



PREDIKSI LAJU SEDIMENTASI PADA SUNGAI JATIROTO

SKRIPSI

Oleh:

HAJAR CRISIA CAHYANI

NIM 161910301011

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



PREDIKSI LAJU SEDIMENTASI PADA SUNGAI JATIROTO

SKRIPSI

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

Oleh:

HAJAR CRISIA CAHYANI

NIM 161910301011

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

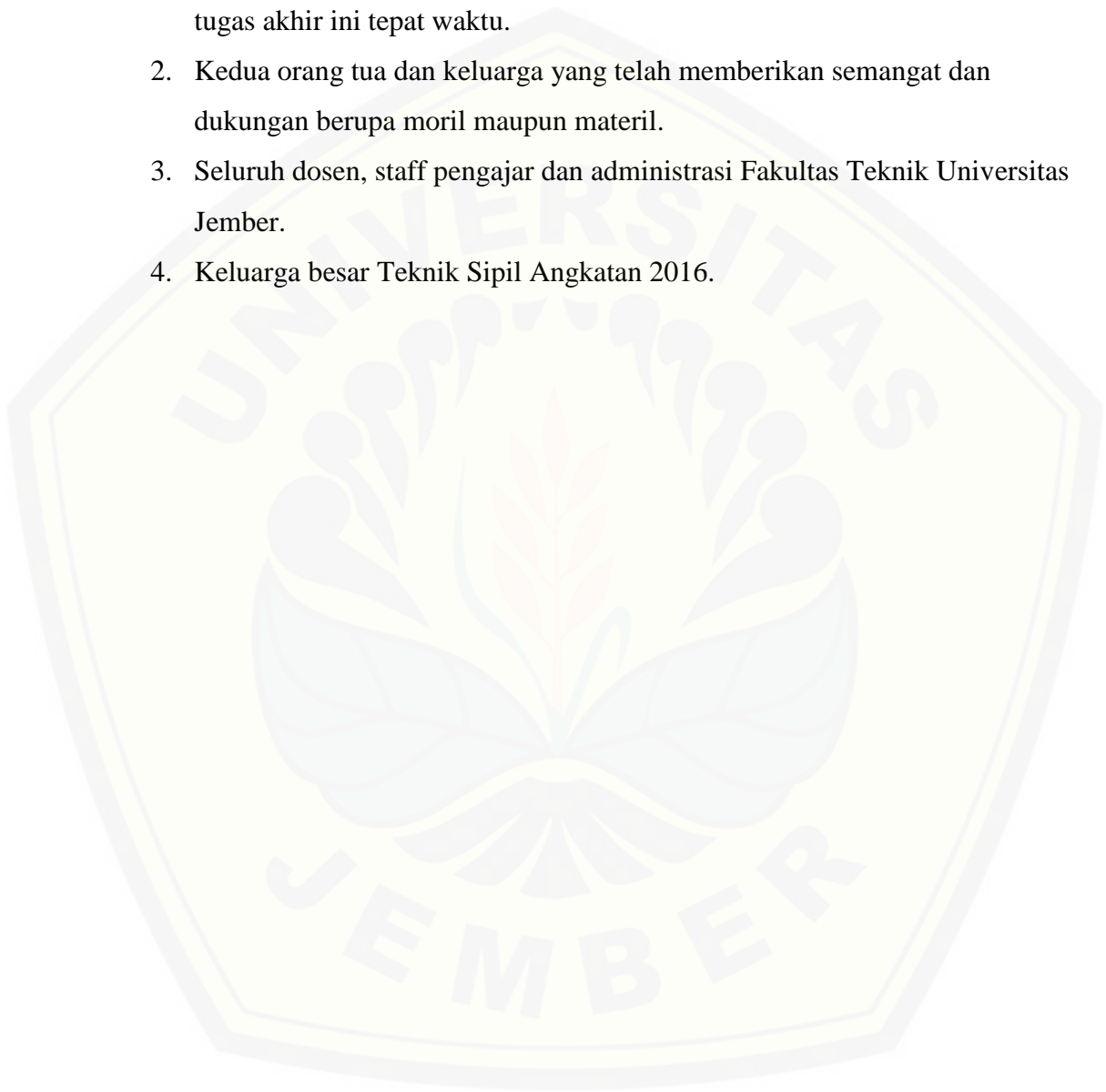
UNIVERSITAS JEMBER

2020

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 berupa moril maupun materil.
3. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2016.



MOTTO

“Dan tiadalah kehidupan dunia ini melainkan senda gurau dan main-main. Dan sesungguhnya akhirat itulah yang sebenarnya kehidupan, kalau mereka mengetahui”

(Q.S. Al- Ankabut : 64)

“Cukuplah Allah menjadi penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik pelindung”

(HR. Bukhari no. 4563)

“ *Crying makes you stronger jar. It's okay, Kamu pasti bisa*”

(Bu Gati Annisa Hayu, 2019)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hajar Crisia Cahyani

NIM : 161910301011

Menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul “Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto” merupakan hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya cantumkan berdasarkan 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 menadpat sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan yang telah dibuat tidak benar.

Jember, 22 Januari 2020
Yang Menyatakan,

Hajar Crisia Cahyani
161910301011

SKRIPSI

PREDIKSI LAJU SEDIMENTASI PADA SUNGAI JATIROTO

Oleh:

Hajar Crisia Cahyani

161910301011

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir Entin Hidayah, M.UM

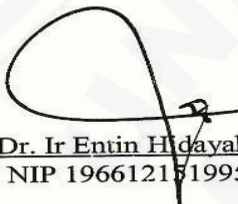
Dosen Pembimbing Anggota: Retno Utami Agung W.,S.T.,M.Eng.,Ph.D

PENGESAHAN


Skripsi berjudul “Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto” karya Hajar Crisia Cahyani telah diuji dan disahkan pada :
Hari, tanggal : Kamis, 09 Januari 2020
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP 196612151995032001

Dosen Pembimbing Anggota



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

Tim Penguji:

Dosen Penguji Utama


Dr. Ir. Gusfan Halik, M.T.
NIP 197108071998031002

Dosen Penguji Anggota


Januar Fery Irawan, S.T., M.T.
NIP 197601112002121002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto; Hajar Crisia Cahyani, 161910301011; 2020: 78 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sungai adalah sebuah saluran drainase yang dibentuk oleh alam. Sungai dapat mengangkut material berupa hasil erosi yang disebabkan dari sungai itu sendiri maupun yang berasal dari permukaan tanah pada saat aliran *surface rain off* mengalir kearah sungai. Erosi dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi di sungai. Sungai Jatiroto merupakan sungai yang membatasi Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Jember. Sungai Jatiroto dimanfaatkan untuk keperluan irigasi pada kecamatan Jatiroto dan Kecamatan Rowokangkung. Sedimen yang tidak mampu terangkut bersama dengan aliran sungai akan mengendap pada bagian tertentu di sepanjang aliran.

Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi laju sedimentasi pada Sungai Jatiroto dengan bantuan program HEC-RAS 5.0.7. Tahapan pertama dalam pemodelan adalah analisis hidrolika yang menggunakan komponen aliran tak permanen, karena kondisi aliran adalah aliran sungai yang dapat berubah terhadap waktu. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan perbandingan muka air data observasi dengan data simulasi untuk mengetahui ketepatan parameter yang digunakan pada pemodelan. Pada analisis hidrolika didapatkan nilai determinasi (R^2) sebesar 0,958 yang tergolong sangat baik karena mendekati 1. Hasil dari perhitungan selanjutnya didapatkan nilai RMSE (*Root Mean Square Errors*) sebesar 0,39. Perhitungan standar *error* tersebut tergolong kecil karena masuk dalam kisaran 0,0-1,0. Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin akurat pemodelan yang dilakukan.

Setelah mendapatkan hasil ketepatan analisis hidrolika, langkah selanjutnya adalah analisis sedimentasi untuk mendapatkan total sedimen yang masuk dalam satuan ton. Data yang dimasukkan adalah data debit selama 1 tahun. Data debit menggunakan *quasi-unsteady flow*, karena sifat aliran debit pada saat simulasi relatif stabil. Metode persamaan yang digunakan adalah persamaan *Laurson (Field)*, metode tersebut didapatkan dengan membandingkan kondisi sungai (diameter butiran, kecepatan aliran dan lebar sungai) dengan ketentuan rumus pada HEC-RAS. Dihasilkan laju sedimen sebesar 256,341 m³/tahun dengan menggunakan metode perbandingan cross section dalam menentukan volume pengendapan yang ada di sungai, dapat diketahui presentase keandalan model sebesar 88%

SUMMARY

Prediction of Sedimentation Rate in Jatiroto River; Hajar Crisia Cahyani 161910301011; 2020: 78 page ; majoring in Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The river is a drainage channel formed by nature. The river can transport material in the form of erosion caused by the river itself or from the ground when the surface rain off stream flows towards the river.. Erosion can cause sedimentation in rivers. Jatiroto River is a river that borders Lumajang Regency and Jember Regency. Jatiroto River is used for irrigation purposes in Jatiroto and Rowokangkung sub-districts. Sediment will settle to certain parts along the river flow that cannot be transported along with the river flow.

This research was conducted to predict the sedimentation rate in the Jatiroto River using HEC-RAS 5.0.7. The first stage in modeling is the analysis of hydraulics that used unsteady flow because the flow conditions can change with time. Calibration was done by using the comparison of observational data with the simulation data to determine the accuracy of the parameters used in modeling. In the hydraulic analysis, the determination value (R^2) is 0.958 which is classified as very good because it is close to 1. The result of the next calculation is the RMSE (Root Mean Square Errors) value of 0.39. The standard error calculation is quite small because it is in the range of 0.0-1.0. The smaller the RMSE value, the more accurate the modeling is done.

After getting the results of the accuracy of the hydraulic analysis, the next step is the sedimentation analysis to get the total sediment included in tonnes. The quasi-unsteady flow was used for discharge data for 1 year, because the nature of the flow of discharge at the time of simulation is relatively stable. The equation method used is the Laursen (Field) equation, the method is obtained by comparing river conditions (grain diameter, flow velocity and river width) with the formula provisions in the HEC-RAS. The resulting sediment rate of 256,341 m³/ year using the cross section comparison method in determining the depositional volume in the river, can be seen the percentage of the reliability of the model at 88%

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 “Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.

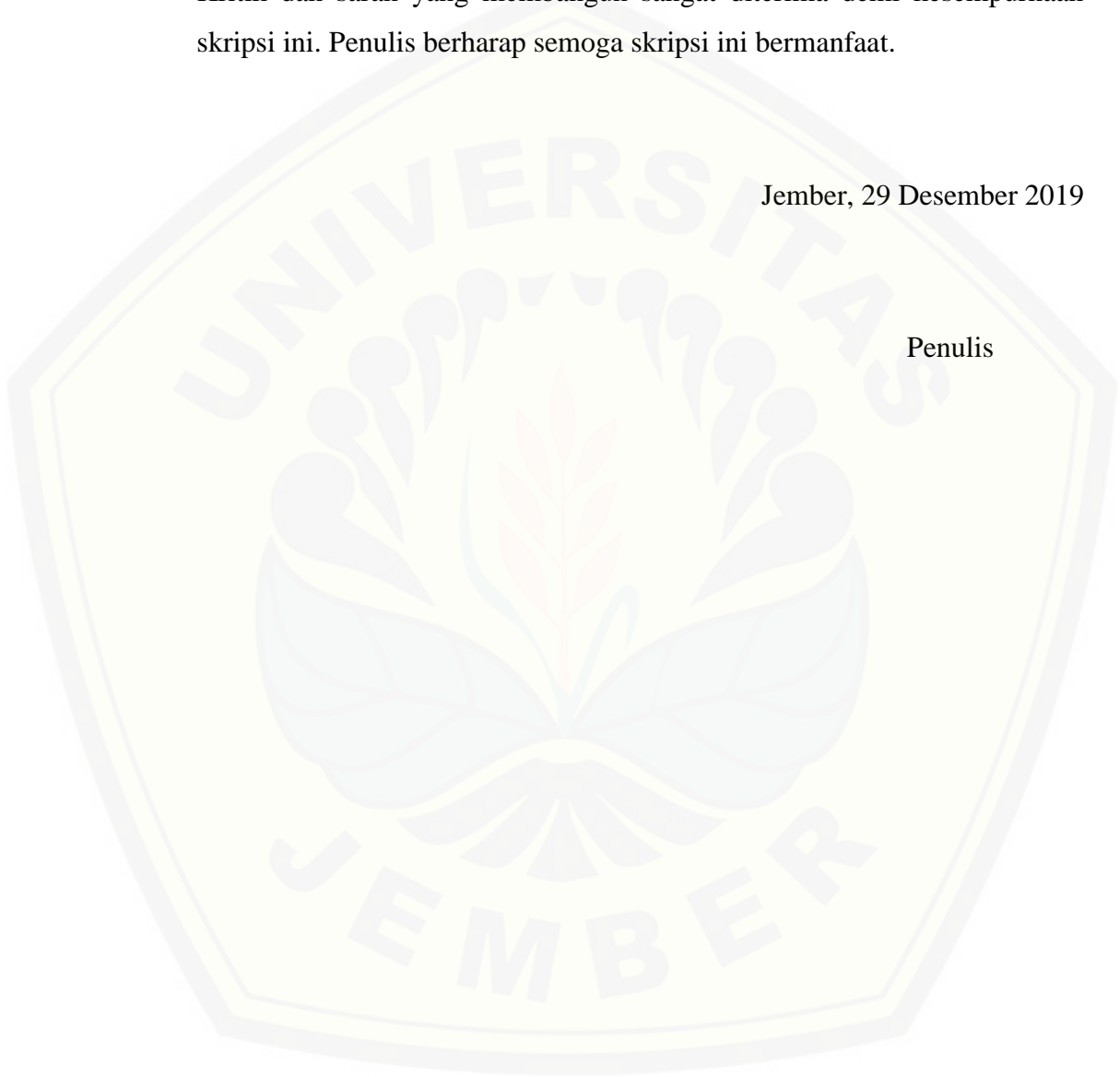
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. Ir. Gusfan Halik.,M.T selaku Ketua Jurusan dan Dr. Anik Ratnaningsih, S.T.,M.T selaku Ketua Program Studi (S1) Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember;
3. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM selaku Dosen Pembimbing Utama dan Retno Utami Agung W, S.T.,M.Eng., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota dalam penyusunan skripsi;
4. Nanin Meyfa Utami, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa,
5. Keluarga tercinta, kepada Bapak dan Almh. Ibu serta saudara-saudaraku yang ikut membantu memberikan dukungan, motivasi maupun materil
6. Bapak Ibu guru dari TK hingga lulus SMA yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada saya;
7. Teman-teman senyum yang setia memberi semangat yaitu Trias Firdausi A, Fajrin Nur A, Risqi Sofiana, Milda Ruly, Rizka Septy, Intan Cahya, Owi Sa’adillah, Nuryantika Rahayu, Sukma Melati, Thilal Syihabudin, Rizky Ilham Mardhani dan Tedhi Kerta A,
8. Teman curhat dan motivasi yaitu Florina Handiani, Shofana Elfa, Marisa Eka dan Gati Annisa Hayu, S.T.,M.T., M.Sc atas semangat dan doanya,
9. Keluarga Besar Teknik Sipil 2016 yang telah memberikan dukungan,

10. Teman teman yang telah membantu yaitu Bayu Cahya M, Yoni Aripayoga, Novel Joko Tri, Sultan Maulana, Hudan, Maulida Faradella Putri Windi Lestari dan Vianda Febryan,
11. 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 bermanfaat.

Jember, 29 Desember 2019

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	xvii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sungai	3
2.2 Analisa Hidrolika	3
2.2.1 Aliran Permanen (<i>Steady Flow</i>)	4
2.2.2 Aliran Tak Permanen (<i>Unsteady Flow</i>)	8
2.3 Sedimen dan Sedimentasi	11
2.3.1 Ukuran Partikel	11
2.4 HEC-RAS	12

2.4.1	Analisa Kerja.....	13
2.4.2	Penyimpanan Data dan Manajemen Data	13
2.4.3	Grafik dan Pelaporan.....	14
2.4.4	Organisasi Data	14
2.4.5	Metode Transport Sediment.....	14
2.5	Uji Keandalan	21
2.5.1	R^2 (Koefisien Determinasi)	21
2.5.2	RMSE(Root Mean Square Errors)	21
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1.	Lokasi penelitian.....	22
3.2.	Pengumpulan Data	22
3.3.	Jenis Data	23
3.3.1	Data Primer	23
3.3.2	Data sekunder.....	25
3.3.3	Pengolahan Data.....	25
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Pengambilan Sedimen	31
4.2	Kondisi Sedimen	31
4.2.1	Pelaksanaan Uji Analisis Saringan.....	31
4.3	Penyesuaian <i>Input</i> Model HEC-RAS.....	33
4.3.1	Penyesuaian <i>Input</i> Koefisien Struktur Hidrolika	33
4.3.2	Penyesuaian Input Gradasi Sedimen.....	36
4.3.3	Pemilihan Fungsi Pengangkutan Sedimen.....	37
4.4	Hasil Simulasi Angkutan Sedimen.....	39
4.4.1	Perubahan Dasar Sungai Akibat Sedimen.....	41
4.5	Uji Keandalan Hasil Simulasi	42
BAB 5.	PENUTUP.....	45

5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai koefisien Ekspansi dan Kontraksi	6
Tabel 2. 2 Nilai Koefisien Manning (n)	7
Tabel 2. 3 Klasifikasi Ukuran butiran menurut American Geophysical Union	12
Tabel 2. 4 Range input untuk persamaan angkutan sedimen	20
Tabel 3. 1 Tabel ukuran saringan dalam perhitungan analisis saringan	24
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Uji Laboratorium	32
Tabel 4. 2 Nilai koefisien Ekspansi dan Kontraksi	34
Tabel 4. 3 Nilai Koefisien Manning	34
Tabel 4. 4 Perbandingan Tinggi Muka Air Observasi dan Simulasi	35
Tabel 4. 5 Penyesuaian Gradasi Sedimen Menurut American Geophysical Union	37
Tabel 4. 6 Hasil Observasi Pemilihan Fungsi Angkutan Sedimen	38
Tabel 4. 7 Perubahan Tampang Lintang STA 20,200	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram aliran berubah beraturan (Sumber: Istiarto, 2016)	4
Gambar 2. 2 Pembagian tampang untuk hitungan kapasitas angkut.....	6
Gambar 2. 3 Aliran melalui bagian utama dan bagian samping kanan atau kiri (Istiarto, 2014).....	10
Gambar 3. 1 Sungai Jatiroto (Sumber : Dinas PU Lumajang).....	22
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3. 3 Diagram Alir HEC-RAS	30
Gambar 4. 1 Gradasi Sedimen Dasar (Bed load) pada Hulu.....	32
Gambar 4. 2 Kondisi Lapangan Sungai Jatiroto	35
Gambar 4. 3 Perbandingan Tinggi Muka Air Observasi dan Tinggi Muka Air Simulasi.....	36
Gambar 4. 4 Kecepatan Aliran Awal dan Akhir Simulasi	40
Gambar 4. 5 Penampang Sungai STA 20,200 pada Awal dan Akhir Simulasi	41
Gambar 4. 6 Perbandingan penampang melintang tahun 2004 dengan tahun 2019.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Kapasitas Massa Sedimen Akhir Simulasi	48
Lampiran 2 Tabel Perubahan Penampang Hasil Simulasi	57
Lampiran 3 Perhitungan Penampang Melintang	58
Lampiran 4 Lokasi terjadinya sedimentasi	59
Lampiran 5 Grafik Debit Penampang 20,200	60
Lampiran 6 Profil Muka Air STA +20,200	61
Lampiran 7 Profil Muka Air STA +8000	62
Lampiran 8 Profil Muka Air STA +1500	63
Lampiran 9 Profil Muka Air Memanjang	64
Lampiran 10 Mass In Cum	65
Lampiran 11 Survei Sungai Jatiroto	66
Lampiran 12 Laboratorium Mekanika Tanah	67
Lampiran 13 Profil Output Table	68

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air adalah zat yang terpenting bagi kehidupan manusia. Sehingga ketersediaan air sangat berpengaruh bagi kehidupan. Dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya, manusia berupaya mengadakan air yang cukup bagi dirinya sendiri. Penting bagi manusia untuk tetap melestarikan dan menjaga agar air yang digunakan tetap terjaga kelestariannya dengan melakukan pengelolaan air yang baik. Sungai adalah sebuah saluran drainase yang dibentuk oleh alam. Sungai sendiri mempunyai kegunaan untuk mengalirkan air hujan dengan bentuk *surface rain off*. Sungai dapat mengangkut material berupa hasil erosi yang disebabkan dari sungai itu sendiri maupun yang berasal dari permukaan tanah pada saat aliran *surface rain off* mengalir kearah sungai.

Erosi dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi di sungai. Sedimentasi yang terjadi secara terus-menerus dapat mengakibatkan sungai menjadi dangkal dan mengurangi kapasitas sungai. Sedimen akan mengendap pada bagian tertentu di sepanjang aliran sungai yang tidak mampu terangkut bersama dengan aliran sungai.

Sungai Jatiroto merupakan sungai yang membatasi Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Jember. Sungai Jatiroto dimanfaatkan untuk keperluan irigasi pada kecamatan Jatiroto dan Kecamatan Rowokangkung. Sedimentasi merupakan masalah yang sering terjadi pada sungai, penyebab dari sedimentasi adalah perubahan tata guna lahan. Ketika aliran tidak bisa mengangkut sedimen, maka sedimen tersebut akan diendapkan pada tempat tempat tertentu

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan Wardhana (2015) melakukan penelitian untuk mensimulasikan transport sedimen selama 365 hari didapatkan hasil untuk endapan sedimen pada hulu sebesar 515,519 ton, untuk bagian tengah 79,282 ton, dan untuk bagian hilir sebesar 47,300 ton. Adapun untuk defisit endapan sedimen pada Sungai Winongo sebesar 36,231 ton dan untuk defisit endapan sedimen pada Sungai Oyo sebesar 36,231 ton. Hasil simulasi transport sedimen dari program HEC-RAS dapat digunakan dalam mengetahui bagian sungai yang mengalami kecenderungan terjadinya erosi. Haghiabi dan Zaredehdasht

(2012) juga melakukan simulasi sedimen menggunakan HEC-RAS Sungai Karun di Iran dan mendapatkan hasil yang mendekati situasi di lapangan saat melakukan simulasi transpor . Pada simulasi tersebut persamaan transpor sedimen yang digunakan adalah persamaan *Laursen Field*. Hasil simulasi transport sedimen menggunakan program HEC-RAS lebih tinggi 11% bila dibandingkan dengan simulasi transport sedimen dengan menggunakan program MIKE 11. Dari hasil penelitian sebelumnya, maka penelitian ini menggunakan Program HEC-RAS untuk mengetahui volume sedimentasi yang ada pada Sungai Jatiroto dan memprediksi laju sedimentasi yang terjadi di Sungai Jatiroto.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

Berapa prediksi laju sedimentasi yang terjadi di Sungai Jatiroto?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk memprediksi laju sedimentasi yang terjadi di Sungai Jatiroto.

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh beberapa instansi seperti: Dinas Pengairan, Balai Besar Mayang-Bondoyudo dalam pemeliharaan berkala seperti penentuan jadwal pengerukan atau pembersihan sedimen, sebagai referensi untuk normalisasi sungai dan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Agar tidak terjadi perluasan dalam pembahasan, penelitian ini hanya meneliti *Bad Load transport* tidak memodelkan sedimentasi melayang (*Suspended Load*) dan *WashLoad*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Menurut Mokonio (2013) Sungai merupakan saluran yang secara alamiah berada di permukaan bumi yang fungsinya menampung dan menyalurkan air hujan dari daerah tinggi ke daerah yang lebih rendah dan air tersebut berakhir bermuara di danau ataupun di laut.

Berdasarkan sumbernya, sungai dapat di kelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu :

1. Sungai mata air, yaitu sungai yang airnya berasal dari mata air. Sungai ini biasanya berada pada daerah yang mempunyai curah hujan sepanjang tahun dan masih alami.
2. Sungai hujan, yaitu sungai yang airnya berasal dari air hujan, jika tidak turun hujan maka sungai tersebut mengalami kekeringan. Biasanya sungai ini terletak pada sekitar daerah lereng gunung atau perbukitan.
3. Sungai gletser, yaitu sungai yang airnya berasal dari pencairan es maupun salju. Sungai ini berada pada daerah yang memiliki suhu dingin yang tinggi maupun di puncak gunung.
4. Sungai campuran, yaitu sungai yang airnya bera dari berbagai sumber yang akan bermuara ke laut.

2.2 Analisa Hidrolika

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

2.2.1 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, 2014).

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

dengan:

Y_1, Y_2 = kedalaman aliran (m)

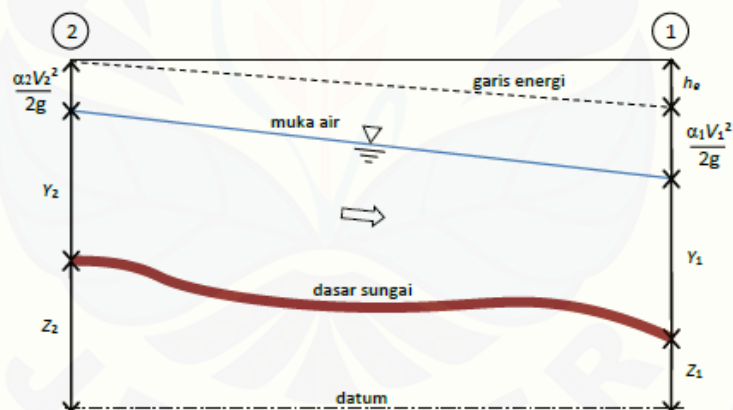
Z_1, Z_2 = elevasi dasar saluran (m)

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

α_1, α_2 = koefisien

g = percepatan gravitasi (m/det²)

h_e = kehilangan tinggi energy (m)



Gambar 2. 1 Diagram aliran berubah beraturan (Sumber: Istiarto, 2014)

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

b. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi h_e , diantara dua tampang lintang tersusun dari beberapa 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:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

L = Panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit (mm)

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:

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

dengan:

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

$\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}$ = debit yang mengalir melalui *left overbank*, *main channel*, dan *right overbank*. (m^3/det)

c. Kapasitas angkut tampang

Kapasitas angkut dan kecepatan rata-rata pada suatu tampang dapat dihitung dengan cara membagi tampang menjadi beberapa bagian dan pada setiap bagian kecepatan terbagi dengan merata. Satu nilai koefisien *Manning* (n) ditetapkan di setiap tampang. Untuk setiap bagian tampang, kapasitas angkut dihitung dengan memakai persamaan *Manning* dan terdapat tabel koefisien *Manning* sebagai berikut (Istiarto, 2014):

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

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

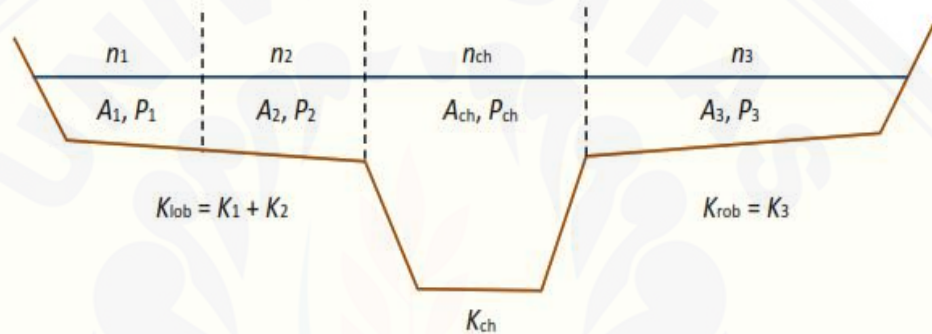
dengan:

K = kapasitas angkut tiap bagian tampang. (ton/jam)

n = koefisien kekasaran *Manning* tiap bagian tampang

A = luas tampang basah tiap bagian tampang(m²)

R = radius hidrolik tiap bagian tampang (m)



Gambar 2. 2 Pembagian tampang untuk hitungan kapasitas angkut.

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:

Tabel 2. 1 Nilai koefisien Ekspansi dan Kontraksi

Koefisien kontaksi aliran subkritis dan koefisien ekspansi	Konstraksi	Ekspansi
Tidak ada kerugian transisi yang dihitung	0	0
Transisi Bertahap	0,1	0,3
Tipikal bagian jembatan	0,3	0,5
Transisi mendadak	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:

Tabel 2. 2 Nilai Koefisien *Manning* (n)

No	Tipe Saluran dan Penjelasan	Nilai <i>Manning</i> (n)
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

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)*

Dalam menentukan koefisien ekspansi dan Koefisien *Manning* memerlukan running pada model. Fungsi dari dilakukannya uji coba running yaitu untuk mendapatkan nilai koefisien yang cocok, hasil tersebut dapat dibandingkan dengan hasil running uji coba dengan cara 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 ($Q_{\text{observasi}}$).

2.2.2 Aliran Tak Permanen (*Unsteady Flow*)

a. Persamaan Dasar

Aliran pada saluran atau sungai merupakan proses fisik yang mengikuti hukum kekekalan momentum. Proses tersebut dapat digambarkan dengan persamaan matematis yang dikenal dengan persamaan *St. Venant*. Persamaan *St. Venant* tersusun dari persamaan kontinuitas dan persamaan momentum yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut (Sumber: Istiarto, 2014):

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

A = luas total tampang aliran (jumlah luas tampang aliran di *main channel* dan *overbank channel*) (m²)

Q = debit aliran. (m³/det)

Q_t = debit lateral per satuan Panjang. (m³/s)

V = kecepatan aliran(m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

x = jarak, diukur searah aliran (m)

z = elevasi muka air (m)

t = waktu (t)

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

$$S_f = \frac{n^2|Q|Q}{A^2R^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

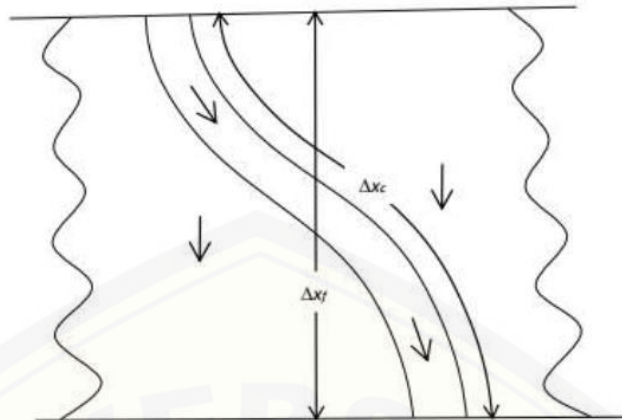
n = koefisien kekasaran *Manning*

R = radius hidrolis (m)

b. Penerapan persamaan aliran tak permanen

Pada program HEC-RAS dapat dilakukan proses 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 dilakukan dengan 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. 3 Aliran melalui bagian utama dan bagian samping kanan atau kiri
(Sumber: Istiarto, 2014).

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:

$$Q_c = \emptyset Q \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

Q_c = debit aliran melalui alur utama (*main channel*) (m^3/det)

Q = debit total aliran (m^3/det)

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

K_c = kapasitas angkut tampang alur utama (ton/jam)

Dengan anggapan tersebut, maka persamaan aliran satu dimensi dapat digabungkan menjadi satu kelompok persamaan sebagai berikut (Sumber: Istiarto, 2014):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\emptyset Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\emptyset)Q]}{\partial x_f} = 0 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\emptyset^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\emptyset)^2 Q^2 / A_f]}{\partial x_f} + g A_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) + g A_f \left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan:

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*.

2.3 Sedimen dan Sedimentasi

Ponce (1989) menyebut bahwa sedimen adalah produk disintegrasi dan dekomposisi batuan. Disintegrasi memiliki beberapa jangkauan yaitu semua proses batuan yang pecah/rusak menjadi butiran-butiran kecil tanpa perubahan substansi kimiawi. Dekomposisi ialah proses pemecahan komponen mineral batuan yang disebabkan oleh reaksi kimia. Dekomposisi mencakup beberapa tahapan, yaitu tahapan karbonasi, hidrasi, oksidasi, dan solusi. Spesifikasi dari butiran mineral dapat menggambarkan property sedimen, antara lain ukuran (*size*), bentuk (*shape*), berat volume (*specific volume*), berat jenis (*specific gravity*), dan kecepatan jatuh (*fall velocity*).

Sedimentasi merupakan suatu proses terbawanya sedimen oleh suatu limpasan/ aliran air yang mengendap dalam suatu tempat yang kecepatan airnya melambat atau dapat terhenti seperti pada saluran sungai, waduk, danau ataupun kawasan laut (Arsyad,1989).

2.3.1 Ukuran Partikel

Ukuran partikel adalah karakteristik sedimen yang dapat diukur dengan nyata. Abdul ghani, dkk (2012) menggunakan klasifikasi berdasarkan standar *U.S Army Corps Engineer (USACE)* untuk analisa saringan sampel sedimen. Syahrul Purnawan, dkk (2011) menggunakan teknik analisis penyaringan dengan metode ayak basah yang menggunakan saringan sedimen bertingkat dengan diameter berbeda-beda (4,75 mm, 1,7 mm, 250 μ m, 850 μ m, 150 μ m). Beberapa ahli hidraulika menggunakan klasifikasi ukuran butiran menurut AGU (*American Geophysical Union*) sebagaimana yang di tunjukkan pada Tabel 1. Ponce (1989) menyatakan bahwa 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.

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	1/2 – 1/4	Pasir sedang
2048 – 1024	Batu besar	1/4 – 1/8	Pasir Halus
1024 – 512	Batu Sedang	1/8 – 1/16	Pasir Sangat Halus
512 – 256	Batu kecil	1/32 – 1/64	Lumpur Sedang
256 – 128	Kerakal Besar	1/64 – 1/128	Lumpur Halus
128-64	Kerikil kecil	1/128 – 1/256	Lumpur sangat halus
64-32	Kerikil sangat kasar	1/256 – 1/512	Lempung Kasar
32-16	Kerikil kasar	1/512 – 1/1024	Lempung Sedang
16-8	Kerikil sedang	1/1024 – 1/2048	Lempung Halus
8-4	Kerikil Halus	1/2048 – 1/4096	Lempung sangat halus
4-2	Kerikil sangat halus		
2-1	Pasir sangat kasar		
1-1/2	Pasir kasar		

Sumber : Garde & Raju, 1985

2.4 HEC-RAS

HEC-RAS adalah sistem software yang terintegrasi dan didesain untuk digunakan secara interaktif dalam kondisi tugas yang banyak macamnya. Sistem ini tersusun dari interface grafik pengguna, komponen analisa hidrolika terpisah , kemampuan manajemen dan tampungan data, fasilitas pelaporan dan grafik (Irawan, 2014).

Terdapat hal-hal penting dalam membuat model hidrolika dengan menggunakan HEC-RAS :

- Memulai proyek baru
- Memasukkan data aliran dan kondisi batas
- Melakukan simulasi aliran

- Menampilkan dan mencetak hasil dalam bentuk data dan grafik.

2.4.1 Analisa Kerja

a. Sediment Transport Computations

Modul ini mampu mensimulasikan sediment transport satu dimensi (simulasi perubahan dasar sungai) akibat gerusan atau deposisi dalam waktu yang lama, namun dapat pula melakukan simulasi perubahan dasar sungai akibat sejumlah banjir tunggal.

Perhitungan transportasi sedimen pada HEC-RAS menggunakan persamaan sediment routing continuity yang diadaptasi dari persamaan Exner. Persamaan Exner disajikan pada rumus di bawah.

$$(1 - \lambda_b)B \frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{\partial Q_s}{\partial x} \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan :

B = Lebar Saluran (m)

n = Elevasi saluran

λ_b = Porositas lapisan aktif

t = Waktu (det)

λ_b = Jarak (m)

Qs = Sedimen yang terangkut (m³/hari)

2.4.2 Penyimpanan Data dan Manajemen Data

Manajemen data dilakukan melalui user interface. Pemakai diminta untuk menuliskan nama file untuk project yang akan di buat dengan HEC-RAS dan akan membuat beberapa file secara otomatis diantaranya (plan, *geometry*, *steady flow*, *unsteady flow*, *output*, dll) dan menamai file tersebut sesuai dengan *project* yang akan di teliti.

Penggantian nama file, penghapusan file, dan pemindahan file dilakukan oleh pengguna melalui fasilitas *interface*. Operasi tersebut dilakukan berdasarkan *project by project*. Penggantian nama, penghapusan, dan pemindahan file diluar interface pada saat pembukaan aplikasi akan menyebabkan kesulitan dan kemungkinan besar file tersebut tidak dikenali oleh HEC-RAS. Oleh karena itu, operasi atau modifikasi file harus pada saat menjalankan HEC-RAS atau di dalam *interface* (Irawan, 2014).

2.4.3 Grafik dan Pelaporan

Grafik dan tabel dapat ditampilkan pada layar, dicetak, atau disalin ke clipboard untuk dimasukkan ke dalam program aplikasi lain (word processor, *spreadsheet*). Fasilitas pelaporan pada HEC-RAS dapat berupa pencetakan data masukan dan keluaran hasil pada printer atau *plotter* (Irawan, 2014).

2.4.4 Organisasi Data

Simulasi aliran memakai HEC-RAS memerlukan berbagai macam file, terdiri dari *file data*, *file run*, serta *file output*. File dalam HEC-RAS yang mencerminkan dalam suatu model aliran akan dirangkum dalam suatu *project*. Sebuah *project* merupakan gabungan satu set file data yang mempresentasikan model sungai yang sedang dikaji. Untuk mempermudah pengidentifikasian, *file project* diberi nama sesuai nama sungai atau saluran yang dimodelkan (Irawan, 2014).

Dengan *File project* ini, pengguna dapat melakukan analisis hidraulika secara menyeluruh ataupun sebagian. *File data* yang diperlukan untuk menyusun suatu model aliran yaitu data plan, data geometri, data aliran, dan data sedimen. Data plan menyimpan informasi untuk mengenalkan simulasi aliran seperti data geometri, data aliran. Data geometri menyimpan informasi geometri sungai seperti : alur sungai, tampang melintang dan tampang memanjang sungai. Data aliran meliputi data debit dan syarat batas. Data aliran dapat berupa data aliran permanen (untuk melakukan simulasi aliran permanen) atau tak permanen (untuk mensimulasikan aliran tak permanen). Data sedimen diperlukan untuk simulasi *transport* sedimen yang meliputi gradasi butiran sampel sedimen (Irawan, 2014).

2.4.5 Metode Transport Sediment

Perhitungan besarnya angkutan sedimen rata-rata dilakukan untuk setiap kondisi hidraulik dan parameter sedimen dengan gradasi butiran tertentu kapasitas pengangkutan ditentukan untuk setiap ukuran butiran mewakili ukuran butiran tertentu yang nanti akan membentuk 100% dari material dasar (Irawan, 2014).

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

:

1. Acker dan White

Berdasarkan HEC-RAS *Refence Manual*, persamaan Acker dan White (1973) adalah fungsi beban total gradasi relative seragam mulai dari pasir sampai kerikil halus. Untuk mengetahui konsentrasi sedimen, variable yang dimasukkan diantaranya data transport sedimen dan berat sedimen yang dapat dilihat pada rumus 2.2

$$x = \frac{G_{gr}.s.ds}{D.U.n} \text{ dan } G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan :

- X = konsentrasi sedimen, perbagian (ppm)
- G_{gr} = transport sedimen
- S = berat sedimen (kg/m³)
- ds = diameter rata-rata partikel (mm)
- D = kedalaman efektif (m)
- U = kecepatan geser (m/dt)
- N = eksponen peralihan
- C = koefisien
- F_{gr} = partikel pergerakan sedimen
- A = partikel pergerakan sedimen kritis

2. 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, variable yang diperlukan diantaranya data satuan berat untuk air, satuan berat untuk partikel solid, yang bisa dilihat pada persamaan 2.3

$$G_{gs} = 0,05 \cdot \gamma_s \cdot V^2 \cdot \sqrt{\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} \right)}} \cdot \left[\frac{\tau_0}{\gamma_s - \gamma \cdot d_{50}} \right]^{3/2} \dots \dots \dots (2.14)$$

dengan :

- G_{gs} = satuan transport sedimen
- γ = satuan berat untuk air (kg/m^3)
- γ_s = satuan berat untuk partikel solid (kg/m^3)
- V = kecepatan rata-rata saluran (m/dt)
- τ_0 = tegangan geser pada dasar (m/dt)
- d_{50} = ukuran partikel pada 50% ukuran (mm)

3. 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, variable yang diperlukan antara lain data satuan berat air, diameter partikel rata-rata, kedalaman efektif pada aliran, yang dapat dilihat pada rumus 2.4

$$C_m = 0,01 \cdot \gamma \cdot \left(\frac{d_s}{D} \right)^{\frac{7}{6}} \cdot \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1 \right) f \left(\frac{u^*}{w} \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

dengan :

- C_m = konsentrasi pelepasan sedimen dalam berat atau volume
- G = satuan berat air (kg/m^3)
- d_s = diameter partikel rata-rata (mm)

- D = kedalaman efektif pada aliran (m)
 τ_0 = tegangan geser dasar (m/dt)
 τ_c = tegangan dasar kritis (m/dt)
 $f\left(\frac{u^*}{w}\right)$ = fungsi perbandingan kecepatan geser terhadap jatuh tanah

4. 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 transport sedimen dengan gradasi yang lebih halus. Untuk mengetahui tingkat kecepatan transport sedimen yang terjadi, variable yang dimasukkan antara lain, data koefisien kekasaran, satuan berat air, yang dapat dilihat dari rumus 2.5 sebagai berikut.

$$\left(\frac{K_r}{K'_r}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \gamma \cdot r \cdot s = 0,047 (\gamma_s - \gamma) d_m + 0,025 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot g s^{3/3} \dots (2.16)$$

dengan :

- gs = satuan kecepatan angkutan sedimen (ton/hari)
 Kr = koefisien kekasaran
 K'r = koefisien kekasaran berdasarkan butiran
 γ = satuan berat air (gr/cc)
 γ_s = satuan berat sedimen
 g = percepatan gravitasi (m/det²)
 d_m = diameter rata-rata partikel (mm)
 r = jari-jari hidrolis (m)
 s = kemiringan energi

5. 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, variable yang dimasukkan yaitu data transport sedimen, berat sedimen, yang dapat dilihat pada persamaan 2.6 dan 2.7 sebagai berikut.

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

Untuk pasir $d_m < 2\text{mm}$(2.17)

Dan

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

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

dengan :

C_t	= konsentrasi sedimen total (ppm)
ω	= kecepatan jatuh partikel (m/dt)
d_m	= diameter rata-rata partikel (m)
ν	= kekentalan kinematis (m^2/dt)
u^*	= kecepatan geser (m/dt)
V	= kecepatan rata-rata saluran (m/dt)
S	= kemiringan saluran

6. 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 transport sedimen, variable

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 2.8 sampai 2.13 sebagai berikut.

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left[\frac{R}{2,5}^{1+nv-z} - \frac{R}{11,24}^{1+nv-z}\right]}{1+nv.z} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$g_{ssL} = M \frac{\frac{R}{11,24}^{1+nv-0,756z} - (2dm)^{1+nv-0,756z}}{1+nv-0,756z} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$g_{ssU} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left(\frac{R}{2,5}\right)^{0,5z} \left[R^{1+nv-1,5z} - \frac{R}{2,5}^{1+nv-1,5z}\right]}{1+nv.z-1,5z} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$g_{sb} = M(2dm)^{1+nv-0,756z} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$M = 43,2CL(1 + nv)VR^{0,756z-nv} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$g_s = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb} \dots\dots\dots(2.24)$$

dengan :

- g_{ssL} : angkutan sedimen suspensi zona terendah (ton/hr/m)
- g_{ssM} : transport sedimen suspensi zona tengah (ton/hr/m)
- g_{ssU} :transport sedimen suspense pada zona atas (ton/hr/m)
- g_{sb} : transport sedimen dasar (ton/hr/m)
- g_s : total angkutan sedimen (ton/hr/m)
- M : parameter konsentrasi sedimen (ppm)
- C_L : parameter konsentrasi sedimen pada zona terendah (mg/lt)
- R : jari-jari hidrolis (m)
- d_m : diameter rata-rata partikel (mm)
- z : eksponen hubungan sedimen dan karakteristik hidrolika
- n_v : eksponen temperature

7. 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, variable yang

digunakan antara lain data transport sedimen, berat sedimen, yang dapat dilihat pada rumus 2.14

$$\tau * m = 0,021 + 0,015e^{-20SF} \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan :

$\tau * m$ = tegangan geser

SF = prosentase pasir.

Persamaan Wilcock bertujuan untuk meningkatkan potensi angkutan kerikil dengan meningkatnya kadar pasir.

Tabel 2. 4 Range input untuk persamaan angkutan sedimen

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

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

dengan:

d = semua diameter partikel (mm)

Dm = nilai tengah diameter partikel

S = specific gravity sedimen

V = kecepatan rata-rata penampang (fps)

D = kedalaman penampang (ft)

S = kemiringan garis energi

W	= lebar saluran (ft)
T	= suhu air (°F)
R	= jari-jari hidrolis (ft)
NA	= data tidak ditentukan

2.5 Uji Keandalan

Uji keandalan model dilakukan yaitu untuk memastikan validasi keakuratan pemodelan yang dilakukan dengan hasil data yang ada dilapangan sesuai dan memberikan hasil kecocokan model yang sesuai atau tidak dengan hasil observasi.

2.5.1 R² (Koefisien Determinasi)

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

2.5.2 RMSE(Root Mean Square Errors)

RMSE bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat selisih antara 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:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(2.26)$$

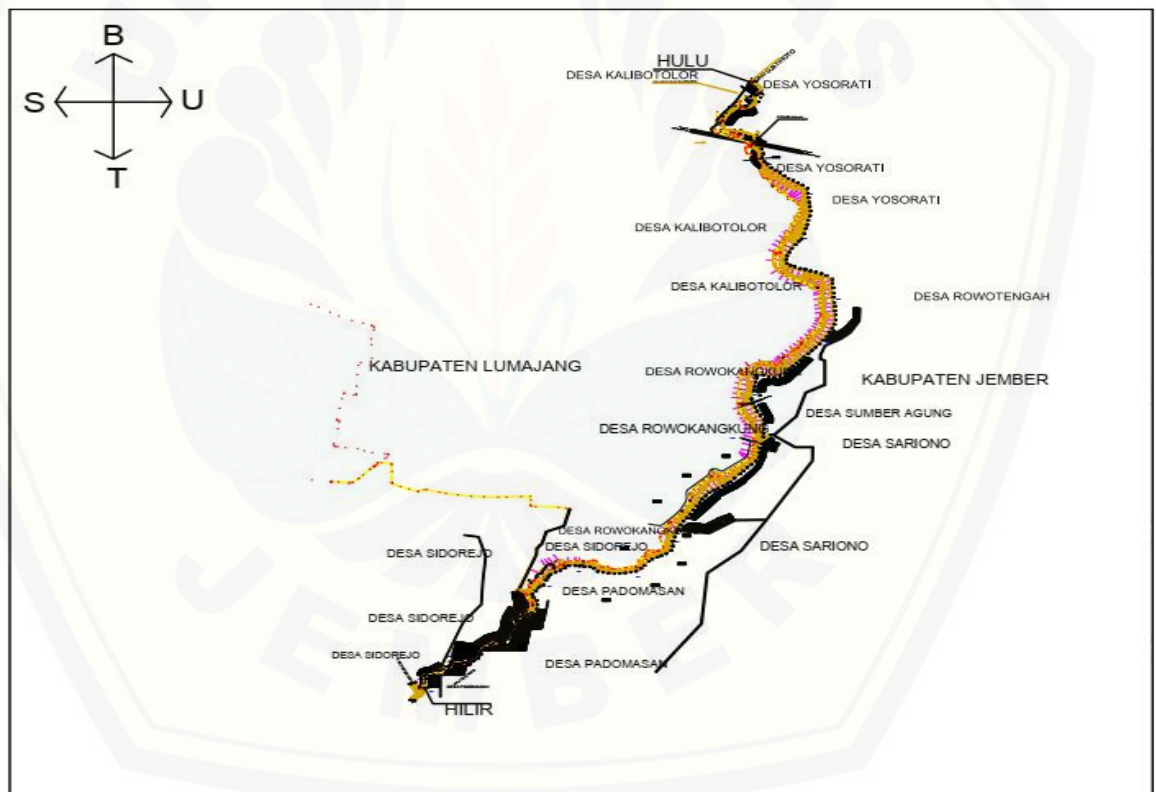
dengan:

Y _i	= data awal (data observasi)
Ŷ _i	= data akhir (data hasil pemodelan)
N	= jumlah data

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi penelitian

Penelitian ini berlokasi di Sungai Jatiroto yang terletak di Kecamatan Jatiroto, Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Jatiroto merupakan kecamatan di Kabupaten Lumajang yang berbatasan langsung dengan Kabupaten. Secara geografis, pemerintah Kabupaten Lumajang Terletak di antara $112^{\circ} 50' 113'' 22'$ Bujur Timur dan $7^{\circ} 52' 8'' 23'$ Lintang Selatan. Sungai Jatiroto ini memiliki luas sebesar 21km². Lokasi ini dipilih karna memiliki berbagai variasi kelerengan, bentuk lahan dan sedimetasi dari hulu hingga hilir.



Gambar 3. 1 Sungai Jatiroto (Sumber : Dinas PU Lumajang)

3.2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer meliputi data observasi lapangan, data analisis saringan

sampel sedimen di lapangan dan data pengerukan. Data sekunder meliputi data peta kontur, data debit aliran, data *cross section* sungai dan skema alur sungai.

3.3. Jenis Data

3.3.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan dengan cara pengukuran di lapangan dan penelitian di Laboratorium. Data primer yang didapat merupakan hasil observasi lapangan yang dilakukan di Sungai Jatiroto. Data yang diambil antara lain :

1. Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan Sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan metode point sample. Sedimen diambil di beberapa titik sebanyak 3 sampel. Sampel sedimen yang diambil adalah sedimen dasar (*bed load*) pada tiga bagian penampang sungai, yaitu sisi tengah dan sisi pinggir (belokan dalam dan belokan luar pada sungai yang berbelok). Hambali & Apriyanti (2016). pengambilan sedimen terletak di koordinat 8° 06'34" LS dan 113° 22'01" BT 5 meter dari Bendung.

Volume sampel diambil sebanyak 500 gram pada lokasi pengambilan sampel (Irawan, 2014).

2. Pengolahan data sedimentasi dengan uji saringan.

Pelaksanaan uji analisis saringan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Jember.

Alat yang digunakan dalam uji analisis saringan adalah sebagai berikut :

- a. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu 110° C
- b. Satu set saringan dengan beberapa diameter ukuran.
- c. Timbangan dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
- d. Mesin pengguncang saringan (*Shieve Shaker*).
- e. Talam, kuas, sikat, sendok dan alat lainnya.

Adapun tahapan dalam analisis saringan sebagai berikut :

- a. Benda Uji dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C.
- b. Saringan disusun dengan ukuran saringan yang paling besar diatas.

- c. Sampel benda uji dimasukkan ke dalam saringan dan diayak selama 15 menit.
- d. Ukuran saringan dalam perhitungan analisis saringan bisa dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Tabel ukuran saringan dalam perhitungan analisis saringan

No	No. Ayakan	Diameter Lubang (mm)
1	4	4,750
2	6	3,350
3	8	2,360
4	10	2,000
5	16	1,180
6	20	0,850
7	40	0,600
8	50	0,425
9	60	0,300
10	80	0,180
11	100	0,150
12	140	0,106
13	170	0,088
14	200	0,075
15	270	0,053

Sumber: ASTM C-136-46

Setelah dilakukan uji analisa saringan, maka dapat dihasilkan data dengan rincian sebagai berikut:

- Jumlah berat tertahan untuk masing-masing ukuran saringan.
 - Jumlah presentase berat benda uji tertahan terhadap berat total secara kumulatif.
 - Jumlah presentase berat benda uji yang melalui masing-masing saringan.
 - Grafik analisis saringan berdasarkan diameter butiran dan kumulatif presentase lolos saringan.
3. Pengukuran tebal sedimen pada sungai untuk mengetahui data pengerukan.

Pengukuran sedimen pada sungai digunakan untuk mendapatkan data pengukuran yang dipergunakan pada validasi data hasil dari pemodelan HEC-RAS. Pengukuran ini dilakukan pada setiap titik pengamatan di Sungai Jatiroto

3.3.2 Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapat dari upt yang bersangkutan.

Data-data tersebut meliputi:

- Data penampang sungai: Data *cross section* dan skema alur sungai.
- Data debit aliran selama 10 Tahun (2018)
- Data hidrolika meliputi: Nilai Koefisien *Manning*, koefisien ekspansi dan kontraksi.

3.3.3 Pengolahan Data

Data diolah dengan program HEC-RAS menggunakan variable-variabel dan parameter yang sudah didapatkan dari data primer dan data sekunder. Data tersebut akan digunakan untuk variable data yang akan diinput dalam program dan akan digunakan untuk simulasi pemodelan sedimentasi.

a. Analisis Hidrolika

Data yang telah diolah di input kedalam program HEC-RAS menggunakan input data untuk setting parameter hidrolika. Data yang diinputkan selanjutnya adalah: data penampang, Koefisien *Manning*, koefisien ekspansi dan kontraksi, kemiringan dasar sungai, dan data debit aliran.

b. Hasil Analisis Hidrolika

Hasil dari analisis hidrolika dengan hasil tinggi muka air dan debit. Akan dilakukan analisis hidrolika dan diuji keandalan dengan data observasi di lapangan. Hasil simulasi akan di *running* kembali apabila parameter yang di *input* tidak sesuai dengan uji keandalan model.

c. Running Model Transport Sedimen

Setelah melakukan analisis hidrolika dan telah dilakukan kalibrasi hasilnya dengan hasil lapangan, maka dapat dilakukan input data untuk simulasi sediment transport. Untuk setting parameter model laju sedimen sesuai dengan:

- Diameter butiran sedimen
- Kecepatan Aliran

- Kedalaman Sungai

Setelah melakukan pemilihan model laju sedimen, data yang dibutuhkan untuk analisis sedimen antara lain:

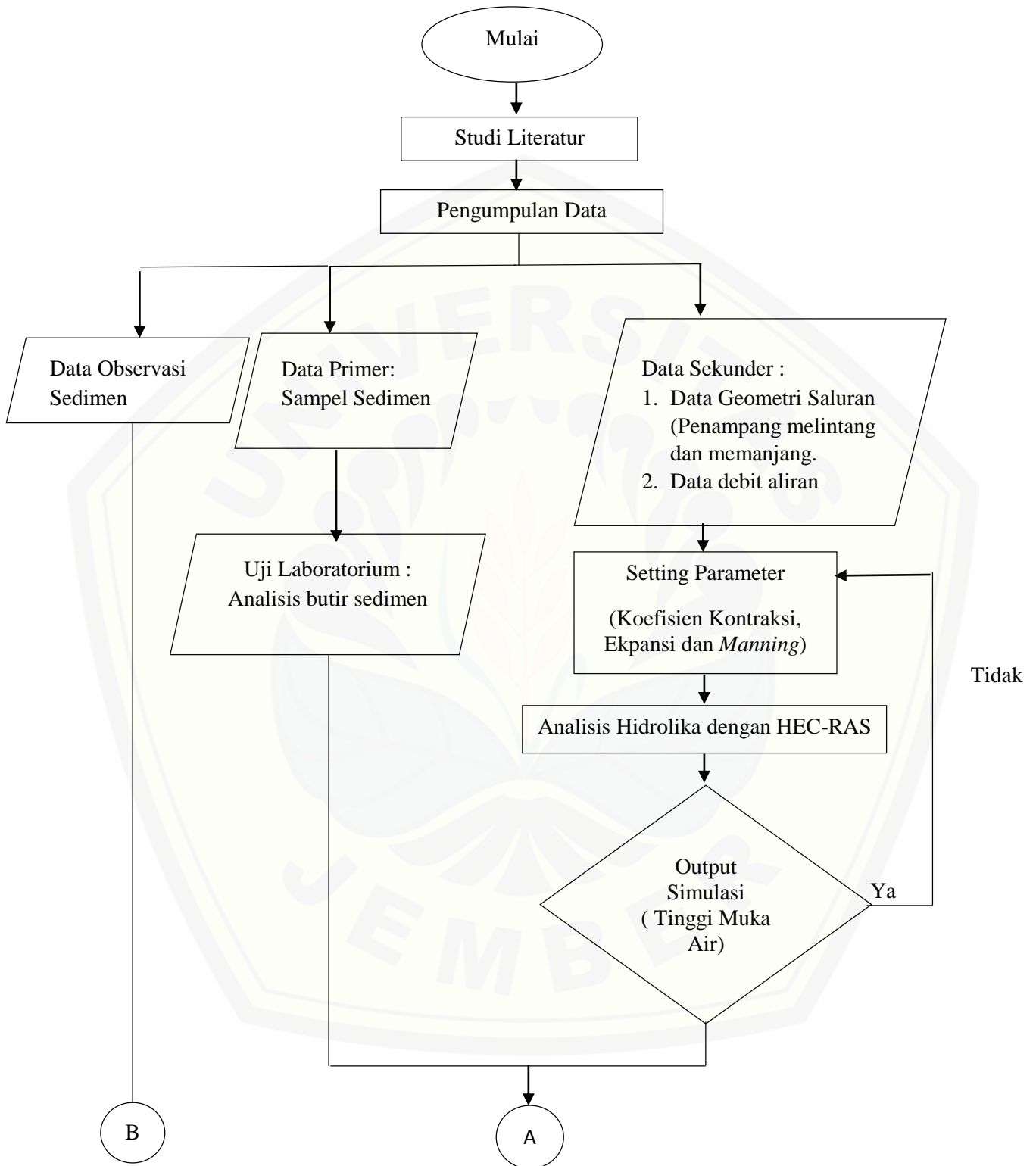
- Model laju sedimen
- Diameter butiran sedimen
- Kecepatan jatuh kedalaman maksimum dan elevasi minum

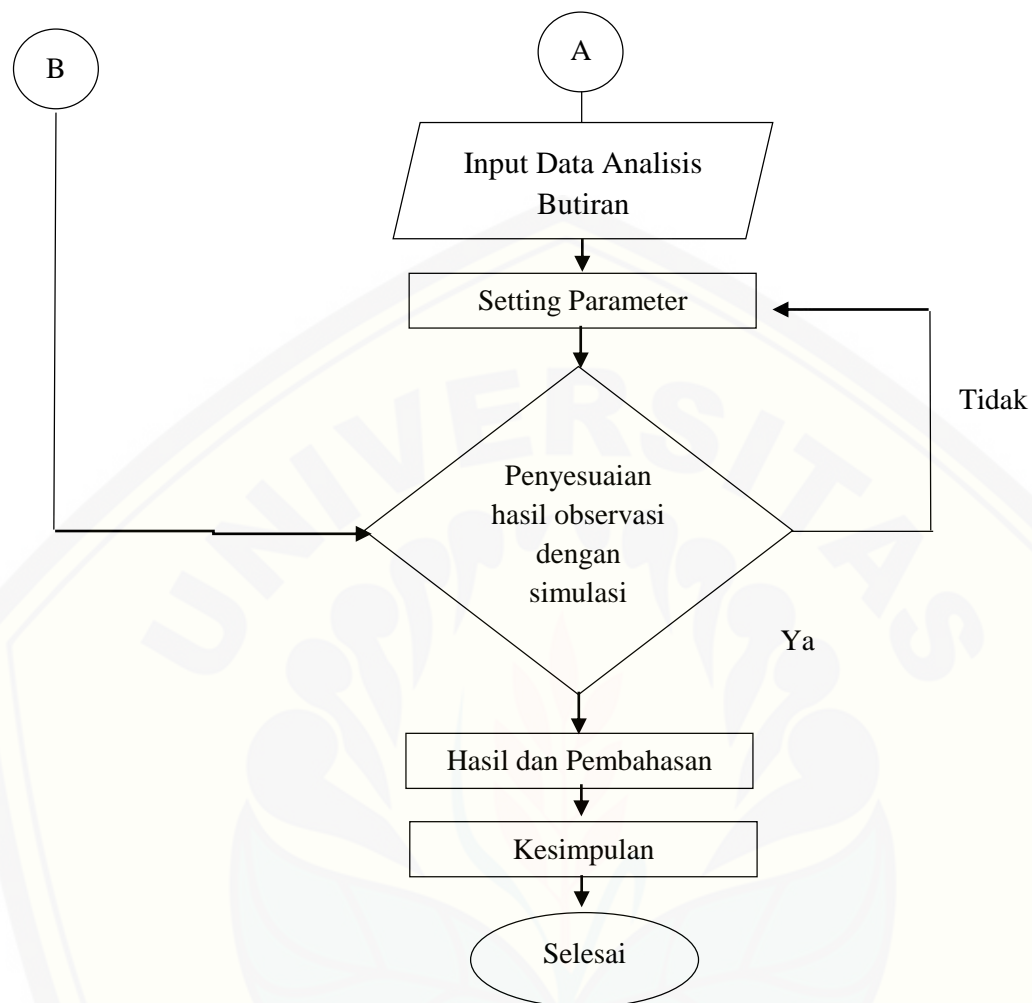
d. Hasil Transport Sedimen

Simulasi dilakukan setelah semua parameter yang dibutuhkan sudah di input. Hasil yang diperoleh berupa besar laju sedimentasi yang terjadi. Lalu hasil simulasi akan di kalibrasi dengan data observasi lapangan.

e. Uji Keandalan

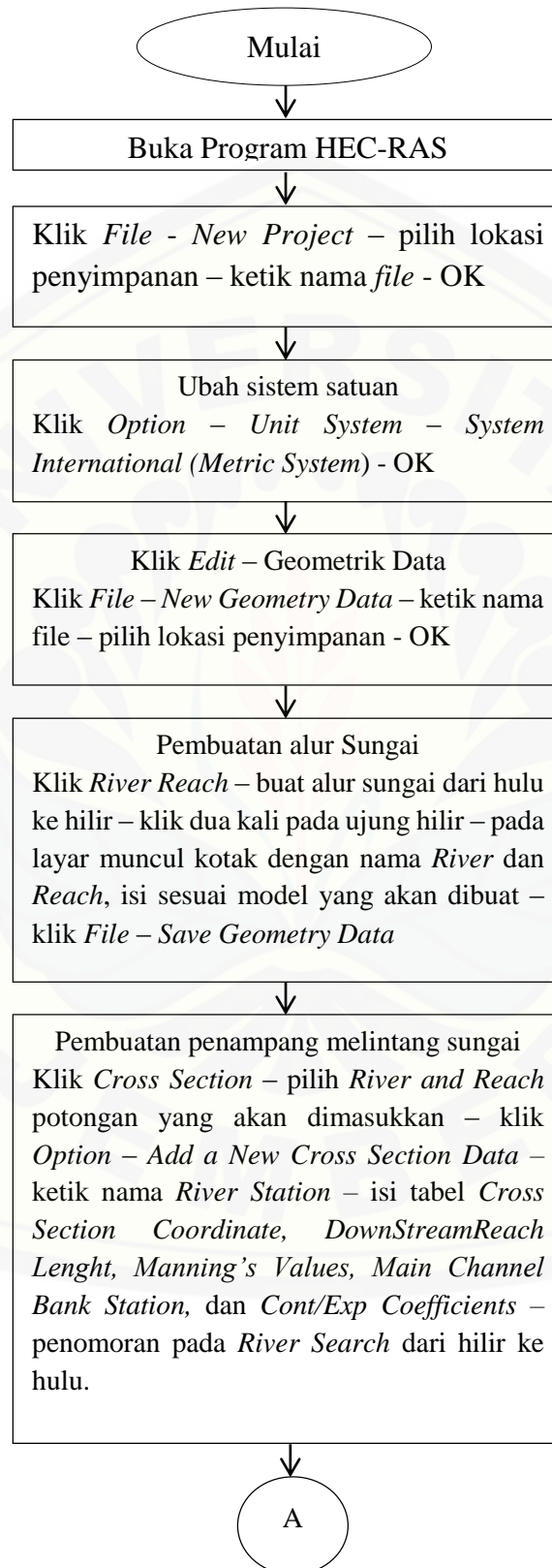
Uji keandalan model dilakukan yaitu untuk memastikan validasi keakuratan pemodelan yang dilakukan dengan hasil data yang ada di lapangan sesuai dan memberikan hasil kecocokan model yang sesuai atau tidak dengan hasil observasi.

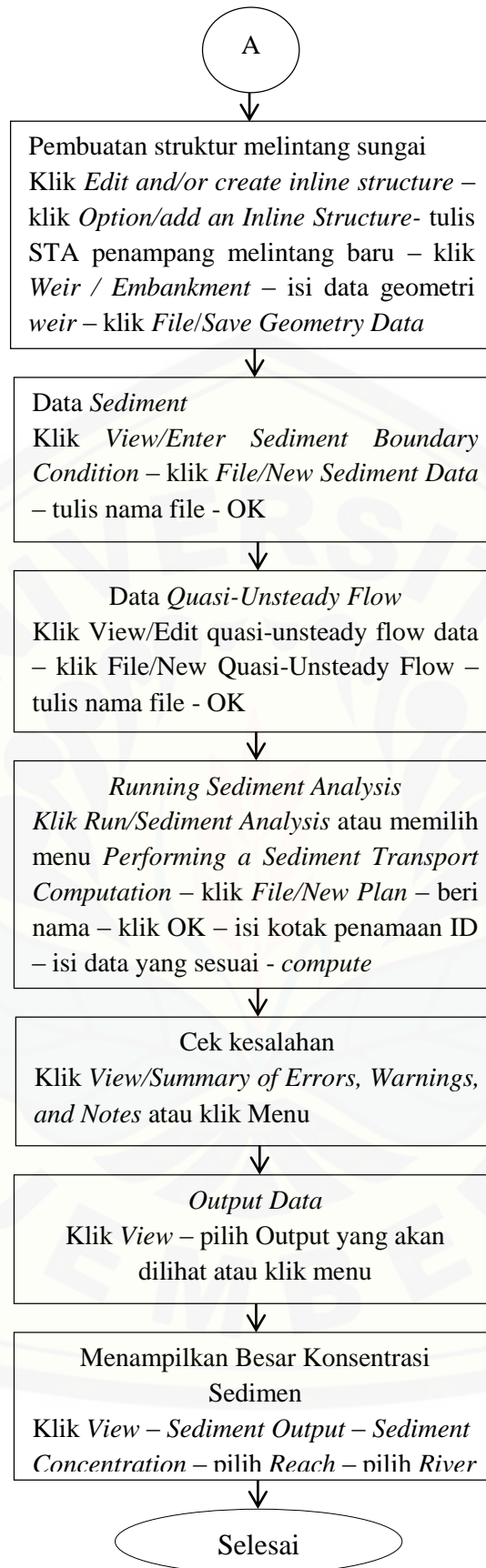




Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.4. Diagram Alir HEC-RAS





Gambar 3. 3 Diagram Alir HEC-RAS

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, prediksi laju sedimentasi pada Sungai Jatiroto dalam analisa hidrolika menghasilkan nilai determinasi (R^2) sebesar 0,9586 yang tergolong dalam kategori sangat baik karena nilai mendekati 1, dengan nilai RMSE sebesar 0,39 yang memiliki standar error kategori kecil karena masuk dalam kisaran 0,0-1,0. Sedangkan pada analisis sedimentasi, hasil simulasi *software* HEC-RAS menggunakan fungsi pengangkutan *Laursen Field* menghasilkan laju sedimen sebesar 256,341 m³/tahun dengan nilai keandalan model sebesar 88 %.

5.2 Saran

Prediksi laju sedimentasi menggunakan HEC-RAS 5.0.7 ini masih menggunakan pendekatan 1 dimensi sehingga masih memiliki keterbatasan. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dapat dilakukan pemodelan menggunakan *software* *Surface Water Modelling System* (SMS), *software* SWAT (*Soil and Water Assesment Tool*) dan *software* lainnya. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat juga menganalisa penanganan yang tepat untuk masalah sedimentasi yang terjadi pada Sungai Jatiroto.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Ghani. N.A.A., Othman. N., Baharudin. M.K.H. 2012. *Study on Characteristics of Sediment and Sedimentation Rate at Sungai Lembing, Kuantan, Pahang* Precedia Engineering of Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology Part 3 - Civil and Chemical Engineering.
- Garde, R.J., Raju, K.G.R. 1985. *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. Second Edition. Wiley Eastern Limited, Roorkee. India.
- Haghiabi, A.H, and Zaredehdasht,E.,2012. *Evaluation of HEC-RAS Ability in Erosion and Sediment Transport Forecasting*. World Applied Science Jurnal. 17 (11). 1490-1497.
- Hambali,R.,Apriyanti,Y. 2016. *Studi Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng Kabupaten Bangka Barat*. Jurnal Fropil. Vol 4 Nomor 2.
- Hydrologic Engineering Center. 2010. *HEC-RAS River Analysis System, Applications Guide. Version 4.1*. January 2010. U. S. Army Cormps of Engineers, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center. 2010. *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. Version 4.1*. January 2010. U. S. Army Cormps of Engineers, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center. 2010. *HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 4.1*. January 2010. U. S. Army Cormps of Engineers, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center. 2016. *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual 5.0*. February 2016. U.S. Army Cormps of Engineers. Davis, CA.
- Irawan, S. T. 2014. *Analisis Pemodelan Sedimentasi di Saluran Kencong Timur (BEDODO) Menggunakan Program HEC-RAS*. Fakultas teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.

- Istiarto. 2014. *Simulasi Aliran 1- Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras Modul Pelatihan Simple Geometry River*. Yogyakarta.
- Mokonio,O.,Mananoma,T.,Tanudjaja,L.,Binilang,A. 2013. *Analisis Sedimentasi di Muara Sungai Saluwangko di Desa Tounelet Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa*. ISSN: 2337-6732. Jurnal Sipil Statik, Vol 1 Nomor 6.
- Ponce, V.M. 1989. *Engineering Hydrology. Principles and Practice*. Prentice-Hall Inc. New Jersey.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi dan Pengukuran Daerah Aliran Sungai (Hidrometri)* Nova. Bandung.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Wardhana,P,N. 2015. *Analisis Transpor Sedimen Sungai Opak dengan Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0*. ISSN 0853-8557 Jurnal Teknisia, Volume XX. No 1.

Lampiran 1. Tabel Kapasitas Massa Sedimen Akhir Simulasi

STA	01 jan 2019 (ton)
21000	206.838
20900	206.838
20800	282.2553
20700	340.9966
20600	340.9966
20500	340.9966
20400	340.9966
20300	340.9966
20200	358.8775
20100	305.7021
20000	305.7021
19900	305.7021
19800	305.7021
19700	305.7021
19600	305.7021
19500	305.7021
19400	305.7021
19300	305.7021
19200	305.7021
19100	305.7021
19000	305.7021

18900	305.7021
18800	305.7021
18700	315.4688
18600	315.4688
18500	311.2029
18400	310.92
18300	270.6789
18200	270.6789
18100	291.0494
18000	331.8602
17900	73.56815
17800	73.53873
17700	73.53873
17600	73.53873
17500	73.53873
17400	65.46549
17300	53.00925
17200	35.06886
17100	30.09428
17000	20.15688
16900	19.45195
16800	4.95595
16700	4.762953
16600	4.756068
16500	4.420702

16400	4.394462
16300	3.775805
16200	3.775805
16100	3.775805
16000	3.775805
15900	1.584428
15800	1.584428
15700	1.584428
15600	1.584428
15500	1.584428
15400	1.584428
15300	1.584428
15200	1.584428
15100	1.584428
15000	1.584428
14900	1.584428
14800	1.584428
14700	1.584428
14600	1.584428
14500	1.584428
14400	1.584428
14300	1.584428
14200	1.584428
14100	1.584428
14000	1.584428

13900	1.584428
13800	1.584428
13700	1.584428
13600	1.584428
13500	1.584428
13400	1.584428
13300	1.584428
13200	1.584428
13100	1.584428
13000	1.584428
12900	1.584428
12800	1.584428
12700	1.584428
12600	1.584428
12500	1.584428
12400	1.584428
12300	1.584428
12200	1.584428
12100	1.584428
12000	1.584428
11900	1.584428
11800	1.584428
11700	1.584428
11600	1.584428
11500	1.584428

11400	1.584428
11300	1.584428
11200	1.584428
11100	1.584428
11000	1.584428
10900	1.584428
10800	1.584428
10700	1.584428
10600	1.584428
10500	1.584428
10400	1.584428
10300	1.584428
10200	1.584428
10100	1.584428
10000	1.584428
9900	1.584428
9800	1.584428
9700	1.584428
9600	1.584428
9500	1.584428
9400	1.584428
9300	1.584428
9200	1.584428
9100	1.584428
9000	1.584428

8900	1.584428
8800	1.584428
8700	1.584428
8600	1.584428
8500	1.584428
8400	1.584428
8300	1.584428
8200	1.584428
8100	1.584428
8000	1.584428
7900	1.584428
7800	1.584428
7700	1.584428
7600	1.584428
7500	1.584428
7400	1.584428
7300	1.584428
7200	1.584428
7100	1.584428
7000	1.480397
6900	1.480397
6800	1.480397
6700	1.480397
6600	1.480397
6500	1.480397

6400	1.480397
6300	1.480397
6200	1.480397
6100	1.480397
6000	1.480397
5900	1.480397
5800	1.480397
5700	1.480397
5600	1.480397
5500	1.480397
5400	1.480397
5300	1.480397
5200	1.480397
5100	1.480397
5000	1.480397
4900	1.480397
4800	1.480397
4700	1.480397
4600	1.480397
4500	1.480397
4400	1.480397
4300	1.480397
4200	1.480397
4100	1.480397
4000	1.480397

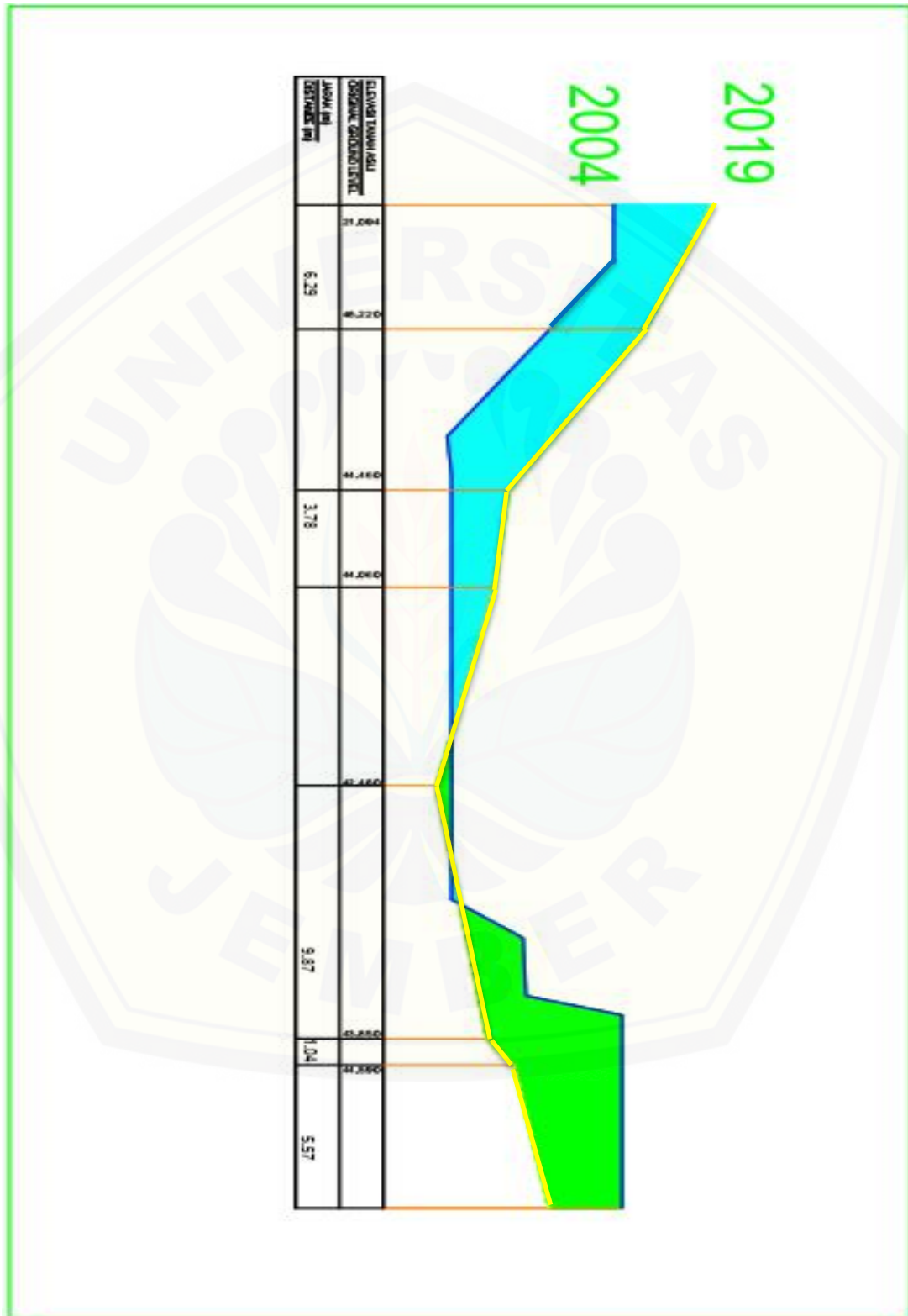
3900	1.480397
3800	1.480397
3700	1.480397
3600	1.480397
3500	1.480397
3400	1.480397
3300	1.480397
3200	1.480397
3100	1.480397
3000	1.480397
2900	1.480397
2800	1.480397
2700	1.480397
2600	1.480397
2500	1.480397
2400	1.480397
2300	1.480397
2200	1.480397
2100	1.480397
2000	1.480397
1900	1.480397
1800	1.480397
1700	1.480397
1600	1.480397
1500	1.480397

1400	1.480397
1300	1.480397
1200	1.480397
1100	1.480397
1000	1.480397
900	1.480397
800	1.48004
700	1.48004
600	1.48004
500	1.48004
400	1.48004
300	1.48004
200	1.48004
100	1.48004
0	1.48004

Lampiran 2 Tabel Perubahan Penampang Hasil Simulasi

STA	01 Januari 2018	01 januari 2019	Selisih	Ket
20900	23.8	23.79937	-0.00063	Degradasi
20800	23.40011	23.40237	0.00226	Agradasi
20300	22.60001	22.59696	-0.00305	Degradasi
20200	22.50003	22.51366	0.01363	Agradasi
18800	21.79991	21.79757	-0.00234	Degradasi
18600	21.59996	21.60105	0.00109	Agradasi
18500	21.49998	21.50005	7E-05	Agradasi
18400	21.49998	21.51211	0.01213	Agradasi
18200	21.40001	21.39905	-0.00096	Degradasi
18100	21.30003	21.29869	-0.00134	Degradasi
18000	21.30003	21.33166	0.03163	Agradasi
17900	21.10008	21.10009	1E-05	Agradasi
17500	21.10008	21.10189	0.00181	Agradasi
17400	21.10008	21.10261	0.00253	Agradasi
17300	21.10008	21.10266	0.00258	Agradasi
17200	21.10008	21.10071	0.00063	Agradasi
17100	20.00006	20.00203	0.00197	Agradasi
17000	20.49993	20.50007	0.00014	Agradasi
16900	20.00006	20.00209	0.00203	Agradasi
16800	20.00006	20.00009	3E-05	Agradasi
16600	20.00006	20.00012	6E-05	Agradasi
16500	20.00006	20.00007	1E-05	Agradasi
16400	20.00006	20.00017	0.00011	Agradasi
16000	21.10008	21.10069	0.00061	Agradasi
7100	14.55694	14.55695	1E-05	Agradasi
900	9.999878	9.999879	1E-06	Agradasi

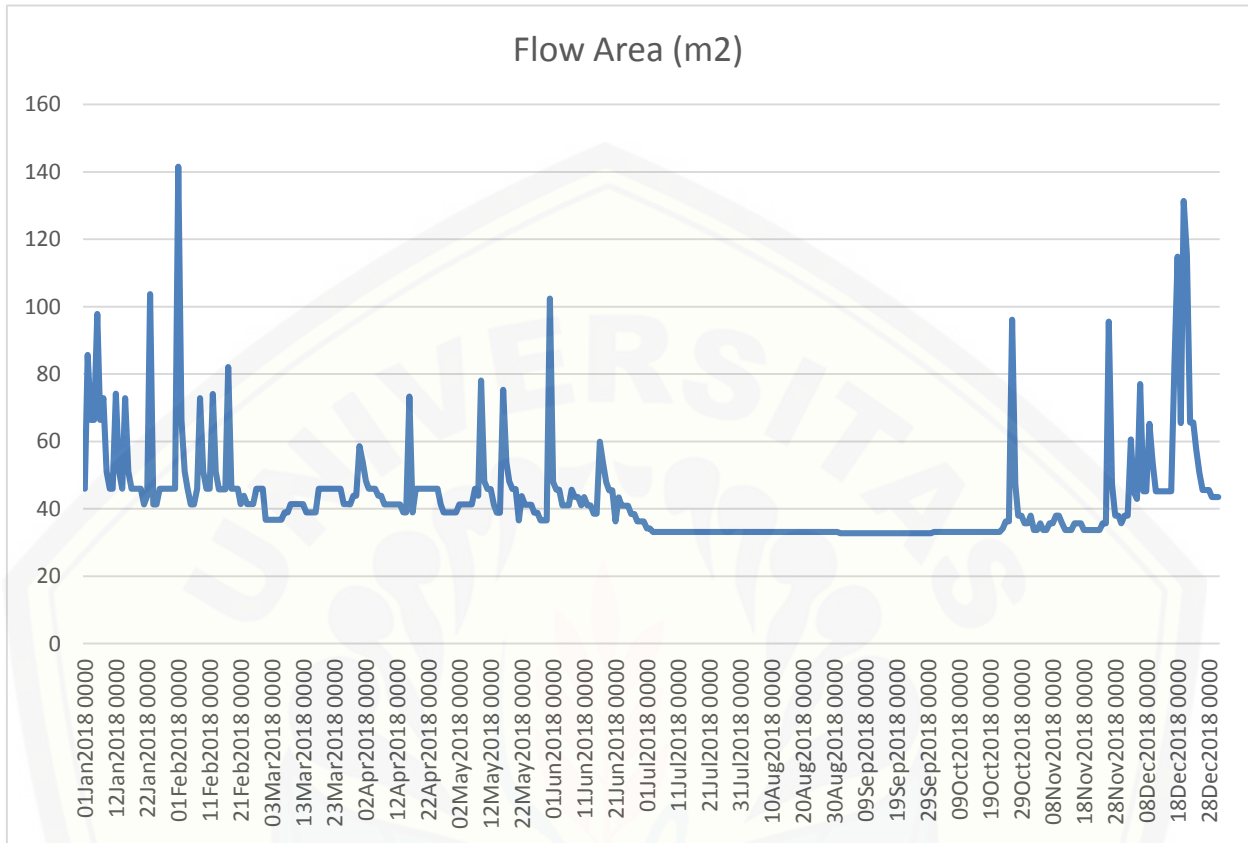
Lampiran 3 Perhitungan Penampang Melintang



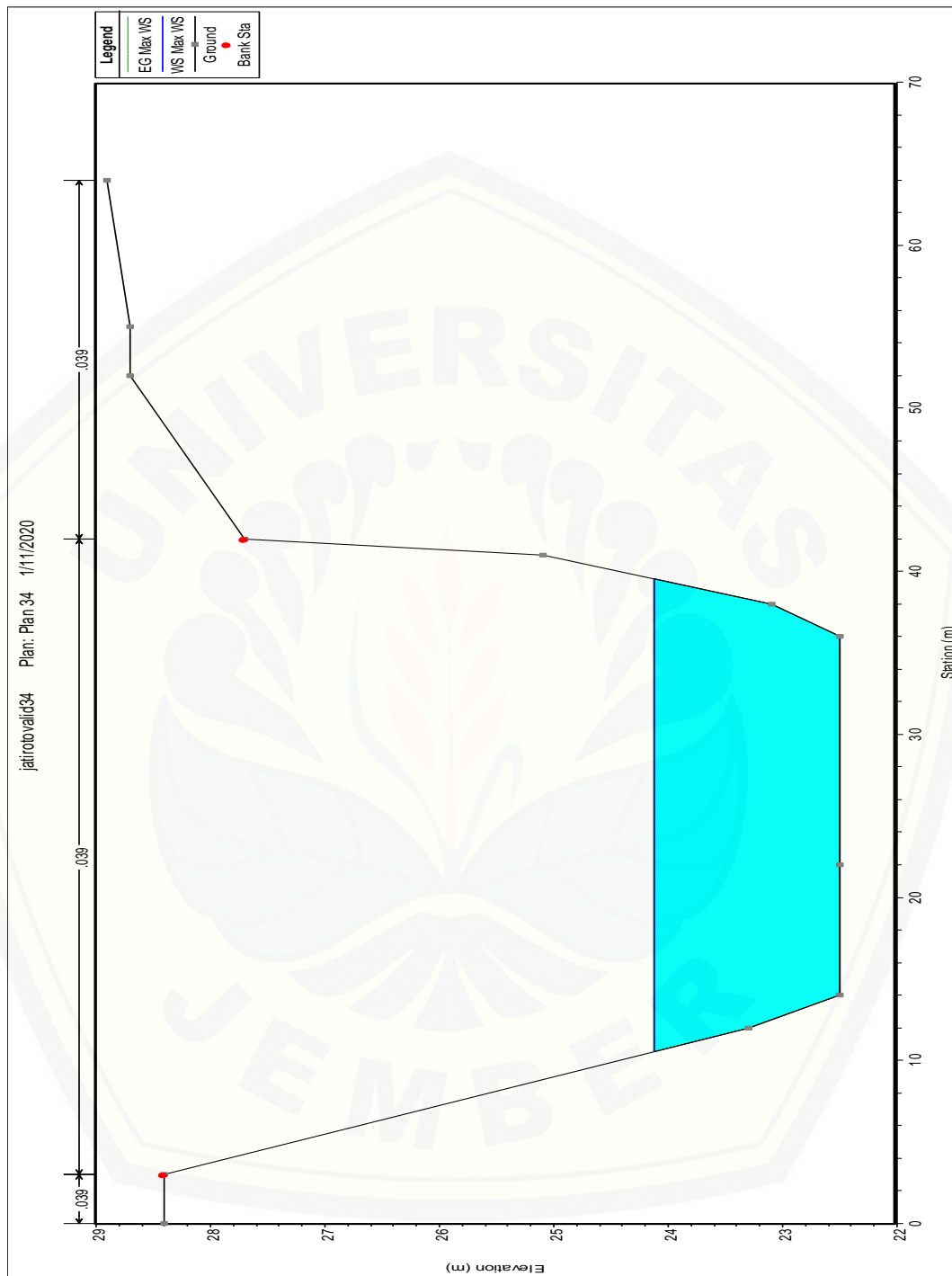
Lampiran 4 Lokasi terjadinya sedimentasi



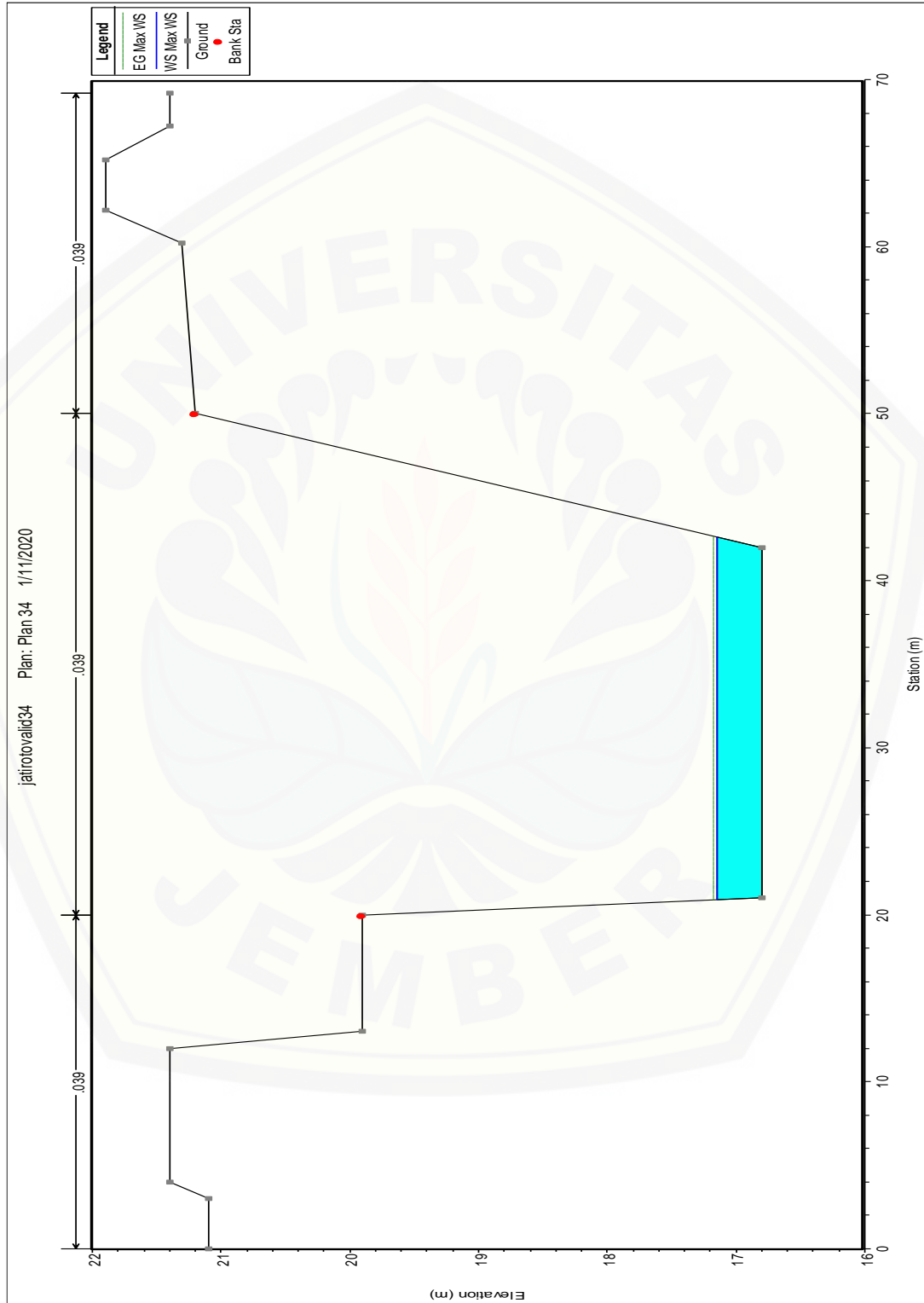
Lampiran 5 Grafik Debit Penampang 20,200



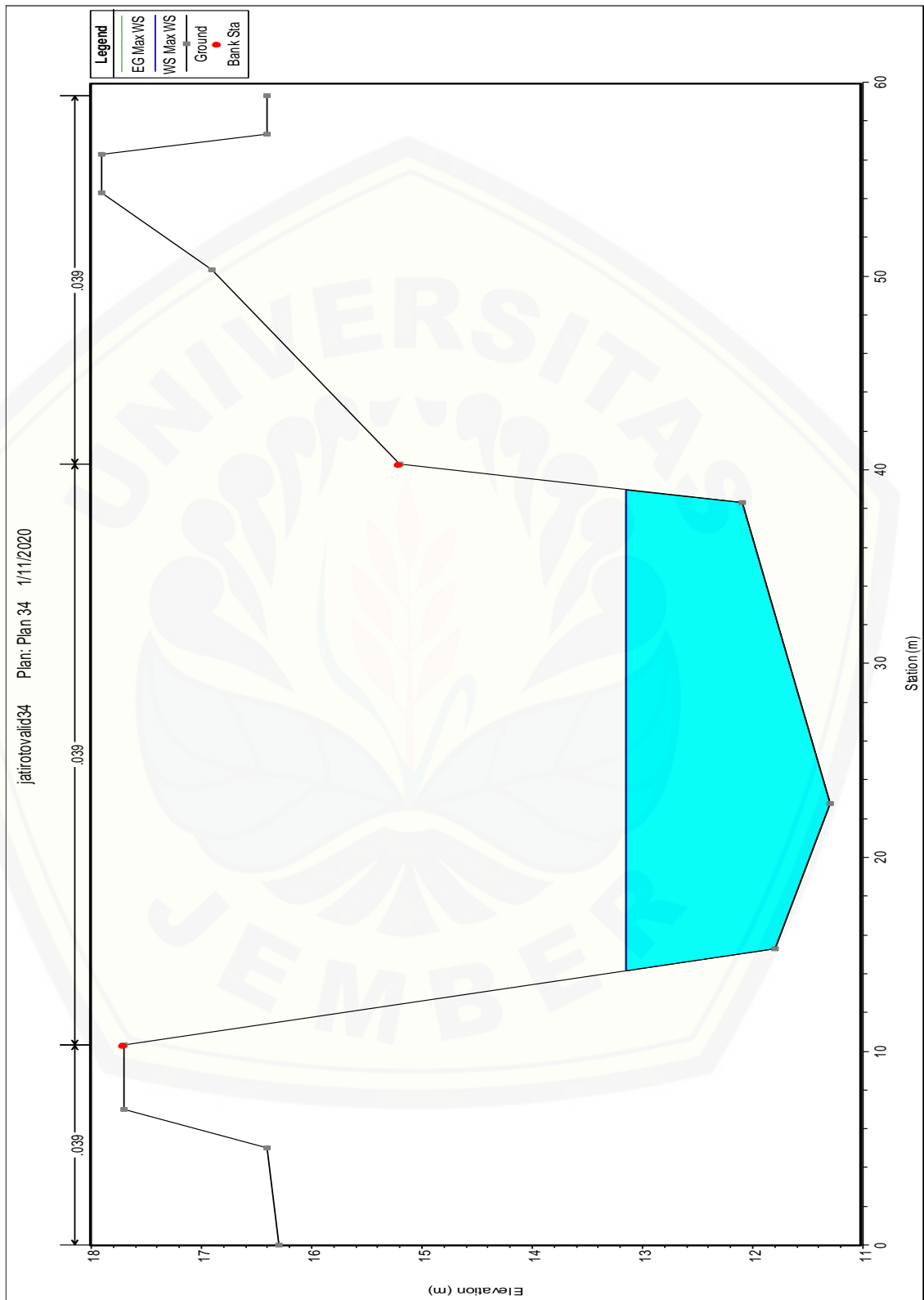
Lampiran 6 Profil Muka Air STA +20,200



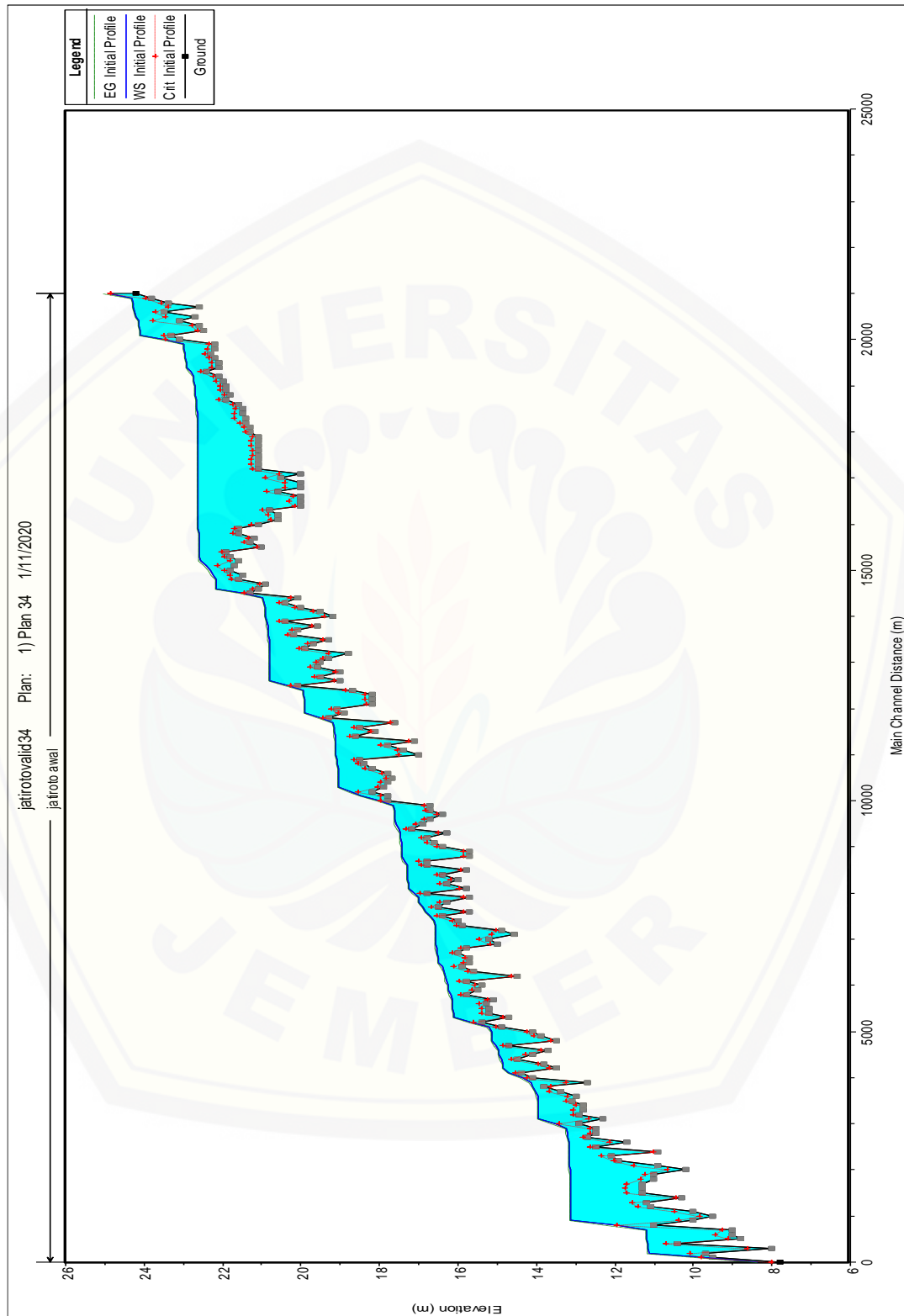
Lampiran 7 Profil Muka Air STA +8000



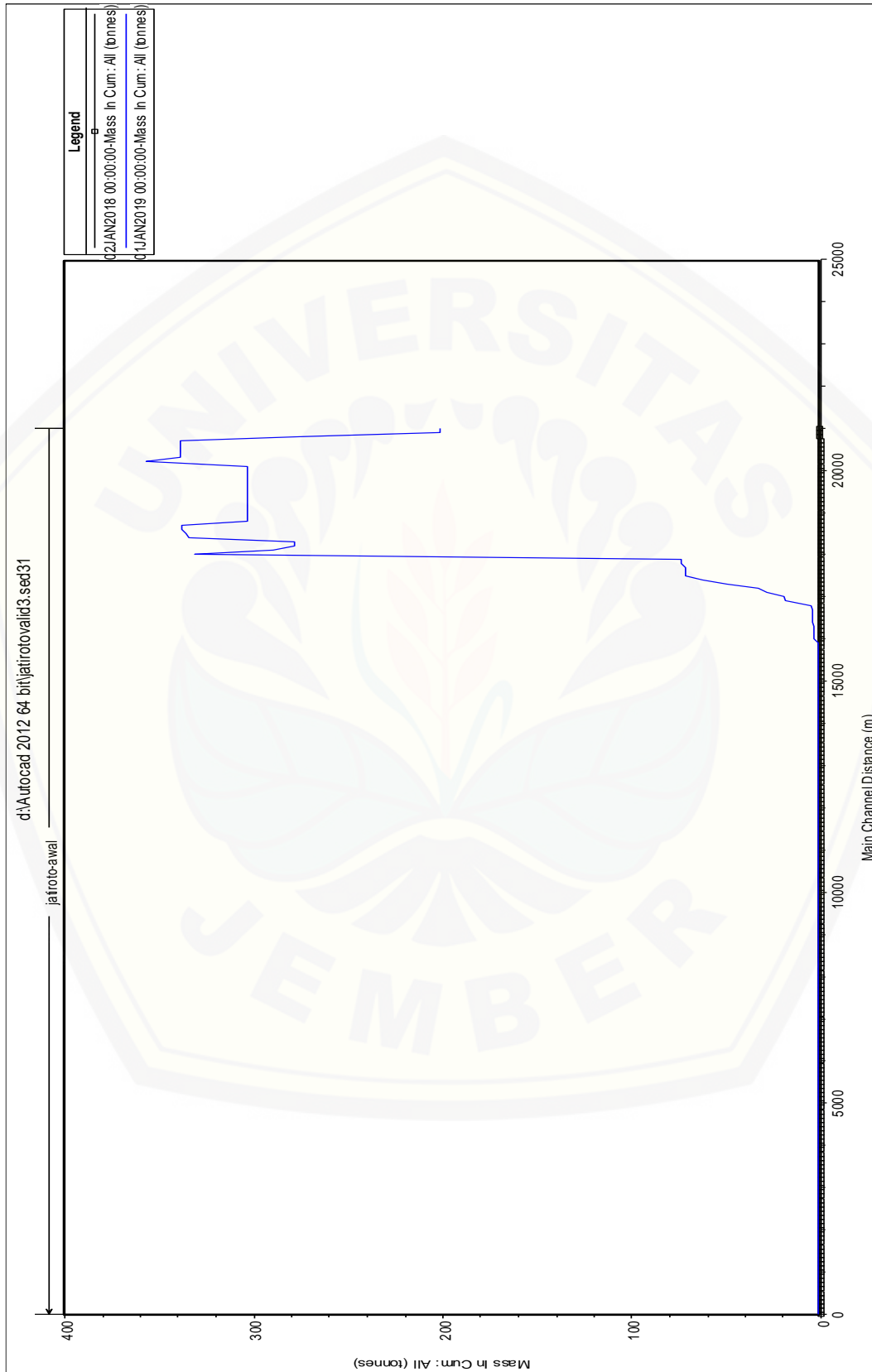
Lampiran 8 Profil Muka Air STA +1500



Lampiran 9 Profil Muka Air Memanjang



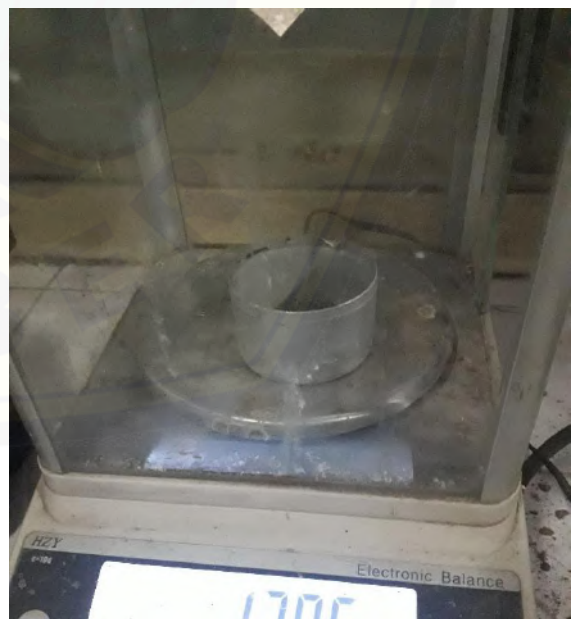
Lampiran 10 Mass In Cum



Lampiran 11 Survei Sungai Jatiroto



Lampiran 12 Laboratorium Mekanika Tanah



Lampiran 13 Profil Output Table

River Sta	Profile	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)
20200.0*	23SEP2018 0000	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0100	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0200	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0300	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0400	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0500	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0600	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0700	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0800	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 0900	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1000	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1100	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1200	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1300	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1400	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1500	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1600	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1700	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1800	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 1900	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 2000	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 2100	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74

20200.0*	23SEP2018 2200	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
20200.0*	23SEP2018 2300	22.5	24.07	24.07	0.00001	0.1	40.74
15000.0*	23SEP2018 0000	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0100	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0200	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0300	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0400	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0500	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0600	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0700	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0800	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 0900	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1000	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1100	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1200	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1300	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1400	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1500	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1600	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1700	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1800	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 1900	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 2000	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 2100	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
15000.0*	23SEP2018 2200	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34

15000.0*	23SEP2018 2300	21.8	22.28	22.29	0.000532	0.36	11.34
1500.00*	23SEP2018 0000	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0100	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0200	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0300	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0400	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0500	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0600	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0700	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0800	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 0900	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1000	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1100	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1200	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1300	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1400	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1500	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1600	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1700	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1800	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 1900	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 2000	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 2100	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 2200	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65
1500.00*	23SEP2018 2300	11.3	12.74	12.75	0.000036	0.16	25.65