended load adalah material dasar yang melayang didalam aliran dan terutama terdiri dari butir pasir halus yang senantiasa mengambang diatas dasar sungai, karena selalu didorong oleh turbulensi aliran. Suspended load itu sendiri umumnya bergantung pada kecepatan jatuh atau lebih dikenal dengan fall velocity.

Besarnya beban layang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_s = 0,0864 \times c \times Q_w \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

Q_{sus} = beban layang (ton/hari)

C = konsentrasi sedimen layang (mg/l)

Q_w = debit saluran (m³/detik)

- **Bed Load**

Partikel kasar yang bergerak disepanjang dasar sungai secara keseluruhan. Adanya bed load ditunjukkan oleh gerakan partikel dasar sungai yang ukurannya besar, gerakan itu dapat bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai.

Besarnya beban dasar dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma \left(\frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} R \times S_s = 0,047 (\gamma_s - \gamma) d + 0,25 \rho^{1/3} q b^{2/3} \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan:

γ_s = berat jenis sedimen (kg/m³)

γ = berat jenis air (kg/m³)

R = jari-jari hidrolis (m)

S_s = kemiringan energy

- D = diameter rata-rata sedimen (m)
 P = massa jenis (kg/m^3)
 q_b = tingkat bes load dalam saluran ($(\text{kg/s})/\text{m}$), berat per waktu dan lebar (K_s/K_r)
 S_s = konstanta untuk mencari nilai S_r

e. Laursen Copeland

Laursen (1968) juga merupakan fungsi beban total yang awalnya berdasarkan persamaan flume dan kemudian diperluas oleh Madden untuk mencakup data *Arkansas River*. Ini adalah fungsi dasar dari nilai geser yang besar dan rasio dari kecepatan geser terhadap kecepatan jatuh. Kemudian, Copeland (1989) mengumumkan persamaan untuk angkutan kerikil maka persamaan tersebut dapat digunakan untuk dasar yang bervariasi.

Ciri khas dari Laursen adalah bahwa fungsi ini dikembangkan untuk meluas ke dalam kisaran lumpur. Setiap potensi sedimen yang dihitung untuk lanau oleh fungsi lainnya akan di ekstrapolasi, faktor kesalahan yang diakibatkan akan lebih besar karena ekstrapolasi ini. Untuk mengetahui konsentrasi tingkat sedimen, variabel yang dimasukkan antara lain data satuan berat air, diameter partikel rata-rata, kedalaman efektif pada aliran yang dapat dilihat pada rumus di bawah ini.

$$C_m = 0,01\gamma \left(\frac{d_s}{D}\right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1\right) f \frac{U_*}{w} \dots\dots\dots(2.20)$$

dengan:

- 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
 $f\left(\frac{U_*}{w}\right)$ = fungsi dari rasio kecepatan geser dan kecepatan jatuh

2.4.2 Kecepatan Jatuh

Kecepatan jatuh sangat berpengaruh dalam proses angkutan sedimen. Sedimen akan tetap melayang atau tidak mengendap selama kecepatan aliran arah vertikal lebih besar dari kecepatan jatuh. Perbedaan kecepatan jatuh dipengaruhi oleh suhu dan ukuran partikel. Van Rijn (1993) memperkirakan untuk kecepatan jatuh menggunakan *non spherical particles* dengan factor bentuk 0,7 dalam suhu air 20°C. Persamaan yang digunakan tergantung pada ukuran partikel sebagai berikut:

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

$$\omega = \frac{(s-1)gd}{18\nu} \dots\dots\dots (2.21)$$

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

$$\omega = \frac{10\nu}{d} \left[\left(1 + \frac{0,01(s-1)gd^3}{\nu^2} \right)^{0,5} - 1 \right] \dots\dots\dots (2.22)$$

Untuk $d > 1$ mm

$$\omega = 1,1[(s-1)gd]^{0,5} \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

ω = kecepatan jatuh partikel (m/s)

ν = kecepatan kinematik (m/s)

s = *specific gravity* partikel

d = diameter partikel (mm)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.4.3 Gradiasi Sedimen

Gradasi partikel sedimen berpengaruh besar dalam terjadinya angkutan sedimen. Kapasitas angkutan sedimen untuk semua ukuran merupakan penjumlahan dari kapasitas angkutan sedimen total.

$$g_s = \sum_{i=1}^n g_{si} p_i \dots\dots\dots (2.24)$$

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 pada *software HEC-RAS* disajikan pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 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 : Garde dan raju, 1985

2.5 HEC-RAS

HEC-RAS adalah singkatan dari Hydraulic Engineering Centre-River Analysis System yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi dalam *institute for Water Resources* (WR) dibawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). *HEC-RAS* merupakan sistem *software* terintegrasi yang terdiri dari *interface* grafik pengguna, komponen analisa hidrolika terpisah, kemampuan manajemen dan tampungan data serta fasilitas pelaporan dan grafik.

Secara umum *HEC-RAS* dapat digunakan untuk menghitung aliran tunak berubah perlahan dengan penampang saluran prismatic atau non-prismatic, baik untuk aliran sub-kritis dan super-kritis serta menghitung saluran gabungan (Inabah, 2017).

Menurut *Simple Geometry River* (2011) apabila kecepatan, kedalaman, dan debit aliran tidak berubah terhadap waktu dalam kasus aliran permanen, maka ketiga parameter tersebut merupakan fungsi waktu dalam kasus aliran tak permanen (*unsteady flow*). Contoh dari aliran tidak permanen adalah perubahan debit di dalam pipa atau saluran, aliran banjir di sungai dan aliran di muara sungai yang dipengaruhi pasang surut.

HEC-RAS dapat melakukan analisis hitungan satu dimensi pada profil muka air aliran permanen (*steady flow*), hitungan satu atau dua dimensi pada profil muka air aliran tidak permanen (*unsteady flow*), hitungan angkutan sedimen, dan analisis kualitas air. Pemodelan satu dimensi merupakan pemodelan yang memiliki satu arah aliran yaitu arah aliran sepanjang alur utama. Sedangkan pemodelan dua dimensi adalah pemodelan yang memiliki dua arah aliran yaitu arah sepanjang alur utama dan arah aliran sekitar aliran. Dari keempat komponen tersebut menggunakan data geometri yang sama dan hitungan hidrolika yang sama.

Adapun yang harus diperhatikan dalam membuat model hidrolika dengan menggunakan *HEC-RAS* yaitu :

- a. Memulai proyek baru
- b. Memasukkan data geometri
- c. Memasukkan data aliran dan kondisi batas
- d. Melakukan perhitungan hidrolika
- e. Menampilkan dan mencetak hasil

2.5.1 Langkah untuk memulai *HEC-RAS*

1. Starting *HEC-RAS*

Adapun tampilan utama *HEC-RAS* adalah sebagai berikut:

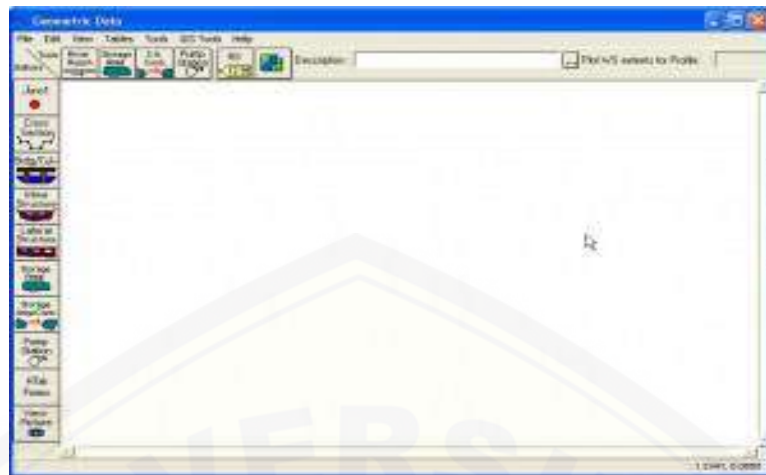


Gambar 2.5 Tampilan Layar Utama *HEC-RAS*



Untuk memulai pekerjaan *HEC-RAS* (*Project*), klik “**File**” kemudian “**New Project**” lalu simpan *Project* dengan nama sesuai selera pada direktori atau folder yang diinginkan.

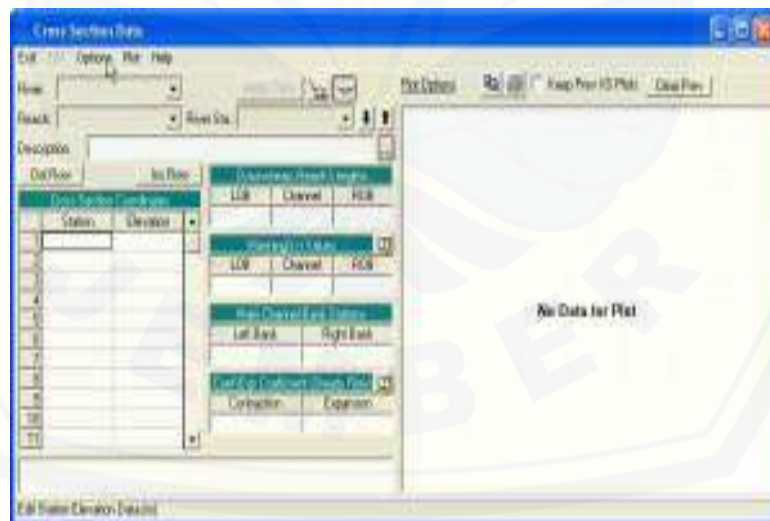
2. Mengisi Data Geometri

Langkah selanjutnya adalah pembuatan data geometri dengan cara klik tool bar “**Edit/Enter Geometric Data**”. Adapun tampilan awal dari geometrik data seperti Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Tampilan Layar Geometrik Data

Setelah muncul tampilan geometrik data, langkah selanjutnya adalah membuat lay out saluran dengan cara klik tool bar  **“River Reach”**. Arah aliran bendung sesuai dengan arah penggambaran. Setelah lay out penampang selesai kemudian masukkan data potongan melintang bendung dengan cara klik ikon **“Cross Section”** pada tampilan geometrik data , selanjutnya akan muncul tampilan seperti dibawah ini.



Gambar 2.7 Tampilan Layar Cross Section


Untuk memasukkan data-data potongan melintang, klik **“Option”** kemudian **“Add a New Cross Section”**. Masukkan nomor stationing (Sta) atau nomor patok, lalu masukkan data potongan melintang (didapat dari pengukuran topografi) pada bagian kiri tampilan *Cross Section Data* yang terdapat dua kolom,

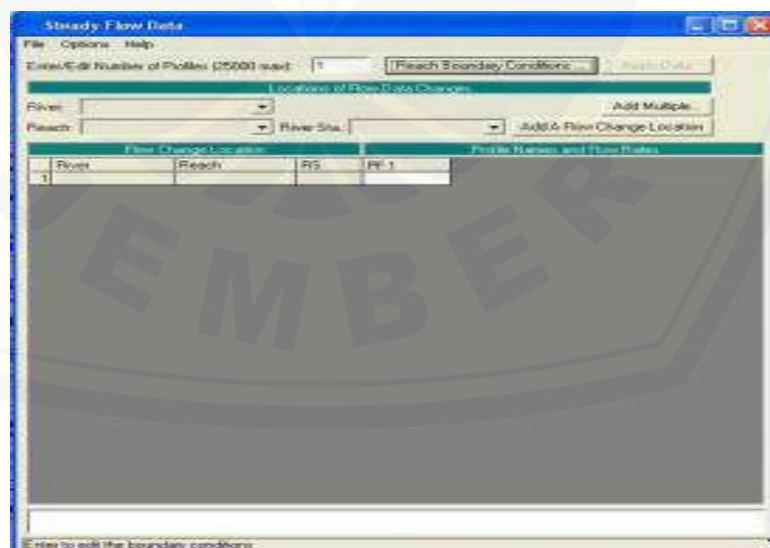
yaitu “**Station**” dan “**Elevation**”. *Station* adalah jarak pias potongan melintang (sumbu x), sedangkan *elevation* adalah elevasi pias potongan melintang (sumbu y). Masukkan “**Downstream Reach Length**” atau jarak antar potongan melintang yang sedang dibuat dengan potongan melintang dihilir, angka *manning*, dan *main channel bank station* (sumbu x untuk tebing kiri dan tebing kanan) yang berada di bagian tengah tampilan *Cross Section Data*. Pada *Reach Length*, masukkan data berupa jarak pada LOB (*Left Over Bank*) atau tebing kiri, *Channel* atau bagian tengah, dan ROB (*Right Over Bank*). Angka *manning* dimasukkan berdasarkan kekerasan material dinding saluran, sedangkan data *Bank Stationing* dimasukkan berdasarkan tebing yang ada pada potongan melintang.

Setelah semua geometri data selesai dimasukkan, kemudian di simpan dengan cara klik “**File**” lalu “**Save Geometric Data As**”.

3. Masukkan Data Aliran

a. Aliran Steady

Jika menggunakan aliran steady (parameter aliran yang tidak berubah terhadap waktu) berarti tinggal klik ikon “**Enter/Edit Steady Flow Data**” yang ada ditampilkan , sehingga muncul tampilan seperti dibawah ini.




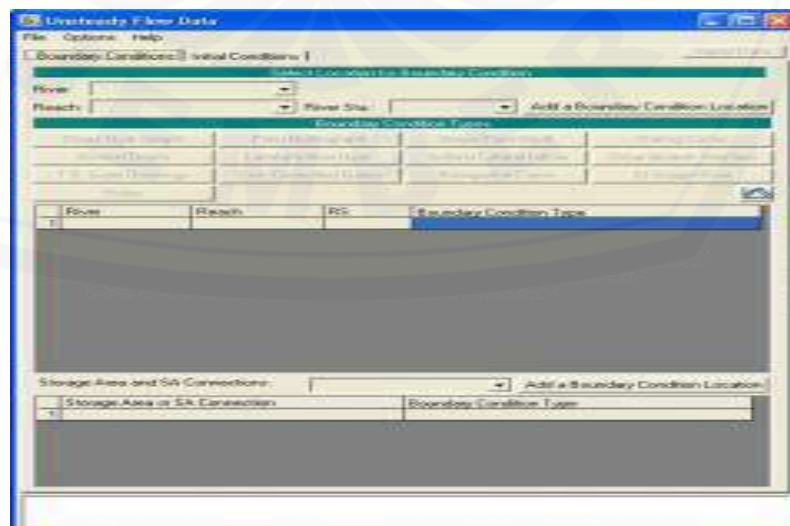
Gambar 2.8 Tampilan Layar *Steady Flow Data*

Setelah muncul tampilan *Stedy Flow Data*, masukkan debit puncak pada kolom PF dan diasumsikan bahwa debit yang terjadi merupakan aliran yang konstan. Selain itu masukkan *Boundary Condition* dengan cara klik tool bar “**Reach Boundary Condition**” yang terletak bagian atas tampilan *Stedy Flow Data*. Pada *Boundary Condition* atau kondisi batas ini, masukkan data yang ada dihilir maupun hilir bendung dengan cara klik salah satu ikon “**Known W.S., Critical Depth, Normal Depth dan Rating Curve**”.

- Jika memilih *Known W.S.* berarti muka air di hilir saluran diketahui
- Jika memilih *Critical Depth* berarti mengasumsikan bahwa di hilir saluran akan terjadi muka air kritis
- Jika memilih *Normal Depth*, biasanya diminta untuk memasukkan kemiringan dasar saluran (*slope*)
- Jika memilih *rating curve*, berarti sudah memiliki data elevasi dan debit yang biasanya terdapat di bendung.

b. Aliran *Unsteady*



Jika aliran merupakan unsteady (parameter aliran yang berubah terhadap waktu) berarti klik ikon “**Edit/Enter Unsteady Flow Data**” yang ada pada tampilan , sehingga muncul tampilan seperti dibawah ini.





Gambar 2.9 Tampilan Layar *Unsteady Flow Data*

Pada tab *Boundary Condition*, masukkan data-data kondisi batas dimana item hampir sama dengan kondisi batas pada aliran *steady*. Data yang dimasukkan pada aliran *unsteady* bukan hanya pada kondisi puncak, tetapi data aliran tiap waktu. Selain data *boundary condition*, masukkan data *intial condition* yang merupakan asumsi aliran pada jam ke-0. Setelah selesai, data disimpan dengan cara klik “**File**” kemudian “**Save Flow Data As**”.

c. Running Simulasi Aliran

Simulasi aliran adalah proses menghitung dari semua data yang telah dimasukkan. Proses simulasi ini menyesuaikan jenis aliran yang telah dipilih, jika menggunakan aliran *steady*, berarti klik “**Perform An Steady Flow Simulation**” pada ikon yang bergambar orang berlari pada jalan yang mendatar , sedangkan jika menggunakan aliran *unsteady*, berarti klik “**Perform An Unsteady Flow Simulation**” pada ikon yang bergambar orang berlari pada jalan yang menanjak . Kemudian klik item-item pada “**Programs to Run**” untuk mengisi waktu atau tanggal simulasi pada “**Simulation Time Window**” dan menyetting interval waktu perhitungan pada “**Computation Setting**”. Pada tampilan *Flow Analysis* pilih “**Geometry File**” dan “**Flow File**” yang akan dirunning, dan menamai “**Plan**” sesuai keinginan. Selanjutnya klik “**Compute**” dan selesai.

Untuk melihat hasil yang sudah dirunning:

- 1) Secara Grafis, klik salah satu dari ikon  dari ikon tersebut, muncul potongan melintang saluran, potongan memanjang saluran, *rating curve*, penampakan 3D dan hidrografnya.
- 2) Secara tabel, klik ikon “**View Summary Output Tables by Profile**” atau 

2.6 Uji Keandalan Simulasi

Terdapat berbagai metode perhitungan angkutan sedimen yang dikembangkan berdasarkan kondisi yang berbeda-beda. Perbedaan ini akan mendapatkan hasil berbeda antara satu dengan lainnya. Untuk memperoleh ketelitian dari prediksi sedimen, maka diperlukan adanya uji terhadap hasil dari model yang digunakan. Fungsi dari pengangkutan sedimen akan dipilih sesuai dengan jangkauan input dari data-data yang ada. Untuk memilih metode yang tepat dilakukan analisis untuk membandingkan hasil simulasi terhadap data pengukuran (observasi) dengan melakukan kalibrasi dan validasi menggunakan koefisien determinasi (R^2), *Root Mean Square Errors* (RMSE), dan *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE). Nilai R koefisien determinasi (R^2) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O - O_i)(P - P_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O - O_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P - P_i)^2}} \right]^2 \dots\dots\dots (2.25)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O - P)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Pada dasarnya nilai $R^2 \geq 0.5$ dianggap dapat diterima (Moriasi et al., 2007). Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan dari pemodelan perkiraan mendekati variasi nilai observasi. Adapun persamaan dari model efisiensi *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebagai berikut:

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O - P)^2}{\sum_{i=1}^n (O)^2} \right) \dots\dots\dots (2.27)$$

dengan:

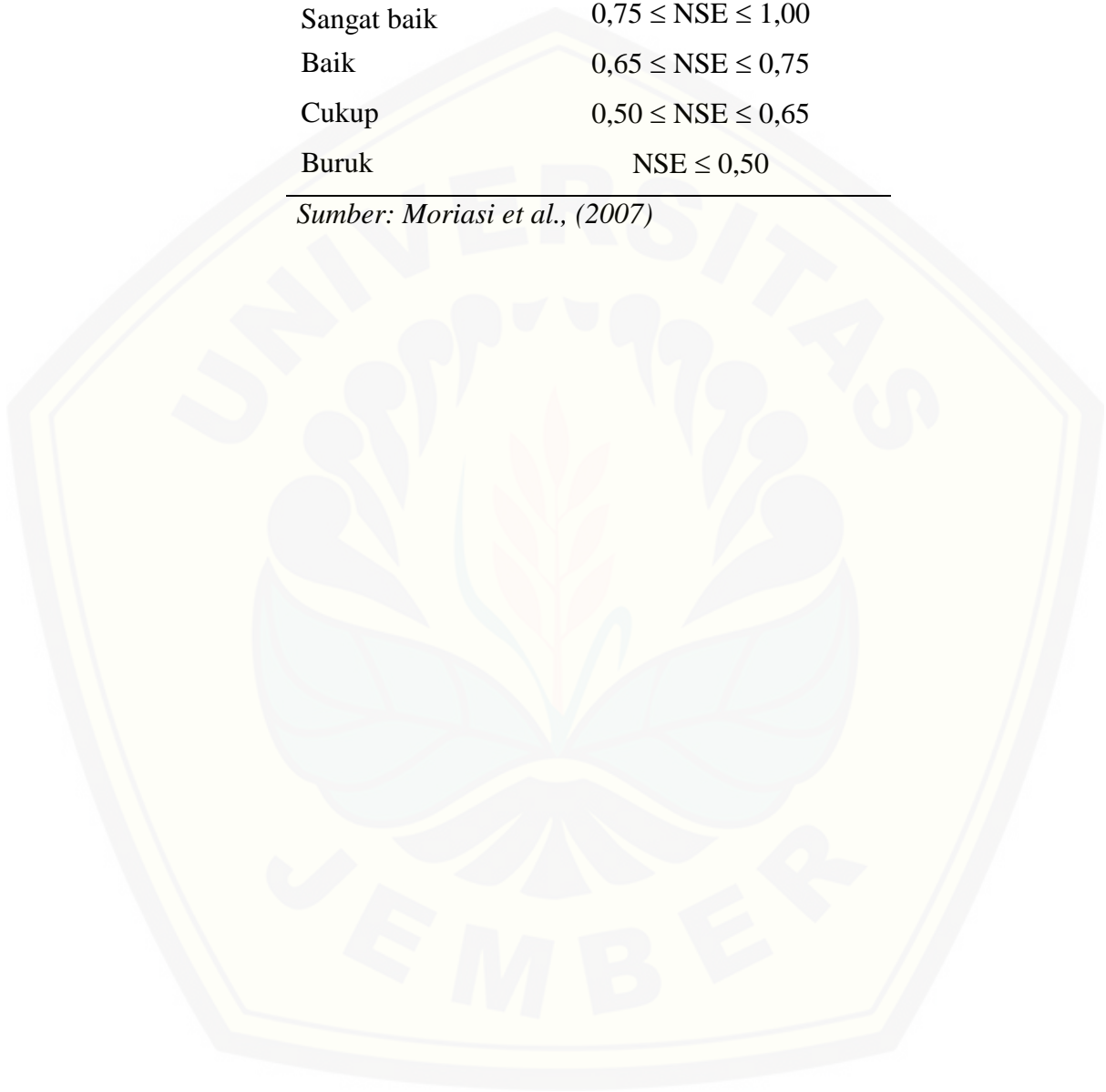
- O = data observasi
- O_i = data observasi rata-rata
- P = data simulasi
- P_i = data simulasi rata-rata
- n = jumlah data

Kriteria nilai statistik untuk *Nash Sutcliffe Efficiency* NSE dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4. Kriteria Penilaian NSE

Kriteria	Nilai NSE
Sangat baik	$0,75 \leq \text{NSE} \leq 1,00$
Baik	$0,65 \leq \text{NSE} \leq 0,75$
Cukup	$0,50 \leq \text{NSE} \leq 0,65$
Buruk	$\text{NSE} \leq 0,50$

Sumber: Moriasi et al., (2007)



Penelitian ini mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya. Berikut ini beberapa penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti Terdahulu	Variabel	Tujuan	Metode
1.	Andy Dany Amugrah, Asta, Rosmalia Handayani (2017) Universitas Borneo Tarakan.	Studi Laju Sedimentasi Menggunakan <i>HEC-RAS</i> 4.1.0 Pada Drainase Bandar Udara Juwata Tarakan.	Mengetahui angkutan perpindahan sedimen dan perubahan dasar elevasi akibat besarnya angkutan sedimen serta mengatasi pendangkalan pada drainase.	Simulasi <i>quasi-unsteady flow</i> menggunakan program <i>HEC-RAS</i> 4.1.0.
2.	Pradipta Nandi Wardhana (2015) Universitas Islam Indonesia.	Analisis Transport Sedimen Sungai Opak dengan Menggunakan Program <i>HEC-RAS</i> 4.1.0.	Masukan untuk mengevaluasi tampang melintang di lapangan serta memprediksi kecenderungan perilaku transport sedimen.	Simulasi transport sedimen dengan program <i>HEC-RAS</i> 4.1.0.
3.	Nur Hidayah Y.N. (2013) Universitas Sebelas Maret Surakarta.	Kajian Angkutan Sedimen pada Sungai Bengawan Solo (Serenan-Jurug).	Mengantisipasi terjadinya banjir dengan mengetahui karakteristik sedimen pada ruas sungai Bengawan Solo.	Program <i>HEC-RAS</i> .
4.	Chandra Murprabowo Mudjib, Dr. techn. Umboro Lasminto ST., M.Sc. (2013) Institut Teknologi	Studi Angkutan Sedimen Sudetan Pelangwot Sedayu Lawas Sungai Bengawan Solo.	Antisipasi dan mencegah terulangnya banjir dengan harapan debit banjir di hulu Sungai Bengawan Solo dapat dialihkan melalui Sudetan Pelangwot menuju Laut Jawa.	Program <i>HEC-RAS</i> 4.1.0.

No	Peneliti Terdahulu	Variabel	Tujuan	Metode
	Sepuluh Nopember.			
5.	Faradilla Ayu Rizki Shiami, Umboro Lasminto, dan Wasis Wardoyo (2017) Institut Teknologi Sepuluh November.	Prediksi Laju Sedimentasi Pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek.	Menjaga kapasitas dan masa guna bendungan Tugu Trenggalek.	Perhitungan analitik dan pemodelan <i>software HEC-RAS</i> .

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

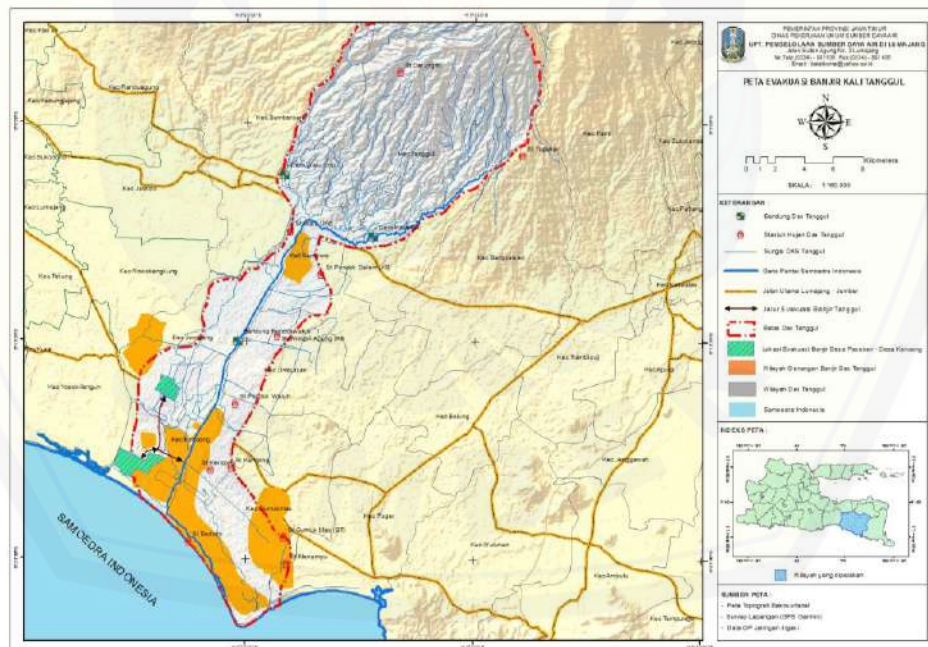
Metode penelitian adalah suatu kerangka pendekatan pola pikir dalam menyusun dan melaksanakan suatu penelitian. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental murni dan bersifat laboratoris.

3.1 Studi Literatur

Penelitian diawali dengan tinjauan pustaka dan konsultasi dengan dosen pembimbing untuk mendapatkan referensi dan informasi data-data yang dibutuhkan guna pelaksanaan penelitian.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada DAS Kali Tanggul yang terletak di Kecamatan Tanggul, Kabupaten Jember. Pengambilan dan Pengukuran sampel dilakukan pada bulan Maret-April tahun 2018.



Gambar: 3.1 Peta Lokasi DAS Kali Tanggul

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data sebagai bahan masukan bagi tahapan analisis dengan teknik sebagai berikut:

1) Data Primer

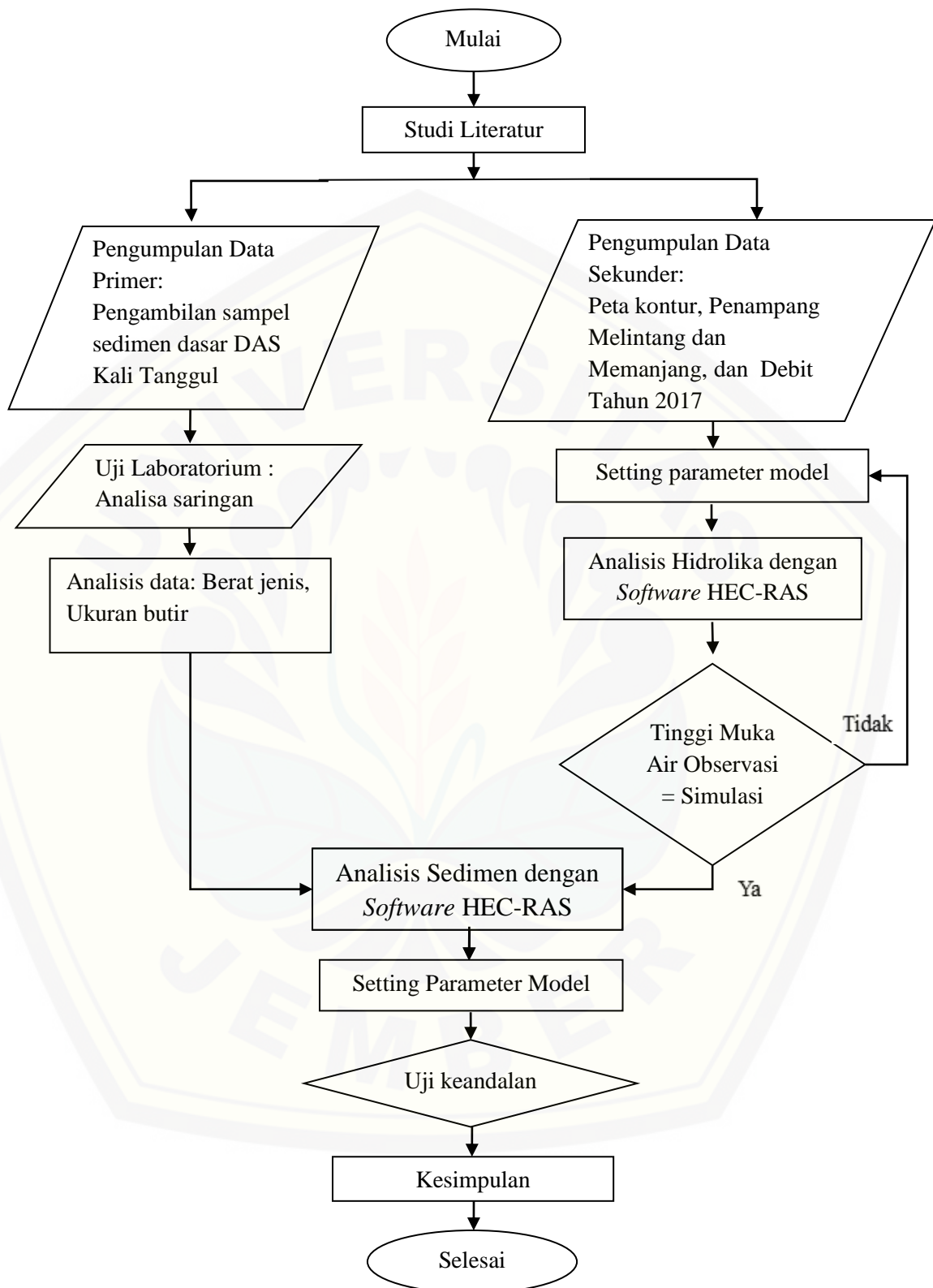
Data primer adalah data yang langsung diambil dari objeknya oleh peneliti berupa tanya jawab atau wawancara dengan pihak-pihak yang bersangkutan yang sudah berpengalaman. Dalam penelitian ini wawancara dilakukan dengan pihak teknisi DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember.

2) Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diambil oleh peneliti secara tidak langsung dari objeknya berupa data tertulis. Data sekunder diperoleh dari instansi terkait. Data sekunder yang diperlukan diantaranya peta kontur, data sedimen, penampang, dan tinggi muka air atau debit aliran tahunan.

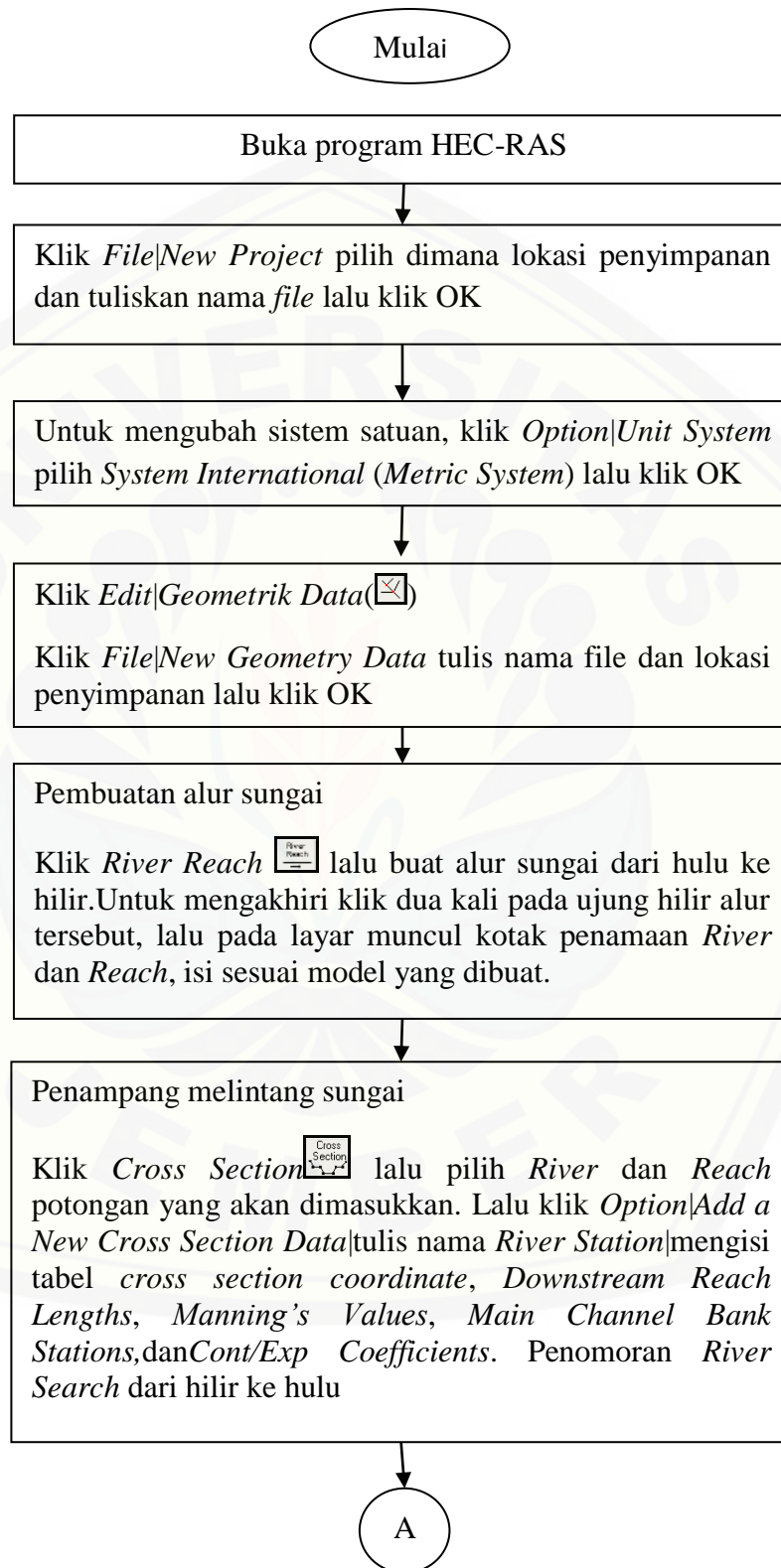
3.4 Analisis Data

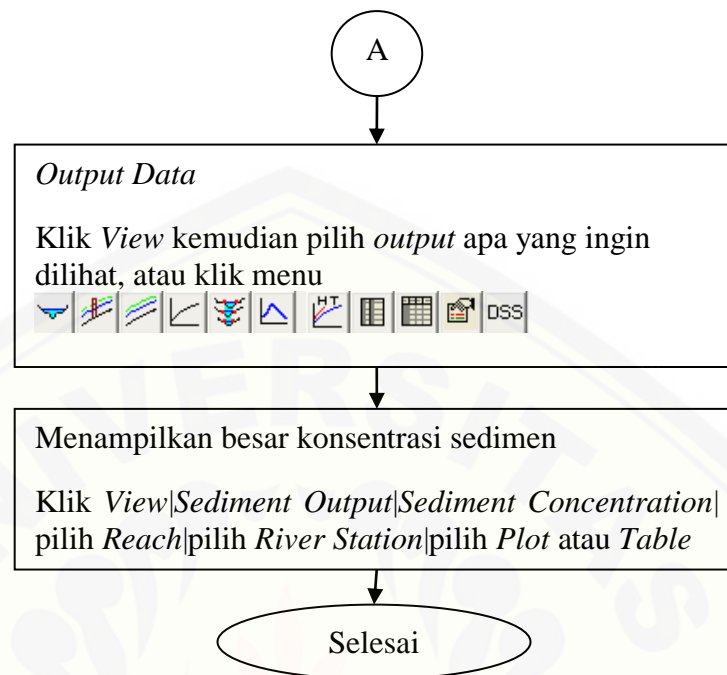
Setelah dilakukan survey dan pengumpulan data meliputi karakteristik drainase, dan sampel sedimen dilakukan input data pada program yaitu skema saluran, penampang melintang dan memanjang, serta karakteristik sedimen. Untuk mendapatkan nilai sedimentasi pada DAS Kali Tanggul Kabupaten Jember dilakukan analisa angkutan sedimen menggunakan persamaan Ackers White, Engelund Hansen, Yang, Laursen dan Meyer Peter Muller, kemudian disimulasikan dengan quasi-unsteady pada *software HEC-RAS*. Tahapan yang dilakukan dalam proyek akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 diagram alir penelitian.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.5 Diagram Alir HEC-RAS





Gambar 3.3 Diagram Alir Software HEC-RAS



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi *transport* sedimen, total volume angkutan sedimen yang mengendap di DAS Kali Tanggul selama 365 hari dengan menggunakan *transport function* Laursen pada HEC-RAS 4.1.0 sebesar 2456,353 m³/tahun. Perubahan dasar sungai tertinggi akibat angkutan sedimen terjadi pada *river* sta 13.4 sebesar 0,0019 m dan perubahan dasar sungai terkecil terjadi pada *river* sta 11.2 sebesar 0,0001 m. Sedangkan pengelolaan data volume sedimen dari Pengamat Sumber Daya Air wilayah Kencong pada RS 13.4-13.6 sepanjang 211 m sebesar 235,5957 m³. Sehingga hasil keandalan pemodelan sedimen dengan HEC-RAS diperoleh nilai NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency*) sebesar 0,912 dengan kriteria sangat baik.

5.2 Saran

Simulasi yang digunakan dengan menggunakan *HEC-RAS* 4.1.0 merupakan pemodelan satu dimensi sehingga memiliki beberapa keterbatasan. Agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal menggunakan model 2 dimensi atau 3 dimensi dengan *software Center for Computational Hydro science and Engineering Graphic User Interface* (CCHE-GUI) versi 3.05 dan CCHE-Mesh Versi 3.0.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, A.D., Asta. dan R. Handayani. 2017. *Studi Laju Sedimentasi Menggunakan HEC-RAS 4.1.0 Pada Drainase Bandar Udara Juwata Tarakan*. Tarakan: Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air Edisi 2*. UPT Produksi Media Informasi Lembaga Sumberdaya. IPB. Bogor Press.
- Chow, V.T., D.R. Maidment, L.W. Mays, 1997. *Applied hydrology*. McGraw-Hill Book ompany, New York. Et:110-113.
- Garde, R.J., Raju, K.G.R., 1985. *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. Second Edition, Wiley Eastern Limited, Roorkee. India
- Hydrologic Engineering Center. 2016. *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 5.0, February 2016*. U.S. Army Cormps of Engineers, Davis, CA.
- Hidayah, N. 2013. *Kajian Angkutan Sedimen pada Sungai Bengawan Solo (Serenan-Jurug)*. Skripsi. FT, Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Inabah, R.F. 2017. *Perencanaan Check Dam Sebagai Pengendali Sedimen pada Sungai Yeh Mas Desa Tukad Sumaga Kecamatan Gerokgak Kabupaten Buleleng Bali*. Malang: Jurnal Teknik Pengairan Konsentrasi Pemanfaatan dan Pendayagunaan SDA.
- Istiaro. 2014. *Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, Jenjang Dasar: Simple Geometry River, Modul Pelatihan*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kurniawan, F.A. 2016. *Analisa Sebaran Sedimen Dan Efektivitas Tampungan Menggunakan Teknik Interpolasi Ruang (Studi Kasus Penggelontoran Waduk Wlingi dan Waduk Lodoyo)*. Jurnal Ilmiah. Malang.
- Modul Praktikum Uji Tanah 2012. *Buku Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

- Moriasi, D.N., J.G Arnold, M. W Van Liew, R.L Bingner, R.D Harmel, T.L Veith. 2007. *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. American Society of Agricultural and Biological Engineers 50 (3), pp. 885-900.
- Mudjib, C.M., U. Lasminto. 2013. *Studi Angkutan Sedimen Sudetan Pelangwot Sedayu Lawas Sungai Bengawan Solo*. Surabaya: *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 1, No. 1: 1-6.
- Mulyanto, H. R. 2007. *Ilmu Lingkungan. Graha Ilmu*. Yogyakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Pasal 1 Tahun 2011 tentang *Sungai*.
- Rijn, L.V., (1993), *Principle of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, Coastal Seas and Oceans*, International Institute for Infrastructure, Hydraulic, and Environmental Engineering, Delft
- Shiami, F.R., U. Lasminto. dan W. Wardoyo. 2017. *Prediksi Laju Sedimentasi pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek*. Surabaya: *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. Vol. 6, No. 2: 2337-3539.
- Soemarto. 1987. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Wardhana, P.N. 2015. *Analisis Transpor Sedimen Sungai Opak dengan Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0*. Yogyakarta: *Jurnal Teknisia*. Vol. XX, No. 1: 0853-8557.
- Yang, X., L. Shanzheng, Z. Shiqi. 2003. The Sedimentation and Dredging of Guanting Reservoir, *International Journal of Sediment Research* Vol. 18, No. 2, 2003, pp. 130-137.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Kecepatan Aliran Awal Simulasi Dan Akhir Simulasi pada
HECRAS

RS	Kecepatan Aliran 02 Januari 2017 (m/s)	Kecepatan Aliran 28 Desember 2017 (m/s)	Selisih
20	1.971385	2.871506	0.900121
19.9	1.271409	2.127778	0.856369
19.8	2.06066	1.56142	-0.49924
19.7	0.3631632	1.077355	0.714192
19.6	0.2720146	0.8504103	0.578396
19.5	0.498114	0.9917055	0.493592
19.4	0.7944431	1.195879	0.401436
19.3	0.3441916	1.249622	0.90543
19.2	0.4716401	1.256966	0.785326
19.1	0.3480722	1.551288	1.203216
19	0.6909736	2.363022	1.672048
18.9	1.862681	3.038799	1.176118
18.8	1.622979	2.681185	1.058206
18.7	0.4579766	1.689939	1.231962
18.6	0.4798695	1.02099	0.541121
18.5	0.1383081	0.9639412	0.825633
18.4	0.5929153	1.100404	0.507489
18.3	0.2128047	0.9351146	0.72231
18.2	0.4201122	0.8700185	0.449906
18.1	0.2911596	0.8318427	0.540683
18	0.1288307	0.7353638	0.606533
17.9	0.4504423	0.8425532	0.392111
17.8	0.2291194	0.8262736	0.597154
17.7	0.323185	0.7652294	0.442044
17.6	0.2118389	0.7863303	0.574491
17.5	0.3074225	0.9083402	0.600918
17.4	0.3299712	0.9202216	0.59025
17.3	0.1484843	0.7557972	0.607313
17.2	0.2528569	0.7668034	0.513947
17.1	0.2155643	0.7734392	0.557875
17	0.1242824	0.6708855	0.546603
16.9	0.158768	0.62968	0.470912
16.8	0.1184926	0.658396	0.539903
16.7	0.1962256	0.7191981	0.522973
16.6	0.1426884	0.6814566	0.538768
16.5	0.1218014	0.5817572	0.459956

RS	Kecepatan Aliran 02 Januari 2017 (m/s)	Kecepatan Aliran 28 Desember 2017 (m/s)	Selisih
16.3	0.1881194	0.6759867	0.487867
16.2	0.1088369	0.6347259	0.525889
16	7.47E-02	0.4660204	0.391302
15.9	0.0903014	0.4849618	0.39466
15.8	0.152433	0.6011763	0.448743
15.7	0.1178809	0.6178426	0.499962
15.6	0.1245304	0.5855984	0.461068
15.5	0.1230509	0.5178651	0.394814
15.4	6.82E-02	0.3883162	0.320151
15.3	6.37E-02	1.026692	0.962956
15.2	1.669586	1.812532	0.142946
15.1	0.1670222	1.25873	1.091708
15	0.1514726	0.5614848	0.410012
14.9	8.02E-02	0.5111333	0.430891
14.8	0.1406584	0.5740198	0.433361
14.7	0.1268577	0.5761846	0.449327
14.6	9.94E-02	0.5658404	0.466403
14.5	0.1824855	0.6520109	0.469525
14.4	0.1570751	0.8990712	0.741996
14.3	1.495719	1.075924	-0.4198
14.2	0.1406761	0.8520542	0.711378
14.1	0.1809943	0.7861488	0.605155
14	0.3130457	0.9344017	0.621356
13.9	0.214518	0.9708365	0.756319
13.8	0.3800796	1.038347	0.658267
13.7	0.3238407	1.144729	0.820888
13.6	1.613175	1.227954	-0.38522
13.5	0.5951939	1.180931	0.585737
13.4	0.5642969	1.090551	0.526254
13.3	0.3762764	0.9633858	0.587109
13.2	0.3898121	0.7825786	0.392767
13.1	0.1629936	0.7402973	0.577304
13	0.3930433	0.7916076	0.398564
12.9	0.3038933	0.7147405	0.410847
12.8	0.1238683	0.6774877	0.553619
12.7	0.3232112	0.9187304	0.595519
12.6	0.6482258	1.219692	0.571466
12.5	0.6051705	1.391454	0.786284
12.4	0.5271549	1.441924	0.914769
12.3	0.4611144	1.514947	1.053833

RS	Kecepatan Aliran 02 Januari 2017 (m/s)	Kecepatan Aliran 28 Desember 2017 (m/s)	Selisih
12.1	1.311908	1.036671	-0.27524
12	0.3489384	0.7515504	0.402612
11.8	0.4728126	0.9811454	0.508333
11.7	0.6217861	1.205751	0.583965
11.6	0.2246478	1.1504	0.925752
11.5	0.8866971	1.292719	0.406022
11.4	0.7301064	1.241033	0.510927
11.3	0.1091242	0.9423755	0.833251
11.2	0.5961593	1.0178	0.421641
11.1	0.358331	0.9645547	0.606224
11	0.1644078	0.6843241	0.519916
10.9	0.1853411	0.7138766	0.528536
10.8	0.3188679	0.8359079	0.51704
10.7	0.2220362	0.8601091	0.638073
10.6	0.3346185	0.9753789	0.64076
10.5	0.5716239	1.01737	0.445746
10.4	0.1611619	0.9159595	0.754798
10.3	0.351927	0.8905244	0.538597
10.2	0.1717108	0.9407893	0.769079
10.1	0.3595475	1.006546	0.646999
10	0.2000402	0.9720886	0.772048
9.9	0.2365738	0.9481435	0.711157
9.8	0.2528023	0.9736129	0.720811
9.7	0.2189712	0.9141176	0.695146
9.6	0.2349662	0.8086511	0.573685
9.5	0.185069	0.7726224	0.587553
9.4	0.2420404	0.8410632	0.599023
9.3	0.2209936	0.9420924	0.721099
9.2	0.2908505	1.049084	0.758234
9.1	0.2973342	1.070879	0.773545
9	0.2431278	0.9359573	0.69283
8.9	0.1345983	0.7485775	0.613979
8.8	0.1383899	0.7213166	0.582927
8.7	0.1962766	0.7710378	0.574761
8.6	0.1274092	0.7144246	0.587015
8.5	0.1322763	0.698387	0.566111
8.4	0.1524645	0.8375398	0.685075
8.3	0.2469345	0.9722498	0.725315
8.2	0.225523	0.9474337	0.721911
8.1	0.1725608	0.8357244	0.663164

RS	Kecepatan Aliran 02 Januari 2017 (m/s)	Kecepatan Aliran 28 Desember 2017 (m/s)	Selisih
8	0.1340711	0.7431269	0.609056
7.9	0.1488358	0.6641738	0.515338
7.8	0.1202216	0.6134477	0.493226
7.6	0.1569029	0.782837	0.625934
7.5	0.1964769	0.9895577	0.793081
7.4	0.26746	1.16961	0.90215
7.3	0.1805657	1.06491	0.884344
7.2	0.1811473	0.8650926	0.683945
7.1	0.1541931	0.7476369	0.593444
7	0.1490723	0.8583211	0.709249
6.9	0.2517983	0.9971987	0.7454
6.8	0.1309988	0.8529974	0.721999
6.7	0.1423871	0.738934	0.596547
6.6	0.1274568	0.7617387	0.634282
6.5	0.1583225	0.7276841	0.569362
6.4	9.58E-02	0.6824852	0.586706
6.3	0.1513059	0.8045574	0.653252
6.2	0.1718214	0.9314576	0.759636
6.1	0.1488652	0.9299304	0.781065
6	0.1690431	0.9138159	0.744773
5.9	0.1429174	0.83021	0.687293
5.8	0.1333788	0.7175158	0.584137
5.7	0.1355839	0.641781	0.506197
5.6	0.1062716	0.6157076	0.509436
5.5	0.1321691	0.6365935	0.504424
5.4	0.1385773	0.5521236	0.413546
5.3	0.0564627	0.4844561	0.427993
5.2	0.1633055	0.5451516	0.381846
5.1	0.1134675	0.5219032	0.408436
5	0.1044844	0.4980834	0.393599
4.9	0.1008405	0.4889558	0.388115
4.8	8.86E-02	0.4518906	0.36334
4.7	0.1061201	0.4727923	0.366672
4.6	0.1145404	0.4421109	0.327571
4.5	0.1119447	0.396195	0.28425
4.4	0.122906	0.4148425	0.291937
4.3	0.109942	0.4079798	0.298038
4.2	0.0951101	0.351948	0.256838
4.1	8.90E-02	0.3757198	0.286699
4	0.1176004	0.50543	0.38783

RS	Kecepatan Aliran 02 Januari 2017 (m/s)	Kecepatan Aliran 28 Desember 2017 (m/s)	Selisih
3.9	0.1154295	0.5645477	0.449118
3.8	0.1095105	0.493692	0.384182
3.7	7.83E-02	0.4814504	0.403194
3.6	0.1255336	0.5873706	0.461837
3.4	8.50E-02	0.4188766	0.333852
3.3	6.48E-02	0.3243635	0.259577
3.2	0.0803427	0.3891973	0.308855
3.1	0.112676	0.4939648	0.381289
3	0.100728	0.5364216	0.435694
2.9	0.1165378	0.4991468	0.382609
2.8	7.99E-02	0.555924	0.476074
2.7	0.1597101	0.8188394	0.659129
2.6	0.1598196	0.8070765	0.647257
2.5	5.60E-02	0.4701315	0.414174
2.4	5.71E-02	0.3466077	0.289481
2.3	7.45E-02	0.4191788	0.344636
2.2	8.50E-02	0.4169702	0.331991
2.1	5.75E-02	0.3198918	0.262396
2	4.48E-02	0.2491213	0.20437
1.9	4.73E-02	0.3842418	0.336912
1.8	0.1597997	0.8612728	0.701473
1.7	0.4399064	1.106978	0.667072
1.6	0.218198	1.233998	1.0158
1.5	1.348742	1.447792	0.09905
1.4	0.2028209	0.930038	0.727217
1.3	0.1181822	0.3593401	0.241158
1.2	8.45E-02	0.3150561	0.230512
1.1	0.1494801	0.3849409	0.235461
1	0.2161096	0.4150559	0.198946
0.9	9.13E-02	0.3106548	0.219402
0.8	9.76E-02	0.4198586	0.322226
0.7	0.2337937	0.6410507	0.407257
0.6	0.1366206	0.5739821	0.437362
0.5	0.186432	0.4528846	0.266453
0.4	0.0863332	0.3965992	0.310266
0.3	9.24E-02	0.3331617	0.24072
0.2	6.98E-02	0.2805322	0.210746
0.1	8.63E-02	0.3401451	0.253816
0	0.3210635	0.4304894	0.109426

Sumber: Hasil Perhitungan HEC-RAS 4.1.0

Lampiran 2. Hasil Kapasitas Sedimen Akhir Simulasi HEC-RAS Selama Satu Tahun Pada DAS Kali Tanggul

RS	Volume Sedimen 28 Desember 2017 (m ³)
20	26.36895
19.9	61.55394
19.8	135.3834
19.7	200.5668
19.6	296.5265
19.5	47.82567
19.4	110.3232
19.3	167.0465
19.2	81.42418
19.1	44.67419
19	51.57077
18.9	116.2871
18.8	188.4236
18.7	282.5091
18.6	370.7036
18.5	61.59818
18.4	39.27982
18.3	49.65032
18.2	50.60909
18.1	42.18097
18	31.51864
17.9	29.02136
17.8	37.20325
17.7	35.76684
17.6	30.63684
17.5	29.46299
17.4	31.18381
17.3	29.95662
17.2	27.16468
17.1	26.92712
17	26.38629
16.9	25.53919
16.8	25.32164
16.7	25.32678
16.6	25.34549
16.5	25.322
16.4	24.74312
16.2	24.74425

RS	Volume Sedimen 28 Desember 2017 (m ³)
16.1	24.74861
16	24.49834
15.9	26.11683
15.8	27.56805
15.7	27.57964
15.6	27.58515
15.5	27.5711
15.4	27.55821
15.3	24.74605
15.2	82.624
15.1	236.4182
15	241.4185
14.9	24.72122
14.8	24.69345
14.7	24.70051
14.6	36.32485
14.5	36.33283
14.4	36.3711
14.3	126.2165
14.2	276.7918
14.1	196.4836
14	36.24691
13.9	37.19832
13.8	38.54752
13.7	43.40747
13.6	184.3372
13.5	301.0033
13.4	431.0177
13.3	190.6517
13.2	83.802
13.1	47.92344
13	38.49281
12.9	42.20655
12.8	38.9823
12.7	35.44627
12.6	47.01102
12.5	123.0944
12.4	148.015
12.3	101.4173
12.1	128.8639

RS	Volume Sedimen 28 Desember 2017 (m ³)
12	349.6775
11.9	182.0947
11.8	37.78865
11.7	62.63976
11.6	83.52636
11.5	93.13127
11.4	201.2538
11.3	224.0309
11.2	69.95121
11.1	68.35091
11	56.71905
10.9	34.27887
10.8	33.9363
10.7	35.26893
10.6	36.14488
10.5	49.85159
10.4	62.26861
10.3	40.86725
10.2	35.07913
10.1	34.96209
10	35.08959
9.9	34.40689
9.8	33.9699
9.7	34.11802
9.6	34.06567
9.5	34.02344
9.4	33.93651
9.3	34.03115
9.2	34.3639
9.1	35.30713
9	35.93749
8.9	34.08189
8.8	33.3451
8.7	33.32782
8.6	33.34294
8.5	33.31901
8.4	33.30805
8.3	33.34526
8.2	33.69598
8.1	33.93602

RS	Volume Sedimen 28 Desember 2017 (m ³)
8	33.39455
7.9	33.33113
7.8	33.31844
7.7	33.30895
7.6	33.31495
7.5	33.34808
7.4	33.59413
7.3	33.74911
7.2	33.48155
7.1	33.34855
7	33.32915
6.9	33.34976
6.8	33.47292
6.7	33.33642
6.6	33.3051
6.5	33.31415
6.4	33.30832
6.3	33.29425
6.2	33.31196
6.1	33.32772
6	33.3473
5.9	33.39208
5.8	33.35638
5.7	33.32045
5.6	33.30082
5.5	33.2915
5.4	33.29737
5.3	33.28339
5.2	33.12607
5.1	33.14067
5	39.88273
4.9	33.80431
4.8	30.07611
4.7	27.06308
4.6	28.39413
4.5	29.58364
4.4	28.95635
4.3	28.88545
4.2	26.86326
4.1	24.39629

RS	Volume Sedimen 28 Desember 2017 (m ³)
4	24.6601
3.9	29.38217
3.8	33.31093
3.7	28.91458
3.6	27.73288
3.5	27.74377
3.4	27.75461
3.3	25.96425
3.2	22.52268
3.1	23.49496
3	27.86995
2.9	32.26226
2.8	29.59332
2.7	32.54988
2.6	32.57063
2.5	32.56358
2.4	25.52228
2.3	22.52624
2.2	24.05244
2.1	24.01865
2	22.29088
1.9	19.94595
1.8	22.47934
1.7	27.38915
1.6	72.15206
1.5	418.2179
1.4	660.3218
1.3	288.1564
1.2	22.26493
1.1	22.21692
1	22.32601
0.9	22.60027
0.8	22.25301
0.7	22.2885
0.6	22.56682
0.5	22.62243
0.4	22.40569
0.3	22.23484

RS	Volume Sedimen 28 Desember 2017 (m ³)
0.2	22.21012
0.1	21.79644
0	22.45878
TOTAL	2456.353

Sumber: Hasil Perhitungan HEC-RAS 4.1.0

