

**DESAIN PENAMPANG SUNGAI WAY BESAI
MELALUI PENINGKATAN KAPASITAS SUNGAI
MENGUNAKAN *SOFTWARE HEC-RAS***

Skripsi

Oleh

TRI UTAMI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRACT

SECTION DESIGN OF WAY BESAI RIVER WITH THE CAPACITY INCREASING OF THE RIVER USING HEC-RAS SOFTWARE

Oleh

TRI UTAMI

Way Besai river is located in Sumberjaya subdistrict, West Lampung district, Lampung. It is one of the sub river from Tulang Bawang river. Way Besai river has been used as a the electric power source, known as Besai hydropower. Besai Hydropower has decreased energy supply of 40 MW from the supply optimum can reaches 90 MW. his is due to the catcment area conditions of the Way Besai rivers are "metastable" so which effected in the shallowing of the cross-section quickly. So it needs the capacity increased of the cross-section of the river until the early condition where is the supply can reaches 90 MW.

For the first step in improving the capacity of the Way Besai river needed hydraulics river simulation process that facilitated by using Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS) Program. HEC-RAS program can help to modeling the flow of cross-section of the river on the existing condition and normalization using the steady flow options and data input including maximum discharge data. The output of modeling using HEC-RAS program can be seen in the form of pictures and a table that presents the characteristics of a cross-section of the river.

From the result of the analysis founded that to reach the normalization condition, needs the dredging until the elevation +713,00 level, with 2.435.590,09 m³ of volume capacity of dredging. When the water level of the river reaches Full Supply Level (FSL) elevation that is on elevation +722,00 level founded that the maximum discharge in the downstream in the amount of 57,19 m³/s, with water volume capacity in the 1.471.185,77 m³. For the Reservoir Surface Area in Way Besai river has increased with 28.6% from the exsisting condition that recorded from Sta 0+000 level until sta 3+391,45 level

Keywords: Debit ,HEC-RAS, Manning calibration , Normalization, River.

ABSTRAK

DESAIN PENAMPANG SUNGAI WAY BESAI MELALUI PENINGKATAN KAPASITAS SUNGAI MENGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS

Oleh

TRI UTAMI

Sungai Way Besai terletak di kecamatan Sumberjaya, Kabupaten Lampung Barat yang merupakan salah satu anak sungai dari sungai Tulang Bawang. Saat ini sungai Way Besai telah dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yang dikenal dengan nama PLTA Besai. Kondisi PLTA saat ini mengalami penurunan pasokan energi sebesar 40 MW, hal ini dikarenakan oleh kondisi tanah pada sungai ini yang bersifat “metastable” yang mengakibatkan pendangkalan penampang sungai secara cepat. Sehingga dibutuhkan peningkatan penampang sungai sampai pada kondisi awal, dimana pasokan energi di PLTA tersebut mencapai 90 MW.

Untuk langkah awal dalam meningkatkan kapasitas sungai Way Besai dibutuhkan proses simulasi hidrolika sungai yang dipermudah dengan menggunakan Program *Hydrologic Engineering Center-River Analysis System* (HEC-RAS). Program HEC-RAS dapat membantu memodelkan aliran penampang sungai pada kondisi existing dan normalisasi yang menggunakan opsi aliran *steady flow* dan *input* data berupa data debit maksimum. Output dari pemodelan menggunakan program HEC-RAS ini dapat dilihat berupa gambar dan tabel yang menyajikan tentang karakteristik dari penampang sungai tersebut.

Dari hasil analisis diperoleh bahwa untuk mencapai kondisi normalisasi, dilakukan pengerukan sampai pada elevasi +713,00 dengan kapasitas volume galian sebesar 2.435.590,09 m³. Ketika muka air sungai mencapai elevasi *Full Supply Level* (FSL) yaitu pada elevasi +722,00 diperoleh debit maksimum di penampang hilir sungai sebesar 57,19 m³/s, dengan kapasitas volume air mencapai 1.471.185,77 m³. Untuk *Reservoir Surface Area* sungai Way Besai pada kondisi normalisasi mengalami peningkatan sebesar 28,6% dari kondisi existing yang terukur dari Sta 0+000 sampai 3+391,45.

Kata kunci : Sungai, Debit, Normalisasi, Kalibrasi Manning, HEC-RAS

**DESAIN PENAMPANG SUNGAI WAY BESAI
MELALUI PENINGKATAN KAPASITAS SUNGAI
MENGUNAKAN *SOFTWARE HEC-RAS***

Oleh

TRI UTAMI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
Sarjana Teknik**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

**Skripsi : DESAIN PENAMPANG SUNGAI WAY BESAI
MELALUI PENINGKATAN KAPASITAS SUNGAI
MENGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS**

Nama Mahasiswa : TRI UTAMI

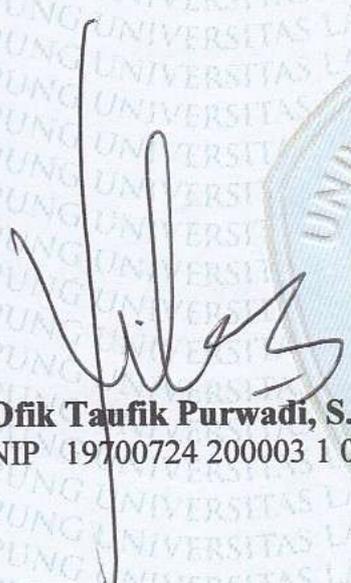
No. Pokok Mahasiswa : 1115011106

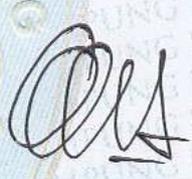
Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing,


Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T.
NIP 19700724 200003 1 002


Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

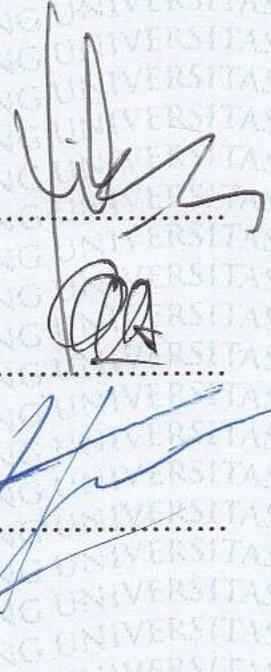
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T.

Sekretaris : Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.**

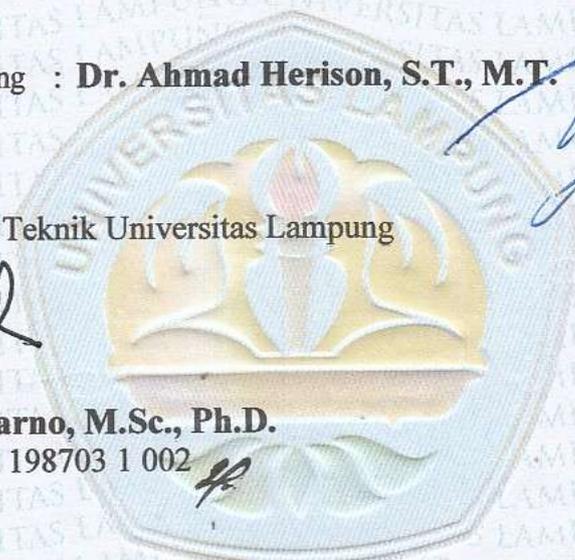


2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 April 2016

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Skripsi dengan judul Desain Penampang Sungai Way Besai Melalui Peningkatan Kapasitas Sungai Menggunakan *Software* HEC-RAS adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, April 2016



at Pernyataan

Tri Utami

MOTO

*Bukanlah Kesabaran, Jika Masih Memiliki Batas dan Bukanlah Keikhlasan
Jika Merasakan Sakit.*

*Berangkat dengan penuh Keyakinan, Berjalan dengan penuh Keikhlasan, dan
Istiqomah dalam menghadapi Cobaan.
(TGKH. Muhammad Zainuddin Abdul majid)*

*Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta
orang-orang yang sabar.
(Al-Baqoroh : 153)*

*Jika Allah menolong kamu, maka tak adalah orang yang dapat mengalahkan
kamu; jika Allah membiarkan kamu (tidak memberi pertolongan), maka siapakah
gerakan yang dapat menolong kamu (selain) dari Allah sesudah itu? Karena itu
hendaknya kepada Allah saja orang-orang mu'min bertawakkal.*

(Ali 'Imran : 160)

*Kebutuhan manusia terhadap ilmu (syar'i) itu melebihi kebutuhannya terhadap
makanan dan minuman. Hal itu karena seseorang membutuhkan makanan dan
minuman hanya sekali atau dua kali (saja), adapun kebutuhannya terhadap ilmu
(syar'i) itu sebanyak tarikan nafasnya.*

(Imam Ahmad bin Hanbal; Madaarijus Saalikin, 2/440)

Sebuah Karya Kecil untuk....

*Sebesar apapun yang akan aku lakukan, tidak akan pernah sebanding dengan semua yang telah engkau berikan
Bahkan sekuat dan sebesar apapun yang ada di dunia ini, tidak akan sebanding dengan kasih sayang serta pengorbanan mu.
Karyaku ini memang tidak akan bisa membalas semua apa yang telah engkau berikan untukku..
Tapi dengan karyaku, aku mencoba memberikan setitik kebahagiaan untuk mu.
Dan satu yang tidak akan pernah ku lupa, dan akan s'lalu aku lakukan yakni mendo'akan mu agar Ar-Rohman memberikan Firdaus-Nya Untukmu, Bapak & Mamak*

**Bapak dan Mamak tercinta, pembimbing dan sumber semangatku, yang selalu memberiku kepercayaan hingga aku bisa selalu belajar menjadi seseorang yang mandiri serta selalu memberiku kasih, dan doa yang tulus.
Adikku Rohman Udin Al-Ansorry & Raffi Akbar Al-Fahrezzy yang telah memberiku inspirasi untuk selalu optimis, percaya diri, bersikap dewasa dan selalu belajar tentang ilmu islam yang kekal .
dan Almamater tercinta.**

**Tanpa kalian semua, karya ini mungkin hanya
ada dalam angan.**

**Aku belajar, Aku tegar, dan Aku bersabar
hingga Aku berhasil.
Terima Kasih Untuk Semua..!!!**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Margototo pada tanggal 09 Februari 1993. Penulis merupakan putra dari pasangan Bapak Sartini dan Ibu Muslimah, anak pertama dari tiga bersaudara.

Dengan rahmat Allah SWT penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak Darma Wanita, Dipasena Utama pada tahun 1999, Sekolah Dasar Negeri 06 Margototo pada tahun 2005, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Metro Kibang pada tahun 2008 dan Sekolah Menengah Atas Negeri 4 Metro tahun 2011. Terakhir Penulis tercatat sebagai mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Sipil Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2011.

Pada tahun 2014, penulis melakukan Kerja Praktek di Proyek Pembangunan Hotel Grand Dafam Lampung dan Penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gedung Asri, Kecamatan Penawar Aji, Kabupaten Tulang Bawang. Penulis mengambil skripsi dengan judul Desain Penampang Sungai Way Besai Melalui Peningkatan Kapasitas Sungai. Menggunakan Software HEC-RAS..

Saat menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi Asisten Striktur Baja I, Analisa Struktur III, Mekanika Bahan, dan Irigasi. Dan selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa Fakultas Forum Silaturahmi dan Studi Islami Fakultas Teknik (UKMF FOSSI FT) dan menjadi anggota pada divisi KOMINFO di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT)

SANWACANA

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi dengan judul “Desain Penampang Sungai Way Besai Melalui Peningkatan Kapasitas Menggunakan Software HEC-RAS” dapat terselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada program reguler Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penelitian yang dilakukan penulis adalah analisis penampang sungai Way Besai dengan mendesain ulang penampang tersebut kembali seperti kondisi awal (Normalisasi) menggunakan Software HEC-RAS. Penelitian ini didukung dengan data sekunder berupa data debit, data penampang melintang sungai, dan data memanjang sungai.

Dalam penyusunan skripsi ini tentu tidak terlepas dari bantuan, dorongan dan saran-saran dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M. Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3. Bapak Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I, yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat dan banyak ilmu tentang dunia Teknik Sipil serta bantuannya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M. Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II yang banyak memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ahmad Herison S.T., M.T., selaku dosen penguji yang turut memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Istiarto selaku dosen UGM yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, semangat, dan waktunya untuk mengenalkan lebih jauh kepada saya tentang Software HEC-RAS lebih jauh.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
8. Untuk yang terspesial dalam hidup saya, Bapak dan Mamak tercinta, adik-adikku tersayang Rohman Udin Al-Ansory dan Raffi Akbar Al-Fahrezzy yang telah memberikan cinta dan kasih sayang serta dorongan material dan spiritual dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-temanku yang selalu memberikan kebahagiaan dan keceriaan diatas kesedihan: Ajeng Prameswari, Sepriskha Diansari, dan Kiki Lolita Sari.
10. Teman-temanku seperjuangan dalam konsentrasi Hidro: Mega Astriyana, Astika Murni Lubis, Firdaus Dan Deni Saputra JP. Serta teman-teman angkata 2011 yang telah memberi sejarah dalam hidupku.
11. Teman-teman kosan Sabar : Ni'mah, Amel, Puput, Ista, Uli, Unyil, dan Evi,
12. Segenap pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan dan kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang

bersifat membangun. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua, terutama rekan–rekan mahasiswa Fakultas Teknik dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Bandar Lampung, 3 Maret 2016

Penulis

Tri Utami

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Siklus Hidrologi.....	5
B. Sungai	9
C. Hidrometri	11
D. Debit	13
1. Metode Pengukuran Debit Air	14
2. Faktor Penentu Debit Air	17
E. Analisa Saluran Terbuka	21
1. Aliran permanen dan tidak permanen	21
2. Aliran seragam dan berubah.....	22
3. Aliran laminer dan turbulen	22
4. Aliran subkritis, kritis, dan superkritis	23
A. Program HEC-RAS	34
1. Hitungan profil muka air aliran permanen,	34
2. Simulasi aliran tak permanen,	35
3. Hitungan transport sedimen,	36
4. Hitungan kualitas air.	36

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian	39
B. Data yang digunakan	39
C. Tahapan Penelitian	40
1. Tahapan Persiapan.....	40
2. Tahapan Analisis dengan HEC-RAS	40
a. Membuka HEC-RAS.....	40
b. Mengatur Awal Program	41
c. Pembuatan File Project.....	43
d. Peniruan Geometri Saluran.....	44
e. Titik Cabang (<i>Junction</i>).....	54
f. Interpolasi Tampang Lintang (<i>Interpolation</i>).....	56
g. Memasukkan Data Aliran.....	57
h. Hitungan Hidraulika	61
D. Diagram Alir Penelitian.....	64

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Dengan Menggunakan <i>Software</i> HEC-RAS.....	65
B. Kalibrasi antara Angka <i>Manning</i> dan Elevasi Muka Air.....	73
C. Analisa Hasil <i>Running</i>	75
D. Peningkatan Kapasitas Sungai (Normalisasi).....	78

V. PENUTUP

A. Kesimpulan.....	86
B. Saran	87

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN I (Data Hasil HEC-RAS)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus Hidrologi	6
2. Peredaran Air Sebagai Suatu Sistem	8
3. Distribusi kecepatan di berbagai potongan melintang saluran.....	25
4. Pola distribusi kecepatan sebagai fungsi kedalaman	25
5. Kontinuitas aliran dalam suatu pias	30
6. Energi dalam aliran	32
7. Penerapan dalil momentum.....	33
8. Penggambaran persamaan energi pada saluran terbuka	38
9. Lokasi Sungai Way Besa, Sumber Jaya, Lampung Barat.....	39
10. Tampilan awal HEC-RAS.....	41
11. Tampilan penetapan folder <i>default</i> penyimpanan file <i>project</i>	42
12. Tampilan pengaturan system satuan	42
13. Tampilan pembuatan project baru.....	43
14. Tampilan Konfirmasi pembuatan project baru	43
15. Tampilan editor data geometri	44
16. Mengaktifkan layar pemuatan gambar latar belakang	45
17. Mengatur cakupan layar editor data geometri.....	46
18. Editor data geometri yang berlatar belakang gambar alur	46
19. Tampilan Konfirmasi pembuatan alur Sungai Utama.....	47
20. Tampilan Konfirmasi pembuatan alur Sungai Cabang.....	47
21. Tampilan konfirmasi pembuatan alur sungai bercabang	48
22. Tampilan penyimpanan file data geometri.....	49
23. Tampilan pemberian nama pada <i>River Sta.</i>	50
24. Tampilan pengisian pada <i>Description</i>	51
25. Tampilan pengisian <i>Cross section Coordinates</i>	52
26. Tampilan setelah pengisian table <i>Downstream Reach Lengths, Manning's n Values, Main Channel Bank Stations, dan Cont\Exp Coefficients.</i>	53
27. Tampilan tampang lintang pada River Sta "0"	53
28. Tampilan layar editor geometri setelah mengisi data <i>crosssection</i>	54
29. Sketsa titik Cabang (<i>Junction</i>) Cangsai	55
30. Tampilan pengisian Data Cabang	56
31. Tampilan Interpolasi tampang lintang	57
32. Tampilan <i>icon Steady Flow Data</i>	58
33. Tampilan input data debit.	58
34. Tampilan <i>Boundary Condition</i>	59
35. Tampilan Pengisian <i>Upstream</i> di Way Besai Hulu.....	60

36. Tampilan Pengisian <i>Downstream</i> dengan data <i>Rating Curve</i>	60
37. Tampilan Pengisian <i>Upstream</i> di Way Cengkaan.....	61
38. Tampilan penyimpanan data Aliran Tunak.....	61
39. Tampilan pengisian <i>short plan identifier</i>	62
40. Tampilan hitungan aliran permanen	62
41. Tampilan hitungan hidraulika setelah selesai	63
42. Tampilan utama HEC-RAS setelah hitungan selesai.....	63
43. Flow <i>Chart</i> Penelitian	64
44. Situasi awal data dalam bentuk AutoCAD	66
45. Skema Data Geometri Sungai (<i>long section</i>)	67
46. Data <i>cross section</i> dalam Bentuk AutoCAD	68
47. Hasil <i>input</i> data penampang hulu sungai Way Besai	70
48. Jendela <i>input</i> data <i>Steady Flow</i>	72
49. Jendela <i>input Bourdary Condition</i>	72
50. Rating curve pada Sta 0+000	75
51. <i>Input</i> data <i>steady flow</i> pada kondisi <i>Existing</i>	76
52. Profi Melintang Pada Hulu Way Besai River Sta 2+500	76
53. Pofil memanjang kondisi <i>Existing</i> pada hulu dan hilir Way Besai.....	77
54. Tampak atas profil memanjang kondisi <i>Existing</i>	77
55. Pofil memanjang kondisi Normalisasi pada hulu dan hilir Way Besai ...	79
56. Perbandingan penampang <i>Existing</i> dan Normalisasi Sta 2+500.....	79
57. Tampak atas profil memanjang kondisi Normalisasi	80
58. Letak daerah <i>Spoil Bank</i>	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kekasaran Bazin untuk dinding saluran.....	27
2. Nilai koefisien kekasaran <i>Manning</i> (n) untuk Sungai Alami.....	28
3. Hasil koordinat (x,y) penampang Sta 0+125 dari AutoCAD.....	69
4. Hasil <i>trial and error</i> angka <i> Manning</i> terhadap elevasi muka air	74
5. Perbandingan hasil pemodelan <i>Existing</i> dan Normalisasi	80

DAFTAR NOTASI

A = Luas penampang saluran

C = koefisien Chezy ($m^{0,5}/dt$)

S = Kemiringan Dasar Saluran

i_e = kemiringan garis energy

K_s = nilai koefisien Strikler yang besarnya adalah $1/n$.

n = Angka manning

Q = debit aliran

P = Keliling Basah (m)

R = Jari-Jari Hidrolis ($\frac{A}{P}$) (m)

T = waktu

u = kecepatan rata-rata tampang aliran (m/dt)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

y = kedalaman aliran

DAFTAR ISTILAH

Banjir	: adalah peristiwa yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan. Diakibatkan karena keadaan alur sungai yang belum stabil atau kapasitas nya lebih kecil dari volume air yang melimpas
Baseflow	: Adalah aliran air horizontal yang terjadi di lapisan jenuh disebut aliran dasar.
Evaporasi	: Adalah air laut yang disinari matahari, sebagian akan menjadi uap ke atmosfer.
HEC-RAS	: adalah suatu software gabungan , yang dirancang untuk penggunaan yang interaktif di lingkungan. Sistem ini terdiri atas Graphical User Interface (GUI), komponen-komponen analisis hidrolik, kemampuan penyimpanan data dan manajemen, grafik dan fasilitas-fasilitas pelaporan
Hujan	: adalah jatuhnya hydrometeor yang berupa partikel-partikel air dengan diameter 0.5 mm atau lebih.
Infiltrasi	: Adalah aliran vertikal air hujan dari permukaan tanah menuju ke lapisan tak jenuh
Interflow antara.	: Adalah aliran horintal yang mengalir di daerah tak jenuh disebut aliran antara.
Intersepsi	: Adalah peristiwa terserapnya air oleh tumbuhan dan penguapan kembali air yang terserap ke atmosfer..
Kondensasi	: Adalah uap air di atmosfer membentuk awan hujan.
Presipitasi	: Adalah awan hujan berubah menjadi atau hujan.
Perkolasi	: Adalah aliran air vertikal juga terjadi dari lapisan tak jenuh menuju lapisan jenuh.
Siklus Hidrologi	: adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, akhirnya mengalir ke laut kembali.
Sungai	: Adalah suatu alur yang panjang di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan.
Surface runoff	: Adalah sebagian besar air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan menjadi aliran permukaan.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu sumber air yang dapat menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan hujan yang disebut dengan daerah tangkapan sungai atau Daerah Aliran Sungai (DAS). Di Provinsi Lampung banyak terdapat sungai-sungai besar, salah satunya adalah sungai Tulang Bawang, yang mana salah satu aliran anak sungai ini melintasi kawasan di Kecamatan Sumberjaya, Kabupaten Lampung Barat yang dikenal dengan sebutan sungai Way Besai. Sungai Way Besai memiliki banyak manfaat bagi masyarakat sekitar seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air Besai (PLTA Besai). Sejak tahun 1990 an pemerintah telah berusaha memanfaatkan aliran sungai ini untuk membangkitkan listrik yang berguna dalam memenuhi kebutuhan masyarakat sekitar. PLTA Besai ini mulai beroperasi sejak Februari 2001 dengan kapasitas terpasang 2 x 45 Mega Watt.

Letak sugai Way Besai ini berada di daerah perbukitan dengan curah hujan yang cukup tinggi serta kondisi tanah yang “metastable” (yaitu tampak stabil pada musim kemarau, namun berubah menjadi labil pada musim penghujan).

Dengan kondisi DAS Way Besai yang seperti ini memungkinkan banyaknya material permukaan tanah seperti kerikil, pasir, dan bebatuan ikut terbawa

masuk ke dalam sungai. Hujan yang jatuh ke permukaan bumi menjadi aliran permukaan yang membawa material permukaan tanah masuk ke dalam aliran sungai, hal ini dapat menimbulkan pendangkalan penampang sungai secara cepat. Pendangkalan penampang sungai ini membuat kinerja sungai Way Besai tidak maksimal karena penampang sungai akan menjadi dangkal dan kapasitas sungai akan menurun sementara itu debit yang masuk semakin besar.

Dengan kondisi ini PLTA Besai yang berada di Lampung Barat mengalami penurunan energi listrik akibat kemarau. Penurunan daya mencapai 40 MW dimana sebelumnya memiliki pasokan energi 90 MW, namun saat ini hanya bisa dioperasikan sekitar 50 MW. Data hasil studi PT Raditia Puspita Snellindo, data debit air tahun 2004 hingga 2012 (kecuali 2009 dan 2010 tidak tercatat) menunjukkan bahwa hampir sepanjang tahun, baik musim hujan dan musim kemarau mengalami limpasan air diatas *spillway* dengan ketinggian yang selalu terjadi minimum 15 cm.

PLTA Besai dibangun untuk membangkitkan daya output maksimum sebesar 90,4 MW dengan memanfaatkan tinggi terjun air dari sungai Besai. PLTA Besai merupakan pembangkit dengan tipe *run off river* dengan tampungan atau Kolam Tando Harian untuk pengoperasian sekaligus memenuhi jam puncak. Luas genangan tampungan sebesar 0,70 km² dengan debit pembangkit sebesar 24,30 m³/det. Penelitian ini mengupayakan peningkatan kapasitas penampang sungai sehingga tercapai kapasitas volume air efektif yang dapat meningkatkan waktu pengoperasian pembangkit, misalnya untuk

penambahan pengoperasian 1 jam pembangkit memerlukan volume efektif sebesar $= 87.480 \text{ m}^3$ ($24.3 \text{ m}^3/\text{detik} \times (1 \times 60 \times 60)$ detik untuk jangka pendek, sedangkan untuk jangka panjang diharapkan operasi pembangkit kembali seperti kondisi desain dengan kembalinya fungsi tampungan waduk sesuai kondisi desain.

B. Rumusan Masalah

Pendangkalan penampang sungai Way Besai menimbulkan kerugian cukup besar, seperti menurunnya daya PLTA Besai yang mencapai 40 MW. Hal ini dikarenakan semakin berkurangnya kapasitas volume air efektif sebagai pengoprasian pembangkit. Untuk itu diperlukan penanganan yang dapat meningkatkan waktu pengoprasian dari PLTA tersebut. Salah satu yang dapat dilakukan yakni mendesain ulang penampang sungai dengan meninjau debit maksimum pada aliran sungai Way Besai. Pertanyaan dari masalah ini, apakah mendesain ulang penampang sungai merupakan mitigasi yang optimal dalam mengatasi penurunan waktu pengoprasian dari PLTA Besai?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa desain penampang melintang sungai dilakukan dengan *software Hidrologic Engineering Centers – River Analisis Sistem (HEC-RAS)*
2. Data yang digunakan adalah debit maksimum yang terdapat pada sungai Way Besai.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik penampang sungai Way Besai.
2. Meningkatkan kapasitas tampungan sungai Way Besai.
3. Meminimalisir terjadinya limpasan air akibat hujan deras di atas *spillway*.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai penampang sungai Way Besai yang dapat menampung debit maksimum dengan kapasitas volume air efektif.
2. Mengetahui mitigasi yang tepat untuk mengoptimalkan kinerja PLTA Besai.
3. Meningkatkan pemanfaatan air untuk kinerja PLTA ketika hujan turun sehingga tidak terjadi limpasan pada *spillway*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

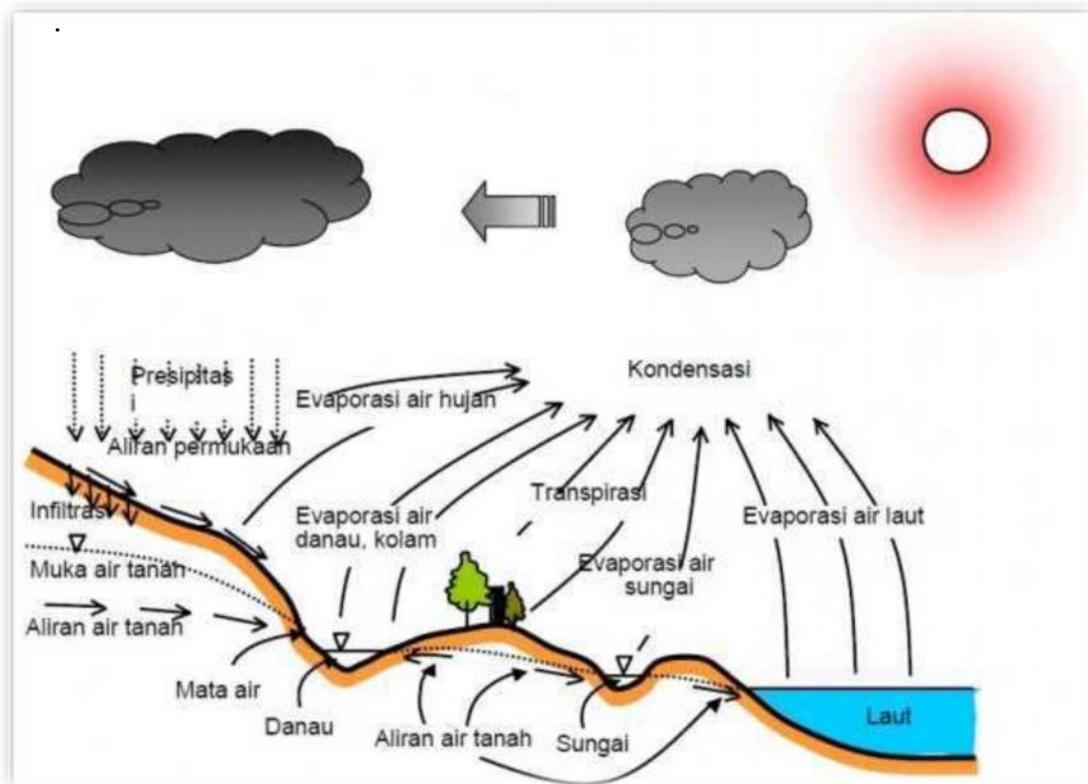
A. Siklus Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi baik mengenai terjadinya, peredarannya dan penyebarannya, sifat-sifat serta hubungannya dengan lingkungan terutama dengan makhluk hidup (Bambang Triatmodjo,2008). Hidrologi banyak dipelajari dalam berbagai bidang, salah satunya di bidang teknik sipil. Ilmu tersebut dapat dimanfaatkan dalam berbagai kegiatan seperti berikut:

1. Memperkirakan banjir yang ditimbulkan oleh hujan deras, sehingga dapat direncanakan bangunan-bangunan untuk mengendalikan seperti pembuatan tanggul banjir, saluran drainase, gorong-gorong, jembatan, dll.
2. Memperkirakan jumlah air yang dibutuhkan oleh suatu jenis tanaman, sehingga dapat direncanakan bangunan untuk melayani kebutuhan tersebut.
3. Memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air (mata air, sungai, danau, dsb) untuk dapat dimanfaatkan guna berbagai keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan, industri),irigasi, pembangkit listrik tenaga air, perikanan, peternakan, dll.

Siklus hidrologi merupakan salah satu aspek penting yang diperlukan pada proses analisis hidrologi. Siklus hidrologi menurut Sosrodarsono (2006)

adalah air yang menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut, berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan laut atau daratan. Sedangkan siklus hidrologi menurut Soemarto (1999) adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali. Dalam siklus hidrologi ini terdapat beberapa proses yang saling terkait, yaitu antara proses hujan (*presipitation*), penguapan (*evaporation*), transpirasi, infiltrasi, perkolasi, aliran limpasan (*runoff*), dan aliran bawah tanah. Secara sederhana siklus hidrologi dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1



<http://fastrans22.blogspot.com/2013/06/siklus-hidrologi-dan-penjasannya.html>

Gambar 1. Siklus Hidrologi

Penjelasan pada Gambar 1 dapat dimulai dari mana saja, akan tetapi untuk mudahnya dimulai dari penguapan. Penguapan merupakan proses alami

berubahnya molekul cairan menjadi molekul gas/uap. Penguapan dapat terjadi dari semua permukaan yang lembab, baik dari permukaan tanah, permukaan tanaman maupun dari permukaan air. Penguapan yang berasal dari benda-benda mati seperti tanah, danau, dan sungai disebut evaporasi (*evaporation*), sedangkan penguapan yang berasal dari hasil pernafasan benda hidup seperti tumbuhan, hewan, dan manusia disebut tranpirasi (*transpiration*), dan jika penguapan itu berasal dari benda-benda mati dan tanaman maka disebut evapotranspirasi. Akibat penguapan ini terkumpul massa uap air, yang dalam kondisi atmosfer tertentu dapat membentuk awan. Awan dalam keadaan ini, jika masih mempunyai butir-butir air yang berdiameter lebih kecil dari 1 mm, masih akan melayang-layang di udara karena berat butir-butir tersebut masih lebih kecil dari pada gaya tekan ke atas udara. Akibat berbagai sebab klimatologis, awan tersebut akan menjadi awan yang potensial menimbulkan hujan, yang biasanya terjadi bila butir-butir berdiameter lebih besar dari 1 mm. Bila terjadi hujan masih besar kemungkinan air teruap kembali sebelum sampai di permukaan bumi, karena keadaan atmosfer tertentu. Hujan baru disebut sebagai hujan apabila telah sampai di permukaan bumi dan dapat diukur.

Air hujan yang jatuh di permukaan terbagi menjadi dua bagian, pertama sebagai aliran limpasan (*overland flow*) dan kedua bagian air yang terinfiltrasi. Jumlah yang mengalir sebagai aliran limpasan dan yang terinfiltrasi tergantung dari banyak faktor. Makin besar bagian air hujan yang mengalir sebagai aliran limpasan maka bagian air yang terinfiltrasi akan menjadi semakin kecil, demikian juga sebaliknya. Aliran limpasan

selanjutnya mengisi tampungan-cekungan (*depression stroge*). Apabila tampungan ini telah terpenuhi, air akan menjadi limpasan permukaan (*surface runoff*) yang selanjutnya ke sungai atau laut. Air yang terinfiltrasi, bila keadaan formasi geologi memungkinkan, sebagian besar dapat mengalir lateral di lapisan tidak kenyang air (*unsaturated zone*) sebagai aliran antara (*subsurface flow/interflow*), sebagian yang lain akan mengalir vertikal (*perkolasi/percolation*) yang akan mencapai lapisan kenyang air (*saturated zone/aquifer*). Air dalam akuifer ini akan mengalir sebagai aliran air tanah (*groundwater flow/baseflow*), sungai atau tampungan dalam (*deep storage*). Sebagian besar air yang ada di permukaan bumi akan menguap kembali ke atmosfer.

Peredaran air dalam berbagai bentuk ke dan dari bumi dapat disajikan sebagai suatu sistem. Akan lebih berharga bagi kita untuk mengetahui dua macam proses, yaitu sistem fisik yang dilalui oleh air, dan proses dinamis di mana pergerakan tersebut terjadi. Penyajian secara skema dari komponen sistem tersebut adalah seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar . 2. Peredaran Air Sebagai Suatu Sistem.

Proses tersebut dapat juga dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\text{Keluaran} = (\text{Masukan})$$

dimana adalah fungsi tanggapan dari daerah aliran sebagai suatu system.

Masukan pada persamaan tersebut adalah curah hujan, dan keluarannya adalah aliran permukaan langsung. Operator , mengubah fungsi masukan menjadi

fungsi keluaran. Indeks- dapat didefinisikan sebagai laju curah hujan, dimana di atas laju tersebut volume curah hujan akan sama dengan volume limpasan. Sehingga, indeks- adalah laju peresapan rata-rata yang diperoleh dari grafik intensitas curah hujan terhadap waktu, sedemikian rupa sehingga volume curah hujan lebih dari laju tersebut, akan sama dengan volume limpasan akibat curah hujan

B. Sungai

Suatu alur yang panjang di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan disebut alur sungai. Bagian yang senantiasa tersentuh aliran air ini disebut aliran air. Dan perpaduan antara alur sungai dan aliran air di dalamnya disebut sungai. Sungai juga merupakan tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan.

Sungai sebagai drainase alam mempunyai jaringan sungai dengan penampangnya, mempunyai areal tangkapan hujan atau disebut Daerah Aliran Sungai (DAS). Bentuk jaringan sungai sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi, kondisi muka bumi DAS, dan waktu (sedimentasi, erosi/gerusan, pelapukan permukaan DAS, pergerakan berupa tektonik, vulkanik, longsor lokal dll). Berkaitan dengan perilaku sungai secara umum dapat dipahami bahwa sungai akan mengalirkan debit air yang sering terjadi (*frequent discharge*) pada saluran utamanya, sedangkan pada kondisi air banjir, pada saat saluran utamanya sudah penuh, maka sebagian airnya akan mengalir ke

daerah bantarannya. Sungai-sungai menurut Bambang Triatmodjo dapat dikelompokkan dalam tiga tipe, yaitu :

1. Sungai Perennial

Sungai perennial adalah sungai yang mempunyai aliran sepanjang tahun. Selama musim kering di mana tidak terjadi hujan, aliran sungai perennial adalah aliran dasar yang berasal dari aliran air tanah.

2. Sungai Ephemeral

Sungai ephemeral adalah sungai yang mempunyai debit hanya apabila terjadi hujan yang melebihi laju infiltrasi. Permukaan air tanah selalu berada di bawah dasar sungai, sehingga sungai ini tidak menerima aliran air tanah, yang berarti tidak mempunyai aliran dasar.

3. Sungai Intermitten

Sungai intermitten adalah sungai yang mempunyai karakteristik campuran antara kedua tipe di atas. Pada suatu periode waktu tertentu mempunyai sifat sebagai sungai perennial, sedang pada periode yang lain bersifat sebagai sungai ephemeral. Elevasi muka air tanah berubah dengan musim. Pada saat musim penghujan muka air tanah naik sampai di atas dasar sungai sehingga pada saat tidak ada hujan masih terdapat aliran yang berasal dari aliran dasar. Pada musim kemarau muka air tanah turun sampai di bawah dasar sungai sehingga di sungai tidak ada aliran.

Sungai juga merupakan suatu saluran drainase yang terbentuk secara alamiah. Akan tetapi disamping fungsinya sebagai saluran drainase, dan dengan adanya air yang mengalir didalamnya, sungai menggerus tanah dasarnya secara terus menerus sepanjang masa eksistensinya dan terbentuk lembah

sungai. Volume sedimen yang sangat besar yang dihasilkan dari keruntuhan tebing. Tebing sungai di daerah pegunungan kemiringan sungainya curam, gaya tarik aliran airnya cukup besar. Tetapi setelah aliran sungai mencapai dataran, maka gaya tariknya sangat menurun. Dengan demikian beban yang terdapat dalam arus sungai berangsur-angsur diendapkan. Karena itu ukuran butir sedimen yang mengendap di bagian hulu, sungai itu lebih besar dari pada di bagian hilir. Dengan terjadinya perubahan kemiringan yang mendadak pada saat alur sungai keluar dari daerah pegunungan yang curam dan memasuki dataran yang lebih landai, pada lokasi ini terjadi pengendapan yang sangat intensif yang menyebabkan mudah berpindahnya alur sungai dan terbentuk apa yang disebut kipas pengendapan. Pada lokasi tersebut sungai bertambah lebar dan dangkal, erosi dasar sungai tidak lagi terjadi, bahkan sebaliknya terjadi pengendapan yang sangat intensif. Dasar sungai secara terus menerus naik, dan sedimen yang hanyut terbawa arus banjir tersebut dan mengendap secara luas membentuk dataran aluviasi. Pada daerah dataran yang rata alur sungai erosi pada tebing bagian luar belokan yang berlangsung sangat intensif, sehingga terbentuk meander. Dalam keadaan tersebut apabila terjadi debit banjir yang besar dapat menimbulkan luapan dan tergerusnya dinding bagian luar belokan sungai.

C. Hidrometri

Hidrometri secara umum dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari cara-cara pengukuran air. Berdasarkan pengertian tersebut berarti hidrometri mencakup kegiatan pengukuran air permukaan dan air bawah permukaan.

Stasiun hidrometri merupakan tempat di sungai yang dijadikan tempat pengukuran debit sungai, maupun unsur-unsur aliran lainnya (Sri Harto, 2000). Dalam satu sistem DAS stasiun hidrometri ini dijadikan titik kontrol (*control point*) yang membatasi sistem DAS. Pada dasarnya stasiun hidrometri ini dapat ditempatkan di sembarang tempat sepanjang sungai dengan mempertimbangkan kebutuhan data aliran baik sekarang maupun di masa yang akan datang sesuai dengan rencana pengembangan daerah.

Dalam penempatan atau pemilihan stasiun hidrometri terdapat dua pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Jaringan hidrologi di seluruh DAS,
2. Kondisi lokasi yang harus memenuhi syarat tertentu.

Menurut Boyer 1964 dan Horst 1979 (dalam Harto 2010) dalam pemilihan lokasi stasiun hidrometri perlu diperhatikan beberapa syarat yaitu :

1. Stasiun hidrometri harus dapat dicapai (*accessible*) dengan mudah setiap saat, dan dalam segala macam kondisi baik musim hujan maupun musim kemarau.
2. Di bagian sungai yang lurus dan aliran yang sejajar dengan jangkau tinggi permukaan yang dapat dijangkau oleh alat yang tersedia. Dianjurkan agar bagian yang lurus paling tidak tiga kali lebar sungai.
3. Di bagian sungai dengan penampang stabil, dengan pengertian bahwa hubungan antara tinggi muka air dan debit tidak berubah, atau perubahan yang mungkin terjadi kecil. Untuk sungai-sungai kecil atau saluran, apabila tidak dijumpai penampang yang stabil dan sangat diperlukan, penampang sungai/saluran dapat diperkuat dengan pasangan batu/beton.

4. Di bagian sungai yang peka (*sensitive*)
5. Tidak terjadi aliran di bantaran sungai pada saat debit besar
6. Tidak diganggu oleh pertumbuhan tanaman air, agar tidak mengganggu kerja *current meter*, dan tidak mengubah liku kalibrasi (*rating curve*)
7. Tidak terganggu oleh pembendungan di sebelah hilir (*backwater*).

D. Debit

Dalam hidrologi dikemukakan, debit air sungai adalah tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian yang lain debit atau aliran sungai adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt).

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2006), debit air sungai adalah laju aliran air yang melewati suatu penampang melintang dengan persatuan waktu. Besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik ($m^3/detik$). Menurut Harnalin (2010), debit air adalah jumlah air yang mengalir dari suatu penampang tertentu (sungai/saluran/mata air) peratuan waktu ($litr/dtk, m^3/dtk, dm^3/dtk$). Dengan mengetahui debit air suatu perairan kita dapat mengetahui jenis organisme apa saja yang hidup di suatu perairan tersebut. Jika debit air disuatu perairan tinggi maka dapat dipastikan bahwa organisme yang hidup di perairan tersebut adalah organisme perenang kuat

Menurut Soemarto (1999) debit diartikan sebagai volume air yang mengalir lewat suatu penampang melintang dalam alur (*Channel*), pipa, ambang,

akuifer dan sebagainya per satuan waktu. Data debit diperlukan untuk menentukan volume aliran atau perubahan-perubahannya dalam suatu sistem das. Data debit diperoleh dengan cara pengukuran debit langsung dan pengukuran tidak langsung, yaitu dengan menggunakan liku kalibrasi. Liku kalibrasi (*rating curve*) menurut Sri Harto (2000) adalah hubungan grafis antara tinggi muka air dengan debit. Liku kalibrasi diperoleh dengan sejumlah pengukuran yang terencana dan mengkorelasikan dua variabel yaitu tinggi muka air dan debit dapat dilakukan dengan menghubungkan titik-titik pengukuran dengan garis lengkung diatas kertas logaritmik. Pengertian Debit adalah besaran yang menyatakan volum fluida yang mengalir melalui suatu penampang tertentu dalam satuan waktu tertentu. Debit juga merupakan laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt). Sungai itu terbentuk dengan adanya aliran air dari satu atau beberapa sumber air yang berada di ketinggian, misalnya disebuah puncak bukit atau gunung yang tinggi, dimana air hujan sangat banyak jatuh di daerah itu, kemudian terkumpul dibagian yang cekung, lama kelamaan dikarenakan sudah terlalu penuh, akhirnya mengalir keluar melalui bagian bibir cekungan yang paling mudah tergerus air. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan debit, antara lain:

1. Metode Pengukuran Debit Air

Distribusi kecepatan aliran di dalam alur tidak sama arah horisontal maupun arah vertikal. Dengan kata lain kecepatan aliran pada tepi alur

tidak sama dengan tengah alur, dan kecepatan aliran dekat permukaan air tidak sama dengan kecepatan pada dasar alur. Beberapa cara pengukuran kecepatan arus aliran sungai yang banyak digunakan adalah sebagai berikut ini:

a. *Area-velocity method*

Pada prinsipnya adalah pengukuran luas penampang basah dan kecepatan liran. Penampang basah (A) diperoleh dengan pengukuran lebar permukaan air dan pengukuran kedalaman dengan tongkat pengukur atau kabel pengukur. Kecepatan aliran dapat diukur dengan metode *current-meter* dan metode apung. *Current meter* adalah alat untuk mengukur kecepatan aliran (kecepatan arus). Ada dua tipe *current meter* yaitu tipe baling-baling (*proppeler type*) dan tipe canting (*cup type*). Oleh karena distribusi kecepatan aliran di sungai tidak sama baik arah vertikal maupun horisontal, maka pengukuran kecepatan aliran dengan alat ini tidak cukup pada satu titik. Debit aliran sungai dapat diukur dengan beberapa metode. Tidak semua metode pengukuran debit cocok digunakan. Pemilihan metode tergantung pada kondisi (jenis sungai, tingkat turbulensi aliran) dan tingkat ketelitian yang akan dicapai.

b. *Flood area method*

Prinsip kecepatan aliran (V) ditetapkan berdasarkan kecepatan pelampung (U) luas penampang (A) ditetapkan berdasarkan pengukuran lebar saluran (L) dan kedalaman saluran (D) debit sungai (Q) = $A \times V$ atau $A = Q / V$, dimana k adalah konstanta .

$$Q = A \times k \times U \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

Q = debit (m^3/det)

U = kecepatan pelampung (m/det)

A = luas penampang basah sungai (m^2)

k = koefisien pelampung

Prinsip pengukuran Debit dengan *Current-meter* yaitu kecepatan diukur dengan *current-meter*, luas penampang basah ditetapkan berdasarkan pengukuran kedalaman air dan lebar permukaan air. Kedalaman dapat diukur dengan mistar pengukur, kabel atau tali. Kecepatan aliran dihitung berdasarkan jumlah putaran baling-baling per waktu putarannya ($N = \text{putaran}/dt$). Kecepatan aliran $V = aN + b$ dimana a dan b adalah nilai kalibrasi alat current meter. Hitung jumlah putaran dan waktu putaran baling-baling dengan *stopwatch*.

c. *Metode kontinyu*

Current meter diturunkan kedalam aliran air dengan kecepatan penurunan yang konstant dari permukaan dan setelah mencapai dasar sungai diangkat lagi ke atas dengan kecepatan yang sama. Pengukuran Debit dengan *Metode Kontinyu Current Meter* diturunkan kedalam aliran air dengan kecepatan penurunan yang konstant dari permukaan dan setelah mencapai dasar sungai diangkat lagi ke atas dengan kecepatan yang sama.

Besarnya aliran tiap waktu atau disebut dengan debit, akan tergantung pada luas tampang aliran dan kecepatan aliran rerata. Pendekatan nilai

debit dapat dilakukan dengan cara mengukur tampang aliran dan mengukur kecepatan aliran tersebut. Cara ini merupakan prosedur umum dalam pengukuran debit sungai secara langsung. Pengukuran luas tampang aliran dilakukan dengan mengukur tinggi muka air dan lebar dasar alur sungai. Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti, pengukuran tinggi muka air dapat dilakukan pada beberapa titik pada sepanjang tampang aliran. Selanjutnya debit aliran dihitung sebagai penjumlahan dari perkalian antara luasan pias tampang aliran dan kecepatan rerata yang terukur. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan alat ukur kecepatan arus.

2. Faktor Penentu Debit Air :

a. Intensitas hujan

Intensitas hujan karena curah hujan merupakan salah satu faktor utama yang memiliki komponen musiman yang dapat secara cepat mempengaruhi debit air, dan siklus tahunan dengan karakteristik musim hujan panjang (kemarau pendek), atau kemarau panjang (musim hujan pendek) yang menyebabkan bertambahnya debit air.

b. Pengundulan Hutan

Fungsi utama hutan dalam kaitan dengan hidrologi adalah sebagai penahan tanah yang mempunyai kelerengan tinggi, sehingga air hujan yang jatuh di daerah tersebut tertahan dan meresap ke dalam tanah untuk selanjutnya akan menjadi air tanah. Air tanah di daerah hulu merupakan cadangan air bagi sumber air sungai. Oleh karena itu hutan yang terjaga dengan baik akan memberikan manfaat berupa

ketersediaan sumber-sumber air pada musim kemarau. Sebaiknya hutan yang gundul akan menjadi malapetaka bagi penduduk di hulu maupun di hilir. Pada musim hujan, air hujan yang jatuh di atas lahan yang gundul akan menggerus tanah yang kemiringannya tinggi. Sebagian besar air hujan akan menjadi aliran permukaan dan sedikit sekali infiltrasinya. Akibatnya adalah terjadi tanah longsor dan atau banjir bandang yang membawa kandungan lumpur.

c. Pengalihan hutan menjadi lahan pertanian

Risiko penebangan hutan untuk dijadikan lahan pertanian sama besarnya dengan penggundulan hutan. Penurunan debit air sungai dapat terjadi akibat erosi. Selain akan meningkatnya kandungan zat padat tersuspensi (*suspended solid*) dalam air sungai sebagai akibat dari sedimentasi, juga akan diikuti oleh meningkatnya kesuburan air dengan meningkatnya kandungan hara dalam air sungai. Kebanyakan kawasan hutan yang diubah menjadi lahan pertanian mempunyai kemiringan diatas 25%, sehingga bila tidak memperhatikan faktor konservasi tanah, seperti pengaturan pola tanam, pembuatan teras dan lain-lain.

d. Intersepsi

Adalah proses ketika air hujan jatuh pada permukaan vegetasi diatas permukaan tanah, tertahan beberapa saat, untuk diuapkan kembali (hilang) ke atmosfer atau diserap oleh vegetasi yang bersangkutan. Proses intersepsi terjadi selama berlangsungnya curah hujan dan setelah hujan berhenti. Setiap kali hujan jatuh di daerah bervegetasi,

ada sebagian air yang tak pernah mencapai permukaan tanah dan dengan demikian, meskipun intersepsi dianggap bukan faktor penting dalam menentukan faktor debit air, pengelolaan air sungai harus tetap memperhitungkan besarnya intersepsi karena jumlah air yang hilang sebagai air intersepsi dapat mempengaruhi neraca air regional. Penggantian dari satu jenis vegetasi menjadi vegetasi lain yang berbeda, sebagai contoh dapat mempengaruhi hasil air di daerah tersebut.

e. Evaporasi dan Transpirasi

Evaporasi transpirasi juga merupakan salah satu komponen atau kelompok yang dapat menentukan besar kecilnya debit air di suatu kawasan DAS, mengapa dikatakan salah satu komponen penentu debit air, karena melalui kedua proses ini dapat membuat air baru, sebab kedua proses ini menguapkan air dari permukaan air, tanah dan permukaan daun, serta cabang tanaman sehingga membentuk uap air di udara dengan adanya uap air diudara maka akan terjadi hujan, dengan adanya hujan tadi maka debit air di DAS akan bertambah juga. sedikit demi sedikit.

Data debit atau aliran sungai merupakan informasi yang paling penting bagi pengelola sumberdaya air. Debit puncak (banjir) diperlukan untuk merancang bangunan pengendali banjir. Sementara data debit aliran kecil diperlukan untuk perencanaan alokasi (pemanfaatan) air untuk berbagai macam keperluan, terutama pada musim kemarau panjang. Debit aliran rata-rata tahunan dapat memberikan gambaran potensi sumberdaya air yang dapat

dimanfaatkan dari suatu daerah aliran sungai. Dalam laporan-laporan teknis, debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran. Hidrograf aliran adalah suatu perilaku debit sebagai respon adanya perubahan karakteristik biogeofisik yang berlangsung dalam suatu DAS (oleh adanya kegiatan pengelolaan DAS) dan atau adanya perubahan (fluktuasi musiman atau tahunan) iklim local. Debit juga dikenal dengan laju aliran permukaan yang berarti jumlah atau volume air yang mengalir pada suatu titik per detik atau per jam, dinyatakan dalam m^3 per detik atau mLaju aliran permukaan dikenal juga dengan istilah debit. Besarnya debit ditentukan oleh luas penampang air dan kecepatan alirannya, yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Q = A V \dots\dots\dots(2)$$

dimana : Q = debit air (m^3 /detik atau m^3 /jam)

A = luas penampang air (m^2)

V = kecepatan air melalui penampang tersebut (m/detik)

Aliran sungai berasal dari hujan yang masuk ke dalam alur sungai berupa aliran permukaan, aliran air di bawah permukaan, aliran air bawah tanah dan butir-butir hujan yang langsung jatuh kedalam alur sungai. Debit aliran sungai akan naik setelah terjadi hujan yang cukup, kemudian akan turun kembali setelah hujan selesai. Gambar tentang naik turunnya debit sungai menurut waktu disebut hidrograf. Bentuk hidrograf suatu sungai tergantung dari sifat hujan dan sifat-sifat daerah aliran sungai yang bersangkutan. Sebagian besar debit aliran pada sungai kecil yang masih alamiah adalah debit aliran yang berasal dari air tanah atau mata air dan debit aliran air

permukaan (air hujan). Dengan demikian aliran air pada sungai kecil pada umumnya lebih menggambarkan kondisi hujan daerah yang bersangkutan.

E. Analisa Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran air dimana air mengalir dengan muka air yang bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan air di permukaan air adalah sama (tekanan atmosfer). Pada saluran terbuka variabel aliran sangat tidak teratur baik terhadap ruang ataupun terhadap waktu. Variabel tersebut berupa tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan saluran, belokan, debit aliran, dan sebagainya. Ketidakteraturan tersebut mengakibatkan analisis aliran sangat sulit untuk diselesaikan secara analitis. Oleh karena itu analisa aliran pada saluran terbuka adalah dengan metoda empiris, dimana sampai saat ini metoda ini merupakan yang terbaik untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka maupun aliran pipa. Kedua jenis aliran tersebut sama dalam banyak hal, namun berbeda dalam satu hal yang penting. Aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas. Klasifikasi aliran pada saluran terbuka :

1. Aliran permanen dan tidak permanen

Jika variabel dari aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu, maka aliran disebut aliran permanen atau tunak (*steady flow*), jika variabel tersebut pada suatu lokasi tertentu berubah terhadap waktu maka alirannya disebut aliran tidak permanen atau tidak tunak (*unsteady flow*).

2. Aliran seragam dan berubah

Jika variabel aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang aliran yang ditinjau, maka alirannya disebut aliran seragam (*uniform flow*). Namun, jika variabel aliran pada saat tertentu berubah terhadap jarak, maka aliran disebut aliran tidak seragam/berubah (*nonuniform flow or varied flow*). Berdasarkan laju perubahan kecepatan terhadap jarak, maka aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) atau aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

3. Aliran laminer dan turbulen

Jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti gerakan serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang parallel, maka alirannya disebut aliran laminer. Sebaliknya, jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang maupun waktu, maka alirannya disebut aliran turbulen. Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relative antara kekentalan (*viskositas*) dan gaya inersia. Jika gaya viskositas yang dominan, maka alirannya laminer, sedangkan jika gaya inersia yang dominan, maka alirannya turbulen. Hubungan antara gaya kekentalan dan inersia dinyatakan dalam bilangan reynold (rey), yang didefinisikan seperti rumus berikut :

$$\text{Rey} \dots = \frac{V \times L}{\nu} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

Rey = bilangan Reynold

V = kecepatan aliran (m/det)

L = panjang karakteristik (m) pada saluran muka air bebas,

$L = R$

R = jari-jari hidrolis saluran

ν = kekentalan kinematic (m^2/det)

Batas peralihan antara aliran laminar dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan reynold, $Re \pm 600$, yang dihitung berdasarkan jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik. Dalam kehidupan sehari-hari, aliran laminar pada saluran terbuka sangat jarang ditemui. Aliran jenis ini mungkin dapat terjadi pada aliran yang kedalamannya sangat tipis diatas permukaan gelas sangat halus dengan kecepatan yang sangat kecil.

4. Aliran subkritis, kritis, dan superkritis

Aliran dikatakan kritis ($Fr = 1$) apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitudo kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis ($Fr < 1$), sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis ($Fr > 1$). Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya unersia, yang dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr).

Bilangan Froude untuk saluran berbentuk persegi didefinisikan sebagai :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g x h}} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

Fr = bilangan Froude

V = kecepatan aliran (m/det)

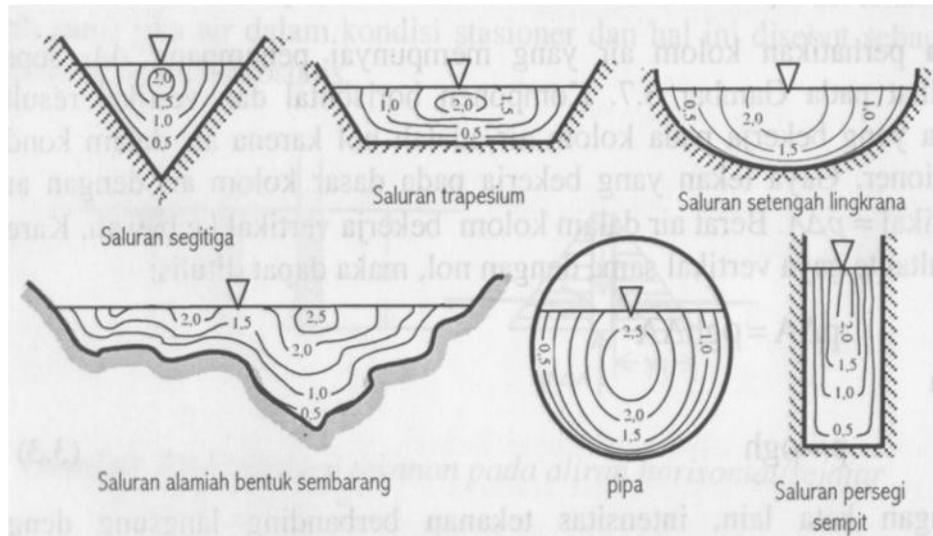
h = kedalaman aliran (m)

g = percepatan gravitasi (m^2/det)

Aliran melalui saluran terbuka merupakan jenis aliran seragam. Di dalam aliran seragam (*uniform*) ini dianggap bahwa aliran adalah mantap/permanen dan satu dimensi. Aliran tidak mantap yang seragam hampir tidak ada di alam. Dengan anggapan satu dimensi berarti kecepatan aliran di setiap titik pada tampang lintang adalah sama. Contoh aliran seragam adalah aliran melalui saluran irigasi yang sangat panjang dan tidak ada perubahan penampang. Aliran di saluran irigasi yang dekat dengan bangunan irigasi tidak lagi seragam karena adanya pembendungan atau terjunan, yang menyebabkan aliran menjadi tidak seragam (*non-uniform*). Pada umumnya aliran seragam di saluran terbuka adalah turbulen, sedangkan aliran laminar sangat jarang terjadi.

Aliran seragam tidak dapat terjadi pada kecepatan aliran yang besar atau kemiringan saluran sangat besar. Apabila kecepatan aliran melampaui batas tertentu (kecepatan kritik), maka muka air menjadi tidak stabil dan akan terjadi gelombang. Pada kecepatan yang sangat tinggi (lebih dari 6 m/det), udara akan masuk ke dalam aliran dan aliran menjadi tidak mantap.

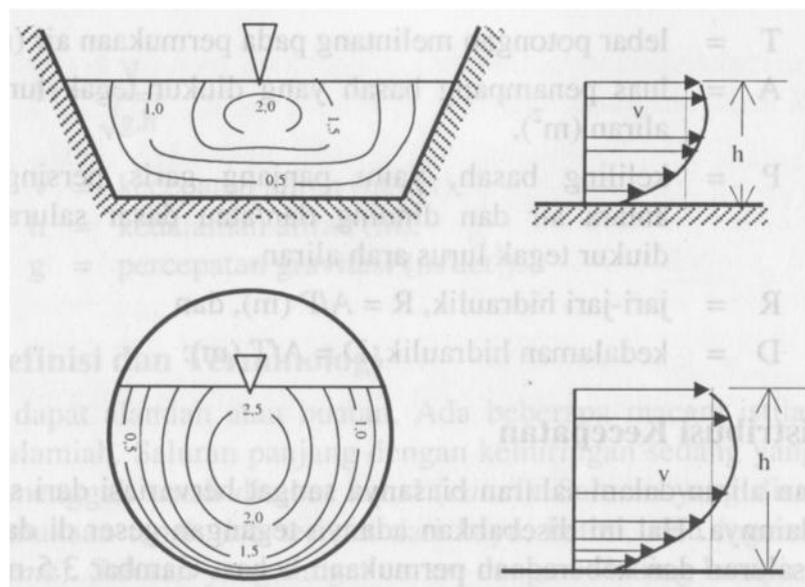
Dalam aliran melalui saluran terbuka, distribusi kecepatan tergantung pada banyak faktor seperti bentuk saluran, kekasaran dinding, keberadaan permukaan bebas, dan debit aliran. Distribusi kecepatan tidak merata di setiap titik pada tampang melintang seperti pada Gambar 3.



Sumber: Hidraulika II, Bambang Triatmodjo, CES, DEA. Beta Offset

Gambar. 3. Distribusi kecepatan di berbagai potongan melintang saluran

Kecepatan aliran mempunyai tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun, komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga, hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran diperhitungkan. Komponen kecepatan ini bervariasi terhadap kedalaman dari permukaan air. Tipikal variasi kecepatan terhadap kedalaman air diperlihatkan dalam Gambar 4.



Sumber: Hidraulika II, Bambang Triatmodjo, CES, DEA. Beta Offset

Gambar 4. Pola distribusi kecepatan sebagai fungsi kedalaman

Distribusi kecepatan pada vertikal dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran pada berbagai kedalaman. Semakin banyak titik pengukuran akan memberikan hasil semakin baik. Biasanya pengukuran kecepatan di lapangan dilakukan dengan menggunakan *current meter*. Alat ini berupa baling-baling yang akan berputar karena adanya aliran, yang kemudian akan memberikan hubungan antara kecepatan sudut baling-baling dengan kecepatan aliran.

Dalam tata cara pengukuran arus menurut U.S Geological Survey, (Ven Te Chow, 1985) penampang saluran dibagi menurut beberapa garis vertikal berurutan, dan kecepatan rata-rata bagian vertikal ditentukan dengan mengukur kecepatan pada 0,6 x tinggi setiap bagian, atau bila diperlukan hasil yang lebih teliti, dengan mengambil rata-rata kecepatan pada 0,2 dan 0,8 x tinggi masing-masing. Bila tertutup es, kecepatan rata-rata tidak lagi terletak di dekat 0,6 x kedalaman aliran, namun hasil yang didapat dari pengukur di kedalaman 0,2 dan 0,8 masih cukup baik. Rata-rata kecepatan dari setiap bagian vertikal yang berurutan dikalikan dengan luas bagian vertikal menghasilkan nilai debit yang melalui garis vertikal dari penampang melintang

Kecepatan aliran dalam saluran terbuka dalam praktek sehari-harinya, dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan empiris hasil percobaan. Persamaan-persamaan yang penting bagi saluran terbuka untuk menghitung kecepatan saluran rata-rata yaitu dengan rumus di bawah ini:

1. Rumus Kekasaran Chezy

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

V = kecepatan aliran dalam m/dt

C = koefisien Chezy;

$R = \frac{A}{P}$ = jari-jari hidrolis dalam m;

A = profil basah saluran dalam m

P = keliling basah dalam m;

I = kemiringan dasar saluran.

2. Rumus Kekasaran Bazin

Bazin mengusulkan rumus berikut ini :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma \cdot B}{R^{1/2}}} \dots\dots\dots(6)$$

dengan γB adalah koefisien yang tergantung pada kekasaran dinding.

Nilai γB untuk beberapa jenis dinding saluran dapat dilihat dalam tabel di

bawah ini :

Tab 1. Kekasaran Bazin untuk dinding saluran

Jenis Dinding	γB
Dinding sangat halus (semen)	0,06
Dinding halus (papan, batu, bata)	0,16
Dinding batu pecah	0,46
Dinding tanah sangat teratur	0,85
Saluran tanah dengan kondisi biasa	1,3
Saluran tanah dengan dasar batu pecah dan tebing rumput	1,75

Sumber: *Hidraulika II, Bambang Triatmodjo, CES, DEA. Beta Offset*

3. Rumus Ganguillet-Kutter

Ganguillet dan Kutter mengusulkan rumus untuk menghitung koefisien

Chezy berikut ini :

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{I} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \dots\dots\dots(7)$$

Koefisien *n* yang ada pada persamaan tersebut sama dengan koefisien *n* pada rumus Manning. Rumus tersebut lebih kompleks dibandingkan rumus Bazin, tetapi hasilnya tidak lebih baik dari rumus Bazin. Untuk nilai kemiringan lebih kecil (di bawah 0,0001) nilai 0,00155/*I* menjadi besar dan rumus tersebut menjadi kurang teliti

4. Rumus Kekasaran Manning

Seorang ahli dari Islandia, Robert Manning mengusulkan rumus berikut ini:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{3/2} \cdot I^{1/2}, \dots\dots\dots(8)$$

rumus (8) dikenal Rumus Manning.

dimana : *n* = koefisien Manning dapat dilihat dalam tabel;

$$R = \frac{A}{P} = \text{jari-jari hidrolis dalam m}$$

A = profil basah saluran dalam m

P = keliling basah dalam m

I = Kemiringan Saluran

Tabel 2.. Nilai koefisien kekasaran (*n*) *Manning* untuk Sungai Alami

Tipe saluran dan deskripsinya	Minimum	Normal	Maks.
1. Saluran Utama			
a. Bersih lurus, penuh, tanpa rekahan atau ceruk dalam	0.025	0.025	0.033
b. Sama dengan atas, banyak batuan dan tanaman pengganggu	0.03	0.03	0.04
c. Bersih, berliku, berceruk, bertebing	0.033	0.033	0.045
d. Sama dengan atas, dengan tanaman pengganggu dan bebatuan	0.035	0.035	0.05
e. Sama dengan atas, tidak terisi penuh banyak kemiringan dan penampang tidak beraturan	0.04	0.04	0.055
f. Sama dengan poin “d”, berbatu banyak	0.045	0.045	0.06

g. Tenang pada bagian lurus, tanaman pengganggu, ceruk dalam	0.05	0.05	0.08
h. Banyak tanaman pengganggu, ceruk dalam, saluran air penuh tumbuhan kayu,ranting	0.07	0.07	0.15
2. Sempadan Sungai			
a. Padang rumput tanpa belukar			
1. Rumput pendek	0.025	0.03	0.035
2. Rumput tinggi	0.03	0.035	0.05
b. Areal pertanian			
1. Tanpa tanaman	0.02	0.03	0.04
2. Tanaman dibariskan	0.025	0.035	0.045
3. Tanaman tidak dibariskan	0.03	0.04	0.05
c. Belukar			
1. Belukar tersebar, banyak tanaman pengganggu	0.035	0.05	0.07
2. Belukar jarang dan berpohon, musim dingin	0.035	0.05	0.06
3. Belukar jarang dan berpohon, musim semi	0.04	0.06	0.08
4. Berbelukar sedang sampai rapat, musim dingin	0.045	0.07	0.11
5. Berbelukar sedang sampai rapat, musim semi	0.07	0.1	0.16
d. Pepohonan			
1. Tanah telah dibersihkan, tunggul pohon, tidak bertunas	0.03	0.04	0.05
2. Sama dengan atas, dengan tunas lebat	0.05	0.06	0.08
3. Banyak batang kayu, beberapa tumbang, ranting-ranting, pohon taraf banjir di bawah cabang	0.08	0.1	0.12
4. Sama dengan atas, taraf banjir mencapai cabang pohon	0.1	0.12	0.16
5. Willow rapat, musim semi, dan lurus	0.11	0.15	0.2
3. Saluran di pegunungan, tanpa tetumbuhan di saluran, tebing umumnya curam, dengan pepohonan dan berbelukar dibawah muka air			
a. Dasar: kerikil, kerakal, dan sedikit batu besar	0.03	0.04	0.05
b. Dasar: kerakal dengan batu besar	0.04	0.05	0.07

Sumber: *HEC-RAS, Hydrolic Reference Manual for n Manning value.*

5. Rumus kekasaran Strickler

Strickler mencari hubungan antara nilai koefisien n dari rumus Manning sebagai fungsi dari dimensi material yang membentuk dinding saluran.

Untuk dinding saluran dari material yang tidak koheren, koefisien

Strickler, k_s diberikan oleh rumus :

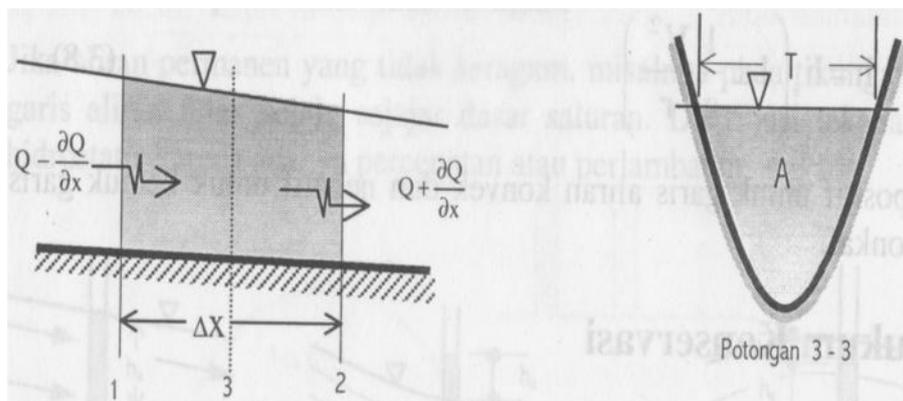
$k_s = \frac{1}{n}$, sehingga rumus kecepatan aliran menjadi :

$$V = k_s R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots(9)$$

Dalam menganalisa hidrolis saluran alam atau sungai, perhitungan secara umum dilakukan berdasarkan tiga persamaan dasar yaitu persamaan kontinuitas, persamaan energi, dan persamaan keseimbangan momentum. Pendekatan didasarkan pada persamaan aliran seragam dengan memperhitungkan nilai kekasaran saluarakan, yang pada akhirnya dirangkum dan dilakukan dalam program HEC-RAS menggunakan prinsip metode tahapan standar untuk aliran satu dimensi

1. Persamaan Kontinuitas

Ditinjau aliran zat cair tidak mampu mapat di dalam suatu pias saluran terbuka untuk menjabarkan persamaan kontinuitas, seperti terlihat pada Gambar 5.



<https://darmadi18.wordpress.com/2014/03/04/>

Gambar 5. Kontinuitas aliran dalam suatu pias

Pada saluran tersebut tidak terjadi aliran masuk atau keluar menembus dinding saluran dan alirannya adalah permanen. Apabila debit yang lewat pada penampang potongan 3-3 besarnya sama dengan Q dan mempunyai kedalaman aliran h pada t , maka besarnya aliran netto yang lewat pias tersebut selama waktu t dapat didefinisikan sebagai:

$$\left\{ \left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right) \right\} \Delta t = - \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x \Delta t \dots\dots\dots(10)$$

Apabila luas penampang di potongan 1-1 adalah A dengan lebar muka air T, maka jumlah pertambahan volume pada pias tersebut selama t adalah:

$$\frac{\partial}{\partial t}(A.\Delta x).\Delta t \dots\dots\dots(11)$$

Prinsip kontinuitas menyatakan bahwa jumlah pertambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut, sehingga dengan menyamakan persamaan (3) dan (4) akan diperoleh persamaan berikut ini:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(12)$$

Pada aliran tetap (steady) luas tampang basah tidak berubah selama t , sehingga integrasi persamaan (5) menghasilkan:

Q = konstan atau

$$Q_1 = Q_2 \quad A_1 . V_1 = A_2 . V_2 \dots\dots\dots(13)$$

2. Persamaan Energi

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa jumlah energi air dari setiap aliran yang melalui suatu penampang saluran dapat dinyatakan sebagai jumlah fungsi air, tinggi tekanan, dan tinggi kecepatan.

$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(14)$$

Menurut prinsip kekekalan energi, jumlah tinggi fungsi energi pada penampang 1 di hulu akan sama dengan jumlah fungsi energi pada penampang 2 di hilir dan fungsi hf di antara kedua penampang tersebut.

$$z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} \dots\dots\dots(15)$$

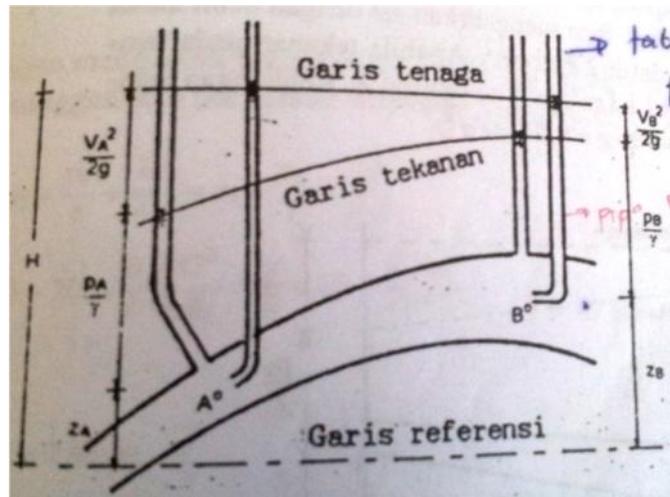
Dimana :

z = fungsi titik di atas garis referensi (m)

P = fungsi tekanan di suatu titik (m)

V = kecepatan aliran (m/det)

g = gaya gravitasi bumi (m/det²)



Sumber: Hidraulika I, Bambang Triatmodjo, CES, DEA. Beta Offset

Gambar 6. Energi dalam aliran

3. Persamaan Momentum

Hukum Newton II tentang gerakan menyatakan bahwa besarnya perubahan momentum per satuan waktu pada suatu persamaan adalah sama dengan besarnya resultan semua gaya-gaya yang bekerja pada pias tersebut.

$$\sum F = \dots Q \cdot \Delta V \dots \dots \dots (16)$$

Pada belokan akan terjadi gaya yang disebabkan oleh tekanan hidrostatis dan dinamis. Dengan persamaan momentum dan mengakibatkan kehilangan tenaga di belokan. Berdasarkan Gambar 7, maka persamaan konservasi momentum tersebut dapat ditulis sebagai:

Untuk arah x:

$$p_1 \cdot A_1 - p_2 \cdot A_2 \cos \theta - R_x = p \cdot Q (V_2 \cos \theta - V_1) \dots \dots \dots (17)$$

atau

$$R_x = p_1 \cdot A_1 + c - p \cdot Q (V_2 \cos \theta - V_1) \dots \dots \dots (18)$$

Untuk arah y:

$$R_y - W - p_2 \cdot A_2 \sin \alpha = p \cdot Q (V_2 \sin \alpha) \dots \dots \dots (19)$$

Atau

$$R_y = W + p_2 \cdot A_2 \sin \alpha + p \cdot Q (V_2 \sin \alpha) \dots \dots \dots (20)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh resultan gaya R:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad \text{dan} \quad \text{tg} \alpha = \frac{R_x}{R_y} \dots \dots \dots (21) \ \& \ (22)$$

Dimana

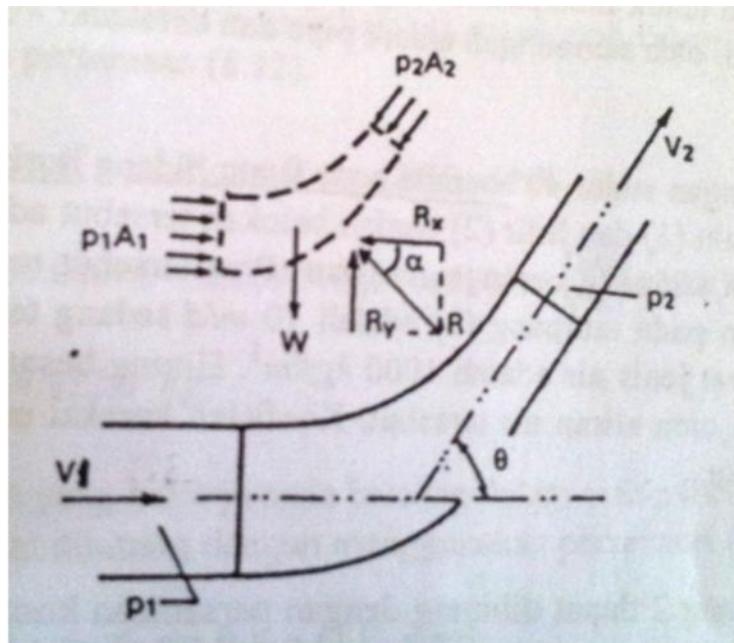
p = tekanan hidrostatik

W = berat zat cair pada potongan yang ditinjau

R = gaya reaksi

A = tampang aliran

V = kecepatan aliran



Sumber: Hidraulika I, Bambang Triatmodjo, CES, DEA. Beta Offset

Gambar 7. Penerapan dalil momentum

F. Program HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System (RAS)*, yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources (IWR)*, di bawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS versi terbaru saat ini, Versi 4.1, beredar sejak Januari 2010. HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi:

1. Hitungan profil muka air aliran permanen,

Steady Flow Water Surface Component. Program ini berfungsi untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah beraturan (*steady gradually varied flow*). Program mampu memodelkan jaring sungai, sungai dendritik, maupun sungai tunggal. *Regime* aliran yang dapat dimodelkan adalah aliran sub-kritik, super-kritik, maupun campuran antara keduanya. Langkah hitungan profil muka air yang dilakukan oleh modul aliran permanen HEC-RAS didasarkan pada penyelesaian persamaan energi (satu-dimensi). Kehilangan energi dianggap diakibatkan oleh gesekan (Persamaan Manning) dan kontraksi/ekspansi (koefisien dikalikan beda tinggi kecepatan). Persamaan momentum dipakai manakala dijumpai aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*), misalnya campuran regime aliran sub-kritik dan super-kritik (*hydraulic jump*), aliran melalui jembatan, aliran di percabangan sungai (*stream junctions*). Ada dua jenis percabangan sungai. Yang pertama adalah dua

atau lebih anak sungai bertemu dan aliran dari masing-masing anak sungai sebelum titik cabang (*junction*) bersatu dan mengalir ke sungai induk. Jenis percabangan yang kedua, aliran dari satu ruas (*reach*) setelah melewati titik cabang berpisah menjadi aliran melalui dua atau lebih anak sungai (Istiarto, 2014). HEC-RAS mampu memperhitungkan pengaruh berbagai hambatan aliran, seperti jembatan (*bridges*), gorong-gorong (*culverts*), bendung (*weirs*), ataupun hambatan di bantaran sungai. Modul aliran permanen dirancang untuk dipakai pada permasalahan pengelolaan bantaran sungai dan penetapan asuransi risiko banjir berkenaan dengan penetapan bantaran sungai dan dataran banjir. HEC-RAS pada aliran permanen dapat pula dipakai untuk perkiraan perubahan muka air akibat perbaikan alur atau pembangunan tanggul. Fitur spesial modul aliran permanen HEC-RAS mencakup analisis plan ganda, hitungan profil ganda, analisis bukaan gorong-gorong atau pintu ganda, optimasi pemisahan aliran, serta desain dan analisis saluran stabil.

2. Simulasi aliran tak permanen,

Unsteady Flow Simulation. Program ini mampu menyimulasikan aliran tak permanen satu dimensi pada sungai yang memiliki alur kompleks. Semula, modul aliran tak permanen HEC-RAS hanya dapat diaplikasikan pada aliran sub-kritik, namun sejak diluncurkannya versi 3.1, modul HEC-RAS dapat pula menyimulasikan regime aliran campuran (sub-kritik, super-kritik, loncat air, dan *draw-downs*). Bagian program yang menghitung aliran di tampang lintang, jembatan, gorong-gorong, dan berbagai jenis struktur hidraulik lainnya merupakan program yang sama

dengan program hitungan yang ada pada modul aliran permanen HEC-RAS. Fitur spesial modul aliran tak permanen mencakup analisis *dam-break*, limpasan melalui tanggul dan tanggul jebol, pompa, operasi dam navigasi, serta aliran tekan dalam pipa.

3. Hitungan transport sedimen,

Sediment Transport/Movable Boundary Computations. Program ini mampu menyimulasikan transpor sedimen satu dimensi (simulasi perubahan dasar sungai) akibat gerusan atau deposisi dalam waktu yang cukup panjang (umumnya tahunan, namun dapat pula dilakukan simulasi perubahan dasar sungai akibat sejumlah banjir tunggal). Potensi transpor sedimen dihitung berdasarkan fraksi ukuran butir sedimen sehingga memungkinkan simulasi *armor*ing dan *sorting*. Fitur utama modul transpor sedimen mencakup kemampuan untuk memodelkan suatu jaringan (*network*) sungai, *dredging*, berbagai *alternative* tanggul, dan pemakaian berbagai persamaan (empiris) transpor sedimen. Program transpor sedimen dirancang untuk menyimulasikan trend jangka panjang gerusan dan deposisi yang diakibatkan oleh perubahan frekuensi dan durasi debit atau muka air, ataupun perubahan geometri sungai. Modul ini dapat pula dipakai untuk memprediksi deposisi di dalam *reservoir*, desain kontraksi untuk keperluan navigasi, mengkaji pengaruh *dredging* terhadap laju deposisi, memperkirakan kedalaman gerusan akibat banjir, serta mengkaji sedimentasi di suatu saluran.

4. Hitungan kualitas air.

Water Quality Analysis. HEC-RAS versi 4.0 dapat dipakai untuk melakukan analisis temperatur air serta simulasi transport beberapa konstituen kualitas air, seperti *Algae, Dissolved Oxygen, Carbonaceous Biological Oxygen Demand, Dissolved Nitrite Nitrogen, Dissolved Nitrate Nitrogen, and Dissolved Organic Nitrogen.*

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung. Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran di bagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai n (koefisien kekasaran manning) sebagai dasar bagi pembagian penampang. setiap aliran yang terjadi pada bagian dihitung dengan menggunakan persamaan Manning :

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{3/2} \times S^{1/2} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana :

n = koefisien kekasaran manning

A = luas bagian penampang

R = jari-jari hidrolis

S = kelandaian energi

Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air. Konsep dasar penghitungan profil permukaan air berdasarkan persamaan energi yaitu:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(24)$$

Dimana :

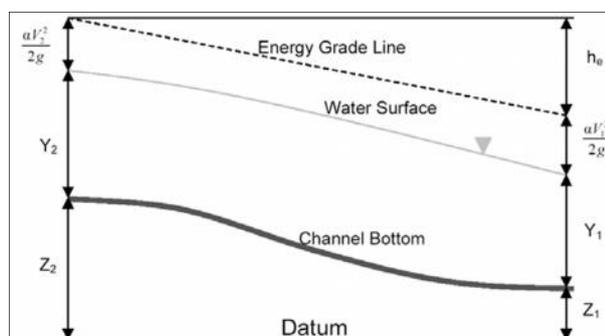
Z = fungsi titik diatas garis referensi

Y = fungsi tekanan di suatu titik

V = kecepatan aliran

= koefisien kecepatan

h_e = *energy head loss*



<http://istiarto.staff.ugm.ac.id/>

Gambar 8. Penggambaran persamaan energi pada saluran terbuka

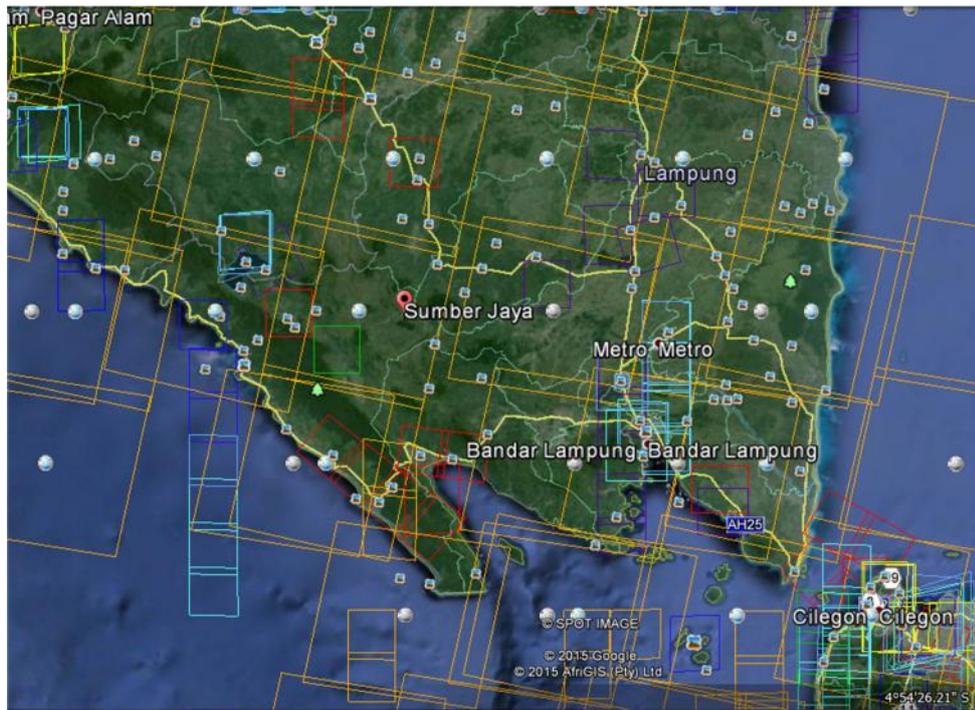
Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan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

Di dalam program HEC-RAS, kumpulan data tergabung di dalam proyek system sungai. Penggunaan program ini dapat melakukan berbagai macam tipe analisa tentang pemodelan untuk formulasi beberapa rencana yang berbeda. Masing-masing rencana mewakili kumpulan data geometri dan data alian. Setelah data awal dimasukkan dalam HEC-RAS, pemodelan dapat dengan mudah memformulasikan rencana baru. Setelah simulasi selesai dibuat untuk berbagai macam rencana, hasil simulasi dapat dibandingkan dalam bentuk table dan grafik yang berbeda.

III. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di sungai Way Besai Kecamatan Sumber Jaya, Kabupaten Lampung Barat. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:



Gambar 9. Lokasi Sungai Way Besa, Sumber Jaya, Lampung Barat

B. Data Yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sekunder, dimana data sekunder yang dipakai adalah data-data geometri dan debit maksimum.

C. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan ini merupakan langkah awal dalam melakukan penelitian. Adapun kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan ini adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan jadwal penelitian (*time schedule*)
- b. Pengumpulan data, berupa;
 - 1) Data *Long Section*
 - 2) Data *Cross Section*
 - 3) Elevasi Muka Air

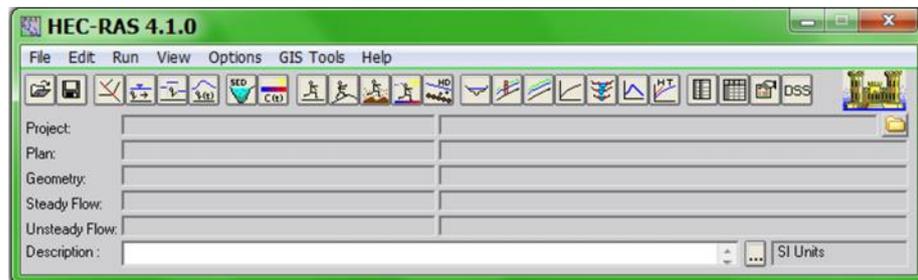
2. Tahapan Analisis dengan HEC-RAS

Pada tahap ini aliran debit dan geometri disimulasikan menggunakan program HEC-RAS sehingga dapat dilihat volume kapasitas yang berlebih, sehingga dapat ditingkatkan kapasitasnya sesuai dengan debit maksimum. Pada analisis ini menggunakan aliran *steady flow* dan menggunakan data geometri. Langkah-langkah dalam menjalankan program HEC-RAS :

a. Membuka HEC-RAS

Langkah pertama untuk memulai HEC-RAS, tentu saja software HEC-RAS harus diunduh terlebih dahulu, kemudian diinstall di komputer. Setelah kita menginstall HEC-RAS, biasanya ikon HEC-RAS akan muncul di start menu, untuk mulai menggunakan Hec Ras,

silahkan klik ikon “Hec Ras”,  tersebut dan biasanya akan muncul tampilan awal seperti ini.



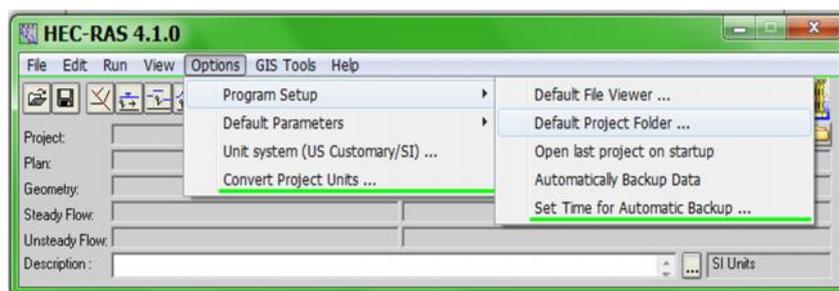
Gambar 10. Tampilan awal HEC-RAS

b. Mengatur Awal Program

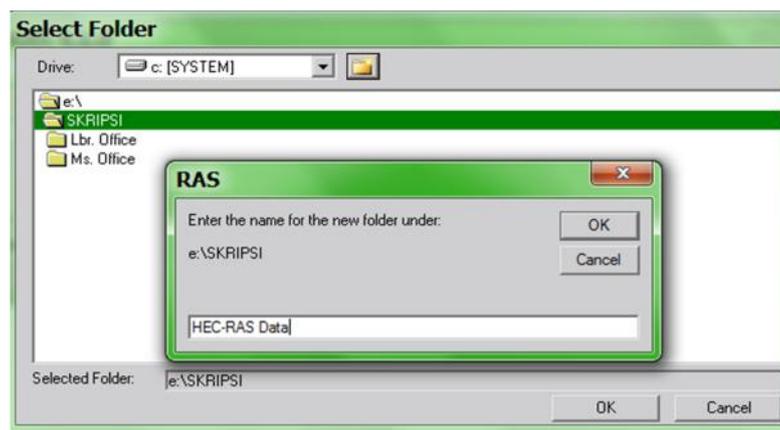
Pengaturan di sini dimaksudkan untuk mengubah nilai atau definisi bawaan HEC-RAS (nilai *default*). Pengaturan ini tidak mutlak harus dilakukan, namun apabila dilakukan akan memudahkan pemakai dalam melakukan pemodelan dengan HEC-RAS. Langkah-langkah untuk pengaturan awal :

1) *Default Project Folder.*

Opsi ini dipakai untuk mengatur folder default yang dipakai untuk menyimpan file project. Pilih menu **Options | Program Setup | Default Project Folder** (Gambar 17a). Folder penyimpanan spenelitian saya adalah e:\SKRIPSI\HEC-RAS Data (Gambar 17b).



(a)

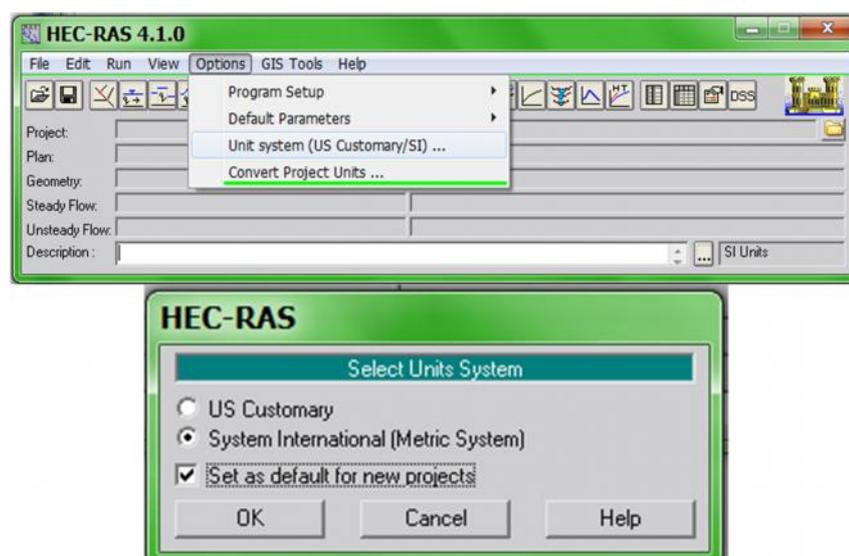


(b)

Gambar 11. Tampilan penetapan folder *default* penyimpanan file *project*.

2) Unit System

Sistem satuan yang dipakai dalam HEC-RAS dapat mengikuti sistem Amerika (US Customary) atau sistem internasional (SI). Default satuan adalah US Customary. Untuk mengubahnya klik pada menu **Options | Unit System (US Customary/SI) | System International (Metric System) " Set as default for new projects**.

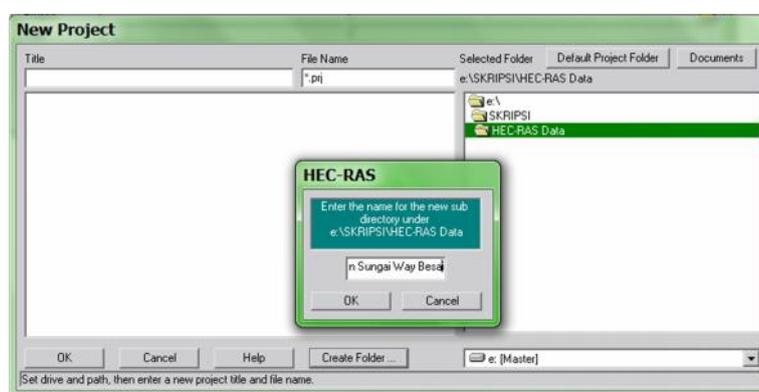


Gambar 12. Tampilan pengaturan system satuan.

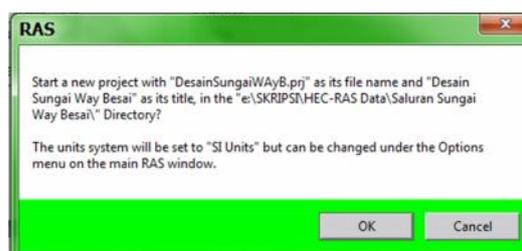
c. Pembuatan File Project

Suatu model dalam HEC-RAS disimpan dalam sebuah file project. Pemakai menuliskan nama file Project dan HEC-RAS akan memakai nama file project tersebut untuk menamai semua file yang berkaitan dengan model tersebut. Langkah-langkah yang dilakukan dengan:

- **File | New Project Default Project Folder | Create Folder**
ketik “Desain Sungai Way Besai” (Lihat Gambar 13) kemudian klik tombol **OK**.
- Tuliskan judul project “Desain Sungai Way Besai” pada tempat di bawah **Title**. Dituliskan secara otomatis oleh HEC-RAS di bawah **File Name**, yaitu “DesainSungaiWayBesai.prj”.
- Layar konfirmasi (Gambar 14) akan muncul. Klik tombol **OK**.
- Klik tombol **OK**



Gambar 13. Tampilan pembuatan project baru.



Gambar 14. Tampilan Konfirmasi pembuatan project baru

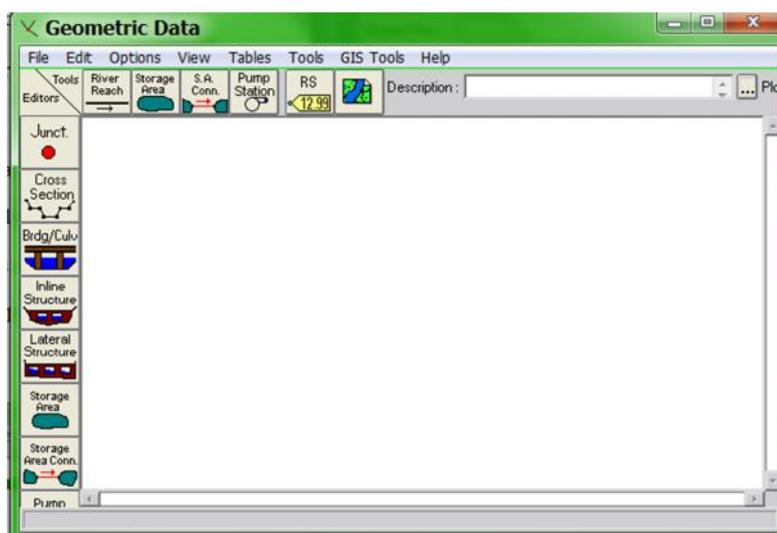
d. Peniruan Geometri Saluran

Data geometri yang dimasukkan pada tahap ini adalah skema alur sungai Way Besai. Dalam penggambaran skema sistem sungai, alur sungai digambarkan dari hulu ke hilir sebagai anggapan alur posisi. Parameter dibutuhkan adalah alur, tampang panjang dan lintang, kekasaran dasar (koefisien *Manning*), serta kehilangan energi di tempat perubahan tampang saluran (koefisien ekspansi dan kontraksi).

1) Alur saluran

Peniruan geometri yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

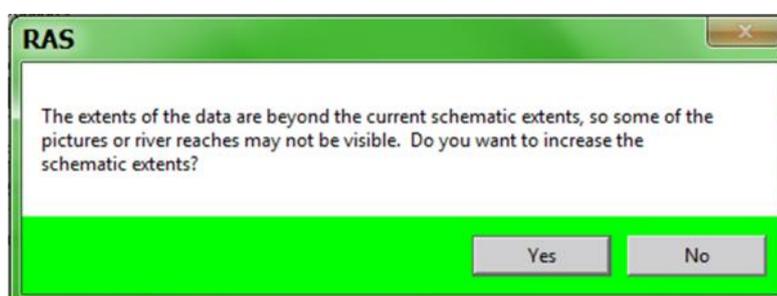
- a) Aktifkan layar editor kemudian pilih menu **Edit | Geometric Data.**



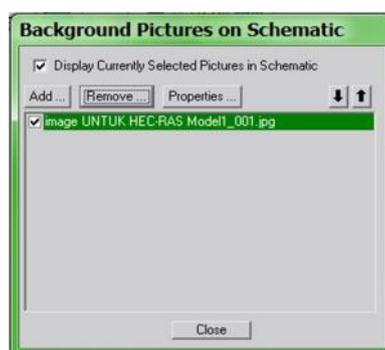
Gambar 15. Tampilan editor data geometri.

- b) Klik tombol ke-6 (ikon paling kanan)  pada papan tombol atas untuk mengaktifkan layar pemuatan gambar latar belakang (**Background Pictures on Schematic**). Klik tombol **Add** dan pilih file “Untuk HEC-RAS Model1 #001.jpg”. File gambar ini diperoleh dari Dosen Pembimbing dalam bentuk Auto CAD

“.dwg” yang kemudian dirubah kedalam bentuk “.jpg” agar software HEC-RAS dapat membacanya. Klik tombol **Yes** pada layar yang meminta konfirmasi pembesaran layar *schematic extent* (Gambar 16a). Setelah langkah ini, layar pemuatan gambar latar belakang akan tampak seperti Gambar 16b. Klik tombol **Close** dan kursor akan kembali ke layar editor data geometri. Pada layar editor data geometri tidak tampak gambar latar belakang.



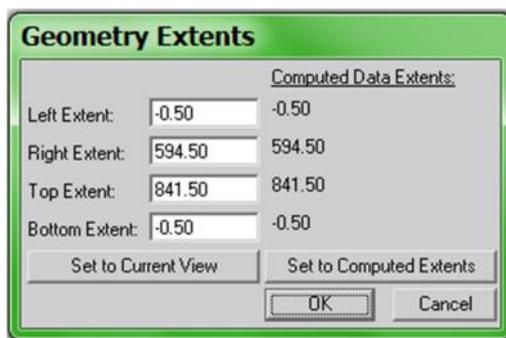
(a)



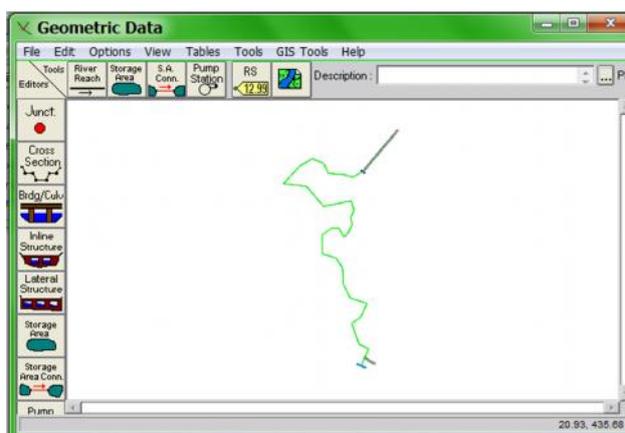
(b)

Gambar 16. Mengaktifkan layar pemuatan gambar latar belakang

c) Jika *Background* belum terlihat, atur cakupan layar editor data geometrik dengan memilih menu **View | Set SchematicPlot Extent**, kemudian klik tombol **Set to Computed Extents**, dan selanjutnya klik tombol **OK** (lihat Gambar 17). Layar editor data geometri akan tampak seperti Gambar 18.



Gambar 17. Mengatur cakupan layar editor data geometri.



Gambar 18. Editor data geometri yang berlatar belakang gambar alur.

d) Buat skema alur sungai dengan memakai gambar latar belakang sebagai *template*. Ingat, alur sungai harus dibuat **dari hulu ke hilir** tidak boleh dibalik atau sama dengan dari kanan ke kiri atau dari atas ke bawah. Alur sungai utama sebaiknya dibuat mendului alur anak sungai.

e) Klik tombol **River Reach** (ikon kiri-atas)  untuk mengaktifkan kursor pembuatan alur sungai. Klik di ujung hulu alur Sungai Way Besai kemudian klik berturut-turut mengikuti alur seperti yang ditampilkan oleh *Background* yang ada. Klik dua kali di titik ujung bawah untuk menandai ujung hilir alur Sungai Way Besai.

- f) Pada layar yang muncul (Gambar. 19), isikan **River** = “Way Besai” dan **Reach** = “Hulu”. Klik tombol **OK**.



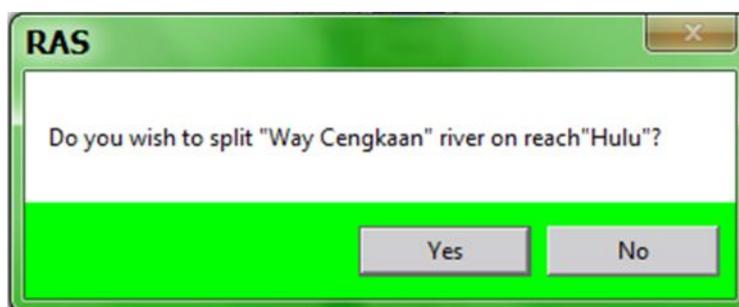
Gambar 19. Tampilan Konfirmasi pembuatan alur Sungai Utama.

- g) Klik tombol **River Reach** kembali untuk mengaktifkan kursor pembuatan alur sungai Way Cengkaan. Klik di ujung hulu Sungai Way Cengkaan dan klik dua kali di titik cabang (pertemuan) Sungai Way Besai dengan Sungai Cengkaan. Sebelum klik dua kali, pastikan bahwa kursor berada di atau di dekat alur Sungai Way Besai. Editor data geometri HEC-RAS akan “memegang” alur Sungai Way Besai pada saat pengguna mengklik dua kali di dekat alur tersebut. Pada layar yang muncul, isikan “Way Cengkaan” sebagai nama sungai (**River**) dan biarkan “Anak Sungai” sebagai nama ruas (**Reach**). (lihat Gambar 20)

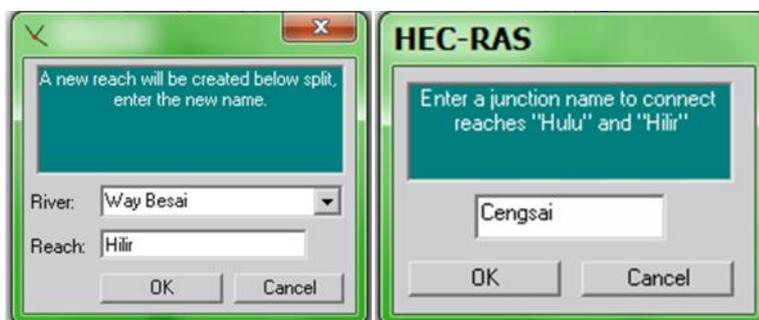


Gambar 20. Tampilan Konfirmasi pembuatan alur Sungai Cabang.

- h) Klik **Yes** pada layar konfirmasi yang muncul untuk menyetujui pemotongan ruas Sungai Way Besai Hulu menjadi dua ruas (Gambar 21a). Layar isian nama sungai dan ruas di sisi hilir titik pemisahan Sungai Way Besai akan muncul. Biarkan “Sungai Way Besai” sebagai nama River dan ganti “Hulu” dengan “Hilir” sebagai nama **Reach** (Gambar 21b). Klik **OK**. Pada layar isian nama titik cabang (*junction*) yang muncul, isikan “Cengsai” sebagai nama *junction* (Gambar 21c).



(a)



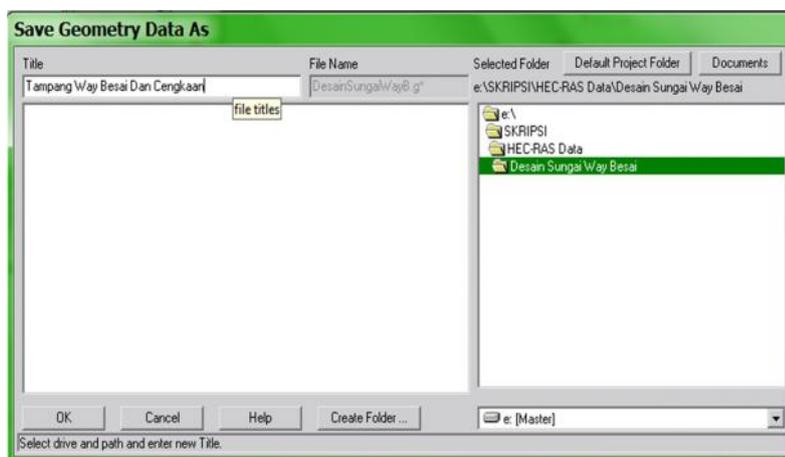
(b)

(c)

Gambar 21. Tampilan konfirmasi pembuatan alur sungai bercabang

- i) Sampai dengan langkah ini, alur tiga ruas sungai telah didefinisikan, yaitu Sungai Way Besai Hulu, Sungai Way Besai Hilir, dan Sungai Way Cengkaan. Simpan file data geometri dengan mengklik menu **File | Save Geometry Data**. Beri judul geometri data tersebut “Tampang Way Besai dan Cengkaan”

(Gambar 22). Langkah selanjutnya adalah pemasukan data tampang lintang.



Gambar 22. Tampilan penyimpanan file data geometri.

2) Tampang lintang (*Cross Section*)

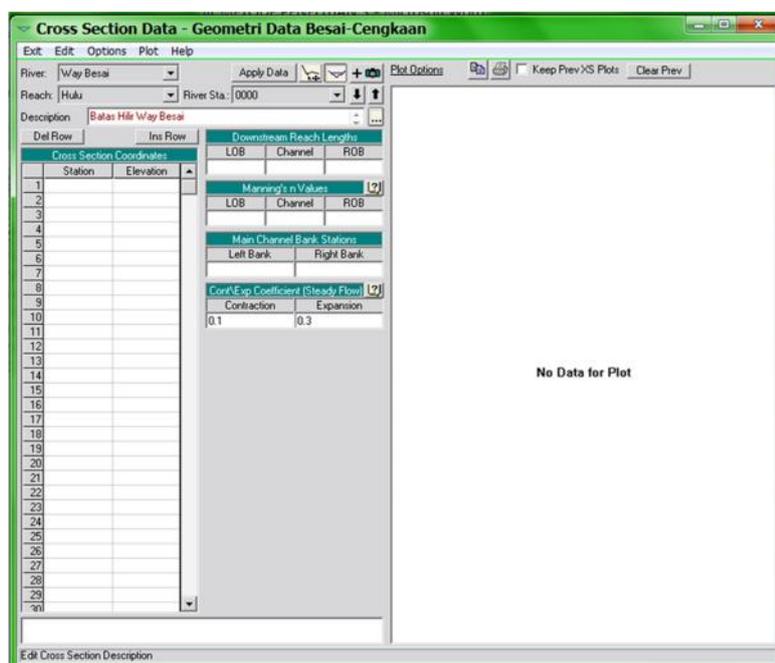
Input data tampang lintang yang dilakukan seperti di bawah ini:

- a) Aktifkan layar **Geometri Data**, klik tombol **Cross Section**.

(ikon kedua pada papan tombol kiri) . Masukkan data tampang lintang di setiap ruas sungai (Lampiran Data Geometri). Urutan ruas sungai yang data tampang lintangnya akan dituliskan tidak diatur. Demikian pula, urutan penulisan/pemasukan data tampang lintang di setiap ruas sungai tidak diatur, boleh tidak urut (sembarang), namun nomor tampang lintang harus urut. Nomor tampang lintang harus urut dari kecil ke besar dari sisi hilir ke arah hulu. Oleh karena itu, lebih mudah apabila data tampang lintang dimasukkan secara berurutan mulai dari tampang lintang paling hilir sampai dengan tampang lintang paling hulu.

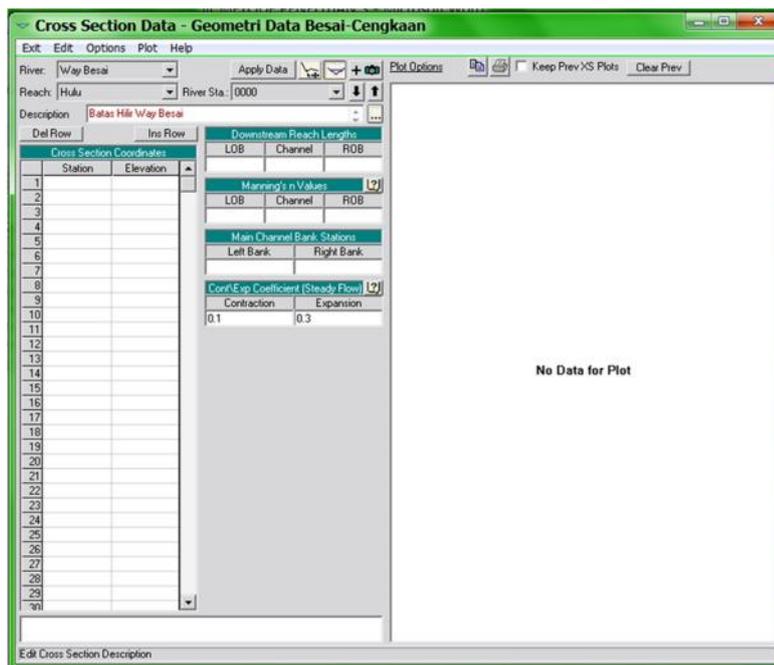
Koefisien kontraksi dan ekspansi tidak diganti, sama dengan nilai default.

- b) Klik **Options | Add a new Cross Section**. Untuk menuliskan data tampang lintang (*cross section*), dari tampang di ujung hilir sampai ke ujung hulu.
- c) Menuliskan nomor tampang lintang “0000”. Sebagai River Sta di hilir. Setiap tampang lintang diidentifikasi sebagai **River Sta** yang diberi nomor urut, dimulai dari hilir dan bertambah besar ke arah hulu.



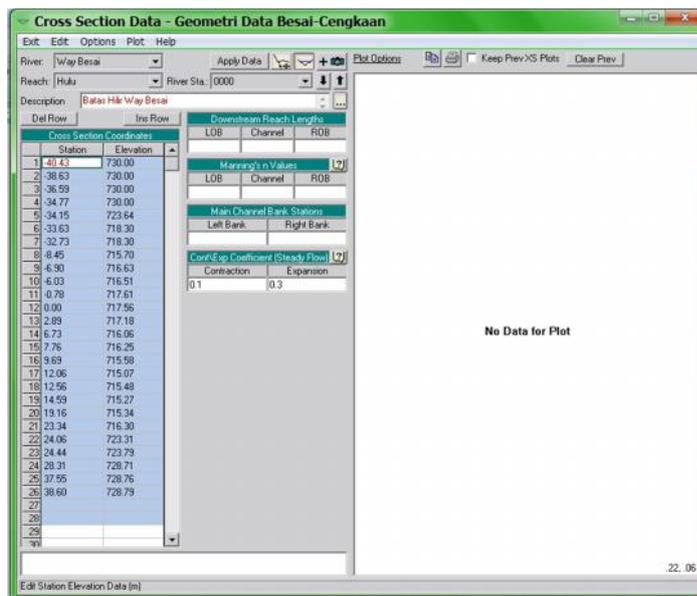
Gambar 23. Tampilan pemberian nama pada **River Sta**.

- d) Pada **Description**, dituliskan “Batas Hilir Way Besai”, sebagai keterangan mengenai tampang lintang (**River Sta**).



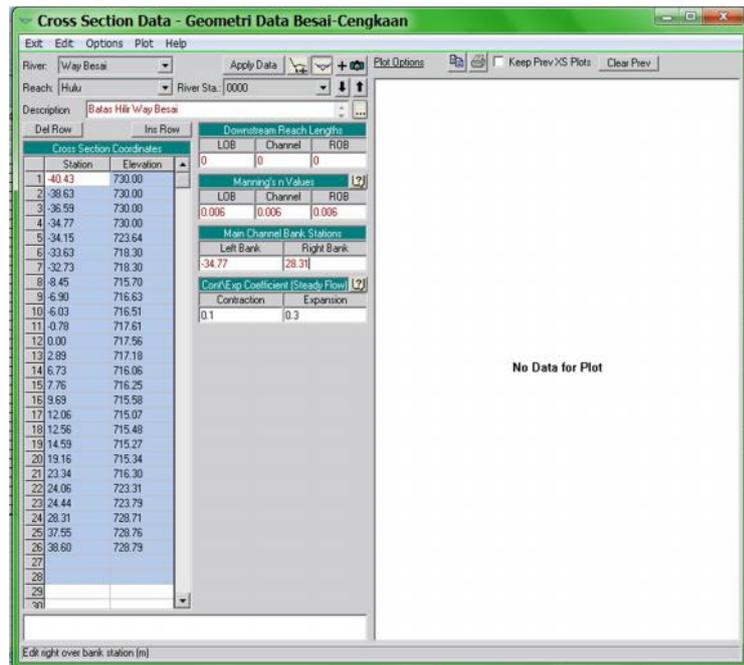
Gambar 24. Tampilan pengisian pada **Description**

- e) Menuliskan data koordinat di River Sta “0” pada kolom **Cross section Coordinates** dari titik paling kiri ke kanan. **Station** adalah jarak titik diukur dari kiri dan **Elevation** adalah elevasi titik. Bisa juga menggunakan cara *copy paste* dari data excel (Lampiran Data Geometri) dengan langkah **copy (CTRL+C)** koordinat penampang pada excel, kemudian block terlebih dahulu cell pada **Cross section Coordinates** sejumlah atau lebih dari jumlah koordinat menampang, kemudian **paste (CTRL+V)**. Jika pada nilai **Station** terdapat nilai minus, maka nilai tersebut mendapati urutan teratas (kecil-besar) seperti yang terlihat pada Gambar 25.



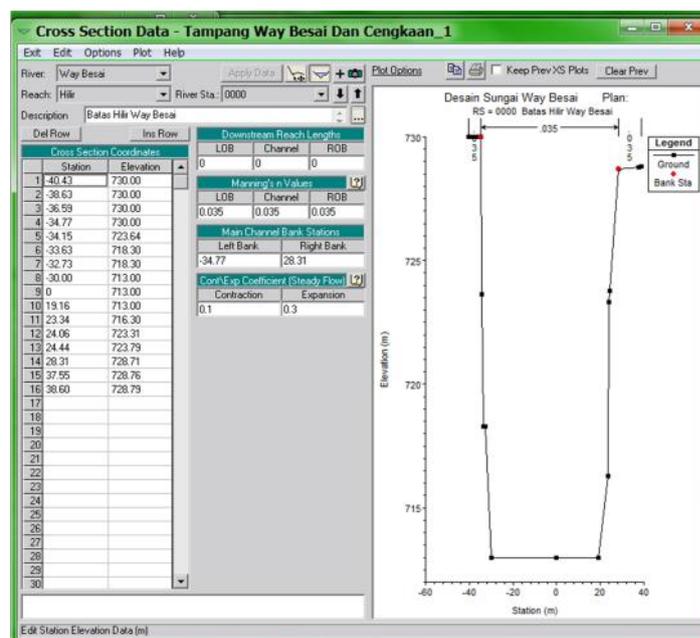
Gambar 25. Tampilan pengisian **Cross section Coordinates**

- f) Menuliskan angka “0” pada kolom (**Downstream Reach Lengths**) yang merupakan jarak tampang “0” ke tampang tetangga di sisi hilir yang terdiri:
- Left overbank, **LOB** = jarak antar bantaran kiri
 - Main channel, **Channel** = jarak antar alur utama
 - Right overbank, **ROB**. = jarak antar bantaran kanan
- g) Memasukkan Nilai koefisien kekasaran dasar, **Manning’ s n Values** , sebesar 0,006 yang diambil dari **Tabel 2** angka manning dan nilainya sesuai dengan kondisi lapangan.
- h) Mengisikan nilai **Main Channel Bank Stations**, nilai sebesar **-34.77** yang merupakan titik batas antara **LOB** dan **Channel** serta sebesar **28.31** untuk titik batas antara **Channel** dan **ROB**;
- i) Data **Cont\Exp Coefficients** dibiarkan sesuai dengan nilai default yang ada di dalam HEC-RAS, yaitu 0.1 untuk **Contraction** dan 0.3 untuk **Expansion**.



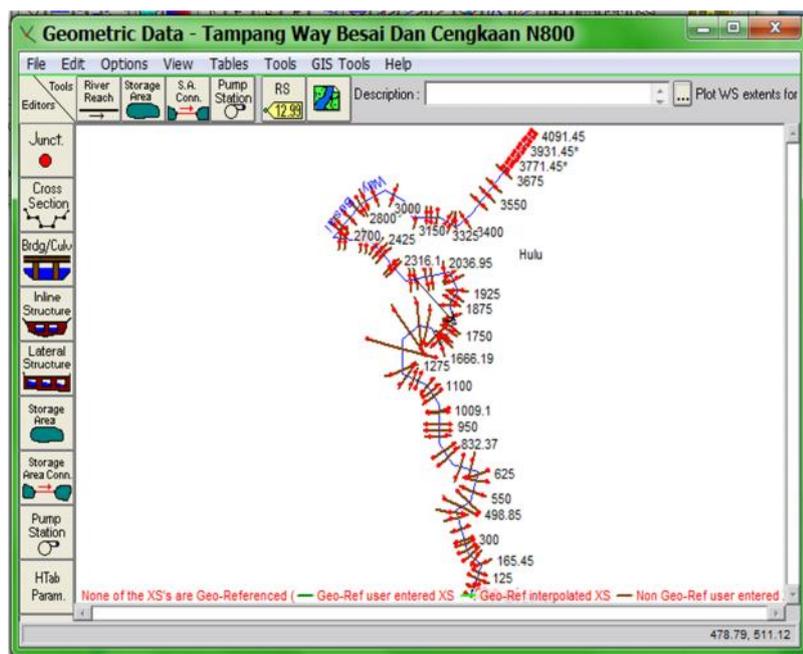
Gambar 26. Tampilan setelah pengisian table **Downstream Reach Lengths, Manning' s n Values, Main Channel Bank Stations, dan Cont\Exp Coefficients.**

- j) Klik tombol **Apply Data**, untuk menyimpan data ke dalam HEC-RAS. Kemudian akan ditampilkan gambar tampang lintang seperti ditampilkan pada Gambar



Gambar 27. Tampilan tampang lintang pada River Sta "0+00"

- k) Klik **Options | Copy Current Cross Section**, kemudian mengulangi langkah (c)–(k) untuk data *cross section* selanjutnya dan isikan pada Description selanjutnya titik STAnya seperti 0+100 sehingga pada layar editor data geometri tampak seperti Gambar 28.



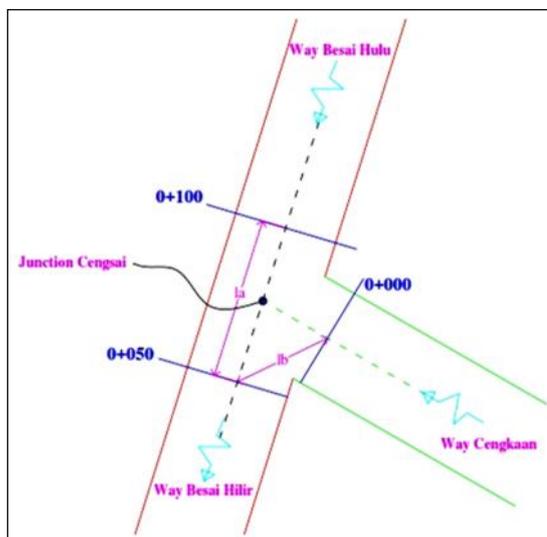
Gambar 28. Tampilan layar editor geometri setelah mengisi data *cross section*

e. Titik Cabang (*Junction*)

Pemodelan sungai bercabang dan sungai tak bercabang memiliki perlakuan perbedaan dalam pemodelannya. Untuk pemodelan kali ini menggunakan pemodelan sungai bercabang. Berikut ini adalah langkah pengisian data cabang (*junction*).

- a) Perhatikan situasi di titik cabang (*junction*) seperti ditampilkan pada Gambar 28. *Zoom-in* ke daerah di titik cabang. Perhatikan bahwa di titik cabang, tiga tampang lintang (RS 100, RS 50, dan RS 0) bersilangan di titik potong alur ketiga ruas. Hal ini, tentu

saja tidak sesuai dengan situasi yang sesungguhnya. Data geometri di titik cabang perlu diedit.



Gambar 29. Sketsa titik Cabang (*Junction*) Cangsai.

- b) Aktifkan layar *editor junction* dengan mengklik tombol **Junct** 

(ikon paling atas pada papan tombol kiri). Masukkan data jarak sebagai berikut:

- $l_a = 50$ meter, yaitu jarak dari Sungai Way Besai Hilir (RS 50) ke Sungai Way Besai Hulu (RS 100) dan
- $l_b = 46,64$ meter, yaitu jarak dari Sungai Way Besai Hilir (RS 50) ke Sungai Way Cengkaan (RS 0).

Pilihan **Computation Mode** tetap dibiarkan pada pilihan **Energy** (Gambar 29). Dengan pilihan ini, hitungan profil muka air di titik cabang dilakukan dengan memakai persamaan energi, sehingga informasi sudut atau orientasi arah aliran (sudut antara ruas induk dan ruas anak sungai) tidak diperlukan. Apabila hitungan profil muka air di titik cabang dilakukan dengan persamaan momentum, maka informasi sudut antara anak.



Gambar 30. Tampilan pengisian Data Cabang

f. Interpolasi Tampang Lintang (*Interpolation*)

Untuk kebutuhan ketelitian hitungan profil muka air, dua tampang pada lintasan tambahan (RS 3691.45 - RS 4111.45) tersebut tidak mencukupi. Untuk memperoleh ketelitian hasil hitungan yang baik diperlukan tambahan sejumlah tampang lintang yang memiliki selang jarak antar tampang cukup dekat. Data tampang lintang tambahan ini dapat diperoleh dengan melakukan interpolasi antara kedua tampang lintang tersebut. Di bawah ini dipaparkan langkahlangkah untuk melakukan interpolasi tampang lintang.

- Pada layar editor data geometri pilih menu **Tools | XS Interpolation | Within a Reach**.
- Pada kolom **Upstream Riv Sta**, isikan dengan klik tanda panah kemudian pilih penampang yang menjadi batas atas (4111,45).
- Pada kolom **Downstream Riv Sta**, isikan dengan klik tanda panah kemudian pilih penampang yang menjadi batas bawah (3691,45).

- Pada isian **Maximum Distance between XS's**, isikan angka “20”, yang berarti jarak maximum antar tampang lintang adalah 20 m, seperti tampak pada Gambar 30.



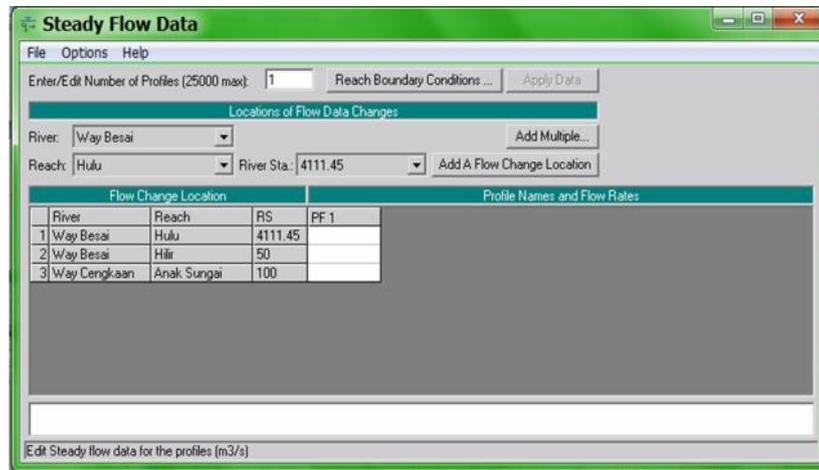
Gambar 31. Tampilan Interpolasi tampang lintang.

- Klik tombol **Interpolate XS's**.
- Klik tombol **Close** untuk kembali ke layar editor data geometri.

g. Memasukkan Data Aliran

Langkah selanjutnya adalah memasukkan data aliran. Sebelum memasukkan data aliran, kita harus memastikan terlebih dahulu jenis aliran yang akan disimulasi. Disini ada 2 jenis aliran, yaitu aliran *steady* (aliran tunak), dan aliran *unsteady* (aliran tak tunak). Untuk pemodelan yang saya lakukan simulasi menggunakan aliran *steady* (aliran tunak), hal ini dikarenakan saya ingin mengetahui elevasi muka air dan kapasitas sungai tersebut sehingga diperbolehkan menggunakan pemodelan dengan simulasi aliran *steady*. Jika kita akan menggunakan aliran aliran *steady* (parameter aliran yang tidak berubah terhadap waktu), berarti tinggal klik ikon “Enter/Edit Steady

Flow Data”  yang ada di tampilan awal HEC-RAS, sehingga selanjutnya akan muncul tampilan seperti berikut ini.

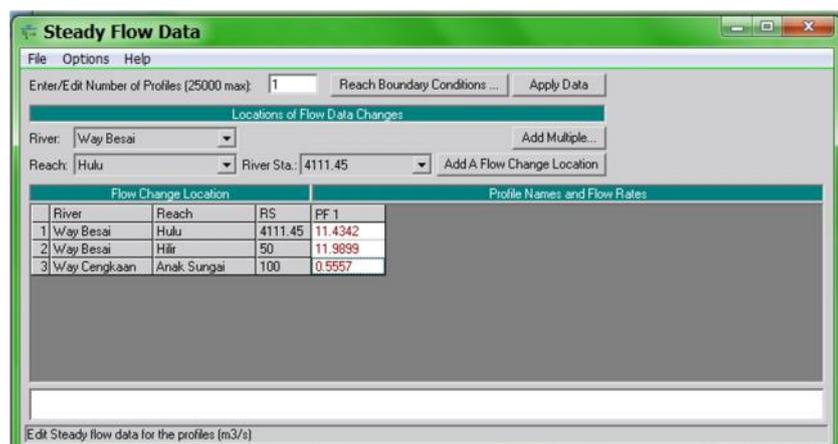


Gambar 32. Tampilan icon *Steady Flow Data*

Setelah muncul tampilan *Steady Flow Data*, masukkan debit puncak pada kolom PF, dan diasumsikan bahwa debit yang terjadi merupakan aliran yang konstan. Data yang dimasukkan berupa:

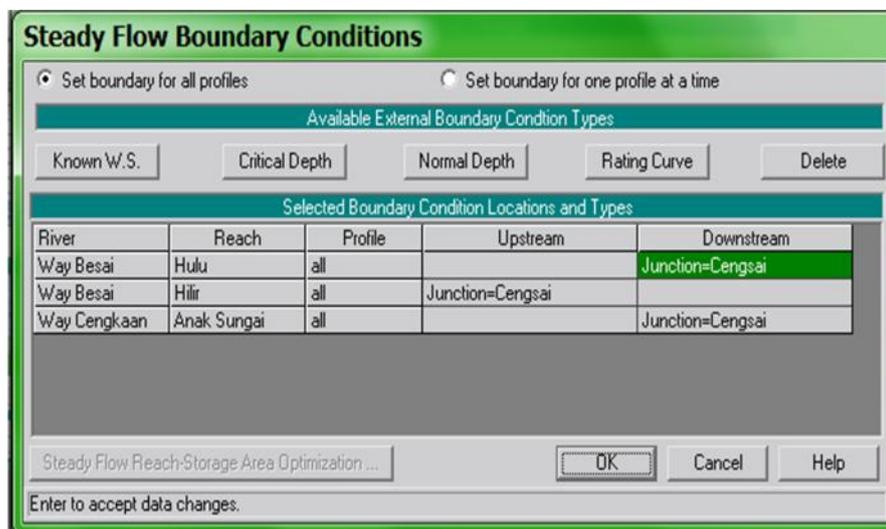
- Nilai debit untuk Way Besai Hulu (RS 4111,45) = 11.4342 m³/s.
- Nilai debit untuk Way Besai Hilir (RS 50) = 11.9899 m³/s.
- Nilai debit untuk Way Cengkaan (RS 100) = 0.5557 m³/s.

Setelah dilakukan pengisian maka akan tampak seperti Gambar



Gambar 33. Tampilan input data debit.

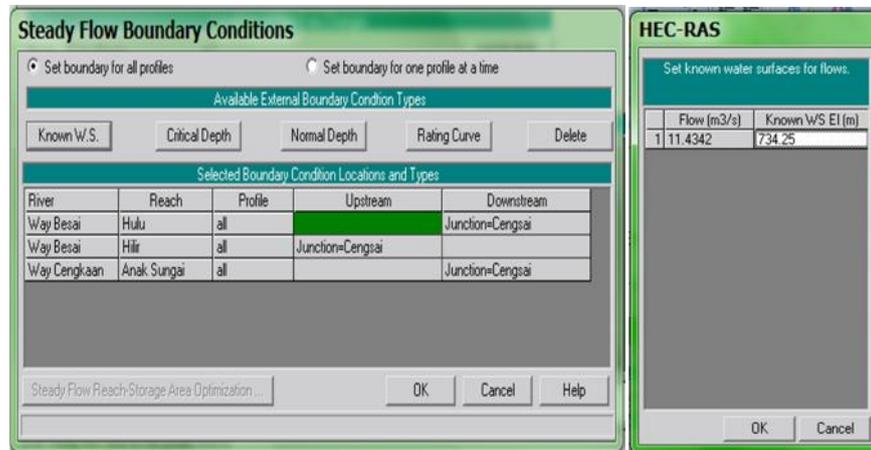
Selain itu, kita juga harus memasukkan *Boundary Condition* dengan cara klik tool bar “*Reach Boundary Condition*” yang terletak di bagian atas tampilan *Steady Flow Data*.



Gambar 34. Tampilan *Boundary Condition*.

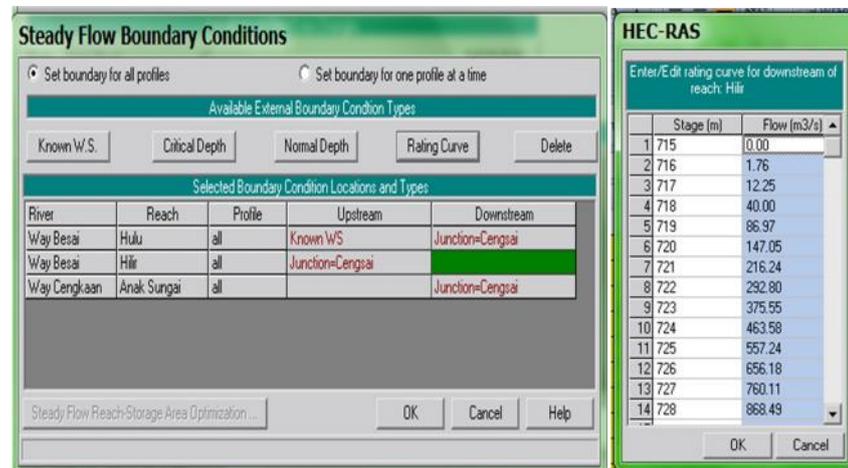
Pada *Boundary Condition* atau kondisi batas ini, kita bisa memasukkan data yang ada di hulu maupun di hilir sungai dengan cara mengklik salah satu ikon “*Known W.S., Critical Depth, Normal Depth, dan Rating Curve*”. Tentu saja data yang dimasukkan haruslah sesuai dengan kondisi yang ada dan pada kondisi puncak. Jika kita memilih *Known W.S.* berarti kita mengetahui muka air di hilir saluran, jika kita memilih *Critical Depth* berarti kita mengasumsikan bahwa di hilir saluran akan terjadi muka air kritis, sedangkan jika kita memilih *Normal Depth*, biasanya kita akan diminta untuk memasukkan kemiringan dasar saluran (*slope*), dan yang terakhir, jika kita memilih *rating curve*, berarti kita sudah memiliki data elevasi vs debit, yang biasanya terdapat di bending. Data yang dimasukkan dalam pemodelan ini adalah:

- Pada kolom *Upstream* Way Besai Hulu, pilih *Known W.S* dan isikan nilai tinggi elevasi muka air sebesar 734.25 meter (Lihat Gambar 34).



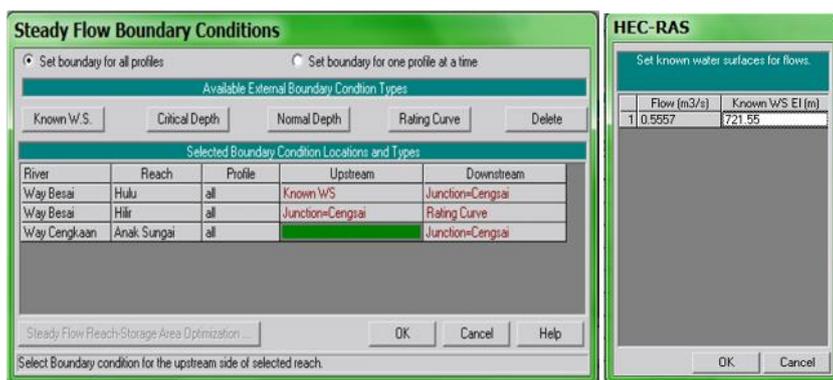
Gambar 35. Tampilan Pengisian *Upstream* di Way Besai Hulu

- Pada kolom *Downstream* Way Besai Hilir, pilih *Rating Curve* dan isikan nilai kurva yang ada pada Lampiran (Lihat Gambar 26)



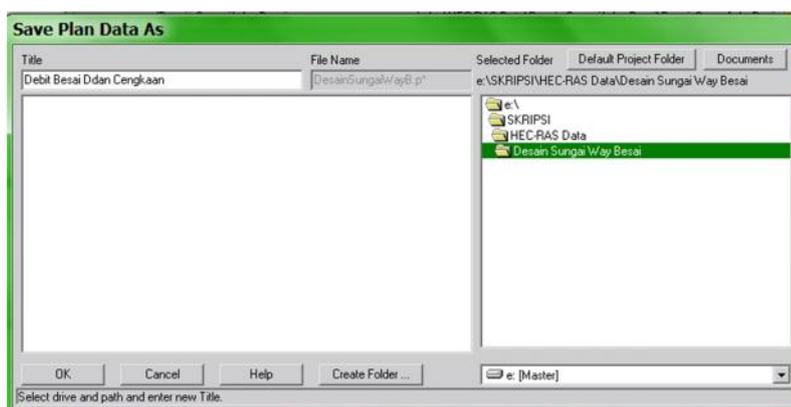
Gambar 36. Tampilan Pengisian *Downstream* dengan data *Rating Curve*

- Pada kolom *Upstream* Way Cengkaan Anak Sungai, Pilih *Known W.S* dan kemudian isikan nilai tinggi muka air sebesar 721,55 m.



Gambar 37. Tampilan Pengisian *Upstream* di Way Cengkaan.

- Kemudian Klik **OK** pada **Steady Flow Boundary Condition**
- Klik **Apply Data** pada **Steady Flow Data**. Jangan lupa untuk menyimpan data dengan Pilih **File | Save Flow Data** kemudian isikan **Title**, “Debit Besai dan Cengkaan” seperti Gambar.



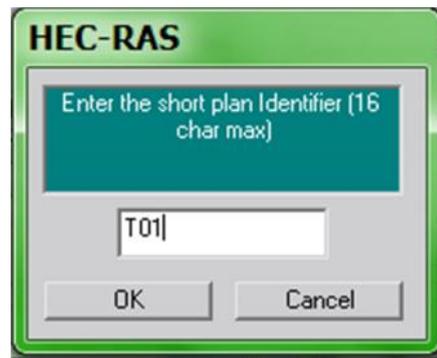
Gambar 38. Tampilan penyimpanan data Aliran Tunak

h. Hitungan Hidraulika

Hitungan hidraulika lebih dikenal dengan istilah *me-run* program HEC-RAS, walaupun istilah tersebut tidak tepat. Pemakai *me-run* program sejak saat pengaktifan HEC-RAS. Langkah-langkah hitungan hidraulika dipaparkan di bawah ini.

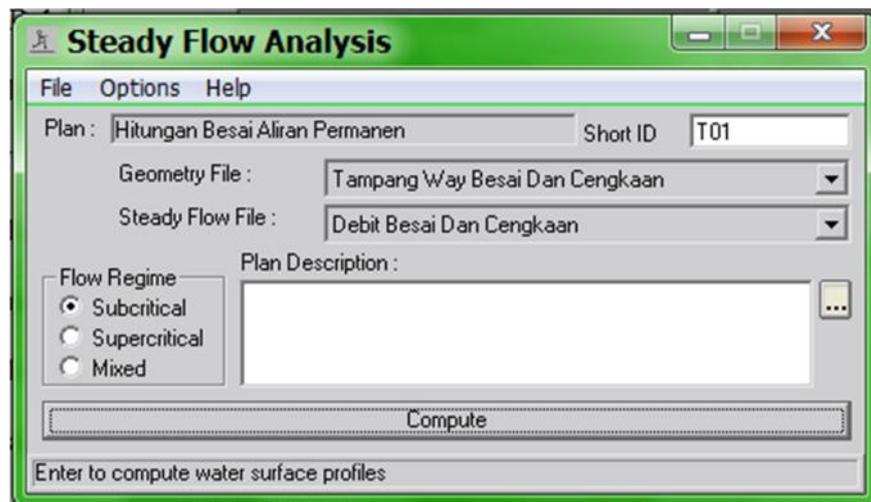
- Aktifkan layar hitungan aliran permanen dengan memilih menu **Run | Steady Flow Analysis**.

- Buat file Plan baru dengan memilih menu **File | New Plan** dan isikan pada **Title** “Hitungan Besai Aliran Permanen” sebagai judul plan. Pastikan bahwa pilihan folder tetap sesuai dengan folder file Project, kemudian klik tombol **OK**.
- Isikan “T01” pada layar yang muncul, yang meminta **short plan identifier** (lihat Gambar 38).



Gambar 39. Tampilan pengisian *short plan identifier*

- Biarkan pilihan yang lain apa adanya, yaitu “Tampang Way Besai Dan Cengkaan” untuk **Geometry File**, “Debit Besai dan Cengkaan” untuk **Steady Flow File**, dan **Subcritical** untuk **Flow Regime**.



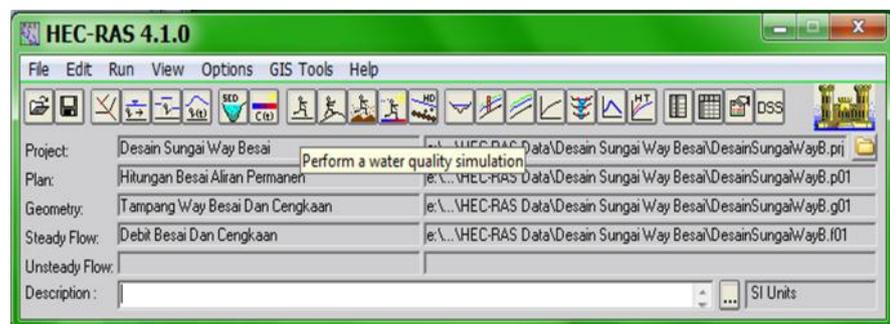
Gambar 40. Tampilan hitungan aliran permanen.

- Aktifkan modul hitungan hidraulika dengan mengklik tombol **Compute**. HEC-RAS akan melakukan hitungan profil muka air. Dalam beberapa saat, hitungan selesai seperti ditunjukkan pada layar hitungan pada Gambar 40.



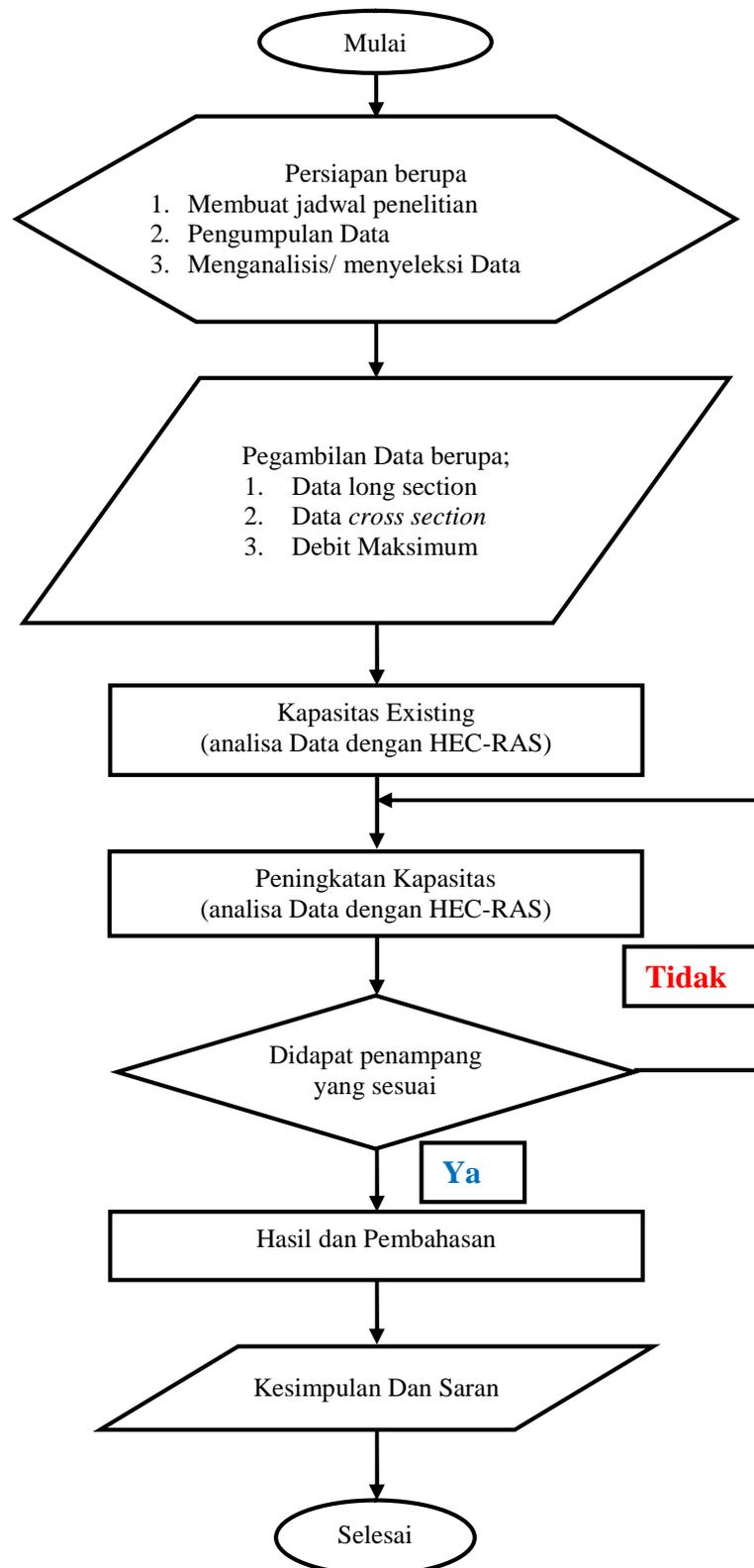
Gambar 41. Tampilan hitungan hidraulika setelah selesai

- Tutup layar hitungan dengan mengklik tombol **Close**; tutup pula layar Steady Flow Analysis dengan memilih menu **File | Exit** atau mengklik tombol **X** di pojok kanan atas layar. Pada layar komputer tampak layar utama HEC-RAS setelah hitungan profil aliran permanen selesai, seperti tampak pada Gambar 41.



Gambar 42. Tampilan utama HEC-RAS setelah hitungan selesai

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 43. *Flow Chart* Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Dari hasil pemodelan diketahui bahwa untuk mencapai elevasi muka air di titik maksimum yaitu pada elevasi +722.00. di Sta 0+000 dibutuhkan debit sebesar $57.19 \text{ m}^3/\text{s}$, yang terbagi $56,6343 \text{ m}^3/\text{s}$ di batas hulu sungai Way Besai dan $0.5557 \text{ m}^3/\text{s}$ di batas hulu sungai Way Cengkaan serta diperoleh angka manning yang sesuai dengan sensitifitasi pemodelan yaitu sebesar 0.08 untuk desain *Existing* dan 0.033 untuk desain Normalisasi.
2. Peningkatan *Reservoir Surface Area* ini mencapai 28,6% dari kondisi *Existing* yang terhitung dari Sta 0+000 – 3+691.45 dengan kapasitas volume galian mencapai $2,435,590.09 \text{ m}^3$
3. Hasil pemodelan Normalisasi belum mencapai pada kondisi awal hal ini dikarenakan keterbatasan data kontur yang tersedia sebagai data input serta banyaknya lahan daerah aliran sungai yang beralih fungsi menjadi daerah *Spoil Bank* .

B. Saran

1. Saran untuk penanganan teknis dapat dilakukan dengan cara galian dan timbunan pada sisi sungai. Dan untuk mengurangi sedimentasi yang terjadi pada sungai Way Besai dapat dilakukan dengan pembangunan *Check Dam* secara bertahap pada setiap bagian hilir sungai anak yang bermuara ke Sungai Way Besai seperti yang sedang direncanakan di sungai Air Anak.
2. Karena analisis menggunakan simulasi *steady flow*, maka untuk hasil tinggi elevasi muka air maupun luasan pengampangnya belum akurat, sehingga bila ingin mendekati hasil yang akurat dapat dilakukan penelitian lanjutan berupa analisis simulasi *unsteady flow* yang disertai dengan simulasi *sediment transportnya*.
3. Untuk data yang digunakan dalam pemodelan ini masih dianggap kurang memadai, terutama data batas pemodelan. Sehingga disarankan untuk pemodelan selanjutnya yang sama ataupun mirip dengan pemodelan ini diharapkan terdapat data pengukuran berupa kecepatan dan Tinggi Muka Air tidak hanya di batas pemodelan tetapi juga diperlukan 2 atau lebih data hasil pengukuran di tengah sungai atau di tempat-tempat yang memudahkan mendapatkan data seperti di jembatan, AWLR, dan lainnya.
4. Penanganan dengan normalisasi sebaiknya dilakukan dengan tetap memperhatikan ekosistem sungai agar tidak merusak komponen sungai lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven Te. 1985. Hidroulika Saluran Terbuka. Jakarta: ERLANGGA.
- Harnalin, Bangun. 2010. Pengelolaan Air Irigasi. Dinas Pertanian Jawa Timur.
- Harto, Sri. 2000, *Hidrologi; Teori, Masalah, dan Penyelesaian*, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Istianto. 2012, Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, Jenjang Dasar: Simple Geometry River, UGM, Yogyakarta.
- Istianto. 2014. Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, Jenjang Lanjut: Junction And Inline Structures, GM, Yogyakarta.
- Pohan. 2012, Desain Penampang sungai Way Batanghari dan Muara Sukadana Dengan Cara Peninkatan Kapasitas Sungai Menggunakan Software HEC-RAS, Universitas Lampung, Lampung.
- Sosrodarsono, S. dan Takeda. 2006. Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta : Pt. Pradnya Pramita: Jakarta.
- Soemarto, CD. 1999, Hidrologi Teknik Edisi2, Jakarta: ERLANGGA.
- Triatmodjo, Bambang. 2008, Hidrologi Terapan, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1993, Hidraulika I, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1993, Hidraulika II, Beta Offset, Yogyakarta.