



**STUDI LAJU SEDIMENTASI PADA SUNGAI BEDADUNG
MENGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS 5.0.5**

SKRIPSI

Oleh:

**Putri Windi Lestari
NIM 151910301110**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**STUDI LAJU SEDIMENTASI PADA SUNGAI BEDADUNG
MENGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS 5.0.5**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar sarjana

Oleh:

**Putri Windi Lestari
NIM 151910301110**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT karena atas karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan semangat dan dukungan baik moril maupun materil.
3. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Keluarga besar Teknik Sipil angkatan 2015.

MOTTO

“Dunia ini ibarat bayangan. Kalau kau berusaha menangkapnya, ia akan lari. Tapi kalau kau membelakanginya, ia tak punya pilihan selain mengikutimu”

(Ibnu Qayyim Al Jauziyyah)

“Ilmu pengetahuan itu bukanlah yang dihafal, melainkan yang memberi manfaat”

(Imam Syafi’i)

“Barang siapa yang menunjuki kepada kebaikan, maka ia akan mendapatkan pahala seperti pahala orang yang mengerjakannya”

(H.R. Muslim)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Windi Lestari

NIM : 151910301110

Menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul “Studi Laju Sedimentasi pada Sungai Bedadung menggunakan Program HEC-RAS 5.0.5” merupakan hasil karya sendiri, kecuali kutipanyang sudah saya cantumkan beserta sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan jiplakan karya orang lain. Saya bertanggung jawab atas kebenaran dan keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan benar adanya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta saya bersedia mendapat sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan yang telah dibuat tidak benar.

Jember

Yang Menyatakan,

Putri Windi Lestari

NIM. 151910301110

SKRIPSI

**STUDI LAJU SEDIMENTASI PADA SUNGAI BEDADUNG
MENGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS 5.0.5**

Oleh

Putri Windi Lestari

151910301110

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Wiwik Yunarni W., ST., MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Retno Utami A. W., ST., M.Eng., Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Studi laju Sedimentasi pada Sungai Bedadung menggunakan Program HEC-RAS 5.0.5” karya Putri Windi Lestari telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Senin, 17 Juni 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama

Dosen 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:

Dosen Penguji Utama

Dosen Penguji Anggota

Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T.
NIP 19710807 199803 1 002

Dr. Yeny Dhokikah, S.T., M.T.
NIP 19730127 199903 2 002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

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

RINGKASAN

Studi Laju Sedimentasi pada Sungai Bedadung menggunakan Program HEC-RAS 5.0.5; Putri Windi Lestari, 151910301110; 2019; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sedimen merupakan material yang terangkut oleh aliran air pada suatu penampang saluran yang terbawa dari hulu menuju hilir yang kemudian akan mengendap pada titik-titik tertentu. Sungai Bedadung merupakan sungai yang berada di DAS Bedadung bagian hilir dan bermuara langsung di Laut Puger. Sedimen yang terbawa oleh aliran air di sepanjang sungai tersebut akan berakhir dan mengendap di daerah pelabuhan.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis laju sedimentasi yang terjadi dengan bantuan program bantu yaitu program HEC-RAS 5.0.5. Tahap pertama adalah analisis hidrolika yang memanfaatkan komponen aliran tak permanen, karena kondisi aliran merupakan aliran sungai yang sifatnya berubah terhadap waktu. Untuk mengetahui ketepatan parameter yang digunakan pada data input pemodelan dapat dilakukan kalibrasi dengan menggunakan perbandingan antara data observasi dan data hasil simulasi.

Setelah mengetahui ketepatan analisis hidrolika, maka selanjutnya adalah analisis sedimentasi. Data yang dimasukkan adalah data debit selama 1 tahun yang disimulasi menggunakan debit *quasi-unsteady*, karena sifat aliran debit pada saat simulasi relatif stabil. Metode persamaan pengangkutan sedimen yang digunakan adalah persamaan Laursen (*Field*), dengan metode tersebut akan diketahui total sedimen yang masuk dalam satuan ton selama periode simulasi. Pada analisis hidrolika didapatkan nilai determinasi (R^2) sebesar 0,9327 yang tergolong pada kategori sangat baik karena nilai tersebut mendekati 1, dengan nilai RMSE sebesar 0,56 yang memiliki nilai standar *error* kategori kecil karena masuk dalam kisaran 0,0-1,0. Sedangkan pada analisis sedimentasi, hasil simulasi *software* HEC-RAS didapatkan laju sedimen sebesar 801,348 m³/tahun dengan nilai tersebut dapat diketahui persentase keandalan model sebesar 78%.

SUMMARY

Study of Sedimentation Rate on the Bedadung River using the HEC-RAS 5.0.5 Program; Putri Windi Lestari, 151910301110; 2019; majoring in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Jember.

Sediment is a material that is transported by water flow in a cross section of a channel carried from upstream to downstream which then settles at certain points. Bedadung River is a river located in the downstream Bedadung watershed and empties directly into the Puger Sea. The sediments carried by the water flow along the river will end and settle in the port area.

In this study an analysis of the sedimentation rate was carried out with the help of an auxiliary program, the HEC-RAS 5.0.5 program. The first stage is hydraulic analysis that utilizes non-permanent flow components, because flow conditions are river flows that change in time. To find out the accuracy of the parameters used in the input modeling data can be calibrated using a comparison between the observation data and the simulation data.

After knowing the accuracy of the hydraulic analysis, then the next is the analysis of sedimentation. The data entered is 1 year debit data which is simulated using quasi-unsteady discharge, because the nature of the flow of discharge during simulation is relatively stable. The method of sediment transport equation used is the Laursen (Field) equation, with this method it will be known that the total sediment is entered in tons during the simulation period. In hydraulic analysis, the value of determination (R^2) of 0.9327 is classified as very good because the value is close to 1, with the RMSE value of 0.56 which has a standard value of small category error because it is in the range of 0.0-1.0 . Whereas in the sedimentation analysis, the results of the HEC-RAS software simulation found a sediment rate of 801,348 m³ / year and with that value obtained 78% for validation model.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Laju Sedimentasi pada Sungai Bedadung Menggunakan Program HEC-RAS 5.0.5”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Ir. Hernu Suyoso, M.T., selaku Ketua Jurusan dan Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi (S1) Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember;
3. Wiwik Yunarni W., S.T., M.T., selaku pembimbing utama dan Retno Utami Agung W., S.T., M.Eng., Ph.D. selaku pembimbing anggota dalam penyusunan skripsi;
4. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Keluargaku tercinta, kepada Bapak dan Ibu serta saudara-saudaraku yang ikut membantu memberikan dukungan motivasi baik moril maupun materiil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini;
6. Bapak Ibu guru dari TK sampai lulus SMA yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada saya;
7. Orang-orang terdekat yaitu Vianda Febryan, Fahrin Saftya Devina, Amaliyah Tulus Rahmatin, dan M. Zulvi Alhamda yang selalu memberikan semangat dan semua dukungan hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan;
8. Sahabat-sahabatku yaitu Oktavia Violetta, Atha Mulia Rahma, Nabila Aulia Yasmin, Devi Astika, Shinta Dwi, Nandya April, Liris Fitriani yang telah memberikan dukungan serta doanya;

9. Teman-teman herek yang setia yaitu Helda Frista, Icha Tatrisia Derka, Farras Faridah P, Dianatul H, Aulia Uli, Devita, Evita Ariesta, Andini Zahari, Risa Andriana S, dan Ayunia N atas perhatian dan supportnya;
10. Teman-teman seperjuangan yaitu Intan Kamila Adiba, Andini Wihenda Lafatza, Rezi Berliana Y, dan Rizqi Eka yang telah memberikan semangat dan doanya
11. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2015 yang telah memberikan dukungan.
12. Teman-teman KKN yaitu Bella Ady Winata Lia, Rahmawati Eka Sufaula Izza, Nurul Fauziah Istiarbudi yang telah banyak memberi bantuan, dukungan, dan doa.
13. Semua pihak yang turut membantu dan tidak dapat disebutkan satu per satu.
Kritik dan saran yang membangun sangat diterima demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 7 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	
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	
2.1 Sungai.....	3
2.2 Erosi dan Sedimentasi	4
2.3 Proses Angkutan Sedimen.....	4
2.4 Saluran Terbuka	5
2.5 Program Aplikasi HEC-RAS	7
2.6 Analisis Hidrolika	8
2.6.1 Aliran Permanen (<i>Steady Flow</i>)	9
2.6.2 Aliran Tak Permanen (<i>Unsteady Flow</i>)	13

2.7 Ukuran Partikel.....	16
2.8 Metode Pengangkutan Sedimen	17
2.9 Uji Keandalan.....	23
2.9.1 R^2 (Koefisien Determinasi)	23
2.9.2 RMSE (Root Mean Square Errors)	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Pengumpulan Data.....	25
3.3 Analisis Data	26
3.3.1 Data Primer	26
3.3.2 Data Sekunder	26
3.3.3 <i>Running</i> HEC-RAS	27
BAB 4. PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Hidrolika pada HEC-RAS 5.0.5	31
4.1.1 HEC-RAS 5.0.5.....	31
4.1.2 Hasil Analisis Hidrolika.....	32
4.2 Analisis Sedimentasi pada HEC-RAS 5.0.5	39
4.2.1 Analisis Saringan	39
4.2.2 Hasil Pemodelan.....	42
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Ekspansi dan Kontraksi.....	11
Tabel 2.2 Koefisien <i>Manning</i> (n).....	12
Tabel 2.3 Klasifikasi Ukuran Butiran menurut AGU	16
Tabel 2.4 Range Input untuk Persamaan Angkutan Sedimen.....	22
Tabel 4.1 Nilai Koefisien Ekspansi dan Kontraksi	34
Tabel 4.2 Koefisien <i>Manning</i> (n).....	34
Tabel 4.3 Perbandingan Tinggi Mukai Observasi dengan Simulasi	37
Tabel 4.4 Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen.....	39
Tabel 4.5 Persentase Gradasi Butiran Sedimen (<i>Bed Load</i>)	40
Tabel 4.6 Penyesuaian Gradasi Sedimen Menurut AGU.....	41
Tabel 4.7 Pemilihan Fungsi Angkutan Sedimen.....	45
Tabel 4.8 Perubahan Tampang Lintang STA 0.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Angkutan Sedimen pada Suatu Penampang	5
Gambar 2.2 Diagram Aliran Berubah Beraturan	9
Gambar 2.3 Pembagian Tampang untuk Hitungan Kapasitas Angkut	11
Gambar 2.4 Aliran Melalui Bagian Utama dan Bagian Samping	15
Gambar 3.1 Lokasi Tempat Pelaksanaan Penelitian	25
Gambar 3.2 Analisis Model Penelitian	28
Gambar 3.3 Diagram Alir HEC-RAS	29
Gambar 4.1 Layar Utama HEC-RAS 5.0.5	31
Gambar 4.2 Layar Geometri Data Alur Memanjang HEC-RAS	32
Gambar 4.3 Layar Geometri Data Alur Melintang HEC-RAS	33
Gambar 4.4 Layar <i>Unsteady Flow Data</i> pada HEC-RAS	35
Gambar 4.5 Grafik Debit Terhadap Waktu Simulasi	35
Gambar 4.6 Grafik Pasang Surut Terhadap Waktu Simulasi	36
Gambar 4.7 Layar Hasil Komputasi pada HEC-RAS	36
Gambar 4.8 Perbandingan Tinggi Muka Air Observasi dan Simulasi	38
Gambar 4.9 Gradasi Diameter Butiran Sedimen Dasar	41
Gambar 4.10 Layar menu <i>Quasi-Unsteady Flow</i>	42
Gambar 4.11 <i>Hydrograph Data</i> Debit Satu Tahun	43
Gambar 4.12 <i>Hydrograph Data</i> Pasang Surut Satu Tahun	43
Gambar 4.13 Layar Menu <i>Sediment Data</i> pada HEC-RAS	44
Gambar 4.14 Layar Hasil <i>Running</i> Sedimen pada HEC-RAS	47
Gambar 4.15 Penampang Sungai STA 0 pada Awal dan Akhir Simulasi	48

DAFTAR LAMPIRAN

1	Tabel Kapasitas Massa Sedimen Akhir Simulasi	53
2	Tabel Perubahan Penampang Memanjang Hasil Simulasi	64
3	Gambar Perhitungan Agradasi Sedimen	66
4	Gambar Perhitungan Penampang Melintang	67
5	Gambar Penampang Melintang STA 16.050	68
6	Gambar Penampang Melintang STA 7.250	69
7	Gambar Penampang Melintang STA 3.900	70
8	Gambar Kapasitas Massa Sedimen	71
9	Gambar Penampang Memanjang	72

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sedimentasi adalah material atau partikel yang mengendap di bawah dasar bendungan, waduk, atau bendung yang terbawa oleh aliran sungai. Sedimentasi biasanya berasal dari hasil erosi lahan atau rusaknya tebing-tebing dan penampang sungai yang nantinya akan dibawa arus dari hulu menuju muara sungai.

Kabupaten Jember merupakan suatu kota yang memiliki sungai yang bernama Sungai Bedadung. Sungai Bedadung tersebut berada pada DAS Bedadung Hilir yang melintasi ibu kota Kabupaten dengan panjang 46.875 meter dan mampu mengairi lahan sawah seluas 93.000 hektar. (Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember, 2012). Sungai Bedadung tersebut bermuara di Pantai Puger Kecamatan Puger, Kabupaten Jember.

Hasil erosi yang terbawa dari sungai bagian hulu akan berakhir pada muara sungai. Muara Sungai Bedadung yang langsung berbatasan dengan air laut dapat mempengaruhi proses pengendapan sedimentasi. Sedimen yang terangkut lama kelamaan akan mengendap dan menaikkan elevasi dasar sungai. Beberapa tahun terakhir permasalahan sedimentasi sangat mengganggu aktivitas kapal-kapal nelayan. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan terjadinya penumpukan sedimen di daerah tepi pelabuhan dan semakin dangkalnya elevasi sungai pada bagian hilir yang berada pada kawasan demaga. Endapan sedimen yang semakin tebal sangat mempersulit kapal para nelayan untuk berlabuh.

Permasalahan pengendapan sedimentasi tidak hanya mempengaruhi kondisi eksisting namun juga dapat mempengaruhi kondisi sosial ekonomi masyarakat di daerah sekitar pelabuhan. Tidak hanya itu penebalan sedimen kerap menjadi penyebab terjadinya banjir. Adanya permasalahan-permasalahan tersebut menjadi dasar peneliti untuk melakukan penelitian tentang studi laju sedimentasi pada Sungai Bedadung dengan menggunakan program *HEC-RAS*. Penelitian terhadap sedimentasi pada muara Sungai Bedadung ini diharapkan mampu mengetahui laju sedimentasi yang terjadi menggunakan program *HEC-RAS* atau *Hydrology*

Engineering Center – River Analysis System yang dapat melakukan pemodelan analisis hidrolika dan sedimentasi pada saluran maupun sungai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka dapat diambil rumusan masalah, berapa laju sedimentasi yang terjadi di muara Sungai Bedadung Kecamatan Puger Kabupaten Jember?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya volume sedimentasi yang terjadi di muara Sungai Bedadung Kecamatan Puger Kabupaten Jember.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Untuk memberikan informasi ilmiah guna mengetahui laju sedimentasi yang terjadi di muara Sungai Bedadung kepada Dinas terkait dalam menentukan kegiatan pemeliharaan berkala seperti penentuan jadwal pengerukan sedimen.
2. Sebagai acuan dalam melakukan penelitian selanjutnya terkait dengan sedimentasi.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya akan membahas tentang laju sedimentasi yang ada pada muara Sungai Bedadung menggunakan program HEC-RAS 5.0.5.
2. Data sedimentasi yang diperlukan hanya sedimentasi dasar (*bed load*). Tidak memodelkan sedimentasi melayang (*suspended load*).
3. Panjang sungai yang dimodelkan sepanjang 20 km dengan pengukuran dimulai dari BM 0 terletak pada muara sungai Kecamatan Puger dan berakhir di STA 20+000 Desa Rowotamtu.
4. Tidak membahas perencanaan pembangunan pengendali sedimentasi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Sungai merupakan sumber air yang menampung dan mengalirkan air serta material bahan yang dibawanya dari bagian hulu. (Soewarno,1991) menyebutkan bahwa, secara sederhana alur sungai dibagi menjadi 3 (tiga) bagian begitu pula untuk saluran primer, yaitu :

1. Bagian hulu

Bagian hulu merupakan daerah yang paling dekat dengan Bendung. Aliran air yang mengalir membawa partikel-partikel tanah dari sungai akan di bendung untuk di distribusikan ke saluran primer. Karena bagian hulu saluran primer lebih dekat dengan Bendung dan pintu air. Secara tidak langsung bagian hulu dari saluran primer tersebut mempunyai kecepatan aliran yang lebih besar daripada bagian hilir, sehingga pada saat banjir material hasil erosi dari sungai ke saluran primer yang terangkut tidak hanya partikel sedimen yang halus akan tetapi juga pasir, krikil bahkan batu.

2. Bagian tengah

Bagian tengah merupakan peralihan dari bagian hulu dan hilir. Kemiringan dasar saluran lebih landai sehingga kecepatan aliran relatif lebih kecil daripada bagian hulu dan merupakan daerah keseimbangan yang tidak akan berubah (stabil). Karena saluran primer adalah saluran buatan. Karena di Bendung terdapat Kolam Olak (kantong lumpur) biasanya sedimen diendapkan. Bendung, Kolam Olak, dan saluran biasanya memiliki elevasi yang berbeda. Bagian hulu saluran menjadi daerah perubahan kemiringan dari Kolam Olak. Begitu pula Kolam Olak dari Bendung . Bentuk endapan yang terjadi melebar kearah hulu dengan material yang kasar terdapat di bagian hulu dan secara bertahap semakin halus kearah hilir.

3. Bagian hilir

Alur saluran bagian hilir ini biasanya melalui daerah pedataran yang terdiri dari endapan pasir halus sampai kasar, lumpur, endapan organik, dan jenis endapan lainnya yang sangat labil. Alur saluran yang melalui daerah

pedataran mempunyai kemiringan dasar saluran yang landai sehingga kecepatan alirannya lambat, keadaan ini memungkinkan menjadi lebih mudah terjadi proses pengendapan.

2.2 Erosi dan Sedimentasi

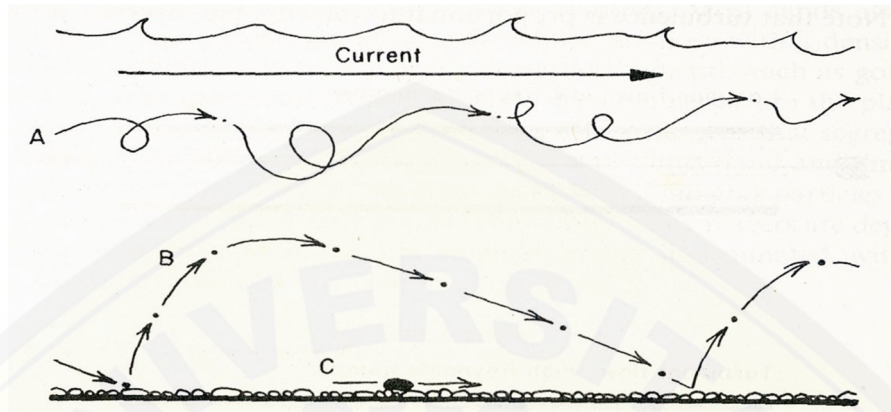
Erosi dan Sedimentasi merupakan proses terlepasnya butiran tanah dari induknya di suatu tempat dan terangkutnya material tersebut oleh gerakan air atau angin kemudian diikuti dengan pengendapan material yang terdapat di tempat lain (Suripin, 2002). Terjadinya erosi dan sedimentasi menurut Suripin (2002) tergantung dari beberapa faktor yaitu karakteristik hujan, kemiringan lereng, tanaman penutup dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal, dampak dari erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi di sungai sehingga dapat mengurangi daya tampung sungai.

Adapun menurut pergerakannya sedimen dibagi menjadi dua kategori yaitu angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan angkutan sedimen layang (*suspended load*) (Asdak, 2007). Angkutan sedimen dasar (*bed load*) adalah partikel yang bergerak pada dasar sungai dengan cara berguling, meluncur dan melompat sedangkan angkutan sedimen layang (*suspended load*) adalah sedimen yang bergerak melayang di atas dasar sungai terbawa bersama aliran air (Asdak, 2007).

2.3 Proses Angkutan Sedimen

Proses angkutan sedimen terjadi ketika sedimen memasuki penampang yang terbawa oleh aliran arus sungai. Kecepatan proses angkutan sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran butiran partikel sedimen. Partikel sedimen yang berukuran kecil berupa tanah liat dan debu akan diangkut oleh aliran air dalam bentuk terlarut (*wash load*). Sedangkan partikel sedimen yang berukuran besar seperti pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel lainnya yang berukuran lebih besar dari pasir misalnya kerikil

(*gravel*) akan bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*) seperti gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Proses angkutan sedimen pada suatu penampang (Sumber : *Google*)

Besarnya ukuran sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut yaitu ukuran sedimen yang masuk ke badan sungai atau aliran sungai, karakteristik saluran, debit dan karakteristik partikel sedimen. Besarnya sedimen yang masuk sungai dan besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal datangnya sedimen. Sedangkan karakteristik sungai yang penting, terutama bentuk morfologi sungai, tingkat kekasaran dasar sungai dan kemiringan sungai. Intraksi dari masing-masing faktor tersebut di atas akan menentukan jumlah dan tipe sedimen serta kecepatan transpor sedimen (Asdak, 2010).

Mengacu terhadap teori yang diatas maka besarnya ukuran sedimen dan besarnya volume sedimen pada saluran primer bergantung pula aliran dari sugai yang masuk ke saluran primer tersebut.

2.4 Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh oleh udara luar (atmosfer) saluran ini mengalirkan air dalam kondisi permukaan yang bebas. Ada beberapa macam bentuk dari saluran

terbuka, ada yang bentuknya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut. Sungai pada umumnya berbentuk trapesium, adapun fungsi dari penampang yang berbentuk trapesium adalah untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar. Sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil. Bentuk saluran ini dapat digunakan pada daerah yang masih cukup tersedia lahan.

Aliran yang mengalir pada saluran dapat dihitung dan ditentukan menggunakan rumus debit saluran. Adapun persamaan dasar untuk menentukan debit sungai tersebut dapat dijabarkan berikut ini (D.G Romyn, 1932).

$$Q = V/T \quad (2.1)$$

Keterangan :

Q = Debit Sungai (m^3/dt)

V = Volume (m^3)

T = Waktu (m^3)

Persamaan paling umum yang digunakan untuk menganalisis aliran air dalam saluran terbuka adalah rumus *Manning*. Persamaan ini merupakan persamaan empiris untuk mensimulasikan aliran air dalam saluran dimana air terbuka terhadap udara. Persamaan rumus *Manning* dapat dijabarkan berikut ini. (Robert Manning, 1889).

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

V = Kecepatan Aliran (m/s)

R = Jari-jari Hidrolis (m)

I = Kemiringan Dasar Saluran

n = Koefisien *Manning*

2.5 Program Aplikasi HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai atau *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). 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: 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transpor sedimen, dan 4) 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 hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan.

Analisis aliran di sungai beralur dan bertampang sederhana menggunakan program HEC-RAS tersebut memiliki beberapa poin penting yang perlu diperhatikan, meliputi :

- *Graphical User Interface*

Interface ini merupakan keterkaitan program HEC-RAS dengan pengguna program. *Graphical Interface* dibuat untuk memudahkan pemakai program untuk menjalankan beberapa langkah-langkah dalam menggunakan program aplikasi seperti : a) manajemen file, b) input data serta edit data, c) analisis hidraulik, d) menampilkan data masukan maupun hasil analisis dalam bentuk grafik dan tabel, e) penyusunan laporan, f) mengakses *online help*.

- Analisis Hidraulika

Dapat mensimulasikan transpor sedimen satu dimensi (simulasi perubahan dasar sungai) akibat gerusan atau deposisi dalam waktu panjang umumnya tahunan, namun dapat juga dilakukan simulasi perubahan dasar sungai akibat banjir tunggal, perubahan frekuensi dan durasi debit muka air, atau perubahan geometrik sungai.

- Manajemen dan Penyimpanan Data

Manajemen data dapat dilakukan melalui *interface*. Pengguna program akan dimintai untuk memberi nama pada file kemudian program HEC-RAS akan menciptakan beberapa nama file secara otomatis (file-file: data *plan*, data geometri, data aliran stabil dan tidak stabil, hasil, dan lain-lain) dan memberi nama *file project* sesuai dengan nama yang telah dituliskan oleh pengguna program.

Penyimpanan data dilakukan ke dalam "*flat*" files (format ASCII dan biner), serta file HEC-DSS. Data masukan dari pengguna HEC-RAS disimpan ke dalam file-file yang dikelompokkan menjadi: data proyek, data plan, data geometri, data aliran stabil, data aliran tidak stabil, dan data sedimen. Hasil keluaran model disimpan ke dalam *binary file*. Data dapat ditransfer dari HEC-RAS ke program aplikasi lain melalui HEC-DSS *file*.

- Grafik dan Pelaporan

Grafik yang dihasilkan oleh program HEC-RAS berupa grafik X-Y alur sungai, tampang lintang, *rating curves*, hidrograf, dan grafik lain yang merupakan plot grafik X-Y berbagai variabel hidraulik. Hasil keluaran model HEC-RAS dapat juga berupa tabel. Pengguna program HEC-RAS dapat memilih hasil tabel yang tersedia pada program atau membuat hasil tabel secara manual sesuai kebutuhan. Fasilitas untuk pelaporan berupa pencetakan data masukan dan keluaran hasil pada *printer* atau *plotter*.

2.6 Analisis Hidrolika

Analisa hidrolika pada aliran yaitu mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk kedalam alur dan kedalaman di batas hilir. Analisa hidrolika aliran pada HEC-RAS dibagi menjadi dua kategori, yaitu aliran permanen dan tidak permanen. HEC-RAS menggunakan persamaan yang berbeda untuk dua jenis aliran tersebut

2.6.1. Aliran Permanen (*Steady Flow*)

a. Persamaan Energi

Muka air dihitung menggunakan persamaan energi yang diselesaikan dengan metode yang sering digunakan yaitu *standart step method*. Persamaan energi antara dua tampang lintang dapat ditulis sebagai berikut (Istiarto, 2016).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

Y_1, Y_2 = kedalaman aliran

Z_1, Z_2 = elevasi dasar saluran

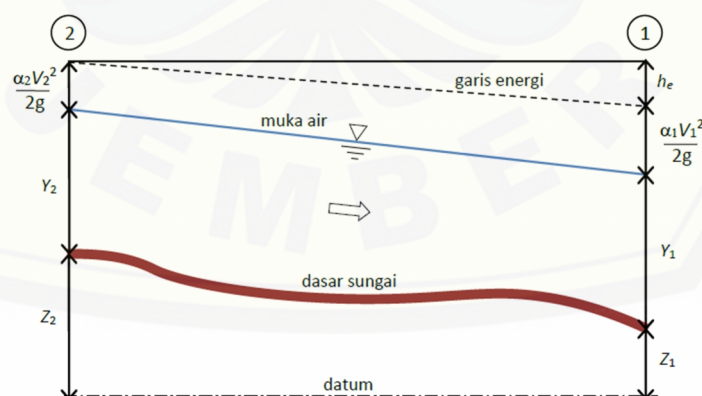
V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (debit dibagi luas tampang basah)

α_1, α_2 = koefisien

g = percepatan gravitasi

h_e = kehilangan tinggi energi

Gambar 2.2 mengilustrasikan profil aliran yang menunjukkan komponen aliran sesuai dengan suku-suku pada persamaan energi. Dari Gambar 2.2 tampak bahwa kedalaman aliran diukur ke arah vertikal. Hal ini membawa konsekuensi untuk hitungan profil muka air dengan HEC-RAS hanya cocok digunakan untuk alur sungai yang kemiringan dasar kecil.



Gambar 2.2 Diagram aliran berubah beraturan (Sumber: Istiarto, 2014)

b. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi h_e , diantara dua tampang lintang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*) dan kehilangan energi karena perubahan tampang (*contraction or expansion losses*). Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan:

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

$\bar{S}_f$ = *representative friction slope* 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 , dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan:

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

$\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}$ = 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 setiap bagian kecepatan terbagi merata. Satu nilai koefisien *Manning* (n) ditetapkan di setiap bagian tampang. Untuk setiap bagian tampang, kapasitas angkut dihitung dengan memakai persamaan *Manning* dan terdapat tabel koefisien *Manning* sebagai berikut (Sumber: Istiarto, 2016):

$$Q = K \bar{S}_f^{1/2} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$K = \frac{1}{n} A R^{2/3} \dots\dots\dots (2.7)$$

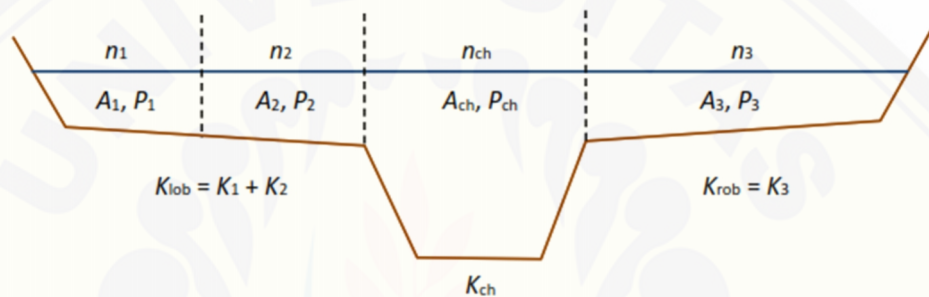
dengan:

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



Gambar 2.3 Pembagian tampang untuk hitungan kapasitas angkut
(Sumber: Istiarto, 2014)

Untuk input koefisien pada analisis hidrolika adalah koefisien ekspansi kontraksi dan koefisien *manning* (n) sebagai parameter penunjang pemodelan. Koefisien ekspansi dan kontraksi akan mempengaruhi kehilangan energi sepanjang aliran tiap *section*. Nilai ekspansi dan kontraksi dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Nilai koefisien Ekspansi dan Kontraksi

<i>Subcritical flow contraction and expansion coefficient</i>	<i>contraction</i>	<i>expansion</i>
<i>No Transition Loss Computed</i>	0	0
<i>Gadual Transition</i>	0,1	0,3
<i>Typical Bridge Section</i>	0,3	0,5
<i>Abrupt Transition</i>	0,6	0,8

Sumber: HEC-RAS Reference Manual 2010

Menurut HEC-RAS *Reference Manual*, terdapat beberapa kategori penyesuaian koefisien ekspansi dan kontraksi yaitu:

- Perubahan penampang sungai kecil, dan alirannya bertahap, maka nilai koefisien ekspansi 0,3 dan kontraksi 0,1.
- Ketika perubahan penampang efektif tiba-tiba seperti pada jembatan, maka nilai koefisien ekspansi dan kontraksi adalah 0,5 dan 0,3.
- Ketika perubahan terjadi tiba-tiba dan bentuk penampang gorong-gorong maka nilai koefisien ekspansi dan kontraksi adalah 0,8 dan 0,6.

Selain koefisien ekspansi dan kontraksi, nilai koefisien *Manning* juga diperlukan untuk proses *input* pada analisis hidrolika yang disesuaikan dengan penampang aliran. Nilai koefisien *Manning* dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Nilai Koefisien *Manning* (*n*)

No	Tipe Saluran dan Penjelasan	Nilai Manning (<i>n</i>)
1	Saluran Utama	
	a. Bersih, lurus, tidak ada retakan atau jauh dari genangan	0,025-0,033
	b. Sama seperti a, tetapi terdapat banyak batu dan rumput liar	0,030-0,040
	c. Bersih, berkelok-kelok, sedikit genangan, dan endapan	0,033-0,045
	d. Sama seperti c, tetapi terdapat rumput liar dan batu	0,035-0,050
	e. Sama seperti d, stadium rendah, banyak lereng tidak efektif	0,040-0,055
	f. Sama seperti d, tetapi banyak batu	0,045-0,060
	g. Jangkauan rendah, berumput, jauh dari genangan	0,050-0,080
	h. Daerah sangat berumput, jauh dari genangan, atau daerah banjir dengan angkutan kayu dan semak	0,070-0,150
2	Dataran Banjir	
	a. Berumput tanpa semak	
	Rumput pendek	0,025-0,035
	Rumput Panjang	0,030-0,050
	b. Daerah budidaya	
	Tanpa tanaman	0,020-0,040

No	Tipe Saluran dan Penjelasan	Nilai Manning (n)
	Tanaman dibariskan	0,025-0,045
	Tanaman perkebunan	0,030-0,050
c. Semak-semak		
	Semak tersebar	0,035-0,070
	Semak muda dan pepohonan, dimusim dingin	0,035-0,060
	Semak muda dan pepohonan, dimusim panas	0,040-0,080
	Semak belukar sedang, dimusim dingin	0,045-0,110
	Semak belukar dimusim panas	0,070-0,160
d. Pepohonan		
	Daerah yang bersih dengan pohon-pohon tunggal, tanpa tunas	0,030-0,050
	Sama seperti diatas, tetapi tunas lebat	0,05-0,080

Sumber : *HEC-RAS Reference Manual (2010)*

Untuk menentukan koefisien ekspansi dan koefisien Manning diperlukan running pada model. Tujuan dari dilakukannya uji coba running yaitu untuk mendapatkan nilai koefisien yang cocok, sehingga untuk membandingkan hasil running uji coba yaitu dengan mengecek hasil tinggi muka air di lapangan.

Evaluasi nilai koefisien dapat dilihat dengan tinggi muka air pada bagian hilir, kemudian didapatkan kecepatan (v) dan debit (Q). untuk mendapatkan nilai koefisien yang tepat maka debit simulasi (Q_{simulasi}) akan dibandingkan dengan debit observasi ($Q_{\text{observasi}}$).

2.6.2. Aliran Tak Permanen (*Unsteady Flow*)

a. Persamaan Dasar

Aliran pada saluran atau sungai merupakan proses fisik yang mengikuti hukum kekekalan momentum. Proses ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis yang dikenal dengan persamaan *St. Venant*. Persamaan *St. Venant* terdiri dari persamaan kontinuitas dan persamaan momentum yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut (Sumber: Istiarto, 2016):

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

Persamaan momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan:

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

Q = debit aliran

Q_t = 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*

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan:

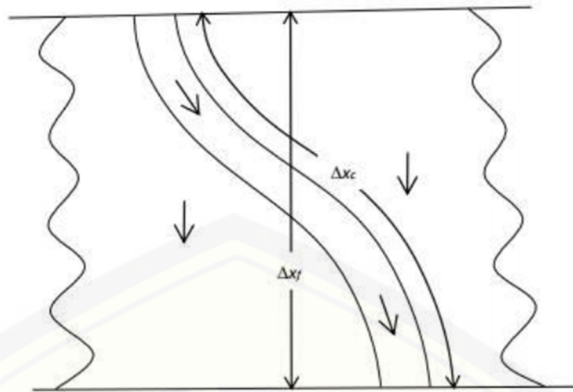
n = koefisien kekasaran *Manning*

R = radius hidrolis

b. Penerapan persamaan aliran tak permanen

Pada program HEC-RAS membagi alur saluran menjadi tiga bagian yaitu bagian kiri, bagian kanan dan bagian tengah yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. HEC-RAS memodelkan aliran tersebut berdasarkan pada metode yang pada awalnya dikembangkan oleh Fread (1976) dan Smith (1978) yang kemudian dikembangkan oleh Barkau (1982)

Fread (1976) dan Smith (1978) memandang aliran yang terjadi dari sisi bagian tengah dan melalui dua bagian sisi kiri dan sisi kanan serta menuliskan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum untuk masing-masing tampang.



Gambar 2.4 Aliran melalui bagian utama dan bagian samping kanan atau kiri

(Sumber: Istiarto, 2016).

Penyerdahanan dilakukan dengan menganggap muka air di bagian kedua tampang saluran pada arah tegak lateral (tegak lurus arah aliran) datar atau horizontal. Dengan itu transfer momentum di antara kedua bagian tampang dapat diabaikan, dan debit terbagi ke dua bagian tampang berdasarkan kapasitas angkut (*conveyance*) masing-masing tampang yaitu:

$$Q_c = \phi Q \dots \dots \dots (2.11)$$

dengan:

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

Q = debit total aliran

$\phi = K_c / (K_c + K_f)$

K_c = kapasitas angkut tampang alur utama

Dengan anggapan tersebut, maka persamaan aliran satu dimensi dapat digabungkan menjadi satu kelompok persamaan sebagai berikut (Sumber: Istiarto, 2016):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)^2 Q^2 / A_f]}{\partial x_f} + g A_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) + g A_f \left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_f \right) = 0 \dots \dots \dots (2.13)$$

keterangan:

c = mengacu pada alur utama

f = mengacu pada bagian sisi kanan kiri atau bantaran

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

c. Debit *Quasi-Unsteady*

Debit *Quasi-Unsteady* merupakan debit yang digunakan untuk simulasi sedimen pada HEC-RAS. Data debit yang diinput pada menu dapat berupa data hidrograf debit selama periode simulasi yang diinginkan. Debit *Quasi-Unsteady* banyak digunakan untuk simulasi sedimen karena sifat aliran debit pada saat simulasi relatif stabil dibandingkan dengan debit *unsteady* pada analisis hidrolika.

2.7 Ukuran Partikel

Ukuran partikel merupakan karakteristik sedimen yang dapat diukur secara nyata menggunakan tabel dibawah ini yang menjelaskan tentang klasifikasi ukuran butiran yang dapat dilakukan secara manual. Seperti contoh : batuan besar (*boulders*) dan krakal (*cobbles*) dapat diukur sendiri, kerikil (*gravel*) dapat diukur tersendiri atau dengan ayakan, dan pasir diukur dengan ayakan nomor 200 digunakan untuk memisahkan partikel pasir dari partikel yang lebih halus seperti lumpur dan lempung, sedangkan lumpur dan lempung dipisahkan dengan mengukur perbedaan kecepatan jatuhnya pada air diam. Adapun penjelasan klasifikasi ukuran butiran menurut *American Geophysical Union* akan ditampilkan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Klasifikasi Ukuran butiran menurut *American Geophysical Union*

<i>Interval/range</i> (mm)	Nama	<i>Intereval/range</i> (mm)	Nama
4096 - 2048	Batu sangat besar (<i>Very large Boulders</i>)	1/2 – 1/4	Pasir sedang (<i>Medium sand</i>)
2048 - 1024	Batu besar (<i>Large Boulders</i>)	1/4 – 1/8	Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)
1024 - 512	Batu Sedang (<i>Medium Boulders</i>)	1/8 – 1/16	Pasir Sangat Halus (<i>Very Fine Sand</i>)
512 - 256	Batu kecil (<i>Small Boulders</i>)	1/32 – 1/64	Lumpur Sedang (<i>Medium Silt</i>)

<i>Interval/range</i> (mm)	Nama	<i>Intereval/range</i> (mm)	Nama
128-64	Kerikil kecil (<i>Coarse Gravel</i>)	1/128 – 1/256	Lumpur sangat halus (<i>Very Fine Silt</i>)
16-8	Kerikil sedang (<i>Medium Gravel</i>)	1/1024 – 1/2048	Lempung Halus (<i>Fine Clay</i>)
8-4	Kerikil Halus (<i>Fine Gravel</i>)	1/2048 – 1/4096	Lempung sangat halus (<i>Very Fine Clay</i>) koloid
4-2	Kerikil sangat halus (<i>Very Fine Gravel</i>)		
2-1	Pasir sangat kasar (<i>Very Coarse Sand</i>)		
1-1/2	Pasir kasar (<i>Coarse Sand</i>)		

Sumber : Garde & Raju, 1985

2.8 Metode Pengangkutan Sedimen

Metode pengangkutan sedimen dikembangkan dari persamaan flume yang menghitung kapasitas transport sedimen. Menurut HEC-RAS *Refence Manual* terdapat tujuh jenis metode pengangkutan sedimen yang akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Persamaan Acker and White

Berdasarkan HEC-RAS *Refence Manual*, persamaan Acker and White (1973) adalah fungsi beban total gradasi relative seragam mulai dari pasir sampai kerikil halus. Untuk mengetahui konsentrasi sedimen, variabel yang dimasukkan diantaranya data angkutan sedimen dan berat sedimen yang dapat dilihat pada rumus 2.14 berikut ini :

$$x = \frac{G_{gr.s.ds}}{D \cdot \frac{U}{V} \cdot n} \text{ dan } G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right) \quad (2.14)$$

Keterangan : X = konsentrasi sedimen, perbagian

G_{gr} = angkutan sedimen

S	= berat sedimen
ds	= diameter rata-rata partikel
D	= kedalaman efektif
U	= kecepatan geser
N	= eksponen peralihan
C	= koefisien
F _{gr}	= partikel pergerakan sedimen
A	= partikel pergerakan sedimen kritis

2. Persamaan Englund and Hansen

Berdasarkan HEC-RAS *Reference manual*, persamaan Hansen (1967) merupakan fungsi muatan total untuk ukuran gradasi butiran sedimen 0.19 mm sampai 0.93 mm. Fungsi ini merupakan fungsi sederhana mengenai kecepatan, tegangan geser, dan material sedimen d_{50} . Persamaan ini cocok digunakan untuk sungai atau saluran berpasir. Untuk mengetahui tingkat angkutan sedimen, variabel yang diperlukan diantaranya data satuan berat untuk air, satuan berat untuk partikel solid, yang bisa dilihat pada persamaan 2.15 sebagai berikut.

$$Ggs = 0,05 \cdot \gamma_s \cdot V^2 \cdot \sqrt{\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} \right)}} \cdot \left[\frac{\tau_0}{\gamma_s - \gamma \cdot d_{50}} \right]^{3/2} \quad (2.15)$$

Keterangan :	Ggs	= satuan angkutan sedimen
	γ	= satuan berat untuk air
	γ_s	= satuan berat untuk partikel solid
	V	= kecepatan rata-rata saluran
	τ_0	= tegangan geser pada dasar
	d ₅₀	= ukuran partikel pada 50% ukuran

3. Persamaan Laursen-Copeland

Berdasarkan HEC-RAS *reference manual*, persamaan Laursen (1968) juga merupakan fungsi dasar dari nilai geser yang besar dan rasio dari kecepatan geser terhadap kecepatan jatuh. Persamaan Laursen merupakan fungsi yang

dikembangkan agar dapat dipakai pada partikel jenis lumpur. Untuk dapat mengetahui tingkat konsentrasi sedimen, variabel yang diperlukan antara lain data satuan berat air, diameter partikel rata-rata, kedalaman efektif pada aliran, yang dapat dilihat pada rumus 2.16 berikut.

$$C_m = 0,01 \cdot \gamma \cdot \left(\frac{ds}{D}\right)^{\frac{7}{6}} \cdot \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1\right) f\left(\frac{u^*}{w}\right) \quad (2.16)$$

Keterangan : C_m = konsentrasi pelepasan sedimen dalam berat atau volume

G = satuan berat air

ds = diameter partikel rata-rata

D = kedalaman efektif pada aliran

τ_0 = tegangan geser dasar

τ_c = tegangan dasar kritis

$f\left(\frac{u^*}{w}\right)$ = fungsi perbandingan kecepatan geser terhadap jatuh tanah

4. Persamaan Meyer-Peter Muller

Berdasarkan HEC-RAS *Reference manual*, persamaan Meyer-Peter dan Muller (1948) ini diturunkan dari percobaan aliran pasir dan kerikil dalam kondisi dasar saluran datar. Persamaan ini cocok untuk rentang gradasi jenis krikil. Persamaan ini cenderung tidak bisa memprediksi pengangkutan sedimen dengan gradasi yang lebih halus. Untuk mengetahui tingkat kecepatan angkutan sedimen yang terjadi, variabel yang dimasukkan antara lain, data koefisien kekasaran, satuan berat air, yang dapat dilihat dari rumus 2.8 sebagai berikut.

$$\left(\frac{K_r}{K'_r}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \gamma \cdot r \cdot s = 0,047 (\gamma_s - \gamma) dm + 0,025 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot g s^{3/3} \quad (2.17)$$

Keterangan : gs = satuan kecepatan angkutan sedimen

K_r = koefisien kekasaran

K'_r = koefisien kekasaran berdasarkan butiran

γ = satuan berat air

γ_s = satuan berat sedimen

- g = percepatan gravitasi
 d_m = diameter rata-rata partikel
 r = jari-jari hidrolis
 s = kemiringan energi

5. Persamaan Yang

Berdasarkan HEC-RAS *Reference Manual*, persamaan Yang (1984) adalah persamaan angkutan beban sedimen total yang berbasis pada *stream power*, hasil dari kecepatan dan tegangan geser. Untuk mengetahui tingkat konsentrasi sedimen, variabel yang dimasukkan yaitu data angkutan sedimen, berat sedimen, yang dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\log Ct = 5,435 - 0,286 \log \frac{\omega dm}{v} - 0,457 \log \frac{u^*}{\omega} + \left(1,7499 - 0,409 \log \frac{\omega dm}{v} - 0,314 \log \frac{u^*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{Vcr.s}{\omega} \right)$$

Untuk pasir $d_m < 2\text{mm}$ (2.18)

Dan

$$\log Ct = 6,681 - 0,633 \log \frac{\omega dm}{v} - 4,816 \log \frac{u^*}{\omega} + \left(2,784 - 0,409 \log \frac{\omega dm}{v} - 0,282 \log \frac{u^*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{Vcr.s}{\omega} \right)$$

Untuk pasir $d_m \geq 2\text{mm}$ (2.19)

- Keterangan :
- Ct = konsentrasi sedimen total
 - ω = kecepatan jatuh partikel
 - d_m = diameter rata-rata partikel
 - v = kekentalan kinematis
 - u^* = kecepatan geser
 - V = kecepatan rata-rata saluran
 - S = gradien energi

6. Persamaan Toffaleti

Berdasarkan HEC-RAS *Reference manual*, persamaan toffaleti (1968) merupakan persamaan muatan total yang tidak berkaitan dengan kecepatan geser atau geser dasar. Namun, rumusan dari regresi pada temperatur dan eksponen empiris menggambarkan hubungan antara sedimen dan karakteristik hidrolis.

Pendekatan khusus pada fungsi Toffaleti adalah merubah aliran air kedalam zona vertikal dan menghitung konsentrasi masing-masing zona.

Selain itu, persamaan Toffaleti menggunakan dua ukuran butir berbeda untuk mengukur ketergantungan angkutan pada simpangan gradasi rerata. Ukuran butir yang digunakan D_{50} dan D_{63} . Untuk mengetahui tingkat angkutan sedimen, variabel dibagi menjadi tiga zona yaitu zona atas, zona tengah, dan zona bawah yang dimasukkan dalam variable rumus yang bersifat tetap. Variable tersebut dapat dilihat pada rumus 2.20 sampai 2.25 sebagai berikut.

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left[\frac{R^{1+nv-z}}{2,5} - \frac{R^{1+nv-z}}{11,24}\right]}{1+nv.z} \quad (2.20)$$

$$g_{ssL} = M \frac{\frac{R^{1+nv-0,756z}}{11,24} - (2dm)^{1+nv-0,756z}}{1+nv-0,756z} \quad (2.21)$$

$$g_{ssU} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left(\frac{R}{2,5}\right)^{0,5z} \left[R^{1+nv-1,5z} - \frac{R^{1+nv-1,5z}}{2,5}\right]}{1+nv.z-1,5z} \quad (2.22)$$

$$g_{sb} = M(2dm)^{1+nv-0,756z} \quad (2.23)$$

$$M = 43,2CL(1+nv)VR^{0,756z-nv} \quad (2.24)$$

$$gs = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb} \quad (2.25)$$

Keterangan : g_{ssL} = angkutan sedimen suspensi zona terendah
(ton/hr/m)

g_{ssM} = angkutan sedimen suspensi zona tengah
(ton/hr/m)

g_{ssU} = angkutan sedimen suspensi pada zona atas
(ton/hr/m)

g_{sb} = angkutan sedimen dasar (ton/hr/m)

gs = total angkutan sedimen (ton/hr/m)

M = parameter konsentrasi sedimen

C_L = parameter konsentrasi sedimen pada zona terendah

- R = jari-jari hidrolis
 d_m = diameter rata-rata partikel
 z = eksponen hubungan sedimen dan karakteristik hidrolika
 n_v = eksponen temperatur

7. Persamaan Wilcock

Berdasarkan HEC-RAS *Reference Manual*, persamaan Wilcock (2001) adalah persamaan muatan dasar untuk lapisan dasar yang bertingkat dengan mengandung pasir dan kerikil. Persamaan Wilcock adalah metode pengangkutan dengan mengaitkan bahwa angkutan bergantung pada material yang berkontak langsung dengan arus. Untuk mengetahui tingkat konsentrasi sedimen, variabel yang digunakan antara lain data angkutan sedimen, berat sedimen, yang dapat dilihat pada rumus 2.26 sebagai berikut.

$$\tau * rm = 0,021 + 0,015e^{-20SF} \quad (2.26)$$

Keterangan : $\tau * m$ adalah tegangan geser
 SF adalah prosentase pasir.

Persamaan Wilcock bertujuan untuk meningkatkan potensi angkutan kerikil dengan meningkatnya kadar pasir. Pemilihan rumus angkutan sedimen perlu dipertimbangkan berdasarkan data yang dibutuhkan dalam persamaan tersebut. Berikut pada Tabel 2.4 ditunjukkan kebutuhan data yang diperlukan dari masing-masing persamaan.

Tabel 2.4 Range input untuk persamaan angkutan sedimen

Function	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

<i>Function</i>	<i>d</i>	<i>Dm</i>	<i>s</i>	<i>V</i>	<i>D</i>	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>T</i>
<i>Laursen (Field)</i>	NA	0,08- 0,7	NA	0,0068- 7,8	0,67-54	0,0000021- 0,0018	63- 3640	32-93
<i>Laursen (Flume)</i>	NA	0,011- 29	NA	0,7-9,4	0,03- 3,6	0,00025- 0,025	0,25- 6,6	46-83
<i>Meyer- Peter Muller (Flume)</i>	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
<i>Tofaletti (Field)</i>	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
<i>Tofaletti (Flume)</i>	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
<i>Yang (Field- Sand)</i>	0,15- 1,7	NA	NA	0,8-6,4	0,04-50	0,000043- 0,028	0,44- 1750	32-94
<i>Yang (Field- gravel)</i>	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

2.9 Uji Keandalan

2.9.1 R^2 (Koefisien Determinasi)

Koefisien determinasi adalah ukuran kecocokan hasil estimasi sebuah model regresi linier dengan data yang dimodelkan. Jika nilai R^2 semakin besar atau mendekati 1, maka model semakin tepat.

2.9.2 RMSE(Root Mean Square Errors)

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (2.27)$$

keterangan:

Y_i = data awal (data observasi)

$\hat{Y}_i$ = data akhir (data hasil pemodelan)

N = jumlah data



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Kabupaten Jember secara astronomis terletak pada posisi $6^{\circ}27'29''$ s/d $7^{\circ}14'35''$ Bujur Timur dan $7^{\circ}59'6''$ s/d $8^{\circ}33'56''$ Lintang Selatan dengan luas wilayah seluas $3.293,34 \text{ Km}^2$ dan memiliki ± 76 pulau-pulau kecil dengan pulau terbesar adalah Pulau Nusa Barong. Berdasarkan posisi geografisnya, Kabupaten Jember memiliki batas Kabupaten Bondowoso, dan Kabupaten Probolinggo (sebelah utara), Samudera Indonesia (sebelah selatan), Kabupaten Banyuwangi (sebelah timur), Kabupaten Lumajang (sebelah barat). Lokasi penelitian berada di muara Sungai Bedadung Kecamatan Puger Kabupaten Jember.



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

3.2 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer yang dibutuhkan untuk penelitian ini dilakukan dengan cara survei lapang di muara sungai untuk pengambilan sampel, sedangkan data sekunder yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan cara kajian pustaka dan wawancara dengan pihak Dinas terkait seperti UPT SDA Lumajang, Dinas Kelautan dan Perikanan, dan Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Jawa Timur.

3.3 Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Adapun penjelasan dari data-data tersebut adalah sebagai berikut:

3.3.1 Data Primer

Data primer yang didapat dalam penelitian ini merupakan data hasil observasi dan pengamatan yang dilakukan di muara sungai tepatnya pada TPI (Tempat Pelelangan Ikan) Puger. Data yang di ambil yaitu:

- a. Observasi dan pengambilan sampel sedimen di lapangan

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 2 sampel. 1 titik pengambilan sampel terletak 200 meter dari dermaga, 1 titik sampel terletak 50 meter dari dermaga.

- b. Pengolahan sampel dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah

Sampel yang akan di uji melalui tahapan analisa saringan. Adapun peralatan yang dibutuhkan antara lain:

1. Oven
2. Satu set saringan dengan ukuran saringan yang berbeda-beda
3. Timbangan
4. Mesin pengguncang saringan
5. Talam, kuas, sikat dan yang lainnya

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapat dari UPT SDA Lumajang, Dinas Kelautan dan Perikanan, dan Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Jawa Timur. Data sekunder yang didapat akan menunjang terlaksananya penelitian ini. Data-data yang dibutuhkan untuk penelitian ini antara lain:

- a. Data debit tahunan
- b. Data geometri berupa skema memanjang dan *cross section*

3.3.3 *Running* HEC-RAS

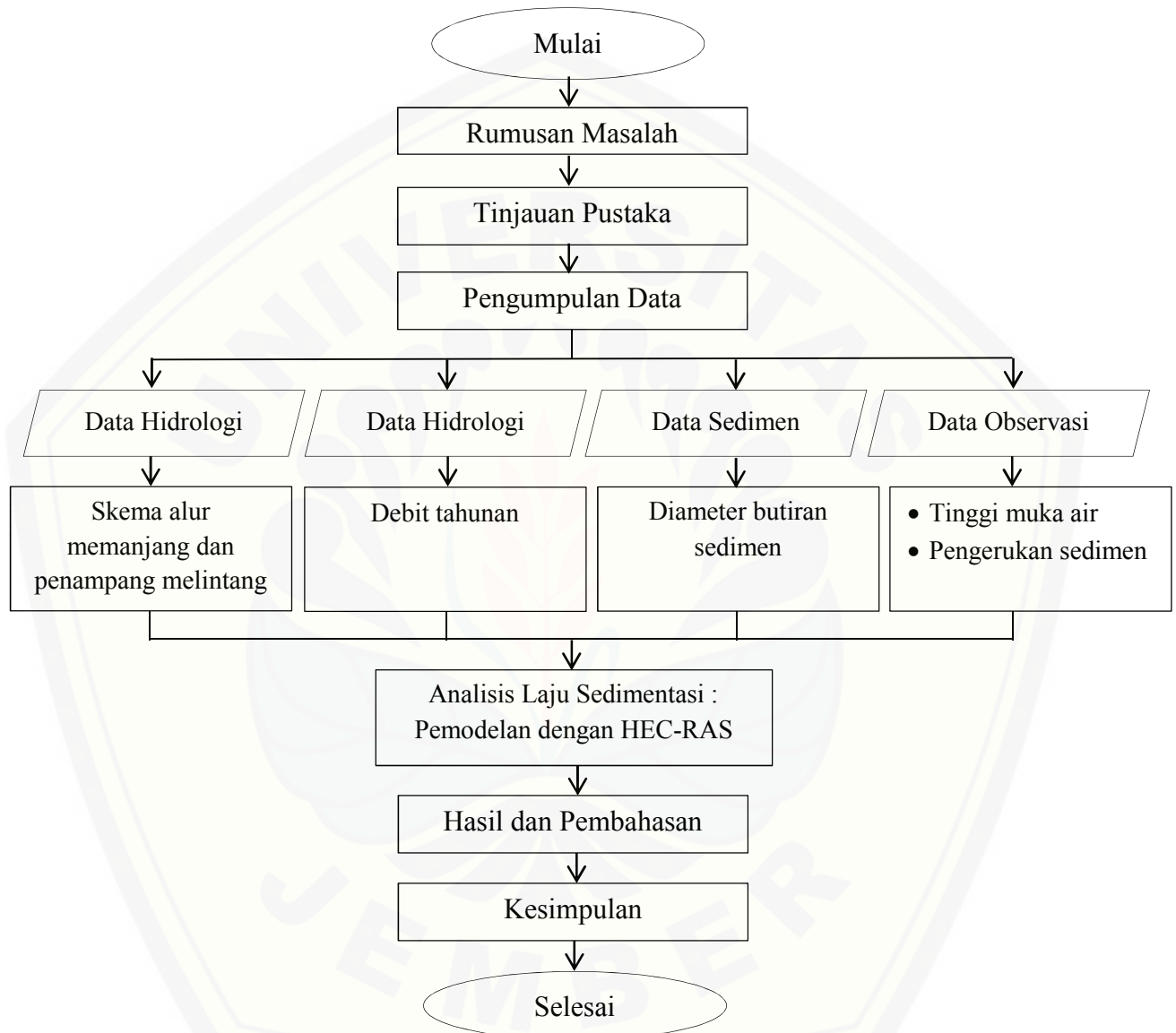
Untuk menjalankan *running* model HEC-RAS, file data yang diperlukan untuk menyusun suatu model aliran yaitu:

- a. Data plan
- b. Data geometri
- c. Data aliran
- d. Data desain hidrolika
- e. Data sedimen

Pada saat melakukan *running* HEC-RAS data-data yang tersebut diatas harus tersedia. Adapun analisis kerja dari program HEC-RAS adalah sebagai berikut:

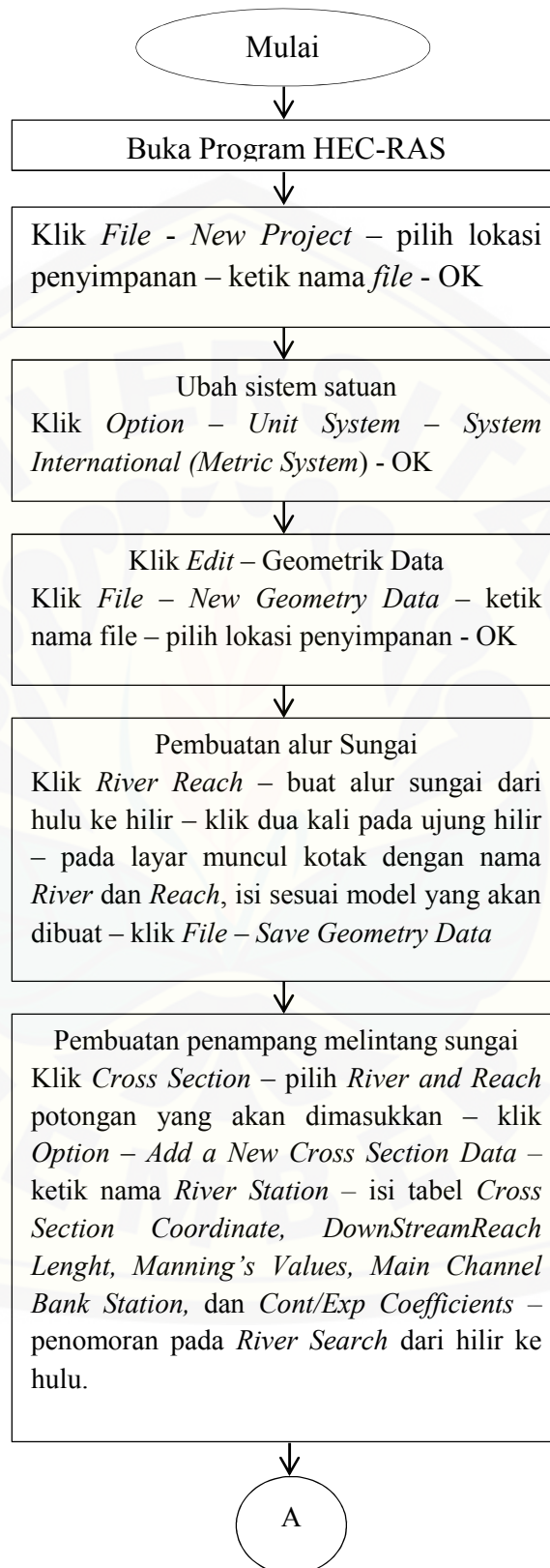
1. Data geometri, untuk membuat simulasi aliran dan morfologi sungai diperlukan layout sungai. Proses pembuatan layout sungai dapat menggunakan perangkat lunak pemetaan. Hasil dari perangkat lunak pemetaan tersebut dapat langsung terbaca oleh *software* HEC-RAS. Sedangkan untuk kemiringan sungai digunakan data kontur yang tersedia.
2. Setelah itu proses selanjutnya adalah memodelkan skema alur memanjang dan *cross section* sungai. Jarak dari *cross section* dalam model dibuat dengan ketentuan untuk pias sungai yang lurus 50 sd 100 m. Selain itu dimasukkan parameter lainnya seperti koefisien *Manning* yang diseragamkan dari hulu ke hilir pada setiap sisi alur model.
3. Kemudian input kondisi batas model yang meliputi kondisi hulu dan hilir. Kondisi batas hulu adalah debit aliran (*flow series*) sungai dari Instansi terkait, sedangkan kondisi hilir digunakan kedalaman aliran normal (*normal depth*) berupa muka air dan akan ditentukan oleh model matematik. Input yang digunakan adalah kemiringan dasar saluran rata-rata.
4. Data sedimen, data tersebut didapatkan dari pengambilan sampel yang kemudian dilakukan uji melalui tahapan analisa saringan di Laboratorium Mekanika Tanah untuk mendapatkan gradasi butiran sedimen.

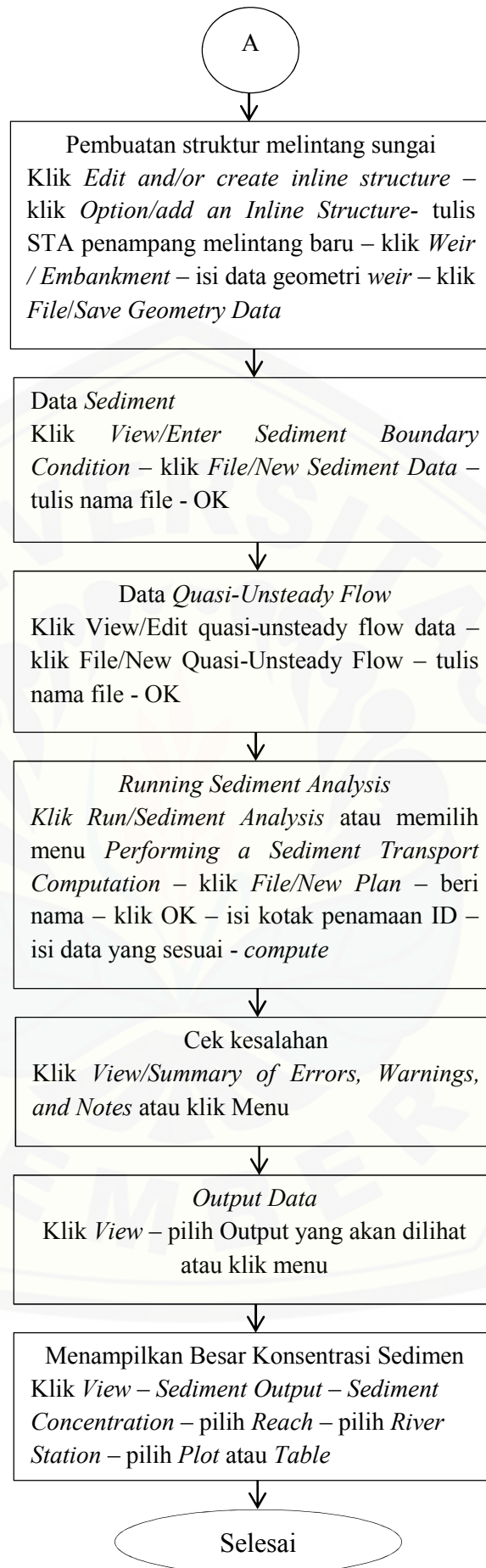
Setelah melakukan beberapa tahapan analisis tersebut maka akan didapatkan output seberapa besar endapan sedimen yang ada. Analisis model penelitian akan dijelaskan pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Analisis Model Penelitian

Diagram alir program HEC-RAS akan dijelaskan pada gambar 3.3 berikut ini.





Gambar 3.3 Diagram Alir HEC-RAS

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, studi laju sedimentasi pada Sungai Bedadung dalam analisis hidrolika mendapatkan nilai determinasi (R^2) sebesar 0,9327 yang tergolong pada kategori sangat baik karena nilai tersebut mendekati 1, dengan nilai RMSE sebesar 0,56 yang memiliki nilai standar *error* kategori kecil karena masuk dalam kisaran 0,0-1,0. Sedangkan pada analisis sedimentasi, hasil simulasi *software* HEC-RAS dengan fungsi pengangkutan *England Hansen (Flume)* didapatkan laju sedimen sebesar 801,348 m³/tahun dengan nilai dapat diketahui keandalan model sebesar 78%.

5.2 Saran

Analisis laju sedimentasi menggunakan pemodelan HEC-RAS 5.0.5 ini masih menggunakan pendekatan 1 dimensi sehingga masih memiliki keterbatasan. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dapat dilakukan pemodelan 3 dimensi menggunakan *software Surface Water Modeling System (SMS)* dan *software* lainnya. Pemodelan laju sedimen dapat juga menggunakan *software* SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) karena *output* yang dihasilkan dari program ini dapat digunakan untuk pembuatan zona produksi, transportasi dan deposisi sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, A.D., Asta, R. Handayani. 2017. Studi Laju Sedimentasi menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0 pada Drainase Bandar Udara Juwata Tarakan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*. 9 November 2017. *Fakultas Teknik Universitas Mulawarman*. C1-C6.
- Asdak, C., 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. 2012. Buku Putih Sanitasi Kabupaten Jember. <http://ppsp.nawasis.info> [Diakses pada 07 Agustus 2018].
- Hydrologic Engineering Center. 2016. *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual 5.0, February 2016*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Istiarto. 2014. *Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras. Modul Pelatihan Simple Geometry River*. Yogyakarta.
- Shiami, F.A.R., Lasminto, U., dan Wardoyo, W. 2017. Jurnal Teknik ITS. Laju Sedimentasi pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek 6(2):D125-D130.
- Soewarno, 1991, *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*, Nova, Bandung.
- Suripin, 2002, *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Syahputra, I. 2015. Jurnal Teknik Sipil Unaya. *Kajian Hidrologi dan Analisa Kapasitas Tampang Sungai Krueng Langsa Berbasis HEC-HMS dan HEC-RAS* 1(1):15-28.