



**PENANGANAN SEDIMENTASI PADA BENDUNG NGIPENG  
KABUPATEN TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN GROUNDSTALL**

**TUGAS AKHIR**

Oleh

**Jevanika Citra Permata  
NIM 141910301046**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**PENANGANAN SEDIMENTASI PADA BENDUNG NGIPENG  
KABUPATEN TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN GROUNDSTALL**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh

**Jevanika Citra Permata  
NIM 141910301046**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

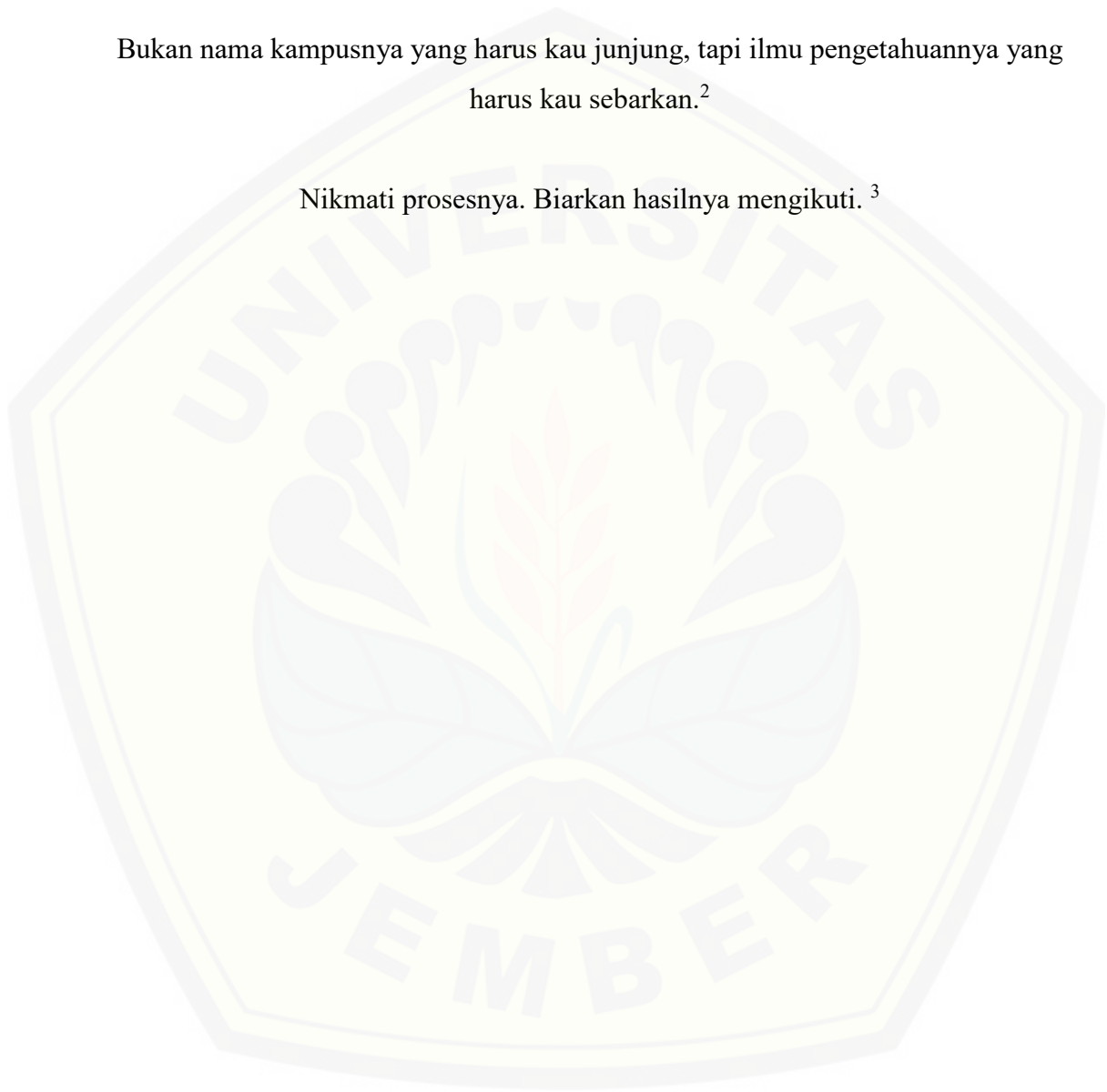
1. Orang Tua saya, Eviana Dyah dan Djoko Dwi yang selalu memberikan motivasi, doa, dan ridho;
2. Adik saya, Arga Dewanata yang selalu memberikan motivasi;
3. Keluarga Wisma Dewi Kunti: Nurfiana, Ana, Afifa dan Risa yang menjadi teman seperjuangan dan tempat berbagi suka duka semasa kuliah;
4. Sahabat saya Mbak Wina, Mbak Westi, Novi, Intan, Haq dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
5. Semua anggota UKMS Kolang Kaling, keluarga yang memberikan pengalaman berorganisasi dan berseni. Aksi Kreasi Berbudaya!;
6. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2014, yang memberikan cerita indah masa kuliah;
7. Teman-teman KKN UMD 95 Desa Mengen Bondowoso, yang menjadi pelengkap cerita indah masa kuliah;
8. Para guru dan dosen dari TK sampai Perguruan Tinggi yang memberikan ilmu yang sangat bermanfaat;
9. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik. Baja Beton Hidup Sipil!;
10. Almamaterku Universitas Jember;
11. Semua pihak yang turut berperan serta dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

## MOTTO

I believe in the religion of Islam. I believe in Allah and peace. <sup>1</sup>

Bukan nama kampusnya yang harus kau junjung, tapi ilmu pengetahuannya yang harus kau sebarkan. <sup>2</sup>

Nikmati prosesnya. Biarkan hasilnya mengikuti. <sup>3</sup>



---

<sup>1</sup> Muhammad Ali.

<sup>2</sup> Pipi Baiq.

<sup>3</sup> Jevanika Citra Permata.

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Jevanika Citra Permata

NIM : 141910301046

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

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

Jember, Maret 2018

Yang menyatakan,

Jevanika Citra Permata

NIM 141910301046

**TUGAS AKHIR**

**PENANGANAN SEDIMENTASI PADA BENDUNG NGIPENG  
KABUPATEN TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN GROUNDSTALL**

Oleh

**Jevanika Citra Permata**

**NIM 141910301046**

**Pembimbing**

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

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



## PENGESAHAN

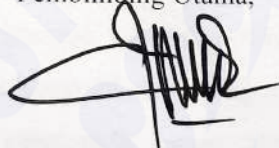
Tugas akhir berjudul “Penanganan Sedimentasi pada Bendung Ngipeng Kabupaten Tulungagung menggunakan *Groundsill*” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : 17 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Tim Penguji

Pembimbing Utama,



Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T.

NIP. 19710804 199803 1 002

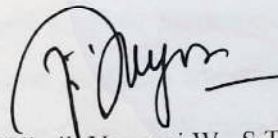
Pembimbing Anggota,



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

NRP. 760017219

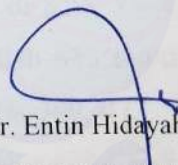
Penguji Utama,



Wiwik Yunarni W., S.T., M.T.

NIP 19700613 199802 2 001

Penguji Anggota,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP 19661215 199503 2 001

Mengesahkan

Di Fakultas Teknik,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Penanganan Sedimentasi pada Bendung Ngipeng Kabupaten Tulungagung menggunakan *Groundsill***; Jevanika Citra Permata, 141910301046; 2018; 84 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Bendung Ngipeng yang berada di Desa Wajak Kidul Kecamatan Boyolangu Kabupaten Tulungagung memiliki peranan penting bagi masyarakat sekitar sebagai penyedia air irigasi. Proses erosi yang terjadi di sepanjang sungai Kalidawir menyebabkan sedimentasi pada bendung ini. Penanganan sedimentasi diperlukan mengingat dampak yang ditimbulkan sangat besar yaitu perubahan penampang sungai, sehingga menyebabkan kurang optimalnya saluran irigasi. Upaya seperti penempatan *groundsill* pada titik lokasi, dimensi, dan jarak yang tepat perlu dilakukan untuk mengurangi masalah sedimen. Simulasi penempatan *groundsill* menggunakan software Hydraulic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS) dengan input data adalah debit aliran, geometri sungai dan gradasi butiran sedimen. Data analisis yang digunakan yaitu pada tahun 2017.

Hasil analisis menunjukkan volume sedimen di STA 3 – 6 adalah 571,91 ton/th dan volume sedimen observasi di STA 3 - 6 adalah 633 ton/th. Dari hasil simulasi penempatan *Groundsill* pada river station 13, 18, 26, 399, 472, 519, 524, 529.9, 529.3 dan 602, *groundsill* dengan tinggi 1,7 m dapat mengurangi sedimen sebesar 53.97 % dari kondisi tanpa *groundsill*.

Kata Kunci: bendung, sungai kalidawir, sedimentasi, *groundsill*, HEC-RAS



## SUMMARY

**Sedimentation Countermeasure of Ngipeng Weir in Tulungagung Regency by Using Groundsill;** Jevanika Citra Permata, 141910301046; 2018; 84 pages; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Ngipeng Weir in Tulungagung regency has benefits for the community as a provider of irrigation water. The erosion process from Kalidawir River causes sedimentation on this weir. Sediment countermeasure is needed because of the effect resulted changing the river cross section, in less optimal irrigation channels. Attempts such as proper groundsill placement at locations, dimensions, and distances need to be done to reduce sediment problems. The groundsill placement simulation using Hydraulic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS) software with data input is discharge, river geometry and gradation of sediment grains. Data analysis used in 2017.

The result of the analysis showed that sediment volume in river stations 3 to 6 was 571,91 ton/year and observation sediment volume in river stations 3 to 6 was 633 ton/year. The result of the groundsill simulation in river stations 13, 18, 26, 399, 472, 519, 524, 529.9, 529.3 and 602, groundsill with a height of 1.7 m can reduce the sediment by 53.97%.

Key Words: weir, kalidawir river, sedimentation, groundsill, HEC-RAS

## PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Penanganan Sedimentasi Pada Bendung Ngipeng Kabupaten Tulungagung Menggunakan Groundsill”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata 1 (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.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Ir. Henu Suyoso, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Retno Utami Agung W., S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan, meluangkan waktu dan pikiran dalam penulisan tugas akhir ini;
4. Wiwik Yunarni W., S.T., M.T., Ph.D, selaku Dosen Penguji Utama dan Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak memberikan saran dan pembelajaran untuk perbaikan tugas akhir ini;
5. Wiwik Yunarni W., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Willy Kriswardhana, S.T., M.T., dan Winda Wahyuningtyas, S.T., M.T., selaku Dosen Komisi Bimbingan Skripsi yang telah membantu segala birokrasi dan kelengkapan tugas akhir;
7. Seluruh Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan pelajaran selama perkuliahan;
8. Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini;
9. Semua pihak yang turut berperan serta dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Jember, 30 Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ix</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Analisis Hidrolika</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Persamaan Aliran Permanen .....	4
2.1.2 Persamaan Aliran Tak Permanen .....	8
<b>2.2. Sedimentasi</b> .....	<b>10</b>
2.2.1 Analisis Sedimen .....	10
2.2.2 Pemodelan Angkutan Sedimentasi .....	11
2.2.3 Persamaan Angkutan Sedimentasi .....	15
<b>2.3. Uji Keandalan</b> .....	<b>18</b>
2.3.1 $R^2$ (Koefisien Determinasi) .....	18
2.3.2 RMSE ( <i>Root Mean Square Errors</i> ) .....	18
2.3.3 NSE ( <i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i> ) .....	19
<b>2.4. Groundsill</b> .....	<b>19</b>

2.4.1 Definisi dan Fungsi <i>Groundsill</i> .....	19
2.4.2 Tipe dan Bentuk <i>Groundsill</i> .....	19
2.4.3 Desain <i>Groundsill</i> .....	20
<b>2.5. Software HEC-RAS.....</b>	<b>21</b>
2.5.1 <i>Graphical User Interface</i> .....	21
2.5.2 Analisis Hidrolika.....	22
2.5.3 Penyimpanan Data dan Manajemen Data.....	22
2.5.4 Grafik dan Pelaporan .....	22
<b>2.6. Penelitian Terdahulu .....</b>	<b>22</b>
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Lokasi Penelitian .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Langkah-Langkah Penelitian .....</b>	<b>25</b>
3.3.1 Survei Pendahuluan .....	25
3.4.2 Studi Literatur .....	25
3.4.3 Pengumpulan Data .....	25
3.4.4 Pengolahan Data .....	26
3.4.4 Kesimpulan .....	26
<b>3.4. Diagram Alur Penelitian .....</b>	<b>27</b>
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Analisis Hidrolika dengan Software HEC-RAS .....</b>	<b>29</b>
4.1.1 Input Data Geometri Sungai .....	29
4.1.2 Input Data Debit .....	31
<b>4.2. Hasil Analisis Hidrolika .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3. Analisis Data Sedimen .....</b>	<b>36</b>
4.3.1 Analisis Saringan .....	36
4.3.2 Input Data Sedimen .....	37
<b>4.4. Hasil Analisis Sedimen .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5. Input Data <i>Groundsill</i> .....</b>	<b>45</b>
<b>4.6. Hasil Simulasi Penempatan <i>Groundsill</i> .....</b>	<b>46</b>
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Persentase Korelasi <i>Bed Load</i> .....	12
Tabel 2.2. Klasifikasi Ukuran Butiran Material Sedimen.....	13
Tabel 2.3. Jangkauan Nilai Input untuk Fungsi Pengangkutan Sedimen.....	14
Tabel 2.4. Kategori Nilai Efisiensi Model dengan NSE.....	19
Tabel 4.1. Nilai Koefisien Kontraksi dan Ekspansi.....	32
Tabel 4.2. Tinggi Muka Air Model.....	32
Tabel 4.3. Perbandingan Antara Hasil Model dengan Observasi.....	33
Tabel 4.4. Analisis Saringan.....	36
Tabel 4.5. Pemilihan Persamaan Transport Sedimen.....	39
Tabel 4.6. Input Gradasi Sedimen.....	41
Tabel 4.7. Agradasi dan Degradasi pada Penampang Sungai.....	43
Tabel 4.8. Hasil Pemodelan Sedimen STA 3 – STA 6.....	43
Tabel 4.9. Lokasi Penempatan <i>Groundsill</i> .....	44
Tabel 4.10. Perubahan Volume Setelah Simulasi Penempatan <i>Groundsill</i> .....	46
Tabel 4.11. Perubahan Penampang Setelah Simulasi Penempatan <i>Groundsill</i>	46



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Hidrolika Penampang Trapesium.....	3
Gambar 2.2. Diagram Aliran Berubah Beraturan .....	5
Gambar 2.3. Pembagian Tampang Untuk Keperluan Hitungan Kapasitas Angkut.....	6
Gambar 2.4. Hitungan Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata Suatu Tampang .....	7
Gambar 2.5. Aliran Melalui Alur Utama dan Bantaran .....	9
Gambar 2.6. Bangunan <i>Groundsill</i> .....	20
Gambar 2.7. Tampang Melintang Bangunan <i>Groundsill</i> .....	20
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian .....	24
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 4.1. Tampilan Utama <i>Software</i> HEC-RAS .....	29
Gambar 4.2. Tampilan <i>Input Cross Section Data Software</i> HEC-RAS.....	30
Gambar 4.3. Tampilan <i>Geometric Data Software</i> HEC-RAS .....	31
Gambar 4.4. Tampilan <i>Input Unsteady Flow Data Software</i> HEC-RAS .....	31
Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Nilai Manning Tinggi Muka Air Model dan Observasi.....	32
Gambar 4.6. Grafik Perbandingan $R^2$ Antara Tinggi Muka Air Model dan Observasi.....	34
Gambar 4.7. Grafik Perbandingan $R^2$ Antara Debit Muka Air Model dan Observasi.....	34
Gambar 4.8. Grafik Gradasi Sedimen.....	36
Gambar 4.9. Tampilan <i>Quasi-Unsteady Flow Editor Software</i> HEC-RAS.....	37
Gambar 4.10. Tampilan <i>Hidrograph Plot Flow Seris Data Software</i> HEC-RAS .....	37
Gambar 4.11. Tampilan <i>Sediment Data Software</i> HEC-RAS.....	38
Gambar 4.12. Skema <i>Sorting</i> dan <i>Armoring Thomas software</i> HEC-RAS .....	40
Gambar 4.13. Tampilan Pengisian <i>Bed Gradation Software</i> HEC-RAS.....	41
Gambar 4.14. Tampilan Pengisian <i>Boundary Conditions Software</i> HEC-RAS	42
Gambar 4.16. Tampilan <i>inline structure weir station elevation editor Software</i> HEC-RAS .....	46



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Siklus hidrologi menggambarkan fenomena alam yang menghubungkan antara erosi, sedimentasi dan limpasan. Faktor siklus hidrologi yang mempunyai peranan penting dalam proses tersebut adalah hujan, kondisi tanah dan vegetasi. (Wilson dkk, 1993)

Salah satu dampak dari proses erosi adalah sedimentasi pada sungai. Sedimen tersebut akan mengendap di tempat tertentu pada sungai ketika aliran tidak mampu mempercepat dorongan sedimen. Apabila sedimentasi terjadi secara terus-menerus, akan menyebabkan pendangkalan yang berpengaruh terhadap perubahan morfologi sungai dan bangunan air lainnya sehingga menurunkan kapasitas pengaliran sungai. Sedimen yang terdapat di saluran menyebabkan berkurangnya lebar saluran dan perubahan dimensi saluran serta dapat mempengaruhi energi spesifik penampang saluran, sehingga secara tidak langsung dapat mengakibatkan kurang optimal saluran irigasi. (Wirosoedarmo dkk, 2011).

Penanganan yang dilakukan untuk mengurangi sedimen salah satunya adalah penempatan *groundsill*. *Groundsill* merupakan suatu bangunan ambang yang dibangun melintang sungai yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran yang menimbulkan gerusan terhadap formasi material dasar sungai. (Peliang dkk, 2016).

Bangunan air yang mengalami masalah sedimentasi yaitu pada Bendung Ngipeng yang berlokasi di Kabupaten Tulungagung, tepatnya di Desa Wajak Kidul Kecamatan Boyolangu Kabupaten Tulungagung. Bendung ini mempunyai peranan penting bagi masyarakat sekitar yaitu sebagai penyedia air irigasi.

Pada tahun 2017 telah dilakukan perbaikan Bendung Ngipeng dengan desain yang sama seperti tahun sebelumnya. Namun, dengan potensi sedimen yang semakin besar, maka diperlukan alternatif penanganan yang tepat agar sedimentasi pada Bendung Ngipeng dapat berkurang.

Berdasarkan uraian di atas dapat dinyatakan bahwa potensi sedimen akibat erosi di Bendung Ngipeng semakin besar, maka perlu dilakukan penanganan sedimentasi pada Bendung Ngipeng menggunakan *groundsill*. *Software* bantu

yang digunakan adalah *software Hydraulic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS)*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Berapa besar volume sedimen Bendung Ngipeng tahun 2017?
- b. Bagaimana efektivitas *groundsill* untuk penanganan sedimentasi Bendung Ngipeng?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui besar volume sedimen Bendung Ngipeng tahun 2017.
- b. Mengetahui efektivitas *groundsill* untuk menangani permasalahan sedimentasi pada Bendung Ngipeng.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh beberapa instansi terkait, seperti: Dinas Pengairan, Balai Besar Wilayah Sungai Brantas sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk penanganan sedimentasi di Bendung Ngipeng.

## 1.5 Batasan Masalah

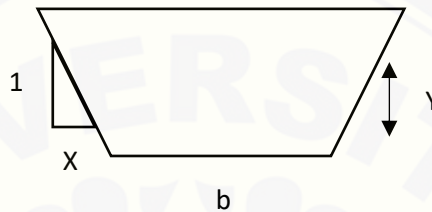
Batasan masalah pada penelitian ini adalah tidak membahas perencanaan struktur, material struktur, stabilitas struktur, dan biaya pembangunan struktur *groundsill*.

**BAB 2. LANDASAN TEORI**

**2.1. Analisis Hidrolika**

Data Bendung Ngipeng diperlukan dalam memasukkan *geometry data* pada *software* HEC-RAS. Data tersebut meliputi data potongan melintang dan memanjang sungai, data bendung dan data geometri sungai.

Perhitungan hidrolika dasar suatu penampang trapesium (digunakan persamaan berikut :



Gambar 2.1. Hidrolika Penampang Trapesium

$$Q = \frac{V}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

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

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b+xy)y}{b+2y\sqrt{x^2+1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

- $Q$  = debit aliran (m<sup>3</sup>/detik)
- $V$  = kecepatan aliran (m/detik)
- $A$  = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)
- $R$  = jari-jari hidrolis (m)
- $S$  = kemiringan
- $P$  = keliling basah (m)
- $n$  = koefisien Manning
- $b$  = lebar dasar penampang saluran (m)
- $x$  = kemiringan tebing penampang
- $y$  = kedalaman basah (m)

Untuk saluran lebar sekali di mana  $b > 6y$  besar  $R$  (jari-jari hidrolis) sama dengan  $y$  (kedalaman basah).

Saluran terbuka menurut asalnya dapat dibedakan menjadi saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Saluran alam meliputi semua alur air yang terdapat secara alami di bumi, mulai dari anak sungai di pegunungan, sungai besar sampai dengan muara sungai. Sementara itu, saluran buatan dibentuk oleh manusia, seperti saluran banjir, dan saluran irigasi.

Hitungan hidraulika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur dan kedalaman aliran di batas hilir. Hitungan hidraulika aliran di dalam HEC-RAS dilakukan dengan membagi aliran ke dalam dua kategori, yaitu aliran permanen dan aliran tak permanen. HEC-RAS menggunakan metode hitungan yang berbeda untuk masing-masing kategori aliran tersebut. Aliran saluran terbuka diklasifikasikan menjadi dua yaitu aliran permanen dan tidak permanen.

#### 2.1.1.1. Persamaan Aliran Permanen (*Steady Flow*)

##### a. Persamaan energi

Muka air dihitung dengan memakai persamaan energi yang diselesaikan dengan metode yang dikenal sebagai *standard step method*. Persamaan energi antara dua tampang lintang dituliskan dalam bentuk berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

$Y_1, Y_2$  = kedalaman aliran

$Z_1, Z_2$  = elevasi dasar saluran

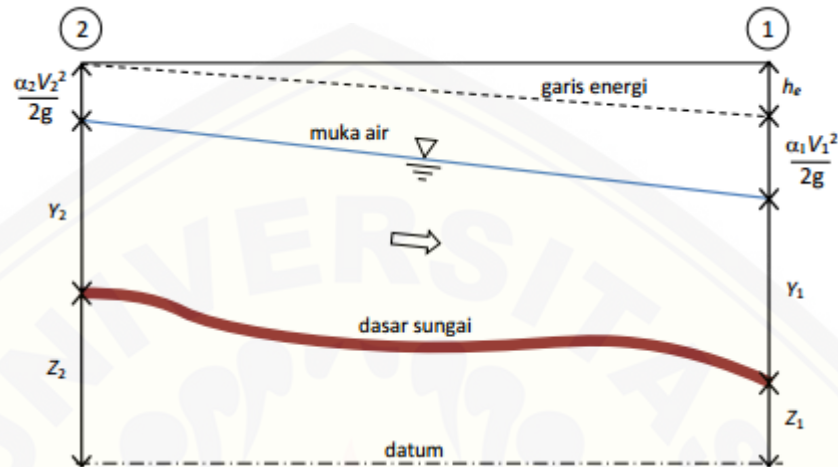
$V_1, V_2$  = kecepatan rata-rata (debit dibagi luas tampang basah)

$\alpha_1, \alpha_2$  = koefisien

$g$  = percepatan gravitasi

$h_e$  = kehilangan tinggi energy

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



Gambar 2.2. Diagram Aliran Berubah Beraturan  
(Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016 b)

b. Kehilangan tinggi energi

Kehilangan (tinggi) energi,  $h_e$ , di antara dua tampang lintang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*). Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

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

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

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



Panjang ruas sungai antar dua tampang yang diberi bobot sesuai dengan debit,  $L$ , dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{L_{lab}\bar{Q}_{lab} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rab}\bar{Q}_{rab}}{\bar{Q}_{lab} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rab}} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan:

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

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

c. Kapasitas angkut tampang

Kapasitas angkut dan kecepatan rata-rata di suatu tampang dihitung dengan membagi tampang menjadi beberapa bagian, dan di setiap bagian kecepatan terbagi merata. Satu nilai koefisien *Manning n* ditetapkan di setiap bagian tampang tersebut. Di setiap bagian tampang, kapasitas angkut dihitung dengan memakai persamaan *Manning* berikut:

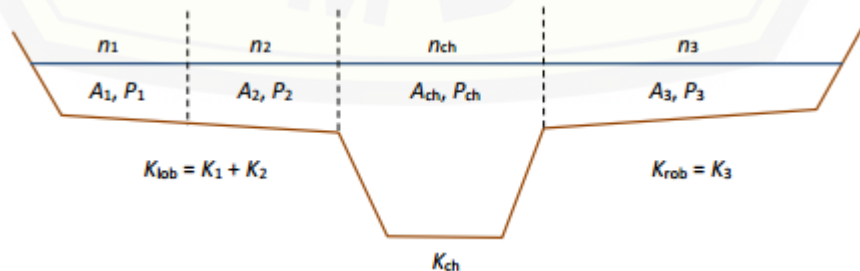
$$Q = K\bar{S}_f^{1/2} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$K = \frac{1}{n}AR^{2/3} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

- $K$  = kapasitas angkut tiap bagian tampang
- $n$  = koefisien kekasaran *Manning* tiap bagian tampang
- $A$  = luas tampang basah tiap bagian tampang
- $R$  = radius hidrolis tiap bagian tampang

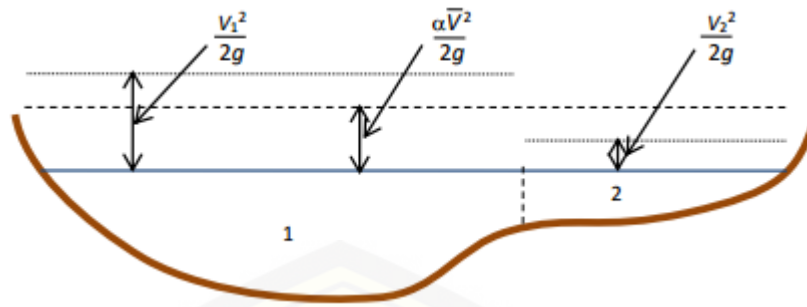
Kapasitas angkut total suatu tampang adalah jumlah kapasitas angkut seluruh bagian tampang, seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pembagian Tampang Untuk Keperluan Hitungan Kapasitas Angkut (Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016 b)



d. Tinggi energi kinetik rata-rata



Gambar 2.4. Hitungan Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata Suatu Tampang  
(Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016)

Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata, diperlukan koefisien tinggi kecepatan,  $\alpha$ , yang dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan demikian :

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

atau pada umumnya:

$$\alpha = \frac{|Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2|}{Q \bar{V}^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

e. Tinggi hilang karena gesekan

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

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

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

Kapasitas angkut rata-rata:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

*Friction slope* rata-rata:

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} \times S_{f2}}{2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Friction slope rata-rata geometrik:

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Friction slope rata-rata harmonik:

$$\bar{S}_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}} \dots\dots\dots(2.16)$$

f. Koefisien persempitan dan pelebaran tampang

Koefisien kehilangan energi karena kontraksi dan ekspansi dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan:

C = koefisien kontraksi atau ekspansi

2.1.2. Persamaan Aliran Tak Permanen (*Unsteady Flow*)

a. Persamaan dasar

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

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \dots\dots\dots(2.18)$$

Persamaan momentum:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan:

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

Q = debit aliran

Q<sub>l</sub> = 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

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^2} \dots \dots \dots (2.20)$$

dengan:

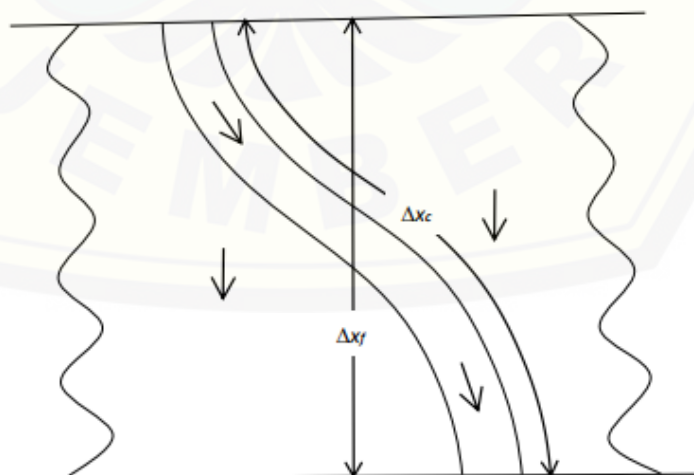
$n$  = koefisien kekasaran Manning

$R$  = radius hidrolis

b. Penerapan persamaan aliran tak permanen

HEC-RAS membagi alur saluran menjadi tiga bagian, yaitu bantaran kiri, alur utama, dan bantaran kanan seperti diilustrasikan pada gambar 2.5 cara HEC-RAS memodelkan aliran di bantaran didasarkan pada metode yang awalnya dikembangkan oleh Fread (1976) dan Smith (1978), yang kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Barkau (1982).

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



Gambar 2.5. Aliran Melalui Alur Utama dan Bantaran  
(Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016 b)

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

$$Q_c = \phi Q \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan:

$Q_c$  = debit aliran melalui alur utama (*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:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)^2 Q^2 / A_f]}{\partial x_f} + g A_c \left( \frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) + g A_f \left( \frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right) = 0 \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

c = mengacu pada alur utama

f = mengacu pada bantaran

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

**2.2. Sedimentasi**

**2.2.1 Analisis Sedimentasi**

Sedimentasi adalah proses pengendapan suatu metarial yang terbawa aliran air sungai dan dapat mengakibatkan terjadinya delta sungai. Sedimentasi ini meliputi proses pelapukan, erosi, transportasi dan deposisi (pengerasan) yang terjadi pada suatu wilayah aliran sungai. Batuan yang terbentuk karena proses sedimentasi sungai adalah sedimen.

Delta sungai yang terbentuk karena proses sedimentasi tersebut dapat mengurangi debit air yang terbawa, sehingga kebutuhan irigasi didaerah hilir tidak

bisa terpenuhi secara maksimal. Karakteristik sedimentasi di hilir terjadi perlahan dan berlangsung menerus selama suplai muatan sedimen yang tinggi berlangsung. Laju sedimentasi dapat berubah apabila ada perubahan kondisi lingkungan di daerah aliran sungai. Pembukaan lahan yang meningkatkan erosi permukaan dapat meningkatkan laju sedimentasi, sebaliknya pembangunan atau pengalihan aliran sungai dapat merubah kondisi sedimentasi menjadi kondisi erosional atau normal.

Sedimen sendiri dapat dibedakan berdasarkan asal angkutannya dan mekanisme pengangkutannya pada sungai dibagi menjadi dua berdasarkan asalnya yaitu:

- a. Angkutan sedimen dasar (*bed material transport*) yaitu materialnya berasal dari saluran sendiri. Angkutan sedimen ini dapat berupa bedload dan suspended load.
- b. Muatan hanyutan (*wash load transport*) yaitu materialnya datang dari sumber-sumber luar saluran merupakan akibat dari erosi di hulu. Pada umumnya angkutan wash load merupakan suspended load.

Mekanisme angkutan sedimen dapat berupa partikelnya bergeser melayang dalam air yang terbawa aliran disebut *suspended load* atau muatan melayang, sedangkan bila sedimen dimana gerakan partikelnya menggelinding, bergeser dan berlompotan disebut *bed load* atau muatan dasar.

### 2.2.2 Pemodelan Angkutan Sedimentasi

Pemodelan angkutan sedimentasi menggunakan software HEC-RAS 5.0.3. Secara umum persamaan angkutan sedimentasi adalah sebagai fungsi berikut ini,

$$g_{si} = f(D, V, S, B, d, \rho, \rho_s, S_f, d_i, p_i, T) \dots \dots \dots (2.24)$$

dengan :

$g_{si}$  = Laju angkutan sedimentasi pada kelompok butiran i

D = Kedalaman aliran

V = Kecepatan aliran rata-rata

S = Kemiringan energy

B = Lebar efektif sungai

d = Ukuran diameter butiran yang mewakili

$\rho$  = Kerapatan air

$\rho_s$  = Kerapatan partikel sedimen



$S_f$  = Faktor bentuk partikel sedimen

$d_i$  = Diameter rata-rata geometri partikel dalam ukuran kelas ke-i

$\rho_i$  = Fraksi ukuran partikel kelas ke-I di dasar sungai

T = Suhu air

Debit sedimen dasar (*bed load*) ditentukan berdasarkan hasil pengukuran sedimen layang (*suspended load*) dengan ketentuan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1. Persentase Korelasi *Bed Load*

Konsentrasi sedimen suspense (ppm)	Jenis material dasar sungai	Texture sedimen suspensi	Persentase <i>bed load</i> terhadap sedimen suspensi
< 1000 ppm	Sand	Sama dengan material dasar	25 - 150
< 1000 ppm	Gravel, rock atau consolidated clay	Terdapat sedikit sand	5 - 12
1000 - 7500	Sand	Sama dengan material dasar	10 - 22
1000 - 7500	Gravel, rock atau consolidated clay	25% sand atau kurang	5 - 12
> 7500	Sand	Sama dengan material dasar	5 - 15
> 7500	Gravel, rock atau consolidated clay	25% sand atau kurang	2 - 8

(Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016 b)

Kapasitas pengangkutan ditentukan untuk setiap ukuran butir mewakili ukuran butiran tertentu yang membentuk 100% dari material dasar. Kapasitas pengangkutan untuk kelompok ukuran tertentu tersebut kemudian dikalikan dengan pecahan dari total sedimen yang mewakili ukuran tertentu tersebut.

Kapasitas pengangkutan untuk ukuran butir tertentu tersebut kemudian dijumlahkan dengan ukuran butiran lain untuk menjadi kapasitas pengangkutan sedimen total.



Ukuran kelas angka standar berdasarkan pada skala klasifikasi *American Geophysical Union* (AGU) yang ditunjukkan pada tabel 2.2:

Tabel 2.2. Klasifikasi Ukuran Butiran Material Sedimen

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

(Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016 b)

Hasil perhitungan pengangkutan sedimen rerata sangat sensitif terhadap distribusi ukuran butir, terutama untuk butiran halus.

Tabel 2.3. Jangkauan Nilai Input untuk Fungsi Pengangkutan Sedimen

Function	d	d <sub>m</sub>	s	V	D	S	W	T
Ackers- White (flume)	0,04 – 7,0	NA	1,0 – 2,7	0,07 – 7,1	0,01 – 1,4	0,00006 – 0,037	0,23 – 4,0	46 – 89
Englund- 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 – 9,5	0,03 – 3,6	0,00025 – 0,0025	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 – 56,7 (R)	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 – 1,1 (R)	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 – 0,720	0,0012 – 0,029	0,44 – 1750	32 – 94

(Sumber: US Army Corps of Engineers, 2016 b)

Keterangan notasi pada tabel adalah sebagai berikut :

d : Diameter partikel keseluruhan, mm

d<sub>m</sub> : Diameter partikel rata-rata, mms : Berat jenis sedimen, g/cm<sup>3</sup>

- V : Kecepatan aliran rata-rata, fps  
 D : Kedalaman aliran, m  
 S : Kemiringan garis energy  
 W : Lebar saluran, ft  
 T : Suhu air, °F  
 R : Jari-jari hidrolis, ft  
 NA : Data tidak tersedia

### 2.2.3 Persamaan Angkutan Sedimentasi

#### a. Ackers - White (1973)

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

$$X = \frac{G_{gr} s d_s}{D \cdot \left(\frac{u_*}{V}\right)^n} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1\right) \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan:

- X = konsentrasi sedimen  
 $G_{gr}$  = parameter transport sedimen  
 s = *specific gravity* sedimen  
 $d_s$  = nilai tengah diameter partikel  
 D = kedalaman efektif  
 $u_*$  = kecepatan geser  
 V = kecepatan saluran rata-rata  
 n = *transition exponent*, tergantung ukuran sedimen  
 C = koefisien  
 $F_{gr}$  = parameter angkutan sedimen  
 A = parameter angkutan sedimen kritis

b. *Englund - Hansen (1972)*

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

$$g_s = 0,05 \gamma_s V \sqrt{\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right)}} \left[ \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} \right] \dots \dots \dots (2.27)$$

dengan:

- $g_s$  = unit sediment transport
- $\gamma$  = berat jenis air
- $\gamma_s$  = berat jenis sedimen
- $V$  = kecepatan rata-rata saluran
- $\tau_0$  = tegangan geser dasar
- $d_{50}$  = ukuran partikel  $\leq 50\%$

c. *Laursen / Copeland (1952)*

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

$$Cm = 0,01 \gamma \left(\frac{ds}{D}\right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1\right) f\left(\frac{U_*}{\omega}\right) \dots \dots \dots (2.28)$$

- $Cm$  = konsentrasi aliran sedimen
- $\gamma$  = berat jenis air
- $ds$  = nilai tengah diameter partikel
- $D$  = kedalaman efektif
- $\tau_0$  = tegangan geser dasar
- $\tau_c$  = tegangan geser dasar kritis
- $f\left(\frac{U_*}{\omega}\right)$  = fungsi dari rasio kecepatan geser dan kecepatan jatuh

d. *Meyer – Peter Muller (1948)*

Persamaan ini banyak digunakan untuk perhitungan transport sedimen sungai dengan material sedimen berbutir kasar dengan ukuran partikel antara 0.4 sampai 29 mm dan *specific gravity* 1.25.

$$\frac{k_r}{k'_r}^{3/2} \gamma R S 0.047 (\gamma_s - \gamma) d_m + 0.25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s}\right)^{2/3} g_s^{2/3} \dots \dots \dots (2.29)$$

dengan:

$g_s^{2/3}$  = unit sediment transport rate dalam berat/waktu/lebar

$k_r$  = koefisien kekasaran

$k'_r$  = koefisien kekasaran berdasarkan butiran

$\gamma$  = berat jenis air

$\gamma_s$  = berat jenis sedimen

$g$  = percepatan gravitasi

$d_m$  = nilai tengah diameter partikel

$R$  = radius hidrolis

$S$  = gradien energi

e. *Toffaleti (1958)*

*Toffaleti* adalah modifikasi dari persamaan *Einstein* dimana distribusi sedimen layang (*suspended load*) dibagi dalam beberapa zona vertikal untuk menggambarkan pergerakan sedimen secara 2 dimensi. Persamaannya adalah sebagai berikut:

Zona rendah:

$$g_{ssL} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-0,756z}}{1+n_v-0,756z} \dots\dots\dots (2.30)$$

Zona tengah:

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left[ \left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-z} - \left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-z} \right]}{1+n_v-z} \dots\dots\dots (2.31)$$

Zona atas:

$$g_{ssU} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left(\frac{R}{2,5}\right)^{0,5z} \left[ R^{1+n_v-1,5z} - \left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-1,5z} \right]}{1+n_v-1,5z} \dots\dots\dots (2.32)$$

Zona dasar:

$$g_{sb} = M(2d_m)^{1+n_v+0,756z} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$M = 43,2C_L(1 + n_v)VR^{0,756z-n_v} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$g_s = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb} \dots\dots\dots (2.35)$$

dengan:

$g_{ssL}$  = angkutan sedimen melayang pada zona rendah

$g_{ssM}$  = angkutan sedimen melayang pada zona tengah

$g_{ssU}$  = angkutan sedimen melayang pada zona atas

$g_{sb}$  = angkutan sedimen dasar

$g_s$  = angkutan sedimen total

$M$  = parameter konsentrasi sedimen

$C_L$  = konsentrasi sedimen pada zona rendah

$R$  = radius hidrolis

$d_m$  = nilai tengah diameter partikel

$z$  = nilai yang menggambarkan hubungan antara sedimen dan karakteristik hidrolis

$n_v$  = nilai temperatur

f. Yang (1973)

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

$$\log C_t = 5,435 - 0,286 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,457 \log \frac{u_*}{\omega} + \left( 1,799 - 0,409 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,314 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left( \frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr} S}{\omega} \right) \dots \dots \dots (2.36)$$

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

$$\log C_t = 6,681 - 0,633 \log \frac{\omega d_m}{v} - 4,816 \frac{u_*}{\omega} + \left( 2,784 - 0,305 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,282 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left( \frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr} S}{\omega} \right) \dots \dots \dots (2.37)$$

dengan:

$C_t$  = total konsentrasi sedimen

$\omega$  = kecepatan jatuh partikel

$d_m$  = nilai tengah diameter partikel

$v$  = kecepatan kinematik

$u_*$  = kecepatan geser

$V$  = rata-rata kecepatan saluran

## 2.3 Uji Keandalan

### 2.3.1. $R^2$ (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.



### 2.3.2. RMSE (*Root Mean Square Errors*)

RMSE bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat selisih antara nilai keluaran model terhadap nilai observasi. Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model perkiraan mendekati variasi nilai observasi. Nilai RMSE dinyatakan dalam persamaan 2.38.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.38)$$

dengan :

$Y_i$  = data awal (data observasi)

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

$n$  = jumlah data

### 2.3.3. NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*)

Nilai NSE dapat dicari dengan persamaan 2.39

$$\text{NSE} = 1 - \left( \frac{\sum (Q_{\text{observasi}} - Q_{\text{simulasi}})^2}{\sum (Q_{\text{observasi}} - Q_{\text{rata}})^2} \right) \dots\dots\dots (2.39)$$

NSE memiliki beberapa kriteria seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Kategori Nilai Efisiensi Model dengan NSE

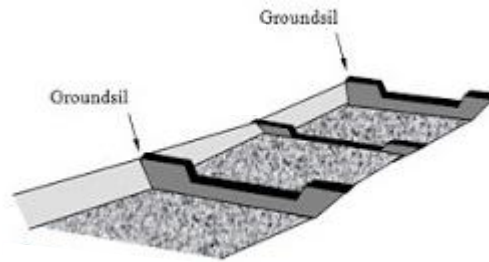
Nilai NSE	Kriteria Penilaian
$0,75 < \text{NSE} \leq 1,00$	Sangat baik
$0,65 < \text{NSE} \leq 0,75$	Baik
$0,5 < \text{NSE} \leq 0,65$	Cukup
$\text{NSE} < 0,5$	Buruk

(Sumber: Moriasi dkk, 2007)

## 2.4 *Groundsill*

### 2.4.1 Definisi dan Fungsi *Groundsill*

*Groundsill* merupakan suatu struktur ambang/lantai yang dibangun melintang sungai berfungsi untuk mengendalikan ketinggian dan kemiringan dasar sungai, agar dapat mengurangi atau menghentikan degradasi sungai. Fungsi lain dari *groundsill* adalah mengurangi besarnya angkutan sedimen dan untuk menangkap sebagian sedimen yang terangkut oleh aliran sungai.

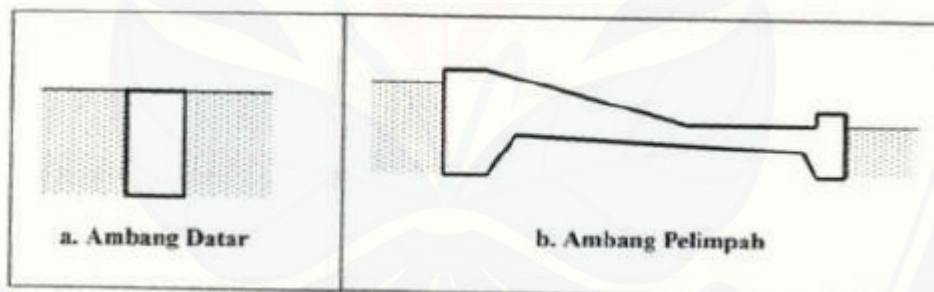


Gambar 2.6. Bangunan *Groundsill*

#### 2.4.2 Tipe dan Bentuk *Groundsill*

Ada dua tipe umum *groundsill*, yaitu :

- Ambang datar (*bed gindle work*), bangunan ini hampir tidak mempunyai terjunan dan elevasi mercu hampir sama dengan permukaan dasar sungai dan berfungsi untuk menjaga agar permukaan dasar sungai tidak turun lagi.
- Ambang pelimpah (*head work*), bangunan ini mempunyai terjunan, hingga elevasi permukaan dasar sungai di sebelah hilirnya dan tujuannya adalah untuk lebih melandaikan kemiringan dasar sungai.



Gambar 2.7. Tampang Melintang Bangunan *Groundsill*

#### 2.4.3 Desain *Groundsill*

Ambang yang semakin tinggi, maka gaya tarik aliran air sungainya akan semakin menurun. Akan tetapi ambang dengan elevasi mercu yang terlalu tinggi akan menimbulkan dasar sungai di sebelah hulu ambang akan naik dan air sungai dengan terjunannya yang tinggi akan mengganggu stabilitas dasar sungai disebelah hilir ambang tersebut. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemilihan dengan merencanakan lokasi penempatan dan tinggi ambang yang optimal untuk mengurangi angkutan sedimentasi. Apabila ruas sungai tersebut cukup panjang,

maka diperlukan beberapa buah *groundsill* yang ditempatkan secara berurutan membentuk terap-terap.

## 2.5 Software HEC-RAS

*Software* HEC-RAS adalah salah satu program pemodelan analisis hidrolika aliran dan sedimentasi pada saluran dan sungai. Menurut Istiarto (2014), HEC-RAS merupakan aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai. *Software River Analysis System* (RAS) yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resource* (IWR). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi:

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

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan. (Istiarto, 2014).

### 2.5.1. *Graphical User Interface*

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

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

### 2.5.2. Analisis Hidrolika

Berdasarkan karakter sungai, maka analisis yang digunakan untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah beraturan. Aliran yang dapat memodelkan aliran sub-kritis, super-kritis, maupun campuran keduanya. Selain itu *software* HEC-RAS juga dapat mensimulasikan aliran tak permanen satu dimensi pada sungai yang memiliki alur kompleks.

### 2.5.3. Penyimpanan Data dan Manajemen Data

Data masukan dari pemakai HEC-RAS disimpan ke dalam file-file yang dikelompokkan menjadi: *project*, *plan*, *geometry*, *steady flow*, *unsteady flow*, dan *sediment data*. Hasil keluaran model disimpan ke dalam *binary file*.

### 2.5.4. Grafik dan Pelaporan

*Software* ini menyediakan pola fitur plot 3D beberapa tampang lintang sekaligus. Output model dapat berupa grafik dan tabel. grafik dan tabel dapat ditampilkan di layar, dicetak, atau disalin ke *clipboard* untuk dimasukkan ke dalam program aplikasi lain. Fasilitas ini dapat berupa pencetakan data masukan dan keluaran hasil pada *printer* atau *plotter*.

## 2.6. Penelitian Terdahulu

Menurut Fadlun (2009) dalam penelitian Analisis Pengendalian Sedimen di Sungai Deli dengan Model Hec-Ras, bahwa analisis perubahan dasar sungai dan besarnya angkutan sedimen menggunakan program aplikasi HEC-RAS. Simulasi dilakukan dengan penempatan ambang dan tinggi ambang, besaran rerata erosi dapat diminimalkan menjadi 0,043 meter (jangka pendek) dan 0,054 meter (jangka panjang), sehingga pada titik akhir studi terjadi penurunan angkutan sedimen menjadi 370.255,1 ton (jangka pendek) dan 449.941,1 ton (jangka panjang).

Menurut Sarwono dkk. (2015) dalam penelitian Studi Pengendalian Banjir Sungai Kalidawir, bahwa upaya pengendalian banjir menggunakan program aplikasi HEC-RAS 4 dilakukan normalisasi sejauh 8767,5 meter dengan cara pengerukan sedimen, perencanaan krib, perencanaan ambang ditambah analisa hidrolika perubahan penampang. Hasil analisis menunjukkan, untuk perencanaan

krib bantaran digunakan 1,5 meter dan tinggi pancang beton direncanakan sebesar 10 cm diatas muka air banjir. Untuk perencanaan ambang diperoleh jarak antar ambang 2 meter dengan tinggi ambang 50 cm dan tinggi ambang 20 cm.

Menurut Budi dkk. (2016) dalam penelitian Efektifitas *Groundsill* Terhadap Penyebaran Sedimen Sungai Grindulu Kabupaten Pacitan, bahwa salah satu upaya yang dilakukan untuk mengendalikan penurunan dasar sungai adalah pembangunan *groundsill*. Penelitian ini menganalisis penyebaran sedimen di sungai Grindulu sebelum dan sesudah pembangunan *groundsill* serta pengaruh penambangan pasir terhadap perubahan dasar sungai menggunakan bantuan perangkat lunak HEC-RAS 4.1.0. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanpa *groundsill*, dasar sungai mengalami degradasi rata-rata 0,602 m dan aggradasi rata-rata 0,505 m. Dengan *groundsill* tanpa penambangan pasir, terjadi degradasi rata-rata 0,659 m dan aggradasi rata-rata 0,483 m. Dengan *groundsill* dan penambangan pasir, terjadi degradasi rata-rata 1,017 m dan aggradasi rata-rata 0,627 m. Direkomendasikan lokasi penambangan baru dengan kapasitas produksi 65 m<sup>3</sup>/hari. Dalam periode 5 tahun dan 10 tahun yang akan datang, simulasi angkutan sedimen berdasarkan rekomendasi lokasi dan kapasitas penambangan pasir baru menunjukkan bahwa terjadi degradasi rata-rata 0,569 m dan 0,846 m. Sedangkan aggradasi yang terjadi rata-rata sebesar 0,487 m dan 0,545 m.



### BAB 3. METODOLOGI

#### 3.1 Lokasi Penelitian

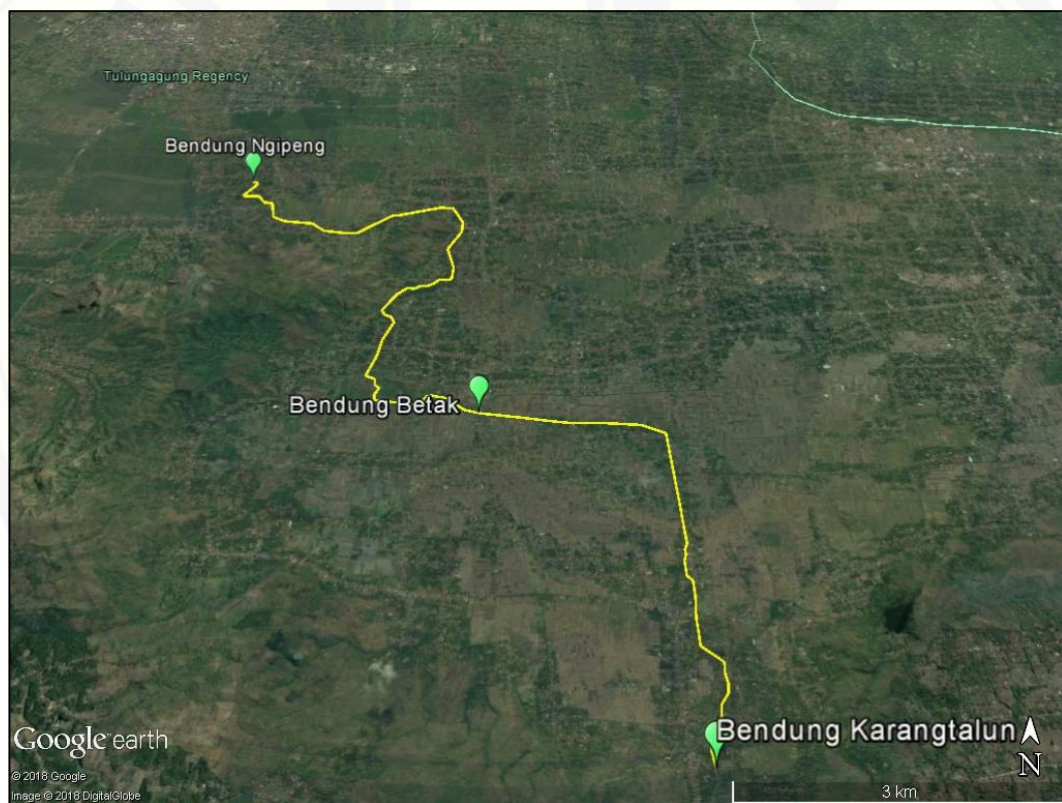
Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di Bendung Ngipeng yang terletak di Desa Wajak Kiduk Kecamatan Boyolangu Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur. Secara geografis lokasi bendung terletak pada koordinat  $8^{\circ}06'41''$  BT dan  $111^{\circ}55'14''$  LS. Panjang lokasi penelitian adalah 27 km. Secara administrasi Kabupaten Tulungagung dibatasi oleh :

sebelah utara : Kabupaten Kediri

sebelah timur : Kabupaten Blitar dan Kabupaten Malang

sebelah selatan : Kabupaten Blitar

sebelah barat : Kabupaten Trenggalek



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



### 3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Dalam melakukan penelitian ada beberapa langkah yang harus dilakukan antara lain:

#### 3.2.1. Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi dan mendapatkan informasi mengenai Bendung Ngipeng secara langsung. Dengan adanya pengamatan dan peninjauan langsung di lapangan, diharapkan dapat memahami kronologi perubahan morfologi dan kondisi lapangan sekarang.

#### 3.2.2. Studi Literatur

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

#### 3.2.3. Pengumpulan Data

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

- a. Data Geometri, berupa data peta kontur wilayah sungai sehingga dapat diketahui skema alur sungai dan data penampang memanjang serta data penampang melintang sungai (*cross section*).
- b. Data Hidrolika, berupa penampang memanjang dan melintang bendung utama.
- c. Data Hidrologi, berupa data debit sungai tersedia.
- d. Data Sedimentasi, berupa data diameter dan konsentrasi sedimen untuk mengetahui besar laju sedimentasi dan untuk kontrol kesesuaian model pada *software* HEC-RAS.

#### 3.2.4. Pengolahan Data

Perhitungan volume sedimentasi pada *software* HEC-RAS memerlukan input data antara lain:

- a. Data Hidrologi
- b. Data Geometri
- c. Data Hidrolika
- a. Nilai koefisien *Manning*
- d. Data sedimen : Data diameter butir sedimen dan konsentrasi sedimen

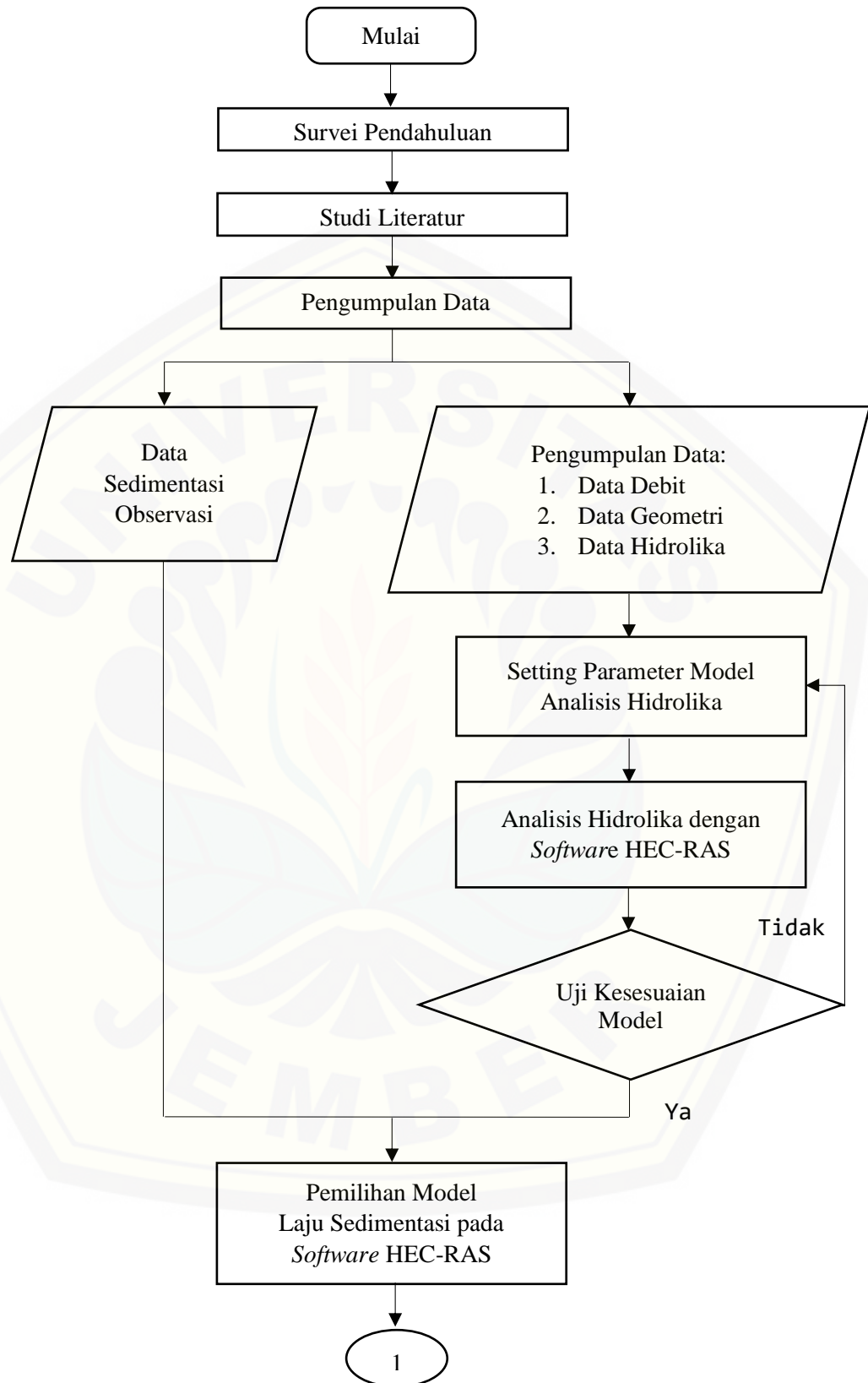
Pemodelan menggunakan *software* HEC-RAS 5.0.3 ini terdiri dari beberapa langkah utama, antara lain:

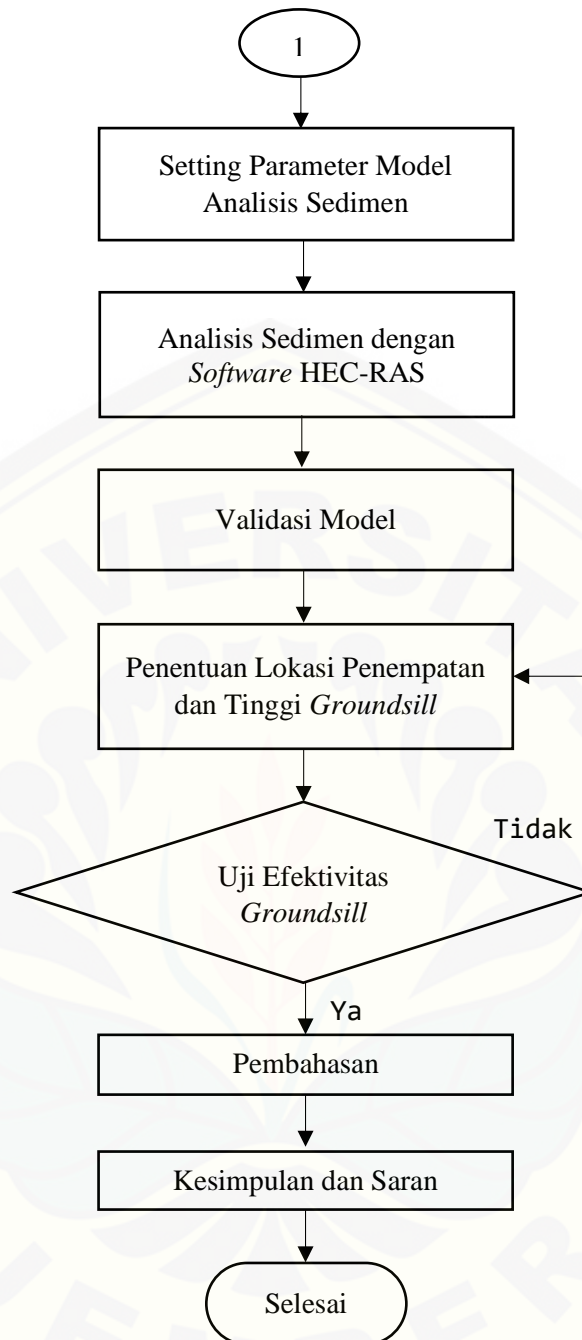
- a. Memulai proyek baru dengan memberi nama proyek dan menyimpannya.
- b. Membuat data geometri baru dan menggambar skema alur sungai.
- c. Memasukkan data geometri (skema alur sungai, *cross section*, koefisien hidrolis, struktur bendung, pelimpah, dan bangunan pengambilan dll)
- d. Memasukkan data debit sungai dan konsisi aliran yang sesuai.
- e. Melakukan running program analisis hidrolika.
- f. Memasukkan data sedimen dan metode analisis yang digunakan.
- g. Memilih model
- h. Melakukan *running* program
- i. Penentuan tinggi, jarak dan penempatan *groundsill*
- j. Melakukan running program dengan beberapa trial tinggi, jarak dan lokasi *groundsill* untuk mengurangi angkutan sedimen
- k. Hasil dan Pembahasan

#### 3.2.5. Kesimpulan

Kesimpulan untuk mendapatkan tinggi, jarak dan lokasi *groundsill* yang tepat untuk mengurangi angkutan sedimen

### 3.3. Diagram Alur Penelitian





Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

1. Hasil analisis menunjukkan volume sedimen tahun 2017 adalah 571,91 ton/th, dan volume sedimen observasi adalah 633 ton/th.
2. Usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi volume sedimen pada Bendung Ngipeng adalah dengan menempatkan *groundsill* pada lokasi yang cenderung mengalami degradasi. Dari hasil simulasi penempatan *groundsill* pada river station 13, 18, 26, 399, 472, 519, 524, 529.3, 529.9 dan 602, *groundsill* dengan tinggi 1,7 m dapat mengurangi sedimen sebesar 53.97 % dari kondisi tanpa *groundsill*.

### 5.2. Saran

Pemodelan dengan HEC-RAS 5.03 merupakan pemodelan satu dimensi sehingga memiliki beberapa keterbatasan. Untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal, penelitian ini dapat dilanjutkan dengan *software* lain yang menggunakan model 2 atau 3 dimensi seperti *Surface Water Modelling System*.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, S., V. Dermawan, dan E. Yuliani. 2016. Efektifitas *groundsill* terhadap penyebaran sedimen sungai grindulu Kabupaten Pacitan. *Jurnal Teknik Pengairan*. 8(1): 112-123.
- Direktorat Jenderal Pengairan Departemen Pekerjaan Umum. 2013. *Standar Perencanaan Irigasi Bangunan KP-02*.
- Fadlun, M. 2009. *Analisis Pengendalian Sedimen di Sungai Deli dengan Model HEC-RAS*. Tesis. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Hydrologic Engineering Center. 2016. a. *HEC-RAS River Analysis System, Application Guide*. Version 5.0, February 2016. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center. 2016. b. *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual*. Version 5.0, February 2016. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Hydrologic Engineering Center. 2016. c. *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual*. Version 5.0, February 2016. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. dan Veith, T.L. 2007. *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*. Transactions of the ASABE 50 (3): 885-900.
- Peliang, A.M., M. Samah, dan Z. Umar. 2016. *Tinjauan Ulang Perencanaan Pembangunan Groundsill Sungai Batang Agam Kota Payakumbuh*. Sumatra Barat: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Bung Hatta.
- Sarwono, B., M. B. Ansori, dan D. A. Ratnasari. 2015. Studi pengendalian banjir sungai kalidawir. *Jurnal Hidroteknik*. 1(1): 13-19.
- Shiami, F. A. R. 2017. *Prediksi Laju Sedimentasi Pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek*. Skripsi. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Universitas Jember. 2004. *Modul Praktikum Uji Tanah*. Jember: Laboratorium Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil.
- Wilson, dan E.M. 1993. *Hidrologi Teknik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wirosoedarmo, R., A. T. S. Haji, E. D. Kristanti. 2011. Perilaku sedimentasi dan pengaruhnya terhadap kinerja saluran pada jaringan irigasi waru-turi kanan Kediri. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 12(1): 68-75.



LAMPIRAN-1

HASIL SIMULASI ANGKUTAN SEDIMEN

STA	Volume Sedimen (ton)			Kecepatan Aliran (m/s)		
	Tanpa Groundsill	Groundsill 1.5 m	Groundsill 1.7 m	Tanpa Groundsill	Groundsill 1.5 m	Groundsill 1.7 m
750	42.08	24.63	24.63	1.67	1.67	1.67
749	42.07	24.63	24.63	1.64	1.64	1.64
748	42.07	24.63	24.63	1.50	1.50	1.50
747	42.07	24.62	24.62	1.44	1.44	1.44
746	42.03	24.60	24.60	1.50	1.50	1.50
745	42.03	24.60	24.60	1.47	1.47	1.47
744	42.03	24.60	24.60	1.49	1.49	1.49
743	42.03	24.60	24.60	1.65	1.65	1.65
742	42.03	24.60	24.60	1.60	1.60	1.60
741	42.03	24.60	24.60	1.58	1.58	1.58
740	42.03	24.60	24.60	1.49	1.49	1.49
739	42.03	24.60	24.60	1.41	1.41	1.41
738	42.03	24.60	24.60	1.53	1.53	1.53
737	42.03	24.60	24.60	1.73	1.73	1.73
736	42.03	24.60	24.60	1.53	1.53	1.53
735	42.03	24.60	24.60	1.46	1.46	1.46
734	42.03	24.60	24.60	1.54	1.54	1.54
733	42.03	24.60	24.60	1.83	1.83	1.83
732	42.03	24.60	24.60	2.07	2.07	2.07
731	42.03	24.60	24.60	1.51	1.51	1.51
730	42.03	24.60	24.60	1.50	1.50	1.50
729	42.03	24.60	24.60	1.45	1.45	1.45
728	42.03	24.60	24.60	1.72	1.72	1.72
727	42.03	24.60	24.60	1.58	1.58	1.58
726	42.03	24.60	24.60	1.54	1.54	1.54
725	42.03	24.60	24.60	1.91	1.91	1.91
724	42.03	24.60	24.60	1.64	1.64	1.64
723	42.03	24.60	24.60	1.74	1.74	1.74
722	42.03	24.60	24.60	1.66	1.66	1.66
721	42.03	24.60	24.60	1.67	1.67	1.67
720	42.03	24.60	24.60	1.61	1.61	1.61
719	42.03	24.60	24.60	1.63	1.63	1.62
718	42.03	24.60	24.60	1.36	1.36	1.36
717	42.03	24.60	24.60	1.30	1.30	1.30
716	42.03	24.60	24.60	1.18	1.18	1.18
715	42.03	24.60	24.60	1.11	1.11	1.11
714	42.00	24.58	24.58	1.42	1.42	1.42
713	42.00	24.58	24.58	1.30	1.30	1.30
712	42.00	24.58	24.58	1.39	1.39	1.39
711	42.00	24.58	24.58	1.26	1.26	1.26
710	42.00	24.58	24.58	1.38	1.38	1.38
709	42.00	24.58	24.58	1.46	1.46	1.46
708	42.00	24.58	24.58	1.43	1.43	1.43
707	42.00	24.58	24.58	1.20	1.20	1.20
706	42.00	24.58	24.58	1.30	1.30	1.30
705	42.00	24.58	24.58	1.52	1.52	1.52
704	42.00	24.58	24.58	1.33	1.33	1.33
703	42.00	24.58	24.58	1.31	1.31	1.31
702	42.00	24.58	24.58	1.30	1.30	1.30
701	42.00	24.58	24.58	1.05	1.05	1.05
700	41.17	24.08	24.08	1.23	1.23	1.23
699	41.16	24.07	24.07	1.03	1.03	1.03
698	40.48	23.68	23.68	1.20	1.20	1.20
697	40.48	23.68	23.68	1.05	1.05	1.05
696	40.48	23.68	23.68	1.07	1.07	1.07

695	40.48	23.68	23.68	1.01	1.01	1.01
694	40.36	23.60	23.60	1.09	1.09	1.09
693	40.36	23.60	23.60	1.05	1.05	1.05
692	40.36	23.60	23.60	1.05	1.05	1.05
691	40.36	23.60	23.60	1.06	1.06	1.06
690	40.36	23.60	23.60	1.23	1.23	1.23
689	40.36	23.60	23.60	1.06	1.06	1.06
688	40.36	23.60	23.60	1.07	1.07	1.07
687	40.36	23.60	23.60	1.65	1.65	1.65
686	40.36	23.60	23.60	1.59	1.59	1.58
685	40.36	23.60	23.60	1.59	1.59	1.59
684	40.36	23.60	23.60	1.45	1.45	1.45
683	40.36	23.60	23.60	1.57	1.57	1.57
682	40.36	23.60	23.60	2.02	2.02	2.02
681	40.36	23.60	23.60	1.98	1.98	1.97
680	40.36	23.60	23.60	1.52	1.52	1.52
679	40.36	23.60	23.60	1.99	1.99	1.98
678	40.36	23.60	23.60	1.70	1.70	1.70
677	40.36	23.60	23.60	1.61	1.61	1.61
676	40.36	23.60	23.60	1.51	1.51	1.50
675	40.36	23.60	23.60	1.82	1.81	1.81
674	40.36	23.60	23.60	2.19	2.13	2.08
673	40.36	23.60	23.60	1.70	1.66	1.63
672	40.36	23.60	23.60	1.55	1.51	1.48
671	40.36	23.60	23.60	1.74	1.70	1.66
670	40.36	23.60	23.60	1.59	1.55	1.52
669	40.36	23.60	23.60	1.31	1.28	1.25
668	40.36	23.60	23.60	1.51	1.48	1.44
667	40.36	23.60	23.60	1.90	1.81	1.74
666	40.36	23.60	23.60	1.73	1.66	1.60
665	40.36	23.60	23.60	1.60	1.53	1.48
664	40.36	23.60	23.60	1.57	1.50	1.44
663	40.36	23.60	23.60	1.58	1.51	1.45
662	40.36	23.60	23.60	1.55	1.47	1.42
661	40.36	23.60	23.60	1.56	1.48	1.42
660	40.36	23.60	23.60	1.42	1.35	1.29
659	40.36	23.60	23.60	1.39	1.32	1.26
658	40.36	23.60	23.60	1.51	1.42	1.36
657	40.36	23.60	23.60	1.48	1.39	1.33
656	40.36	23.60	23.60	1.46	1.36	1.30
655	40.36	23.60	23.60	1.44	1.35	1.28
654	40.36	23.60	23.60	1.41	1.32	1.25
653	40.36	23.60	23.60	1.31	1.22	1.16
652	40.36	23.60	23.60	1.28	1.19	1.14
651	40.36	23.60	23.60	1.27	1.18	1.12
650	40.36	23.60	23.60	1.35	1.26	1.19
649	40.36	23.60	23.60	1.37	1.27	1.20
648	40.36	23.60	23.60	1.59	1.45	1.38
647	40.36	23.60	23.60	1.85	1.67	1.57
646	40.36	23.60	23.60	1.59	1.43	1.35
645	40.36	23.60	23.60	1.75	1.56	1.45
644	40.36	23.60	23.60	1.60	1.41	1.32
643	40.36	23.60	23.59	1.52	1.35	1.26
642	40.36	23.60	23.58	1.63	1.43	1.33
641	40.36	23.60	23.58	1.45	1.26	1.18
640	40.36	23.60	23.55	1.78	1.51	1.40
639	40.36	23.60	23.55	1.49	1.27	1.18
638	40.36	23.60	23.51	1.48	1.26	1.17
637	40.36	23.59	23.49	1.50	1.26	1.17
636	40.36	23.59	23.47	1.47	1.23	1.14
635	40.36	23.59	23.29	1.46	1.22	1.12
634	40.36	23.58	23.15	1.62	1.32	1.22

633	40.36	23.58	23.15	1.52	1.24	1.14
632	40.36	23.58	23.05	1.63	1.31	1.20
631	40.36	23.58	23.05	1.50	1.20	1.10
630	40.36	23.53	22.76	1.49	1.18	1.09
629	40.36	23.52	22.59	1.46	1.16	1.06
628	40.36	23.48	22.39	1.65	1.27	1.16
627	40.36	23.48	22.39	1.70	1.29	1.17
626	40.36	23.48	22.39	1.51	1.15	1.05
625	40.36	23.26	22.06	1.53	1.15	1.05
624	40.36	23.17	21.94	1.68	1.23	1.12
623	40.36	23.17	21.94	1.52	1.12	1.02
622	40.36	22.86	21.56	1.61	1.16	1.06
621	40.36	22.86	21.56	1.46	1.06	0.96
620	40.36	22.38	21.00	1.44	1.04	0.94
619	40.36	22.07	20.75	1.76	1.20	1.09
618	40.36	22.07	20.75	1.50	1.03	0.94
617	40.36	21.86	20.64	1.60	1.08	0.98
616	40.36	21.86	20.64	1.41	0.96	0.87
615	40.36	21.21	20.04	1.76	1.12	1.01
614	40.36	21.21	20.04	1.56	1.00	0.91
613	40.36	21.21	20.04	1.60	1.01	0.91
612	40.36	21.21	20.04	1.58	0.99	0.90
611	40.36	21.07	20.01	1.59	0.98	0.89
610	40.36	20.99	19.91	1.59	0.96	0.87
609	40.36	20.82	19.76	1.60	0.95	0.86
608	40.36	20.71	19.60	1.61	0.94	0.85
607	40.36	20.62	19.45	1.63	0.94	0.85
606	40.36	20.56	19.37	1.64	0.93	0.84
605	40.36	20.44	19.20	1.66	0.92	0.84
604	40.36	20.36	19.12	1.69	0.91	0.83
603	40.36	20.23	19.03	2.76	1.06	0.95
602	40.36	20.23	19.03	1.31	0.87	0.79
601	40.36	19.56	18.33	1.35	1.35	1.35
600	40.36	19.56	18.33	1.48	1.48	1.48
599	40.36	19.56	18.33	1.35	1.35	1.34
598	40.36	19.56	18.33	1.64	1.64	1.64
597	40.36	19.56	18.33	1.44	1.44	1.43
596	40.36	19.56	18.33	1.39	1.39	1.38
595	40.36	19.56	18.33	1.27	1.27	1.27
594	40.36	19.56	18.33	1.27	1.27	1.26
593	40.36	19.56	18.33	1.26	1.26	1.26
592	40.36	19.56	18.33	1.25	1.25	1.25
591	40.36	19.56	18.33	1.25	1.24	1.24
590	40.36	19.56	18.33	1.24	1.24	1.24
589	40.36	19.56	18.33	1.23	1.23	1.23
588	40.36	19.56	18.33	1.84	1.84	1.84
587	40.36	19.56	18.33	1.87	1.86	1.86
586	40.36	19.56	18.33	1.89	1.89	1.88
585	40.36	19.56	18.33	1.92	1.92	1.91
584	40.36	19.56	18.33	1.96	1.95	1.94
583	40.36	19.56	18.33	1.59	1.58	1.58
582	40.36	19.56	18.33	1.50	1.50	1.50
581	40.36	19.56	18.33	1.46	1.45	1.45
580	40.36	19.56	18.33	1.47	1.47	1.46
579	40.36	19.56	18.33	1.46	1.45	1.45
578	40.36	19.56	18.33	1.46	1.45	1.44
577	40.36	19.56	18.33	1.45	1.45	1.44
576	40.36	19.56	18.33	1.45	1.45	1.44
575	40.36	19.56	18.33	1.45	1.45	1.44
574	40.36	19.56	18.33	1.45	1.45	1.44
573	40.36	19.56	18.33	1.45	1.45	1.44
572	40.36	19.56	18.33	1.45	1.44	1.43

571	40.36	19.56	18.33	1.45	1.44	1.43
570	40.36	19.56	18.33	1.44	1.44	1.43
569	40.36	19.56	18.33	1.31	1.31	1.30
568	40.36	19.56	18.33	1.07	1.06	1.06
567	40.36	19.56	18.33	1.29	1.29	1.27
566	40.36	19.56	18.33	1.31	1.31	1.30
565	40.36	19.56	18.33	1.44	1.43	1.42
564	40.36	19.56	18.33	1.44	1.43	1.42
563	40.36	19.56	18.33	1.43	1.43	1.41
562.83	40.36	19.56	18.33	1.42	1.42	1.40
562.67	40.36	19.56	18.33	1.41	1.40	1.38
562.5	40.36	19.56	18.33	1.40	1.39	1.37
562.33	40.36	19.56	18.33	1.38	1.37	1.35
562.17	40.36	19.56	18.33	1.36	1.35	1.33
562	40.36	19.56	18.33	1.34	1.33	1.31
561	40.36	19.56	18.33	1.44	1.42	1.40
560.9	40.36	19.56	18.33	1.45	1.44	1.41
560.8	40.36	19.56	18.33	1.46	1.45	1.41
560.7	40.36	19.56	18.33	1.48	1.46	1.42
560.6	40.36	19.56	18.33	1.49	1.48	1.43
560.5	40.36	19.56	18.33	1.51	1.49	1.44
560.4	40.36	19.56	18.33	1.54	1.51	1.46
560.3	40.36	19.56	18.33	1.56	1.53	1.47
560.2	40.36	19.56	18.33	1.59	1.55	1.48
560.1	40.36	19.56	18.33	1.63	1.58	1.50
560	40.36	19.56	18.33	1.67	1.61	1.51
559	40.36	19.56	18.33	1.50	1.45	1.36
558	40.36	19.56	18.33	1.50	1.45	1.36
557	40.36	19.56	18.33	1.67	1.60	1.49
556	40.36	19.56	18.33	1.62	1.55	1.43
555	40.36	19.56	18.33	1.64	1.56	1.44
554	40.36	19.56	18.33	1.59	1.50	1.39
553	40.36	19.56	18.33	1.62	1.53	1.40
552	40.36	19.56	18.33	1.62	1.52	1.39
551	40.36	19.56	18.33	1.62	1.52	1.38
550	40.36	19.56	18.33	1.76	1.63	1.47
549	40.36	19.56	18.33	1.78	1.64	1.47
548	40.36	19.56	18.33	1.80	1.64	1.47
547	40.36	19.56	18.33	1.64	1.48	1.32
546	40.36	19.56	18.33	1.65	1.48	1.31
545	40.36	19.56	18.33	1.66	1.48	1.31
544	40.36	19.56	18.33	1.68	1.48	1.30
543	40.36	19.56	18.33	1.69	1.48	1.30
542	40.36	19.56	18.33	1.71	1.48	1.29
541	40.36	19.56	18.33	1.72	1.47	1.28
540	40.36	19.56	18.33	1.75	1.47	1.27
539	40.36	19.56	18.33	1.77	1.47	1.26
538	40.36	19.56	18.33	1.58	1.30	1.12
537	40.36	19.55	18.33	1.57	1.27	1.09
536	40.36	19.55	18.33	1.56	1.25	1.07
535	40.36	19.54	18.33	1.63	1.28	1.09
534	40.36	19.54	18.33	1.64	1.27	1.08
533	40.36	19.54	18.33	1.71	1.30	1.10
532	40.36	19.54	18.33	1.70	1.26	1.07
531	40.36	19.52	18.33	1.74	1.26	1.06
530.95	40.36	19.51	18.33	1.71	1.17	0.99
530.89	40.36	19.45	18.28	1.68	1.09	0.92
530.84	40.36	19.42	18.19	1.64	1.02	0.86
530.79	40.33	19.32	18.12	1.61	0.95	0.80
530.74	40.31	19.25	18.01	1.57	0.89	0.75
530.69	40.29	19.07	17.85	1.53	0.83	0.70
530.64	40.15	18.95	17.39	1.48	0.77	0.66

# Digital Repository Universitas Jember

530.58	39.91	18.61	16.67	1.43	0.72	0.62
530.53	39.77	18.06	15.67	1.37	0.68	0.58
530.47	39.69	17.39	14.82	1.31	0.64	0.55
530.42	39.36	16.56	14.11	1.24	0.60	0.52
530.37	39.14	15.75	13.57	1.17	0.56	0.49
530.32	38.86	14.72	12.57	1.09	0.53	0.46
530.26	38.69	14.01	11.46	1.02	0.50	0.44
530.21	38.36	13.27	10.53	0.96	0.47	0.41
530.16	37.77	12.20	10.03	0.89	0.45	0.39
530.11	37.06	11.30	9.56	0.83	0.42	0.37
530.05	35.89	10.43	9.19	0.78	0.40	0.35
530	34.74	9.82	8.43	0.75	0.39	0.35
529.9	64.61	27.24	25.51	1.13	0.58	0.51
529.3	64.57	27.24	25.51	1.13	0.58	0.51
529.6	64.57	27.24	25.51	1.13	0.58	0.51
529	64.57	27.24	25.51	1.12	0.59	0.55
528	100.11	47.70	45.78	1.58	0.78	0.73
527	100.11	47.99	46.71	1.58	0.78	0.72
526	100.11	47.67	46.57	1.58	0.77	0.72
525	100.11	47.25	46.41	1.58	0.76	0.71
524	100.11	46.89	46.27	1.58	0.76	0.71
523	100.11	46.66	46.19	1.58	0.79	0.74
522	100.11	46.66	46.19	1.57	0.78	0.73
521	100.11	46.66	46.19	1.59	0.78	0.73
520	100.11	46.66	46.19	1.56	0.77	0.72
519	100.11	46.66	46.19	1.57	0.77	0.72
518	100.11	46.65	46.19	1.57	1.11	1.02
517	100.11	46.65	46.19	1.57	1.10	1.01
516	100.11	46.65	46.19	1.57	1.09	1.00
515	100.11	46.65	46.19	1.56	1.08	0.99
514	100.11	46.65	46.19	1.56	1.07	0.98
513	100.11	46.65	46.19	1.56	1.06	0.97
512	100.11	46.65	46.19	1.56	1.05	0.96
511	100.11	46.65	46.19	1.55	1.04	0.95
510	100.11	46.65	46.19	1.55	1.03	0.94
509	100.11	46.65	46.19	1.55	1.02	0.93
508	100.11	46.65	46.19	1.55	1.01	0.93
507	100.11	46.65	46.19	1.54	1.00	0.92
506	100.11	46.65	46.19	1.54	0.99	0.91
505	100.11	46.65	46.19	1.54	0.98	0.90
504	100.11	46.65	46.19	1.54	0.98	0.90
503	100.11	46.65	46.19	1.54	0.97	0.89
502	100.11	46.65	46.19	1.53	0.96	0.88
501	100.11	46.65	46.19	1.52	0.95	0.87
500	100.11	46.65	46.19	1.52	0.94	0.86
499	100.11	46.65	46.19	1.51	0.93	0.85
498	100.11	46.65	46.19	1.51	0.92	0.85
497	100.11	46.65	46.19	1.50	0.91	0.84
496	100.11	46.65	46.19	1.50	0.90	0.83
495	100.11	46.65	46.19	1.49	0.89	0.82
494	100.11	46.65	46.19	1.48	0.89	0.82
493	100.11	46.65	46.19	1.26	0.76	0.70
492	100.11	46.65	46.19	1.06	0.65	0.60
491	100.01	47.68	47.21	0.93	0.58	0.53
490	98.79	48.39	46.58	1.39	0.83	0.76
489	98.79	48.39	46.58	1.47	0.86	0.80
488	98.79	48.39	46.58	1.47	0.86	0.79
487	98.79	48.39	46.58	1.46	0.85	0.79
486	98.79	48.39	46.58	1.44	0.84	0.78
485	98.79	48.39	46.58	1.43	0.83	0.77
484	98.79	48.39	46.58	1.44	0.83	0.77
483	98.79	48.39	46.58	1.42	0.82	0.76



482	98.79	48.39	46.58	1.42	0.81	0.75
481	98.79	48.39	46.58	1.41	0.80	0.74
480	98.79	48.39	46.58	1.41	0.80	0.74
479	98.79	48.39	46.58	1.41	0.79	0.73
478	98.79	48.39	46.58	1.41	0.79	0.73
477	98.79	48.39	46.58	1.42	0.79	0.73
476	98.79	48.39	46.58	1.44	0.79	0.73
475	98.79	48.39	46.58	1.43	0.78	0.72
474	98.79	48.39	46.58	1.43	0.78	0.72
473	98.79	48.39	46.58	1.43	0.77	0.72
472	98.79	48.39	46.58	1.41	0.77	0.71
471	98.79	48.39	46.58	1.41	1.13	1.05
470	98.79	48.39	46.58	1.41	1.12	1.05
469	98.79	48.39	46.58	1.41	1.12	1.04
468	98.79	48.39	46.58	1.41	1.11	1.03
467	98.79	48.39	46.58	1.41	1.11	1.03
466	98.79	48.39	46.58	1.41	1.10	1.02
465	98.79	48.39	46.58	1.41	1.09	1.02
464	98.79	48.39	46.58	1.40	1.09	1.01
463	98.79	48.39	46.58	1.40	1.08	1.01
462	98.79	48.39	46.58	1.40	1.08	1.00
461	98.79	48.39	46.58	1.40	1.07	0.99
460	98.79	48.39	46.58	1.40	1.07	0.99
459	98.79	48.39	46.58	1.40	1.06	0.98
458	98.79	48.39	46.58	1.40	1.05	0.97
457	98.79	48.39	46.58	1.39	1.04	0.97
456	98.79	48.39	46.58	1.39	1.04	0.96
455	98.79	48.39	46.58	1.38	1.02	0.95
454	98.79	48.39	46.58	1.40	1.03	0.95
453	98.79	48.39	46.58	1.40	1.02	0.94
452	98.79	48.39	46.58	1.41	1.02	0.94
451	98.79	48.39	46.58	1.41	1.01	0.93
450	98.79	48.39	46.58	1.39	1.00	0.92
449	98.79	48.39	46.58	1.39	0.99	0.92
448	98.79	48.39	46.58	1.40	0.99	0.92
447	98.79	48.39	46.58	1.27	0.90	0.83
446	98.79	48.39	46.58	1.27	0.90	0.83
445	98.79	48.39	46.58	1.22	0.87	0.80
444	98.79	48.39	46.58	1.40	0.98	0.90
443	98.79	48.39	46.58	1.39	0.97	0.90
442	98.79	48.39	46.58	1.39	0.97	0.89
441	98.79	48.39	46.58	1.38	0.96	0.89
440	98.79	48.39	46.58	1.38	0.95	0.88
439	98.79	48.39	46.58	1.38	0.95	0.87
438	98.79	48.39	46.58	1.38	0.94	0.87
437	98.79	48.39	46.58	1.38	0.94	0.87
436	98.79	48.39	46.58	1.30	0.88	0.82
435	98.79	48.39	46.58	1.39	0.93	0.86
434	98.79	48.39	46.58	1.39	0.93	0.86
433	98.79	48.39	46.58	1.38	0.92	0.85
432	98.79	48.39	46.58	1.38	0.92	0.85
431	98.79	48.39	46.58	1.37	0.91	0.84
430	98.79	48.39	46.58	1.37	0.91	0.84
429	98.79	48.39	46.58	1.29	0.85	0.79
428	98.79	48.39	46.58	1.18	0.79	0.73
427	98.79	48.39	46.58	1.36	0.89	0.82
426	98.79	48.39	46.58	1.36	0.88	0.82
425	98.79	48.39	46.58	1.37	0.88	0.81
424	98.79	48.39	46.58	1.37	0.88	0.81
423	98.79	48.39	46.58	1.36	0.87	0.80
422	98.79	48.39	46.58	1.36	0.87	0.80
421	98.79	48.39	46.58	1.36	0.86	0.79



420	98.79	48.39	46.58	1.35	0.85	0.79
419	98.79	48.39	46.58	1.35	0.85	0.79
418	98.79	48.39	46.58	1.35	0.84	0.78
417	98.79	48.39	46.58	1.35	0.84	0.78
416	98.79	48.39	46.58	1.34	0.84	0.77
415	98.79	48.39	46.58	1.34	0.83	0.77
414	98.79	48.39	46.58	1.34	0.83	0.76
413	98.79	48.39	46.58	1.34	0.82	0.76
412	98.79	48.39	46.58	1.33	0.82	0.75
411	98.79	48.39	46.58	1.34	0.81	0.75
410	98.79	48.39	46.58	1.34	0.81	0.75
409	98.79	48.39	46.58	1.33	0.80	0.74
408	98.79	48.39	46.58	1.33	0.80	0.74
407	98.79	48.39	46.58	1.33	0.80	0.74
406	98.79	48.39	46.58	1.32	0.79	0.73
405	98.79	48.39	46.58	1.32	0.79	0.73
404	98.79	48.39	46.58	1.32	0.78	0.72
403	98.79	48.39	46.58	1.31	0.78	0.72
402	98.79	48.39	46.58	1.31	0.77	0.72
401	98.79	48.39	46.58	1.32	0.77	0.71
400	98.79	48.39	46.58	1.31	0.77	0.71
399	98.79	48.39	46.58	1.31	0.77	0.71
398	98.79	48.39	46.58	1.30	1.30	1.30
397	98.79	48.39	46.58	1.30	1.30	1.30
396	98.79	48.39	46.58	1.30	1.30	1.30
395	98.79	48.39	46.58	1.30	1.30	1.30
394	98.79	48.39	46.58	1.30	1.30	1.30
393	98.79	48.39	46.58	1.30	1.30	1.30
392	98.79	48.39	46.58	1.30	1.29	1.29
391	98.79	48.39	46.58	1.29	1.29	1.29
390	98.79	48.39	46.58	1.29	1.28	1.28
389	98.79	48.39	46.58	1.28	1.28	1.28
388	98.79	48.39	46.58	1.29	1.29	1.29
387	98.79	48.39	46.58	1.29	1.28	1.28
386	98.79	48.39	46.58	1.28	1.28	1.28
385	98.79	48.39	46.58	1.28	1.28	1.28
384	98.79	48.39	46.58	1.28	1.28	1.28
383	98.79	48.39	46.58	1.27	1.27	1.27
382	98.79	48.39	46.58	1.27	1.27	1.27
381	98.79	48.39	46.58	1.27	1.27	1.27
380	98.79	48.39	46.58	1.27	1.27	1.27
379	98.79	48.39	46.58	1.27	1.27	1.27
378	98.79	48.39	46.58	1.27	1.26	1.26
377	98.79	48.39	46.58	1.27	1.27	1.27
376	98.79	48.39	46.58	1.27	1.27	1.27
375	98.79	48.39	46.58	1.26	1.26	1.26
374	98.79	48.39	46.58	1.26	1.26	1.26
373	98.79	48.39	46.58	1.26	1.26	1.26
372	98.79	48.39	46.58	1.26	1.26	1.26
371	98.79	48.39	46.58	1.26	1.25	1.25
370	98.79	48.39	46.58	1.25	1.25	1.25
369	98.79	48.39	46.58	1.26	1.25	1.25
368	98.79	48.39	46.58	1.26	1.26	1.26
367	98.79	48.39	46.58	1.26	1.25	1.25
366	98.79	48.39	46.58	1.25	1.25	1.25
365	98.79	48.39	46.58	1.25	1.24	1.24
364	98.79	48.39	46.58	1.25	1.24	1.24
363	98.79	48.39	46.58	1.24	1.24	1.24
362	98.79	48.39	46.58	1.24	1.24	1.24
361	98.79	48.39	46.58	1.24	1.23	1.23
360	98.79	48.39	46.58	1.23	1.23	1.23
359	98.79	48.39	46.58	1.23	1.22	1.22

358	98.79	48.39	46.58	1.22	1.22	1.22
357	98.79	48.39	46.58	1.22	1.22	1.22
356	98.79	48.39	46.58	1.22	1.22	1.21
355	98.79	48.39	46.58	1.21	1.21	1.21
354	98.79	48.39	46.58	1.21	1.21	1.21
353	98.79	48.39	46.58	1.21	1.21	1.21
352	98.79	48.39	46.58	1.21	1.20	1.20
351	98.79	48.39	46.58	1.21	1.21	1.21
350	98.79	48.39	46.58	1.21	1.20	1.20
349	98.79	48.39	46.58	1.20	1.20	1.19
348	98.79	48.39	46.58	1.20	1.19	1.19
347	98.79	48.39	46.58	1.19	1.19	1.19
346	98.79	48.39	46.58	1.19	1.18	1.18
345	98.79	48.39	46.58	1.19	1.18	1.18
344	98.79	48.39	46.58	1.19	1.19	1.19
343	98.79	48.39	46.58	1.19	1.18	1.18
342	98.79	48.39	46.58	1.18	1.18	1.18
341	98.79	48.39	46.58	1.18	1.17	1.17
340	98.79	48.39	46.58	1.17	1.17	1.17
339	98.79	48.39	46.58	1.17	1.16	1.16
338	98.79	48.39	46.58	1.16	1.16	1.16
337	98.79	48.39	46.58	1.16	1.16	1.15
336	98.79	48.39	46.58	1.16	1.15	1.15
335	98.79	48.39	46.58	1.15	1.15	1.15
334	98.79	48.39	46.58	1.15	1.14	1.14
333	98.79	48.39	46.58	1.15	1.14	1.14
332	98.79	48.39	46.58	1.14	1.14	1.14
331	98.79	48.39	46.58	1.14	1.13	1.13
330	98.79	48.39	46.58	1.13	1.13	1.13
329	98.79	48.39	46.58	1.13	1.12	1.12
328	98.79	48.39	46.58	1.12	1.12	1.12
327	98.79	48.39	46.58	1.12	1.11	1.11
326	98.79	48.39	46.58	1.11	1.11	1.11
325	98.79	48.39	46.58	1.11	1.11	1.11
324	98.79	48.39	46.58	1.11	1.11	1.11
323	98.79	48.39	46.58	1.11	1.11	1.10
322	98.79	48.39	46.58	1.10	1.10	1.10
321	98.79	48.39	46.58	1.10	1.10	1.09
320	98.79	48.39	46.58	1.09	1.09	1.09
319	98.79	48.39	46.58	1.09	1.08	1.08
318	98.79	48.39	46.58	1.08	1.08	1.08
317	98.79	48.39	46.58	1.08	1.07	1.07
316	98.79	48.39	46.58	1.08	1.07	1.07
315	98.79	48.39	46.58	1.07	1.07	1.07
314	98.79	48.39	46.58	1.07	1.07	1.06
313	98.79	48.39	46.58	1.06	1.06	1.06
312	98.79	48.39	46.58	1.06	1.06	1.05
311	98.79	48.39	46.58	1.06	1.05	1.05
310	98.79	48.39	46.58	1.05	1.05	1.05
309	98.79	48.39	46.58	1.05	1.04	1.04
308	98.79	48.39	46.58	1.05	1.04	1.04
307	98.79	48.39	46.58	1.04	1.04	1.04
306	98.79	48.39	46.58	1.04	1.04	1.03
305	98.79	48.39	46.58	1.04	1.03	1.03
304	98.79	48.39	46.58	1.03	1.02	1.02
303	98.78	48.39	46.58	1.02	1.02	1.02
302	98.76	48.39	46.58	1.01	1.01	1.01
301	98.75	48.39	46.58	1.01	1.01	1.01
300	98.75	48.39	46.58	1.01	1.01	1.01
299	98.75	48.39	46.58	1.01	1.01	1.01
298	98.75	48.39	46.58	1.01	1.01	1.01
296	98.75	48.39	46.58	0.63	0.63	0.63

295	95.31	45.04	44.88	0.82	0.81	0.81
294	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	0.99
293	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.01
292	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
291	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
290	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
289	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
288	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
287	95.31	45.04	44.88	0.83	0.83	0.83
286	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
285	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
284	95.31	45.04	44.88	1.01	1.01	1.00
283	95.31	45.04	44.88	1.01	1.00	1.00
282	95.31	45.04	44.88	1.01	1.00	1.00
281	95.31	45.04	44.88	1.01	1.00	1.00
280	95.31	45.04	44.88	1.01	1.00	1.00
279	95.31	45.04	44.88	1.01	1.00	1.00
278	95.31	45.04	44.88	1.01	1.00	1.00
277	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	1.00
276	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	1.00
275	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	1.00
274	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	1.00
273	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	1.00
272	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	1.00
271	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	0.99
270	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	0.99
269	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	0.99
268	95.31	45.04	44.88	1.00	0.99	0.99
267	95.31	45.04	44.88	1.00	0.99	0.99
266	95.31	45.04	44.88	1.00	1.00	1.00
265	95.31	45.04	44.88	0.99	0.99	0.99
264	95.31	45.04	44.88	1.00	0.99	0.99
263	95.31	45.04	44.88	1.01	1.00	1.00
262	95.31	45.04	44.88	1.00	0.99	0.99
261	95.31	45.04	44.88	1.00	0.99	0.99
260	95.31	45.04	44.88	1.00	0.99	0.99
259	95.31	45.04	44.88	0.99	0.99	0.99
258	95.31	45.04	44.88	0.99	0.99	0.99
257	95.31	45.04	44.88	0.99	0.99	0.99
256	95.31	45.04	44.88	0.99	0.99	0.98
255	95.31	45.04	44.88	0.99	0.99	0.98
254	95.31	45.04	44.88	0.99	0.99	0.98
253	95.31	45.04	44.88	0.99	0.98	0.98
252	95.31	45.04	44.88	0.99	0.98	0.98
251	95.31	45.04	44.88	0.99	0.98	0.98
250	95.31	45.04	44.88	0.99	0.98	0.98
249	95.31	45.04	44.88	0.99	0.98	0.98
248	95.31	45.04	44.88	0.99	0.98	0.98
247	95.31	45.04	44.88	0.99	0.98	0.98
246	95.31	45.04	44.88	0.98	0.98	0.98
245	95.31	45.04	44.88	0.98	0.98	0.98
244	95.31	45.04	44.88	0.98	0.98	0.98
243	95.31	45.04	44.88	0.98	0.98	0.97
242	95.31	45.04	44.88	0.98	0.98	0.97
241	95.31	45.04	44.88	0.98	0.97	0.97
240	95.31	45.04	44.88	0.98	0.97	0.97
239	95.31	45.04	44.88	0.98	0.97	0.97
238	95.31	45.04	44.88	0.98	0.97	0.97
237	95.31	45.04	44.88	0.97	0.97	0.97
236	95.31	45.04	44.88	0.97	0.96	0.96
235	95.31	45.04	44.88	0.97	0.96	0.96
234	95.31	45.04	44.88	0.97	0.96	0.96

233	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.49
232	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.48
231	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.48
230	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.49
229	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.49
228	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.49
227	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.49
226	137.50	69.80	69.64	1.50	1.49	1.49
225	137.50	69.80	69.64	1.51	1.49	1.49
224	137.50	69.80	69.64	1.51	1.49	1.49
223	137.50	69.80	69.64	1.51	1.49	1.49
222	137.50	69.80	69.64	1.51	1.50	1.49
221	137.50	69.80	69.64	1.51	1.50	1.49
220	137.50	69.80	69.64	1.51	1.50	1.49
219	137.50	69.80	69.64	1.51	1.50	1.49
218	137.50	69.80	69.64	1.51	1.50	1.49
217	137.50	69.80	69.64	1.51	1.50	1.49
216	137.50	69.80	69.64	1.52	1.51	1.50
215	137.50	69.80	69.64	1.52	1.51	1.50
214	137.50	69.80	69.64	1.54	1.52	1.52
213	137.50	69.80	69.64	1.61	1.60	1.59
212	137.50	69.80	69.64	1.72	1.70	1.69
211	137.50	69.80	69.64	1.74	1.72	1.72
210	137.50	69.80	69.64	1.69	1.67	1.66
209	137.50	69.80	69.64	1.64	1.62	1.61
208	137.50	69.80	69.64	1.58	1.56	1.55
207	137.50	69.80	69.64	1.54	1.52	1.51
206	137.50	69.80	69.64	1.54	1.52	1.51
205	137.50	69.80	69.64	1.53	1.51	1.51
204	137.50	69.80	69.64	1.53	1.51	1.50
203	137.50	69.80	69.64	1.53	1.51	1.50
202	137.50	69.80	69.64	1.53	1.51	1.50
201	137.50	69.80	69.64	1.52	1.50	1.50
200	137.50	69.80	69.64	1.52	1.50	1.49
199	137.50	69.80	69.64	1.52	1.50	1.49
198	137.50	69.80	69.64	1.52	1.50	1.49
197	137.50	69.80	69.64	1.52	1.49	1.48
196	137.50	69.80	69.64	1.51	1.49	1.48
195	137.50	69.80	69.64	1.52	1.50	1.49
194	137.50	69.80	69.64	1.52	1.50	1.49
193	137.50	69.80	69.64	1.52	1.50	1.49
192	137.50	69.80	69.64	1.52	1.49	1.48
191	137.50	69.80	69.64	1.52	1.49	1.48
190	137.50	69.80	69.64	1.51	1.49	1.48
189	137.50	69.80	69.64	1.51	1.48	1.47
188	137.50	69.80	69.64	1.51	1.49	1.48
187	137.50	69.80	69.64	1.50	1.48	1.47
186	137.50	69.80	69.64	1.50	1.47	1.46
185	137.50	69.80	69.64	1.50	1.47	1.46
184	137.50	69.80	69.64	1.50	1.47	1.46
183	137.50	69.80	69.64	1.49	1.47	1.45
182	137.50	69.80	69.64	1.49	1.46	1.45
181	137.50	69.80	69.64	1.49	1.46	1.45
180	137.50	69.80	69.64	1.48	1.45	1.44
179	137.50	69.80	69.64	1.48	1.45	1.44
178	137.50	69.80	69.64	1.48	1.45	1.44
177	137.50	69.80	69.64	1.48	1.45	1.44
176	137.50	69.80	69.64	1.47	1.44	1.43
175	137.50	69.80	69.64	1.55	1.51	1.50
174	137.50	69.80	69.64	1.64	1.60	1.59
173	137.50	69.80	69.64	1.48	1.44	1.43
172	137.50	69.80	69.64	1.47	1.44	1.43

171	137.50	69.80	69.64	1.47	1.43	1.42
170	137.50	69.80	69.64	1.47	1.43	1.42
169	137.50	69.80	69.64	1.46	1.42	1.41
168	137.50	69.80	69.64	1.46	1.42	1.41
167	137.50	69.80	69.64	1.46	1.42	1.41
166	137.50	69.80	69.64	1.45	1.42	1.40
165	137.50	69.80	69.64	1.45	1.41	1.40
164	137.50	69.80	69.64	1.45	1.41	1.40
163	137.50	69.80	69.64	1.44	1.41	1.39
162	137.50	69.80	69.64	1.44	1.40	1.39
161	137.50	69.80	69.64	1.44	1.40	1.39
160	137.50	69.80	69.64	1.43	1.40	1.38
159	137.50	69.80	69.64	1.43	1.39	1.38
158	137.50	69.80	69.64	1.43	1.39	1.37
157	137.50	69.80	69.64	1.42	1.38	1.37
156	137.50	69.80	69.64	1.42	1.38	1.37
155	137.50	69.80	69.64	1.42	1.38	1.36
154	137.50	69.80	69.64	1.41	1.37	1.36
153	137.50	69.80	69.64	1.41	1.37	1.35
152	137.50	69.80	69.64	1.41	1.36	1.35
151	137.50	69.80	69.64	1.40	1.36	1.35
150	137.50	69.80	69.64	1.40	1.36	1.34
149	137.50	69.80	69.64	1.40	1.35	1.34
148	137.50	69.80	69.64	1.39	1.35	1.33
147	137.50	69.80	69.64	1.39	1.34	1.33
146	137.50	69.80	69.64	1.38	1.34	1.32
145	137.50	69.80	69.64	1.38	1.34	1.32
144	137.50	69.80	69.64	1.38	1.33	1.32
143	137.50	69.80	69.64	1.37	1.33	1.31
142	137.50	69.80	69.64	1.37	1.32	1.31
141	137.50	69.80	69.64	1.36	1.32	1.30
140	137.50	69.80	69.64	1.36	1.31	1.30
139	137.50	69.80	69.63	1.35	1.31	1.29
138	137.50	69.80	69.63	1.35	1.30	1.29
137	137.50	69.80	69.62	1.35	1.30	1.28
136	137.50	69.80	69.61	1.34	1.30	1.28
135	137.50	69.80	69.60	1.34	1.29	1.28
134	137.50	69.80	69.59	1.33	1.29	1.27
133	137.50	69.80	69.57	1.33	1.28	1.27
132	137.50	69.80	69.56	1.33	1.28	1.26
131	137.50	69.80	69.55	1.32	1.27	1.26
130	137.50	69.80	69.54	1.43	1.37	1.35
129	137.50	69.80	69.54	1.32	1.27	1.25
128	137.50	69.80	69.54	1.32	1.27	1.25
127	137.50	69.80	69.53	1.31	1.26	1.24
126	137.50	69.80	69.53	1.31	1.26	1.24
125	137.50	69.80	69.52	1.30	1.25	1.23
124	137.50	69.79	69.51	1.30	1.25	1.23
123	137.50	69.78	69.50	1.29	1.24	1.23
122	137.50	69.78	69.48	1.29	1.24	1.22
121	137.50	69.77	69.47	1.28	1.23	1.22
120	137.50	69.76	69.45	1.28	1.23	1.21
119	137.50	69.75	69.44	1.27	1.22	1.21
118	137.50	69.73	69.43	1.27	1.22	1.20
117	137.50	69.73	69.42	1.27	1.21	1.20
116	137.50	69.71	69.40	1.26	1.21	1.19
115	137.50	69.70	69.37	1.26	1.21	1.19
114	137.50	69.70	69.35	1.24	1.18	1.17
113	137.50	69.69	69.32	1.25	1.20	1.18
112	137.50	69.69	69.32	1.24	1.19	1.18
111	137.50	69.68	69.30	1.24	1.19	1.17
110	137.50	69.67	69.29	1.24	1.18	1.17



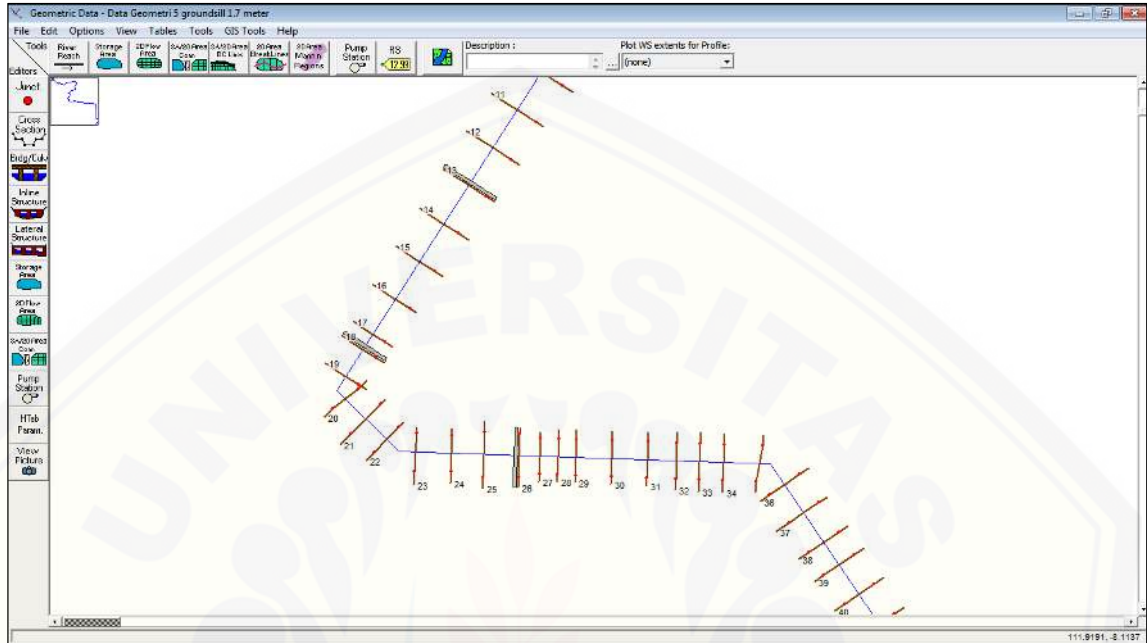
109	137.50	69.66	69.28	1.23	1.18	1.16
108	137.50	69.64	69.28	1.23	1.17	1.16
107	137.50	69.64	69.28	1.22	1.17	1.15
106	137.50	69.62	69.24	1.22	1.16	1.15
105	137.50	69.60	69.20	1.21	1.16	1.14
104	137.50	69.59	69.16	1.21	1.15	1.14
103	137.50	69.58	69.13	1.20	1.15	1.13
102	137.50	69.57	69.11	1.20	1.15	1.13
101	137.50	69.54	69.10	1.19	1.14	1.12
100	137.50	69.52	69.10	1.32	1.26	1.24
99	137.50	69.52	69.10	1.31	1.25	1.23
98	137.50	69.52	69.10	1.31	1.25	1.23
97	137.50	69.52	69.10	1.24	1.18	1.16
96	137.50	69.52	69.10	1.18	1.12	1.11
95	137.50	69.45	68.95	1.17	1.12	1.10
94	137.50	69.44	68.91	1.17	1.12	1.10
93	137.50	69.44	68.90	1.16	1.11	1.09
92	137.50	69.44	68.89	1.16	1.11	1.09
91	137.50	69.42	68.85	1.15	1.10	1.09
90	137.50	69.38	68.80	1.16	1.11	1.09
89	137.50	69.35	68.77	1.15	1.10	1.08
88	137.50	69.31	68.72	1.15	1.10	1.08
87	137.50	69.29	68.70	1.15	1.10	1.08
86	137.50	69.26	68.66	1.14	1.09	1.07
85	137.50	69.26	68.62	1.13	1.08	1.06
84	137.50	69.25	68.54	1.11	1.06	1.05
83	137.49	69.14	68.36	1.12	1.07	1.06
82	137.49	69.14	68.36	1.12	1.07	1.05
81	137.48	69.11	68.28	1.12	1.07	1.05
80	137.45	69.08	68.22	1.11	1.06	1.04
79	137.42	69.05	68.11	1.11	1.06	1.05
78	137.39	69.05	68.05	1.08	1.03	1.02
77	137.24	68.91	67.82	1.11	1.06	1.04
76	137.24	68.91	67.82	1.11	1.06	1.04
75	137.24	68.91	67.82	1.10	1.05	1.03
74	137.22	68.90	67.82	1.11	1.06	1.05
73	137.22	68.90	67.82	1.11	1.06	1.04
72	137.18	68.90	67.81	1.10	1.05	1.03
71	137.07	68.83	67.76	1.08	1.03	1.02
70	136.96	68.77	67.73	1.08	1.03	1.02
69	136.90	68.73	67.72	1.08	1.03	1.01
68	136.83	68.67	67.68	1.07	1.02	1.00
67	136.73	68.58	67.62	1.08	1.03	1.01
66	136.72	68.58	67.62	1.06	1.01	1.00
65	136.65	68.45	67.56	1.07	1.02	1.00
64	136.64	68.41	67.56	1.06	1.01	0.99
63	136.59	68.30	67.48	1.06	1.01	0.99
62	136.57	68.21	67.46	1.05	1.01	0.99
61	136.49	68.11	67.39	1.04	1.00	0.98
60	136.41	68.02	67.30	1.03	0.98	0.97
59	136.37	67.96	67.22	0.99	0.95	0.93
58	136.22	67.75	67.10	1.03	0.98	0.96
57	136.22	67.75	67.10	1.01	0.97	0.95
56	136.22	67.75	67.10	1.01	0.96	0.95
55	136.22	67.75	67.10	1.02	0.97	0.95
54	136.22	67.75	67.10	1.03	0.99	0.97
53	136.22	67.75	67.10	1.03	0.98	0.97
52	136.22	67.75	67.10	1.03	0.99	0.97
51	136.22	67.75	67.10	1.03	0.98	0.97
50	136.22	67.75	67.10	1.04	0.99	0.98
49	136.20	67.73	67.10	1.06	1.01	0.99
48	136.20	67.73	67.10	1.00	0.95	0.94



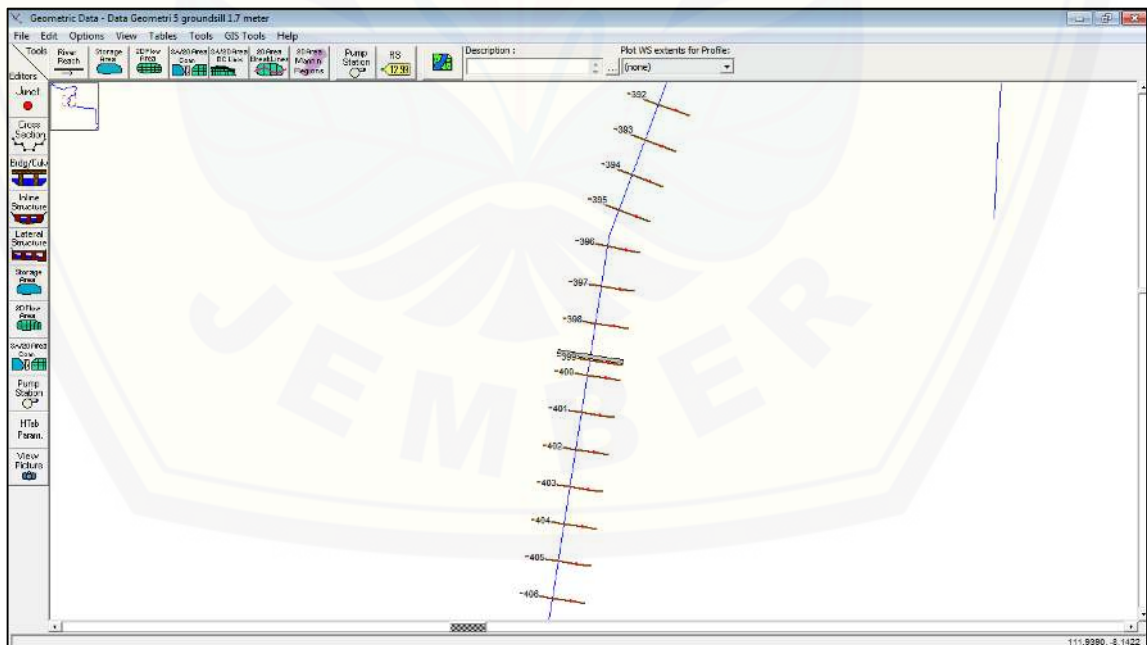
47	136.00	67.60	66.98	1.00	0.96	0.94
46	135.95	67.59	66.98	1.01	0.97	0.95
45	135.94	67.59	66.98	1.00	0.95	0.93
44	135.85	67.54	66.93	0.98	0.93	0.92
43	135.62	67.43	66.77	0.97	0.92	0.91
42	135.33	67.38	66.71	0.98	0.94	0.92
41	135.21	67.38	66.71	0.98	0.93	0.92
40	135.05	67.36	66.71	0.97	0.92	0.91
39	134.82	67.30	66.67	0.97	0.92	0.91
38	134.77	67.30	66.67	0.96	0.92	0.90
37	134.67	67.26	66.62	0.95	0.91	0.89
36	134.55	67.20	66.56	0.95	0.91	0.89
35	134.43	67.15	66.53	0.95	0.91	0.89
34	134.38	67.14	66.52	0.95	0.90	0.89
33	134.32	67.11	66.51	0.95	0.90	0.89
32	134.27	67.10	66.49	0.95	0.91	0.89
31	134.26	67.10	66.49	0.96	0.92	0.90
30	134.23	67.10	66.49	0.97	0.92	0.91
29	134.21	67.10	66.49	0.97	0.93	0.91
28	134.21	67.10	66.49	0.97	0.93	0.91
27	134.21	67.10	66.49	0.99	0.94	0.93
26	134.21	67.10	66.49	0.83	0.87	0.86
25	135.35	66.79	65.89	0.79	0.77	0.76
24	137.19	65.58	64.95	0.96	0.93	0.92
23	137.19	65.58	64.95	0.95	0.92	0.91
22	137.19	65.58	64.95	1.02	0.99	0.98
21	137.19	65.58	64.95	0.88	0.85	0.84
20	137.19	65.58	64.95	1.06	1.02	1.01
19	137.19	65.58	64.95	1.05	1.02	1.01
18	137.19	65.58	64.95	1.04	1.01	1.00
17	137.19	65.58	64.95	1.07	1.06	1.06
16	137.19	65.58	64.95	0.92	0.91	0.91
15	137.19	65.58	64.95	0.89	0.88	0.87
14	137.19	65.58	64.95	0.87	0.86	0.86
13	137.19	65.58	64.95	0.78	0.82	0.81
12	139.47	65.58	64.95	0.72	0.72	0.72
11	141.55	64.21	64.19	0.73	0.73	0.73
10	143.35	63.64	63.93	0.63	0.63	0.63
9	144.81	66.33	66.35	0.63	0.63	0.63
8	143.02	65.90	65.98	0.75	0.75	0.75
7	143.02	65.90	65.98	0.77	0.77	0.77
6	143.02	65.90	65.98	0.78	0.78	0.78
5	143.02	65.90	65.98	0.64	0.64	0.64
4	142.94	65.88	65.97	0.72	0.72	0.72
3	142.94	65.88	65.97	0.80	0.80	0.80
2	142.94	65.88	65.97	1.14	1.14	1.14
1	142.94	65.88	65.97	1.23	1.23	1.23
0.1	142.94	65.88	65.97	1.27	1.27	1.27
0	142.94	65.88	65.97	1.62	1.62	1.62

LAMPIRAN-2

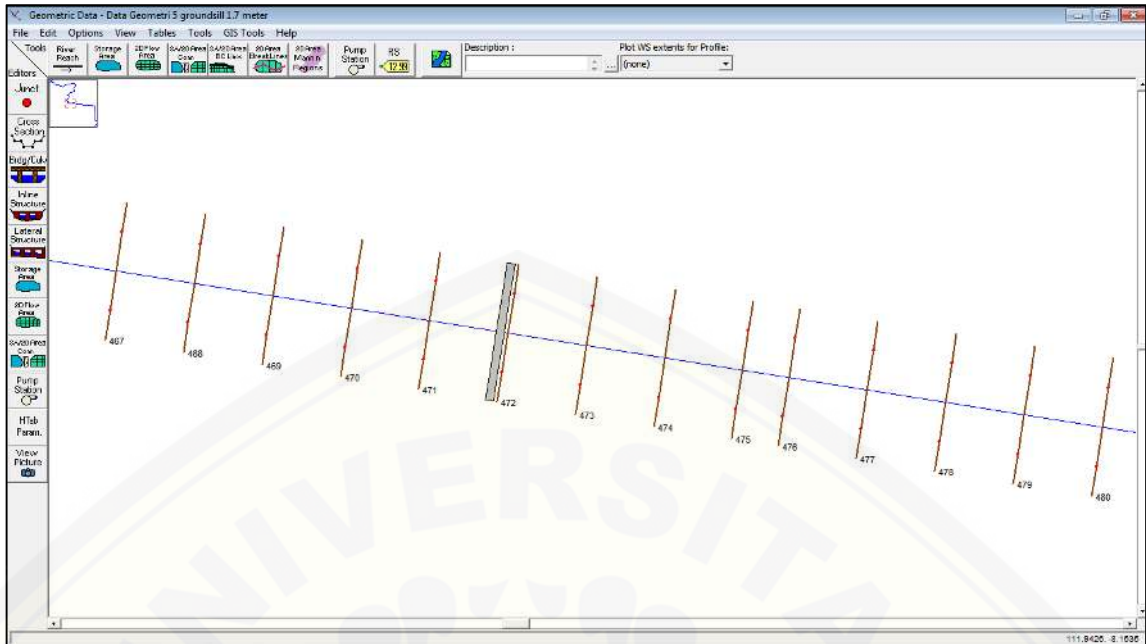
TAMPILAN HASIL *INPUT INLINE STRUCTURE DATA SOFTWARE HEC-RAS*



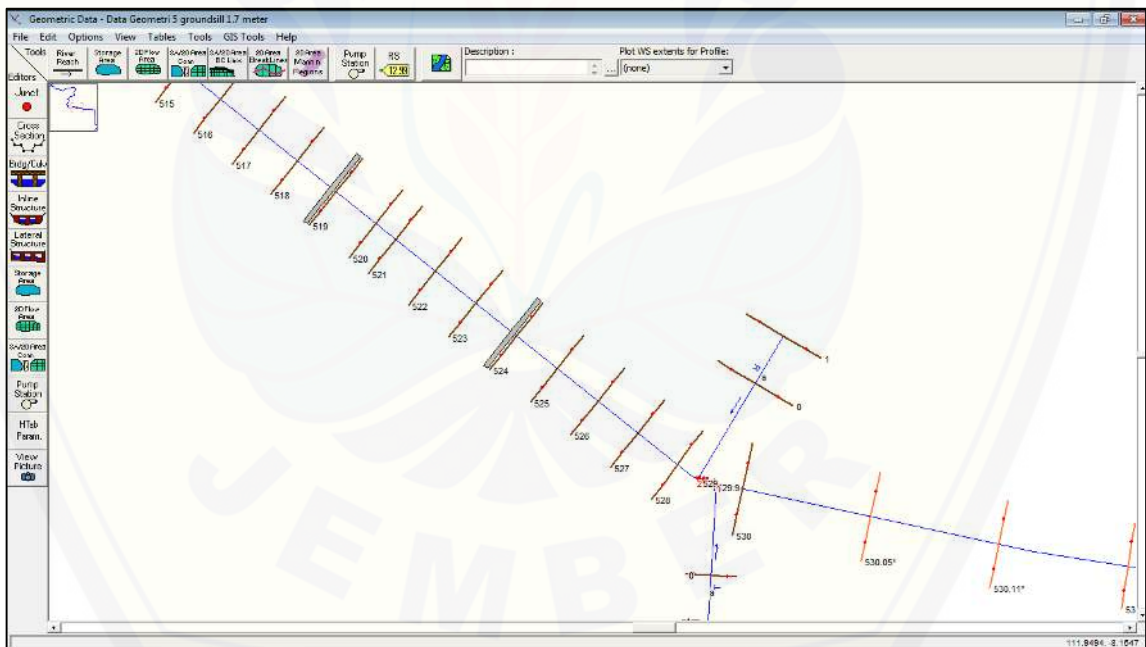
Tampilan *input ground sill* pada STA 13, 18, 26



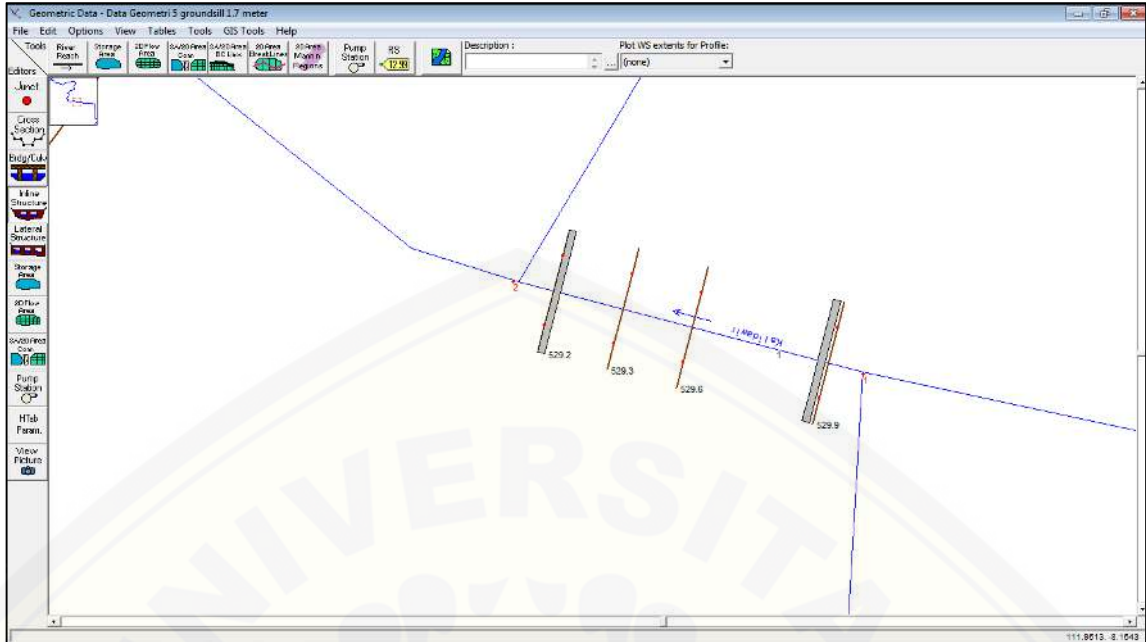
Tampilan *input ground sill* pada STA 399



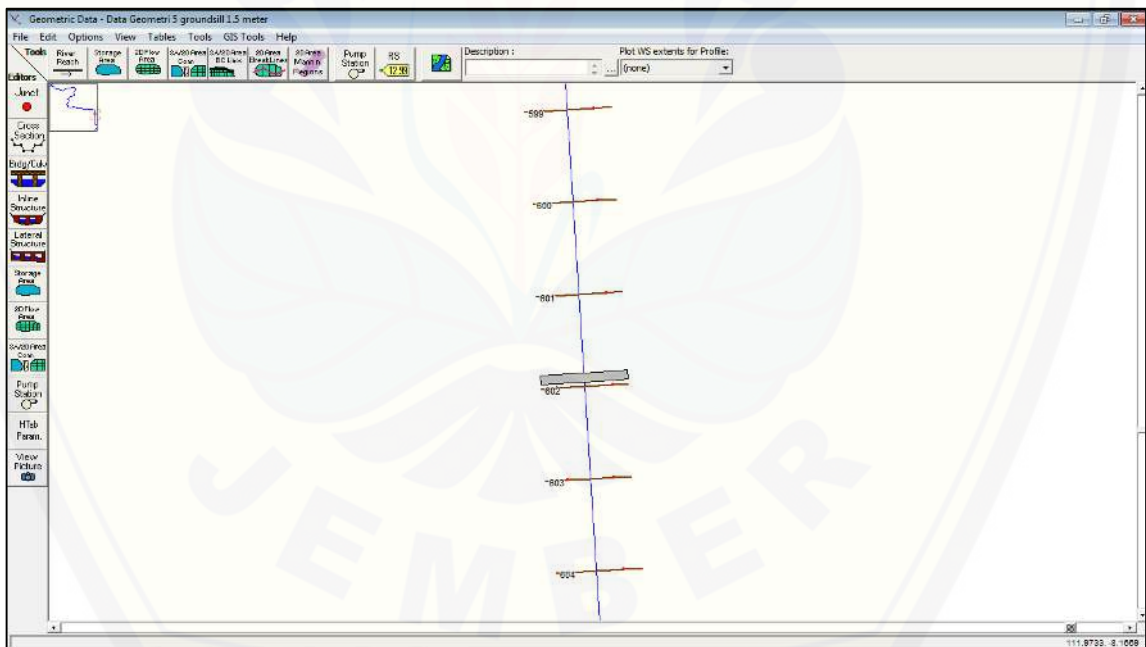
Tampilan *input ground sill* pada STA 472



Tampilan *input ground sill* pada STA 519 dan 524



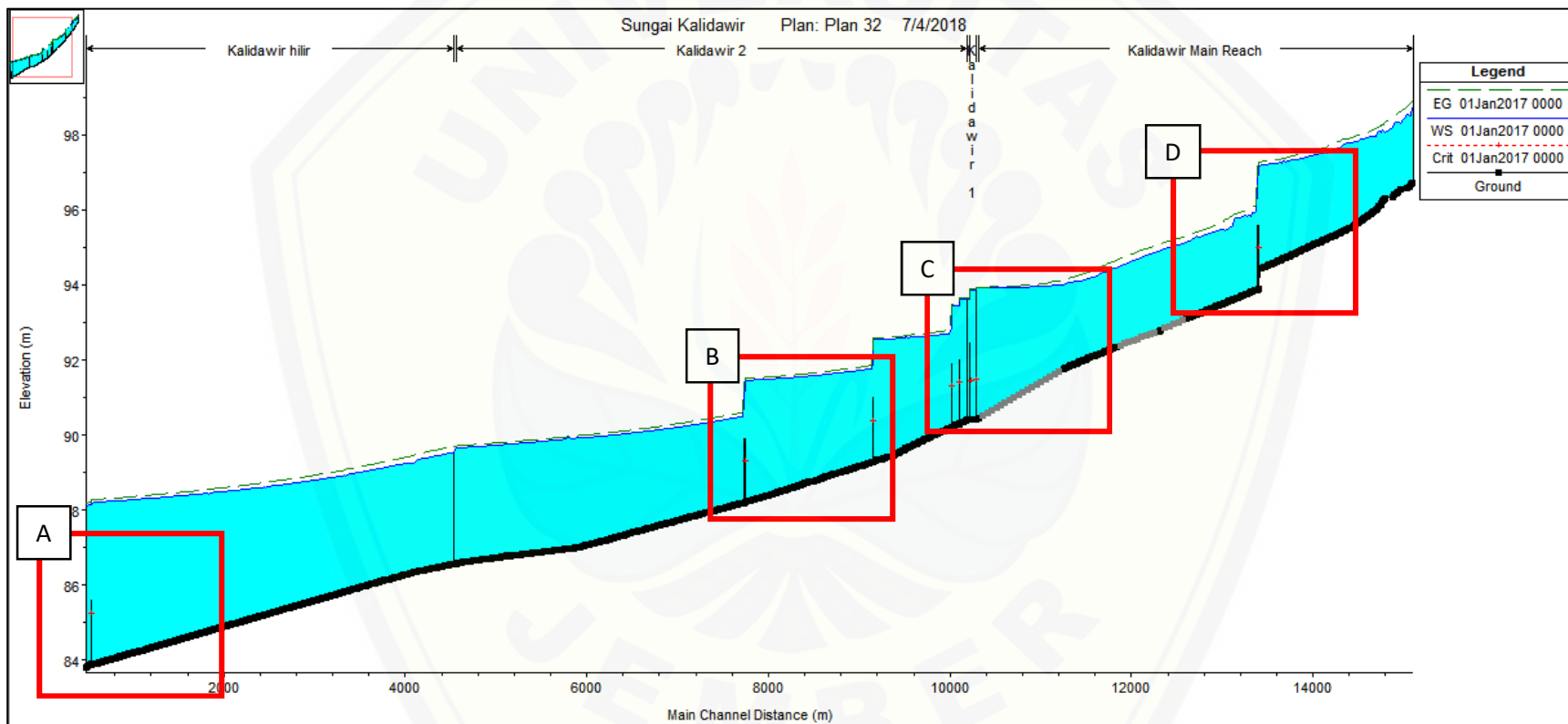
Tampilan *input ground sill* pada STA 529.3 dan 529.9



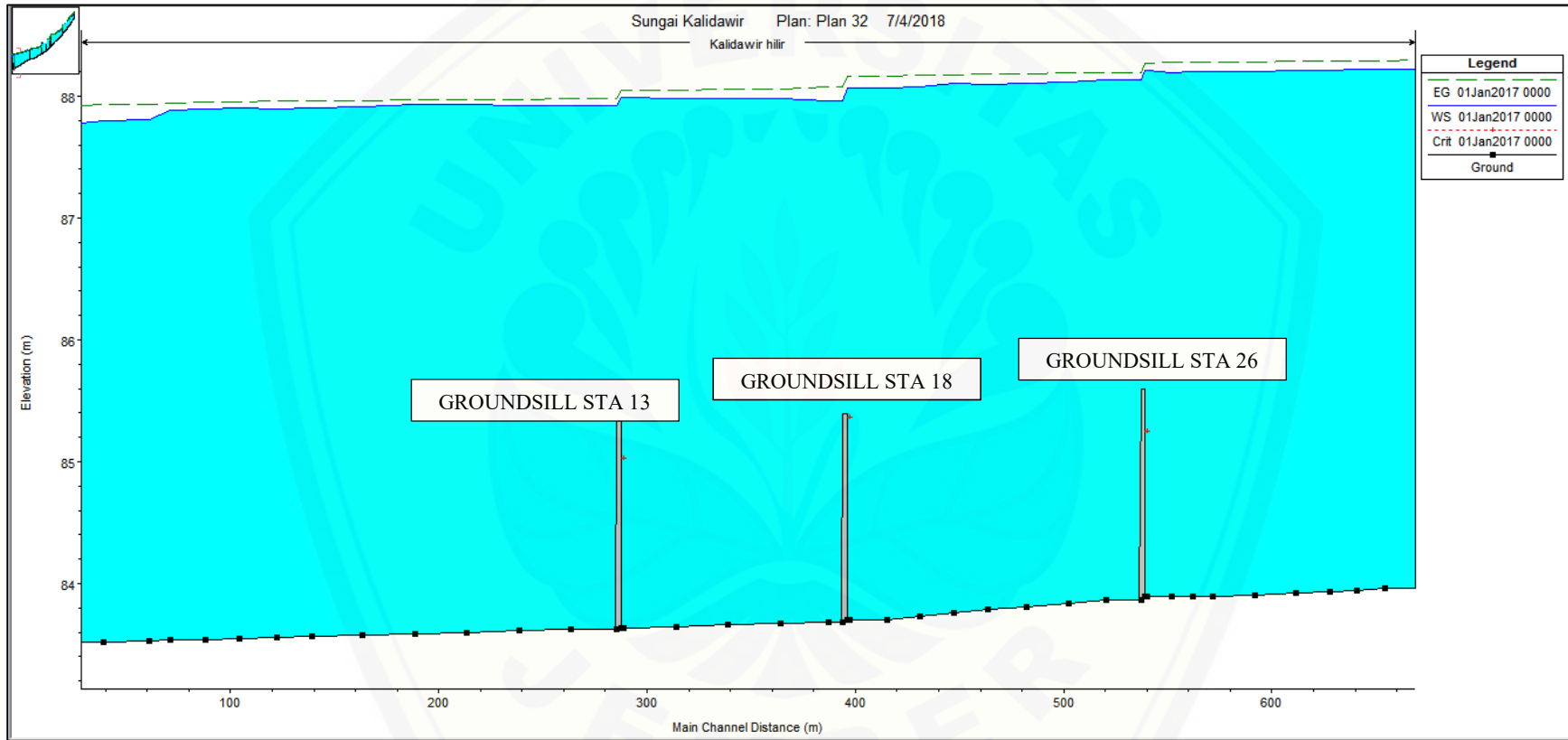
Tampilan *input ground sill* pada STA 602

LAMPIRAN-3

PENAMPANG MEMANJANG SUNGAI

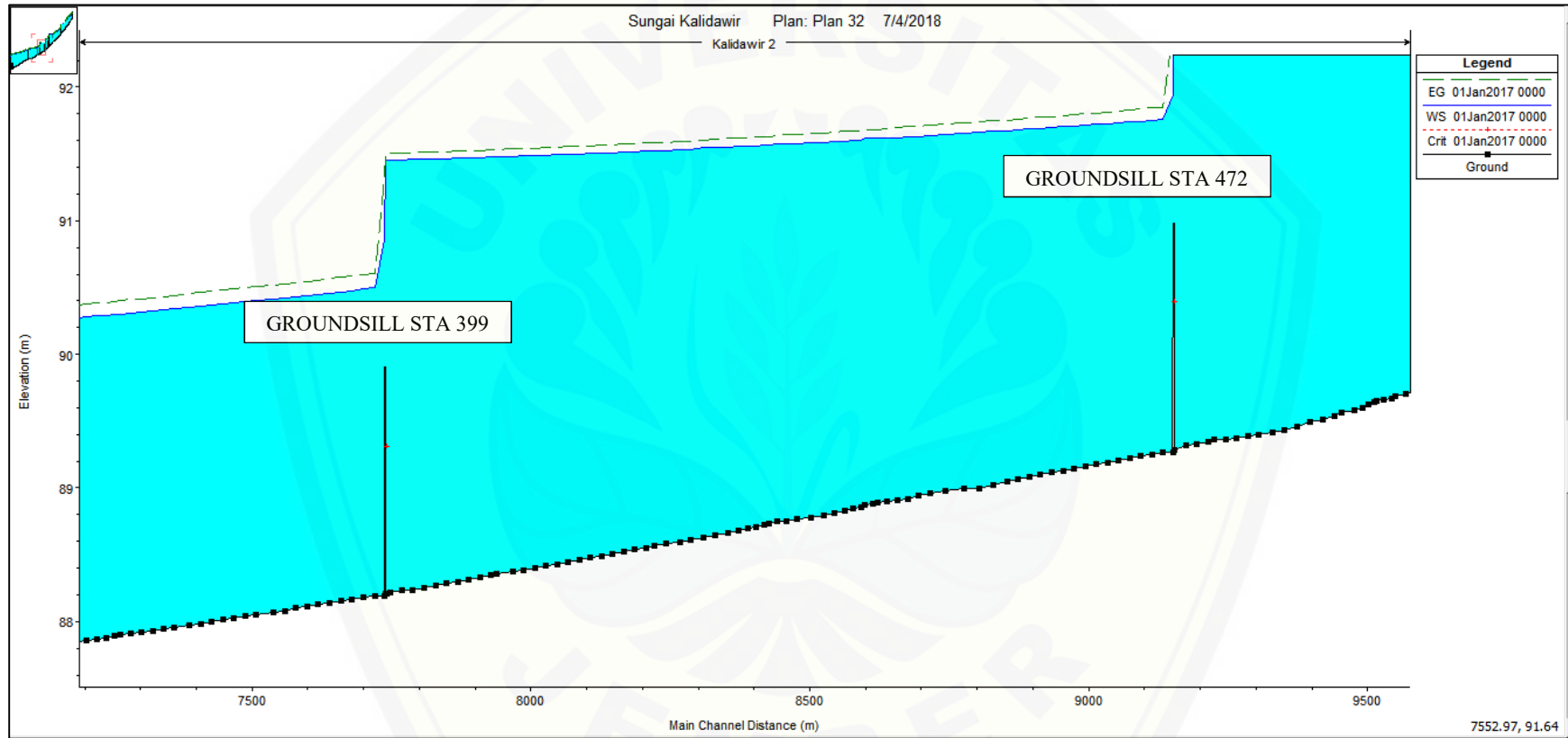


**PENAMPANG MEMANJANG SUNGAI (A)**

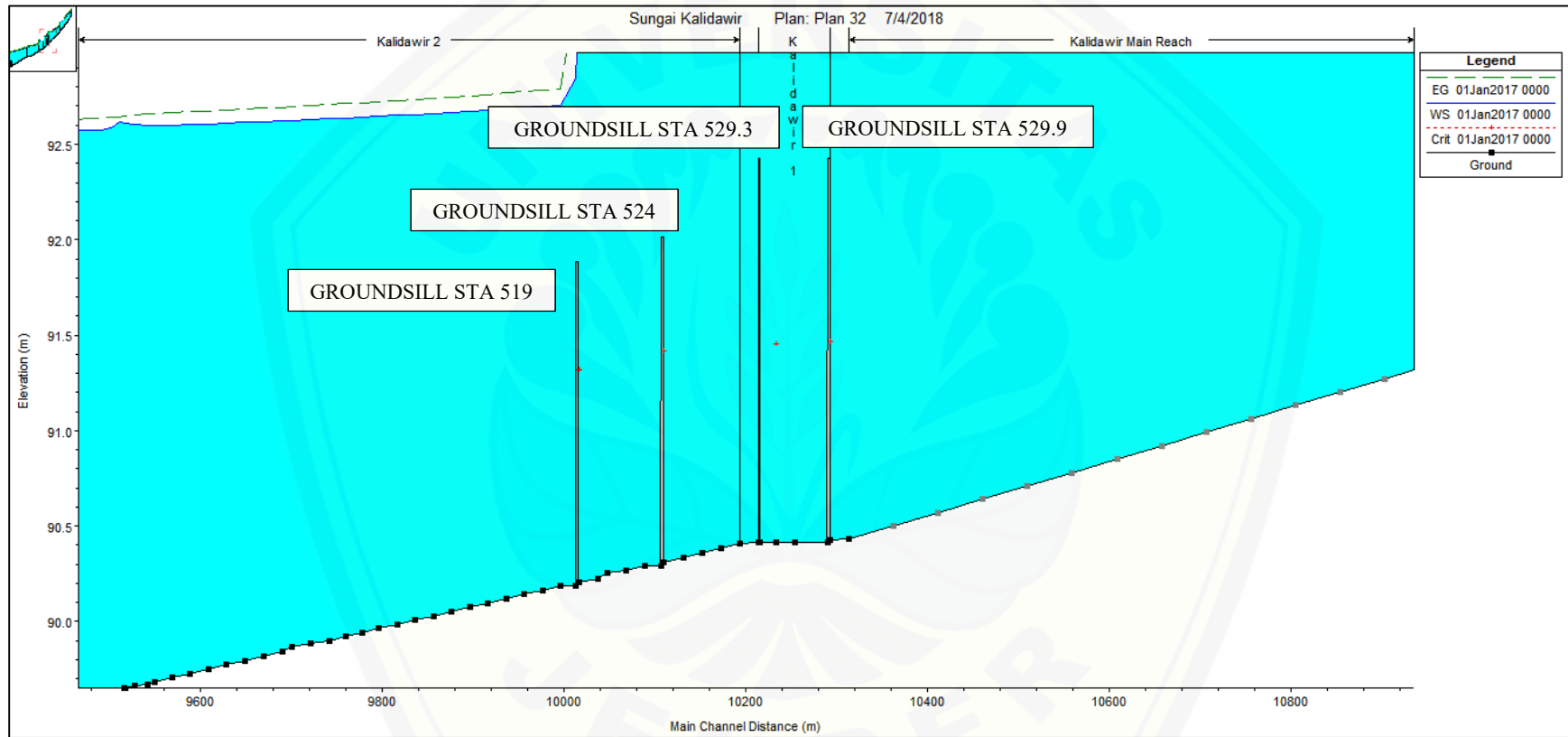




## PENAMPANG MEMANJANG SUNGAI (B)



**PENAMPANG MEMANJANG SUNGAI (C)**



**PENAMPANG MEMANJANG SUNGAI (D)**

