

HIDROLIKA SUNGAI

PELATIHAN PERENCANAAN TEKNIS SUNGAI



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya pengembangan Modul Hidrolika Sungai sebagai materi inti/substansi dalam Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai. Modul ini disusun untuk memenuhi kebutuhan kompetensi dasar Aparatur Sipil Negara (ASN) di Bidang Sumber Daya Air (SDA), khususnya sungai.

Modul Hidrolika Sungai ini disusun dalam 3 (tiga) bagian yang terdiri dari pendahuluan, materi pokok, dan penutup. Modul yang sistematis diharapkan mampu mempermudah peserta pelatihan dalam memahami dan menerapkan hidrolika sungai. Penekanan orientasi pembelajaran pada modul ini lebih menonjolkan partisipasi aktif dari para peserta.

Akhirnya, ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Tim Penyusun dan Narasumber sehingga modul ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyempurnaan maupun perubahan modul di masa mendatang senantiasa terbuka dan dimungkinkan mengingat akan perkembangan situasi, kebijakan, dan peraturan yang terus menerus terjadi. Semoga modul ini dapat memberikan manfaat bagi peningkatan kompetensi ASN di Bidang SDA, khususnya sungai.

Bandung, Juni 2022
Kepala Pusat Pengembangan Kompetensi
Sumber Daya Air dan Permukiman

Ir. H. Ruhban Ruzziyatno, M.T.
NIP.19620819 199003 1 002

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR INFORMASI VISUAL	v
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Deskripsi Singkat.....	1
C. Tujuan Pembelajaran.....	1
1. Kompetensi Dasar	1
2. Indikator Keberhasilan	1
D. Materi Pokok dan Sub Materi Pokok.....	2
E. Estimasi Waktu	3
MATERI POKOK 1 ALIRAN SUNGAI	4
A. Debit Aliran, Kecepatan Aliran, dan Penampang Basah Sungai.....	4
B. Parameter Aliran	5
C. Distribusi Kecepatan Aliran.....	7
D. Latihan.....	8
E. Rangkuman.....	8
F. Evaluasi.....	9
G. Umpan Balik	9
MATERI POKOK 2 ALIRAN LAMINER – TURBULEN DAN ALIRAN SUBKRITIK, KRITIK, DAN SUPERKRITIK	11
A. Aliran Laminer-Turbulen.....	11
C. Perubahan Aliran Lambat Laun	13
D. Aliran Pembentuk Alur (<i>Channel-Forming Discharge</i>).....	15
E. Aliran Banjir (<i>High Flows</i>)	15
F. Latihan.....	16
G. Rangkuman.....	16
H. Evaluasi.....	17
I. Umpan Balik	17
MATERI POKOK 3 PERHITUNGAN ELEVASI MUKA AIR.....	18
A. Kontinuitas	18

B. Rumus-rumus Kecepatan Aliran	19
C. Kekekalan Energi	22
D. Latihan	23
E. Rangkuman	24
F. Evaluasi	24
G. Umpan Balik	25
MATERI POKOK 4 ALIRAN <i>UNIFORM</i> DAN ALIRAN <i>NON-UNIFORM</i>	26
A. Aliran <i>Uniform</i>	26
B. Aliran <i>Non-uniform</i>	27
C. Garis Elevasi Muka Air	28
D. Perhitungan Garis Elevasi Muka Air	30
E. Latihan	34
F. Rangkuman	34
G. Evaluasi	35
H. Umpan Balik	36
MATERI POKOK 5 ALIRAN <i>STEADY</i> DAN <i>UNSTEADY</i>	37
A. Aliran <i>Steady</i>	37
B. Aliran <i>Unsteady</i>	37
C. Persamaan Momentum	37
D. Contoh Deskritisasi Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Momentum	38
E. Pemodelan Aliran Sungai dengan HEC-RAS	39
F. <i>Soubrotine</i> untuk Perhitungan yang Lain	47
G. Latihan	47
H. Rangkuman	47
I. Evaluasi	48
J. Umpan Balik	48
MATERI POKOK 6 DATA DAN INFORMASI	49
A. Data dan Informasi	49
B. Data Geometri Sungai	49
1. Data Pengukuran Sungai	49
2. Kemiringan Dasar Sungai	50
3. Data Tinggi Muka Air	50
4. Bentuk Dasar Sungai	50

C. Latihan.....	51
D. Rangkuman.....	51
E. Evaluasi.....	51
F. Umpan Balik	52
PENUTUP	53
A. Simpulan.....	53
B. Tindak Lanjut.....	54
DAFTAR PUSTAKA	i
GLOSARIUM	i
KUNCI JAWABAN	ii

DAFTAR INFORMASI VISUAL

GAMBAR

Gambar 1.1. Distribusi Kecepatan pada Berbagai Bentuk Potongan Melintang Saluran....	7
Gambar 1.2. Pola Distribusi Kecepatan sebagai Fungsi Kedalaman	8
Gambar 2.1. Pembagian daerah pada aliran arah vertikal	14
Gambar 3.1. Kontinuitas Aliran dalam Suatu Pias	18
Gambar 3.2. Pias Aliran Seragam	19
Gambar 3.3. Energi dalam Aliran Saluran Terbuka.....	23
Gambar 4.1. Aliran Seragam pada Saluran Terbuka	26
Gambar 4.2. Profil Muka Air pada Kurva M (<i>Mild Slope</i>).....	29
Gambar 4.3. Profil Muka Air pada Kurva C (<i>Critical Slope</i>)	29
Gambar 4.4. Profil Muka Air pada Kurva S (<i>Steep Slope</i>)	30
Gambar 4.5. Contoh Grafik Hubungan Tinggi Muka Air (TMA) dengan Luas Penampang Basah (A) dan Jari-Jari Hidraulik ($R = AP$)	31
Gambar 4.6. Contoh Daerah Hitungan	31
Gambar 4.7. Contoh Penampang Melintang Sungai dengan Nilai Kekasaran Manning yang Berbeda-beda	32
Gambar 4.8. Garis Energi Tampang Tunggal.....	34
Gambar 5.1. Penerapan Dalil Momentum	38
Gambar 5.2. Contoh Deskritisasi Persamaan Kontinuitas dan Momentum.....	39
Gambar 5.3. HEC-RAS <i>Main Window</i>	40
Gambar 5.4. Tampilan <i>Windows New Project</i>	40
Gambar 5.5. Pemilihan Satuan.....	41
Gambar 5.6. <i>Geometric Data Editor</i>	41
Gambar 5.7. <i>Cross Section Data Editor</i>	42
Gambar 5.8. Tampilan <i>Windows</i> Kondisi Batas Hulu	43
Gambar 5.9. Tampilan <i>Windows</i> Kondisi Batas Hilir	43
Gambar 5.10. <i>Unsteady Flow Analysis</i>	44
Gambar 5.11. <i>Plotting</i> Penampang Saluran	45
Gambar 5.12. <i>Plotting</i> Profil Saluran secara Menyeluruh atau Sebagian.....	45
Gambar 5.13. <i>Rating Curve</i>	45
Gambar 5.14. <i>Plotting</i> Perspektif Saluran (X, Y, Z)	46
Gambar 5.15. Tabulasi <i>Output</i> Kondisi Saluran pada Suatu Penampang.....	46

Gambar 6.1. Contoh Data Pengukuran Sungai	49
Gambar 6.2. Liku Kalibrasi Sungai Cimanuk di Jatibarang	50

TABEL

Tabel 3.1. Nilai Koefisien Manning.....	21
---	----

PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Deskripsi

Modul Hidrolika Sungai ini terdiri dari 6 (enam) materi pokok. Materi pokok 1 membahas aliran sungai. Materi pokok 2 membahas jenis Aliran Laminer, Turbulen, dan Aliran Subkritik, Kritik, dan Superkritik. Materi pokok 3 membahas perhitungan elevasi muka air. Materi pokok 4 membahas konsep Aliran *Uniform* dan Aliran *Non-uniform*. Materi pokok 5 membahas *Steady Flow* dan *Unsteady flow*. Materi pokok 6 membahas data dan informasi terkait hidrolika sungai.

Peserta pelatihan mempelajari keseluruhan modul ini dengan cara yang berurutan. Pemahaman setiap materi pada modul ini diperlukan untuk memahami dan menerapkan hidrolika sungai. Setiap materi pokok dilengkapi dengan latihan yang menjadi alat ukur tingkat penguasaan peserta pelatihan setelah mempelajari materi pada materi pokok.

Persyaratan

Dalam mempelajari modul ini, peserta pelatihan diharapkan dapat menyimak dengan seksama penjelasan dari fasilitator sehingga dapat memahami dan menerapkan dengan baik materi yang merupakan materi inti/substansi dari Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai. Untuk menambah wawasan, peserta diharapkan dapat membaca terlebih dahulu materi yang berkaitan dengan hidrolika sungai dari sumber lainnya.

Metode

Dalam pelaksanaan pembelajaran ini, metode yang dipergunakan adalah dengan kegiatan pemaparan yang dilakukan oleh fasilitator, adanya kesempatan diskusi, tanya jawab dan peragaan.

Alat Bantu/Media

Untuk menunjang tercapainya tujuan pembelajaran ini, diperlukan Alat Bantu/Media pembelajaran tertentu, yaitu: LCD/proyektor, laptop, *white board* dengan spidol dan penghapus, bahan tayang serta modul dan/atau bahan ajar.

Kompetensi Dasar

Setelah mengikuti seluruh rangkaian pembelajaran, peserta diharapkan mampu mengimplementasikan perhitungan dalam hidrolika.

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai adalah sebuah system alur alam yang secara menerus menyesuaikan dirinya terhadap perubahan lingkungan sekitarnya dalam bentuk aksi dan reaksi. Penyesuaian terhadap perubahan lingkungan sekitar ini bisa berjalan pelan tak terlihat dan berjangka panjang atau bisa juga berjalan sangat cepat dan mendadak.

Dampak dari perubahan yang terjadi di sungai tidak hanya terjadi local tapi bisa jauh ke hulu dan ke hilir. Penyesuaian atas aksi terhadap sungai dapat berdampak perubahan tampang melintang, kemiringan memanjang, sinusitas, bentuk palung, kecepatan air, nilai kekasaran tebing dan dasar sungai dalam tampang memanjang tergantung jenis dan intensitas dampak. Setelah terjadi dampak itu sungai akan memulihkan dirinya ke kondisi keseimbangan yang dapat berlangsung cepat dalam beberapa minggu atau dapat juga berlangsung lama dalam beberapa puluh tahun. Karena letaknya paling rendah dalam landsekap bumi, sungai menerima semua pengaruh kegiatan di daratan, utamanya yang terbawa oleh aliran air. Sehingga benarlah ungkapan *'the health of our water is the principal measure of how we live on the land'* (Luna Leopold 1915-2006).

B. Deskripsi Singkat

Mata pelatihan ini membekali peserta pelatihan dengan pengetahuan mengenai hidrolika sungai, yang disajikan dengan menggunakan metode ceramah, diskusi, tanya jawab dan peragaan.

C. Tujuan Pembelajaran

1. Kompetensi Dasar

Setelah mengikuti seluruh rangkaian pembelajaran, peserta diharapkan mampu mengimplementasikan perhitungan dalam hidrolika sungai.

2. Indikator Keberhasilan

Setelah mengikuti pembelajaran, peserta diharapkan dapat:

- Menghitung aliran sungai;
- Menghitung Aliran Laminer-Turbulen dan Aliran Subkritik, Kritik, dan Superkritik;
- Menghitung elevasi muka air dalam hidrolika sungai;
- Menghitung Aliran *Uniform* dan *Non-uniform*;
- Menghitung Aliran *Steady* dan *Unsteady*;

- f. Menguraikan data dan informasi terkait hidrolika sungai.

D. Materi Pokok dan Sub Materi Pokok

Dalam Modul Hidrolika Sungai ini akan membahas materi:

1. Aliran Sungai
 - a. Debit Aliran, Kecepatan Aliran, dan Penampang Basah Aliran;
 - b. Parameter Aliran;
 - c. Distribusi Kecepatan Aliran.
2. Aliran Laminer-Turbulen dan Aliran Subkritik, Kritikd Superkritik
 - a. Aliran Laminer-Turbulen;
 - b. Aliran Subkritik, Kritik, dan Superkritik;
 - c. Perubahan Aliran Lambat Laun;
 - d. Aliran Pembentuk Alur (*Channel Forming Discharge*);
 - e. Aliran Banjir (*High Flows*).
3. Perhitungan Elevasi Muka Air
 - a. Kontinuitas;
 - b. Rumus-rumus Kecepatan Aliran;
 - c. Kekekalan Energi.
4. Aliran *Uniform* dan *Non-uniform*
 - a. Aliran *Uniform*;
 - b. Aliran *Non-uniform*;
 - c. Garis Elevasi Muka Air;
 - d. Perhitungan Garis Elevasi Muka Air.
5. Aliran *Steady* dan *Unsteady*
 - a. Aliran *Steady*;
 - b. Aliran *Unsteady*;
 - c. Persamaan Momentum;
 - d. Contoh Dikritisasi Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Momentum;
 - e. Pemodelan Aliran Sungai;
 - f. *Soubrotine* untuk Perhitungan yang Lain.
6. Data dan Informasi
 - a. Data dan Informasi;
 - b. Data Geometri Sungai;

E. Estimasi Waktu

Alokasi waktu yang diberikan untuk pelaksanaan kegiatan belajar mengajar untuk Mata Pelatihan Hidrolika Sungai ini adalah 4 (empat) jam pelajaran atau sekitar 180 menit.

MATERI POKOK 1

ALIRAN SUNGAI

Indikator Keberhasilan: Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta dapat menghitung aliran sungai.

A. Debit Aliran, Kecepatan Aliran, dan Penampang Basah Sungai

Aliran pada penampang sungai, terdiri dari beberapa parameter utama yaitu debit, kecepatan, dan penampang basah saluran (sungai). Parameter kecepatan dan penampang basah merupakan salah satu parameter terpenting untuk mendapatkan besaran debit banjir dan debit kapasitas dari penampang sungai tersebut.

1. Debit Aliran Sungai

Debit air sungai juga bisa disebut dengan istilah laju aliran air yang melewati sebuah penampang melintang sungai per satuan waktu. Persamaan debit banjir diberikan pada rumus berikut:

$$Q = A V$$

di mana:

Q : Debit banjir (m³/s)

A : Luas *catchment area*

V : Kecepatan rata-rata

Berbeda dengan debit banjir yang didapatkan dari data curah hujan pos-pos pengamatan sesuai *catchment area* dari DAS tersebut, debit aliran sungai didapatkan dengan metode peramalan. Tujuan peramalan debit aliran sungai adalah untuk mengetahui ketersediaan air pada aliran rendah guna pengelolaan DAS.

Peramalan pasok air (ketersediaan air) sangat diperlukan dalam pengoperasian sistem tata air untuk penyediaan air domestik, perkotaan dan industri, irigasi, dan listrik tenaga air. Ramalan ini pada umumnya menyangkut debit aliran untuk durasi tertentu, misalnya debit tahunan, musiman, bulanan, tengah-bulanan atau sepuluh-harian. Pemilihan metode peramalan bergantung pada karakteristik Daerah Pengaliran Sungai (DPS), data yang tersedia, dan kebutuhan pengguna ramalan. Metode yang umum digunakan adalah Model Konseptual, Metode Resesi, dan Analisis Deret Waktu.

Peramalan debit aliran rendah untuk jangka pendek dan menengah dapat dilakukan dengan menggunakan karakteristik resesi dari DPS. Meskipun demikian, perlu dipertimbangkan hal-hal yang menyimpang dari sifat resesi pada musim kemarau, misalnya akibat campur tangan manusia dalam pemompaan untuk irigasi dan alih aliran antar-DPS.

Peramalan jangka panjang pada umumnya dilakukan dengan menggunakan Metode Korelasi dan Regresi yang peubah bebasnya adalah lengas tanah, curah hujan dan suhu. Dalam beberapa hal curah hujan dapat dibagi atas beberapa peubah musiman yang terpisah dengan bobot yang berbeda.

2. Kecepatan Aliran Sungai

Variabel kecepatan yang digunakan untuk mendapatkan nilai debit sungai merupakan perbandingan antara jarak dan waktu. Kecepatan aliran sungai dapat diukur dengan menggunakan alat ukur *current meter* yang ditempatkan pada segmen aliran badan sungai. Pengukuran ini dilakukan dengan cara membagi pengukuran arah vertikal menjadi 3 titik kedalaman yaitu 0,2h, 0,6h, dan 0,8h. Sedangkan untuk arah horizontal dibagi menjadi 5 titik yaitu 1/8 kanan, 1/4 kanan, tengah, 1/4 kiri, dan 1/8 kiri.

3. Penampang Basah Sungai

Penampang basah adalah penampang melintang sungai/saluran terbuka yang dibatasi oleh dasar sungai/saluran terbuka dan muka air. Penampang basah sungai didapatkan berdasarkan bentuk penampang sungai tersebut. Nilai luas penampang basah dan keliling basah penampang merupakan parameter untuk mendapatkan jari-jari hidraulis. Luas penampang basah dapat diukur dengan melakukan pengukuran lebar dan kedalaman aliran.

B. Parameter Aliran

1. Kecepatan dan Tegangan Geser Aliran

Permulaan gerak butiran sedimen dasar merupakan awal mula angkutan sedimen. Salah satu factor yang menyebabkan permulaan gerak adalah kecepatan. Kecepatan efektif untuk menggerakkan butiran dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$U^* = (g \cdot D \cdot S)^{0,5}$$

dengan:

U^* : Kecepatan geser (m/dt)

g : Gravitasi (m/dt²)

D : Kedalaman aliran (m)

S : Kemiringan dasar saluran

Sedangkan tegangan geser yang terjadi dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\tau_0 = \gamma_w \cdot g \cdot H \cdot S$$

dengan:

τ_0 : Tegangan geser (kg/m²)

g : Gravitasi (m/dt²)

γ_w : Berat jenis air (kg/m³)

H : Kedalaman saluran (m)

S : Kemiringan dasar saluran.

Pergerakan sedimen berdasarkan tegangan gesernya dapat dilihat pergerakannya pada ketentuan di bawah ini:

$\tau_0 > \tau_c$, maka butiran bergerak

$\tau_0 = \tau_c$, maka butiran mulai bergerak (kondisi kritis)

$\tau_0 < \tau_c$, maka butiran diam

2. Kekentalan Kinematik dan Dinamis

Kekentalan dinamis merupakan gaya *tangensial* persatuan luas yang digunakan agar dapat memindahkan suatu bidang horisontal ke sebuah bidang yang lain, dalam unit velositas (*velocity*), ketika mempertahankan jarak dalam sebuah cairan.

Hukum Newton berbunyi: Tegangan geser dalam suatu cairan sebanding dengan laju perubahan kecepatan normal aliran, laju kecepatan ini dikenal sebagai gradien kecepatan.

Persamaan kekentalan dinamis: $\tau = \mu \left(\frac{dc}{dy} \right)$

di mana:

τ = Tegangan geser (N/m²)

μ = Viskositas dinamis (Ns/m²)

dc = Satuan kecepatan (m/s)

dy = Satuan jarak antara (m).

Kekentalan kinematis merupakan suatu rasio antara viskositas absolut untuk kepadatan (*densitas*) dengan jumlah dimana tidak ada kekuatan yang terlibat. Viskostatis kinematik dapat dihitung dengan membagi *viskositas absolut* cairan dengan densitas massa cairan.

Persamaan kekentalan Kinematis:

$$\nu = \mu / \rho$$

di mana:

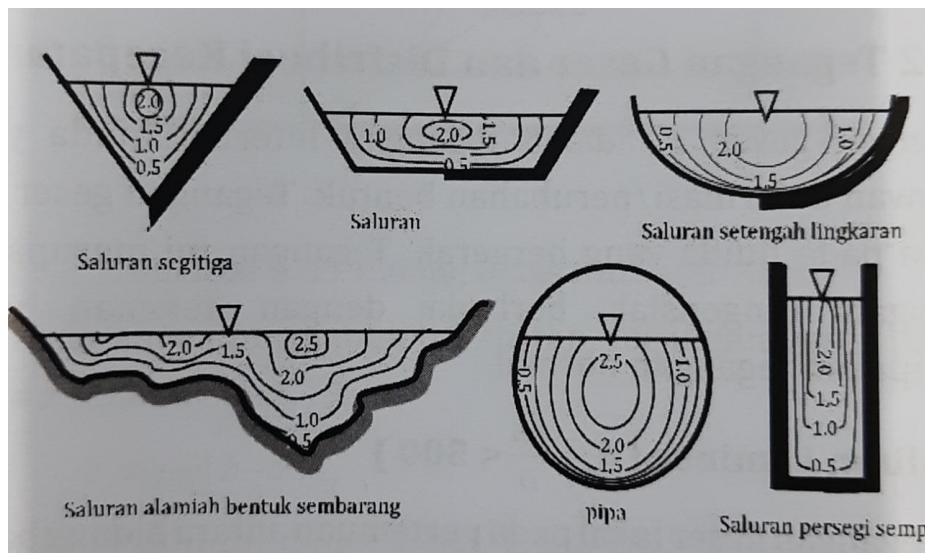
ν = Viskositas kinematis (m^2/s)

μ = Viskositas absolut/dinamis (Ns/m^2)

ρ = Densitas (kg/m^3).

C. Distribusi Kecepatan Aliran

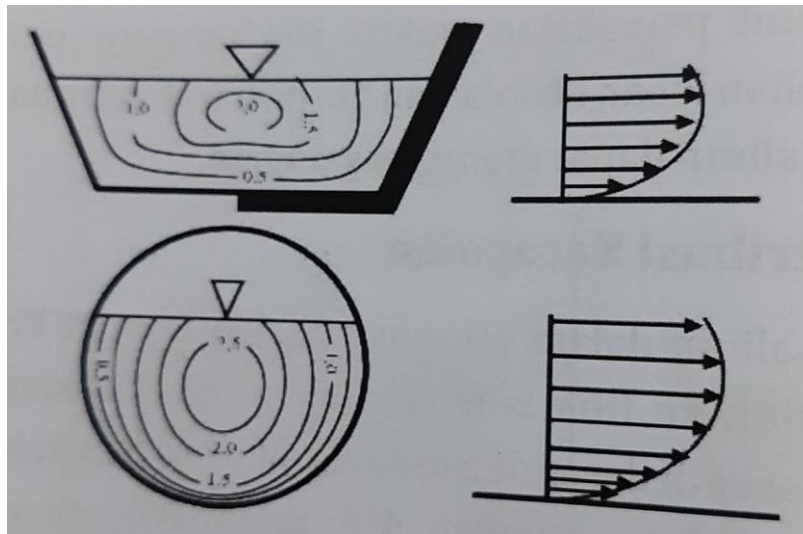
Kecepatan aliran dalam saluran biasanya dapat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya tegangan geser di dasar dan dinding saluran serta keberadaan permukaan bebas. Tipikal distribusi kecepatan pada beberapa tipe potongan melintang saluran diberikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Distribusi Kecepatan pada Berbagai Bentuk Potongan Melintang Saluran

Kecepatan aliran mempunyai 3 (tiga) komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun, komponen arah vertical dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Oleh karena itu, hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan. Komponen kecepatan ini bervariasi terhadap kedalaman dari

permukaan air. Tipikal variasi kecepatan terhadap kedalaman air diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Pola Distribusi Kecepatan sebagai Fungsi Kedalaman

D. Latihan

1. Sebutkan dan jelaskan parameter aliran sungai.
2. Sebutkan parameter pergerakan sedimen pada parameter aliran sungai.
3. Jelaskan hubungan debit aliran dengan kecepatan dan penampang basah sungai.

E. Rangkuman

Debit air sungai juga bisa disebut dengan istilah laju aliran air yang melewati sebuah penampang melintang sungai per satuan waktu. Berbeda dengan debit banjir yang didapatkan dari data curah hujan pos-pos pengamatan sesuai *catchment area* dari DAS tersebut, debit aliran sungai didapatkan dengan metode peramalan. Tujuan peramalan debit aliran sungai adalah untuk mengetahui ketersediaan air pada aliran rendah guna pengelolaan DAS.

Variabel kecepatan yang digunakan untuk mendapatkan nilai debit sungai merupakan perbandingan antara jarak dan waktu. Kecepatan aliran sungai dapat diukur dengan menggunakan alat ukur *current meter* yang ditempatkan pada segmen aliran badan sungai.

Penampang basah adalah penampang melintang sungai/saluran terbuka yang dibatasi oleh dasar sungai/saluran terbuka dan muka air. Penampang basah sungai didapatkan berdasarkan bentuk penampang sungai tersebut.

Kecepatan aliran dalam saluran biasanya dapat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya tegangan geser di dasar dan dinding saluran serta keberadaan permukaan bebas.

F. Evaluasi

1. Pengukuran kecepatan aliran sungai dapat dilakukan pada 3 (tiga) titik kedalaman, kecuali ...
 - a. 0,2h
 - b. 0,4h
 - c. 0,6h
 - d. 0,8h
2. Tegangan geser dipengaruhi oleh parameter dibawah ini ...
 - a. Kedalaman sungai
 - b. Kemiringan sungai
 - c. Berat jenis air
 - d. a, b dan c benar
3. Kecepatan aliran pada saluran pada dasarnya disebabkan oleh tegangan geser di dasar dan dinding saluran serta ...
 - a. Debit aliran
 - b. Penampang sungai
 - c. Permukaan bebas
 - d. Energi spesifik

G. Umpan Balik

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban, untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul.

Hitunglah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi pada modul ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Untuk latihan soal, setiap soal memiliki bobot nilai yang sama, yaitu 20/soal.

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90 – 100 % = Baik Sekali

80 – 89 % = Baik

70 – 79 % = Cukup

< 70 % = Kurang

Bila anda dapat menjawab salah dua dari pertanyaan di atas, Anda dapat meneruskan ke materi selanjutnya. Tetapi apabila belum bisa menjawab soal di atas, Anda harus mengulangi materi modul, terutama bagian yang belum anda kuasai.

MATERI POKOK 2

ALIRAN LAMINER – TURBULEN DAN ALIRAN SUBKRITIK, KRITIK, DAN SUPERKRITIK

Indikator keberhasilan: setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta dapat menjabarkan aliran laminar – turbulen dan aliran subkritik, kritik dan superkritik

A. Aliran Laminar-Turbulen

Aliran dalam sungai (saluran terbuka) yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*). Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer setempat. Jika pada aliran tidak terdapat permukaan bebas dan aliran dalam saluran penuh, aliran yang terjadi disebut aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Air yang mengalir pada sungai mempunyai bidang kontak hanya pada dinding dan dasar sungai.

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, aliran dibedakan menjadi Aliran Permanen (*Steady*) dan Tidak Permanen (*Unsteady*). Sementara itu, berdasarkan fungsi ruang aliran dibedakan menjadi Aliran Seragam (*Uniform*) dan Tidak Seragam (*Non-uniform*).

Jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti gerakan serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang paralel maka alirannya disebut Aliran Laminar. 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 gaya relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Jika gaya viskositas dominan, aliran laminar sedangkan jika gaya inersia yang dominan maka alirannya adalah turbulen. Hubungan antara gaya kekentalan dan inersia dinyatakan dalam Bilangan Reynold (Re) sebagai berikut:

$$Re = \frac{V L}{\nu}$$

di mana:

V = Kecepatan aliran (m/s)

L = Panjang karakteristik (m), pada saluran muka air bebas $L = R$

R = Jari-jari hidraulik saluran (m)

ν = Kekentalan kinematik (m^2/s)

Bila Bilangan Reynold kecil, maka aliran pada sungai bersifat laminar, sebaliknya jika Bilangan Reynold besar maka aliran pada sungai bersifat turbulen. Aliran disebut bersifat peralihan (transisi) apabila keadaan alirannya bersifat suatu campuran antara keadaan laminar dan turbulen. Nilai-nilai berikut merupakan batas sifat aliran fluida dalam aliran sungai:

$Re \leq 500$: Aliran Laminar

$500 < Re \leq 12500$: Aliran Transisi

$Re > 12500$: Aliran Turbulen

B. Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Pada Aliran Subkritis, biasanya kedalaman aliran lebih besar dari pada kecepatan aliran rendah, semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus. Apabila bilangan lebih kecil dari satu ($Fr < 1$), maka termasuk Aliran Subkritis.

Aliran Kritis merupakan aliran yang mengalami gangguan permukaan, seperti yang diakibatkan oleh riak yang terjadi karena batu yang dilempar ke dalam sungai tidak akan bergerak menyebar melawan arus. Aliran dapat dikategorikan Aliran Kritis apabila Bilangan Froude memiliki nilai sama dengan satu ($Fr = 1$).

Pada Aliran Superkritis, kedalamn aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi, segala riak yang ditimbulkan dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus. Apabila bilangan Froude lebih besar dari satu ($Fr > 1$), maka aliran tersebut termasuk Aliran Superkritis.

Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah perbandingan antara gaya gravitasi dan gaya inersia yang dinyatakan dalam Bilangan Froude (Fr). Rumus dari Bilangan Froude (Fr) adalah sebagai berikut:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g h}}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g R}} \text{ atau } Fr = \frac{V}{\sqrt{g D}}$$

di mana:

V = Kecepatan aliran (m/s)

h = Kedalaman aliran (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

R = Jari-jari hidraulik, $\frac{A}{P}$ (m)

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

D = Kedalaman hidraulik, $\frac{A}{T}$ (m)

T = Lebar permukaan air (m)

Pengaruh kecepatan aliran terhadap perubahan dasar sungai pada kondisi Aliran Kritis dan Superkritis, yaitu besarnya kecepatan berbanding lurus dengan Angka Froude, semakin tinggi kecepatan semakin besar Angka Froudenya. Perubahan bentuk dasar saluran (*bedforms*) terbuka rata-rata berubah kebentuk transisi. Kemudian untuk Aliran Superkritis berubah ke bentuk *antidunes* karena kecepatan aliran semakin tinggi.

C. Perubahan Aliran Lambat Laun

Aliran berubah lambat laun banyak terjadi akibat pasang surut di muara saluran atau akibat adanya bangunan-bangunan air atau pasang surut air laut terutama pada saat banjir akan berpengaruh sampai ke hulu dan atau ke hilir. Aliran berubah lambat laun yang terjadi akibat perubahan elevasi permukaan air di ujung hulu atau ujung hilirnya ini sangat tergantung pada kedalaman kritis dan kedalaman normal

Aliran berubah lambat laun merupakan aliran dengan kecepatan yang tetap namun memiliki kedalaman yang berubah-ubah secara lambat laun sepanjang saluran (sungai). Pada aliran berubah lambat laun terjadi perubahan kecepatan secara gradual terhadap jarak sehingga pengaruh percepatan pada aliran antara dua potongan yang berdekatan dapat diabaikan. Perhitungan profil muka air dapat dilakukan berdasarkan prinsip energi. Total energi pada sembarang potongan pada saluran terbuka dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$H = z + h + \frac{v^2}{2g} \text{ atau } H = z + h + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Untuk menghitung profil muka air, pertama-tama diperlukan variasi energi total sepanjang saluran. Jadi total energi (H) perlu didiferensialkan terhadap jarak (X) sehingga didapatkan gradien energi ke arah aliran.

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{d\left(\frac{Q}{A}\right)^2 \frac{1}{2g}}{dx}$$

Dengan definisi bahwa:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f \text{ dan } \frac{dz}{dx} = -S_0$$

di mana:

S_f = Kemiringan garis energi

S_0 = Kemiringan dasar saluran

Tanda negative pada S_f dan S_0 menunjukkan bahwa baik H dan z menurun dengan meningkatnya jarak (X). Persamaan umum untuk aliran berubah lambat laun, di mana

$\frac{dh}{dx} = 0$, menggambarkan kemiringan muka air diberikan oleh persamaan:

$$\frac{dh}{dx} = S_0 \left[\frac{1 - \left(\frac{h_N}{h}\right)^3}{1 - \left(\frac{h_{kr}}{h}\right)^3} \right]$$

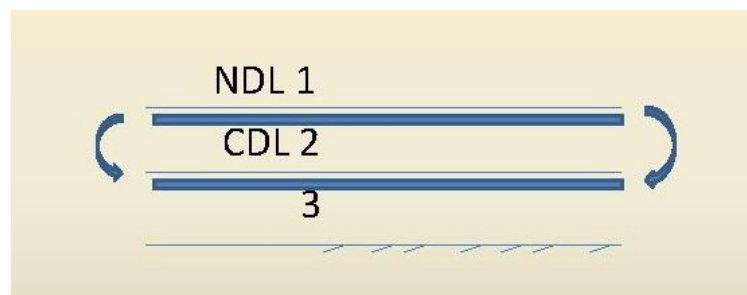
Untuk $\frac{dh}{dx} = 0$, kedalaman air tetap konstan sepanjang saluran (sungai) dan aliran yang terjadi adalah aliran seragam. Sebaliknya, untuk $\frac{dh}{dx} > 0$, kedalaman air meningkat ke arah aliran.

Profil garis muka air (*flow profile*) dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam bentuk, yaitu:

1. Air balik (*backwater*), jika kedalaman air (h) bertambah searah aliran ($\frac{dh}{dx} > 0$);
2. Air menurun (*drawdown*), jika kedalaman air (h) berkurang searah aliran ($\frac{dh}{dx} < 0$).

Apabila garis yang merupakan tempat kedudukan kedalaman air normal disebut sebagai *Normal Depth Line* (NDL) dan garis yang merupakan tempat kedudukan kedalaman air kritis disebut sebagai *Critical Depth Line* (CDL), maka akan membagi kedalaman air menjadi 3 (tiga) daerah (*zone*) yaitu:

- a. Daerah 1: ruang di atas NDL dan CDL;
- b. Daerah 2: ruang antara NDL dan CDL; dan
- c. Daerah 3: ruang dibawah NDL dan CDL.



Gambar 2.1. Pembagian Daerah pada Aliran Arah Vertikal

D. Aliran Pembentuk Alur (*Channel-Forming Discharge*)

Aliran ini digunakan untuk analisis *stable channel*, yaitu saluran yang dalam waktu lama tidak menunjukkan perubahan dimensi yang berarti (relatif tetap). Aliran ini adalah aliran tunggal yang dapat dijadikan pengganti aliran alam yang selalu berubah. Konsep ini hanya cocok untuk sungai-sungai alluvial di bagian hilir yang selalu ada airnya bukan sungai musiman ataupun sungai di daerah hulu. Aliran pembentuk alur umumnya didekati dengan besaran Q_2 disebut juga *dominant discharge*.

E. Aliran Banjir (*High Flows*)

Aliran banjir dinyatakan dalam probabilitas/kemungkinan terjadi disamai atau dilampauinya besaran debit banjir tertentu. Umumnya dinyatakan dalam periode ulang (tahun) misalnya debit banjir Q_{100} tahun di suatu lokasi adalah = 500 m³/det.

Periode ulang yang relatif tinggi digunakan pada wilayah pengembangan ekonomi yang lebih maju (perkotaan/metropolitan) sementara yang lebih kecil digunakan untuk wilayah yang belum maju (pedesaan). Hal yang demikian mengingat kerugian banjir yang ditimbulkan untuk wilayah perkotaan jauh lebih besar dibanding dengan wilayah pedesaan sehingga memerlukan tingkat keamanan yang lebih tinggi. Pemilihan periode ulang banjir untuk alur dan prasarana yang akan dibangun didasarkan pada analisis kelayakan ekonomi.

Untuk keperluan praktis restorasi sungai alluvial berikut ketentuan berikut ini dapat dipertimbangkan:

- a) Untuk menjaga agar tidak terjadi kenaikan muka air yang berlebihan misalnya karena banyak bangunan untuk keperluan umum di dekat sempadan sungai, debit rencana untuk restorasi sungai dibatasi untuk Q_{5th} ;
- b) Banjir dengan periode ulang Q_{10th} - Q_{25th} digunakan untuk memperkirakan gerusan yang terjadi pada tebing dan dasar sungai agar dampak yg timbul seminimal mungkin;
- c) Banjir dengan periode ulang Q_{50th} - Q_{100th} digunakan untuk memperkirakan batas dataran banjir, juga alur banjir (*flood way*) yang tidak menimbulkan kenaikan muka air yang tinggi ($< 1 \text{ feet}$) di dataran banjir.

Untuk keperluan pengendalian banjir di Indonesia berlaku ketentuan *rule of thumb* sebagai berikut:

- a) Untuk ibukota kabupaten/kotamadya digunakan periode ulang Q_{10} ;
- b) Untuk ibukota provinsi / kota besar digunakan periode ulang Q_{20} - Q_{50} ;

- c) Untuk ibukota Negara/metropolitan digunakan periode ulang Q50-Q100.

F. Latihan

Terangkan secara singkat dan jelas pertanyaan di bawah ini:

1. Jelaskan pengertian aliran kritis, subkritis dan superkritis.
2. Jelaskan kegunaan angka Froude dan angka Reynold.
3. Apa kegunaan dari aliran pembentuk alur (*channel-forming discharge*)?

G. Rangkuman

Jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti gerakan serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang paralel 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.

Pengaruh kecepatan aliran terhadap perubahan dasar sungai pada kondisi Aliran Kritis dan Superkritis, yaitu besarnya kecepatan berbanding lurus dengan angka Froude, semakin tinggi kecepatan semakin besar Angka Froudenya. Perubahan bentuk dasar saluran (*bedforms*) terbuka rata-rata berubah kebentuk transisi. Kemudian untuk Aliran Superkritis berubah ke bentuk *antidunes* karena kecepatan aliran semakin tinggi.

Banyak parameter hidrolika dalam perencanaan didekati dengan anggapan kondisi aliran normal yang didasarkan pada penyelesaian Rumus Manning. Cara ini sebenarnya hanya sesuai untuk kondisi Aliran *Uniform*, yaitu ketika gaya gravitasi ditahan oleh gaya gesek yang menganggap kedalaman rata-rata, kecepatan, dan luas tampang basah tetap sama sepanjang aliran.

Terdapat beberapa jenis aliran, yaitu:

- a) Aliran air rendah (*low flows*) direncanakan pada musim kemarau dengan alur tertentu agar kehidupan biota air di sungai dapat tetap terjaga;
- b) Aliran pembentuk alur (*channel-forming discharge*) aliran ini digunakan untuk analisis *stable channel*, yaitu saluran yang dalam waktu lama tidak menunjukkan perubahan dimensi yang berarti (relatif tetap). Aliran ini adalah aliran tunggal yang dapat dijadikan pengganti aliran alam yang selalu berubah;
- c) Aliran banjir dinyatakan dalam probabilitas/kemungkinan terjadi disamai atau dilampaui nya besaran debit banjir tertentu. Umumnya dinyatakan dalam periode ulang (tahun) misalnya debit banjir Q100 tahun di suatu lokasi adalah 500 m³/det.

H. Evaluasi

1. Berikut ini merupakan kegunaan dari Bilangan Froude...
 - a. Memahami perubahan yang terjadi di sungai
 - b. Mengikuti tampang melintang tegak lurus aliran
 - c. Menghubungkan titik terendah palung sungai
 - d. Menentukan jenis aliran
 - e. Menentukan suatu aliran laminar atau turbulen
2. Aliran ini adalah aliran tunggal yang dapat dijadikan pengganti aliran alam yang selalu berubah, pernyataan tersebut merupakan pengertian dari aliran...
 - a. Aliran *Steady*
 - b. Aliran *Uniform*
 - c. Aliran pembentuk alur
 - d. Aliran air rendah
 - e. Aliran banjir
3. Nilai-nilai berikut merupakan batas sifat aliran fluida dalam aliran sungai, kecuali...
 - a. $Re \leq 500$: Aliran Laminar
 - b. $12500 < Re > 500$: Aliran Transisi
 - c. $500 < Re \leq 12500$: Aliran Transisi
 - d. $Re > 12500$: Aliran Turbulen

I. Umpan Balik

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban, untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul.

Hitunglah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi pada modul ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Untuk latihan soal, setiap soal memiliki bobot nilai yang sama, yaitu 20/soal.

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90 – 100 % = Baik Sekali

80 – 89 % = Baik

70 – 79 % = Cukup

< 70 % = Kurang

Bila anda dapat menjawab salah dua dari pertanyaan di atas, Anda dapat meneruskan ke materi selanjutnya. Tetapi apabila belum bisa menjawab soal di atas, Anda harus mengulangi materi modul, terutama bagian yang belum anda kuasai.

MATERI POKOK 3

PERHITUNGAN ELEVASI MUKA AIR

Indikator Keberhasilan: Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta dapat menghitung elevasi muka air dalam hidrolis sungai.

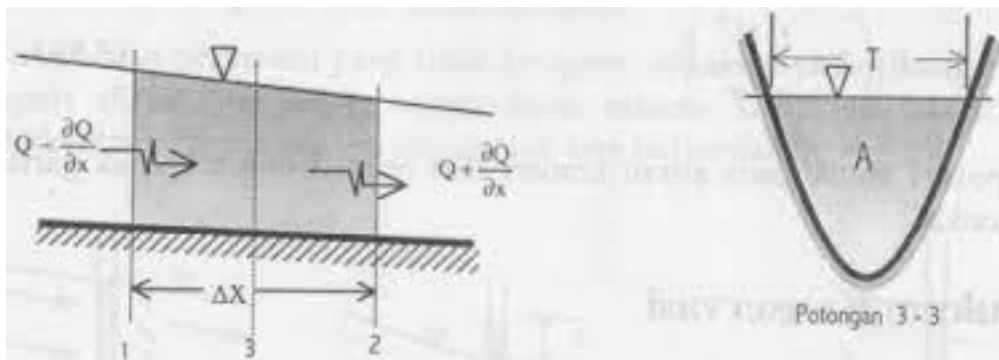
A. Kontinuitas

Untuk menjabarkan persamaan kontinuitas, marilah kita tinjau aliran zat cair tidak mampu mampat di dalam suatu pias saluran terbuka, seperti pada Gambar 3.1. Pada saluran tersebut tidak terjadi aliran masuk atau keluar menembus dinding saluran, dan aliran yang terjadi adalah Aliran Permanen. Apabila debit yang lewat pada Tampang 3-3 besarnya sama dengan Q dan mempunyai kedalaman aliran h pada Δt , maka besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut selama waktu Δt dapat didefinisikan sebagai:

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

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

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



Gambar 3.1. Kontinuitas Aliran dalam Suatu Pias

Prinsip kontinuitas menyatakan bahwa jumlah pertambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut sehingga diperoleh:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Pada aliran tetap (*steady*) luas tampang basah tidak berubah selama Δt , sehingga integrasi persamaan diatas menghasilkan:

$$Q = \text{konstan} \text{ atau } Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$$

dengan :

Q = Debit (m^3/s)

Q_1 = Debit pada penampang 1 (m^3/s)

Q_2 = Debit pada penampang 2 (m^3/s)

A_1 = Luas penampang 1 (m^2)

A_2 = Luas penampang 2 (m^2)

V_1 = Kecepatan arus pada penampang 1 (m/s)

V_2 = Kecepatan arus pada penampang 2 (m/s)

B. Rumus-rumus Kecepatan Aliran

Penentuan tegangan geser dan distribusi kecepatan dalam aliran turbulen relative sulit, maka digunakan pendekatan empiris untuk menghitung kecepatan rata-rata. Beberapa rumus empiris kecepatan rata-rata aliran adalah sebagai berikut:

1. Rumus Chezy

Penurunan Rumus Chezy digunakan beberapa asumsi, yaitu aliran adalah permanen, kemiringan dasar saluran adalah kecil dan saluran adalah prismatik. Resultan gaya-gaya yang bekerja pada *control volume* sepanjang arah ΔX , gambar 3.2 ke arah bawah adalah:

$$\sum F = P_1 - P_2 + W_x - F_f - F_a$$

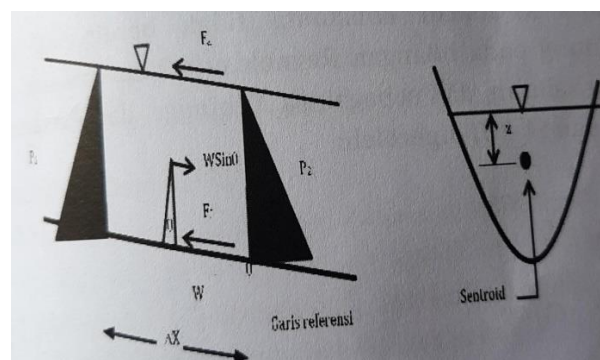
di mana:

P_1 dan P_2 = Tekanan hidrostatik (N)

F_f = Gaya geser antara dasar/dinding saluran dan air = $\tau_0 P \Delta x$ (N)

F_a = Gaya geser antara permukaan air dan udara = 0

W = Berat air dalam segmen yang ditinjau = $\gamma A \Delta x$ (N)



Gambar 3.2. Pias Aliran Seragam

Untuk aliran seragam $P_1 = P_2$, maka persamaan diatas menjadi:

$$\tau = \gamma R S_0$$

di mana,

τ = Gaya geser tiap satuan luas dinding/dasar saluran (N/m²)

γ = Berat jenis air (N/m³)

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

A = Luas penampang basah (m²)

P = Keliling basah (m)

S_0 = Kemiringan dasar saluran

Berdasarkan analisis dimensi dapat dituliskan juga:

$$\tau_0 = k \rho V^2$$

Di mana k adalah konstanta tidak berdimensi yang bergantung pada Bilangan Reynolds, kekasaran dasar dan dinding saluran sehingga didapatkan persamaan kecepatan aliran

$$V = \sqrt{\frac{g}{k} R S_0} \text{ atau } V = C \sqrt{R S_0}$$

di mana,

V = Kecepatan aliran (m/s)

S_0 = Kemiringan dasar saluran

C = Faktor tahanan aliran yang disebut Koefisien Chezy

Nilai koefisien Chezy dapat dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut:

a. Bazin

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$$

di mana, m: Koefisien kekasaran saluran, R: Jari-jari hidraulik (m)

b. Ganguillet dan Kuetter

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{m}}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}} \left(23 + \frac{0,00155}{S} \right)}$$

di mana, S: Kemiringan dasar saluran dan m : Nilai m dari Kuetter

2. Rumus Manning

Nilai kecepatan yang didapatkan dengan persamaan Manning adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

di mana:

V = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari-jari hidraulis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

n = Koefisien kekasaran manning

Koefisien kekasaran Manning didapatkan dari material pembentuk dinding saluran tersebut. Nilai koefisien manning diberikan pada Tabel 3.3. di bawah ini.

Tabel 3.1. Nilai Koefisien Manning

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
	Beton			
	Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
	Tanah, lurus dan seragam			
	Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	Berumput pendek, sedikit tanaman	0,022	0,027	0,033
	Saluran alam			
	Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,080
	Dataran banjir berumput tinggi-pendek	0,025	0,030	0,035

Saluran di belukar	0,035	0,050	0,070
--------------------	-------	-------	-------

Sumber : Chow (1959)

Apabila dihubungkan Persamaan Chezy dan Persamaan Manning akan diperoleh antara Koefisien Chezy (C) dan Koefisien Manning (n) sebagai berikut

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

3. Rumus Strickler

Strickler mencari hubungan antara nilai koefisien n dari Rumus Manning dan Ganguillet dan Kuetter, sebagai fungsi dari dimensi material yang membentuk dinding saluran. Untuk dinding (dasar dan tebing) dari material yang tidak koheren, Koefisien Strickler diberikan oleh persamaan berikut:

$$k_s = \frac{1}{n} = 26 \left(\frac{R}{d_{35}} \right)^{1/6}$$

Dengan R: Jari-jari hidraulik dan d_{35} : Diameter (m) yang berhubungan dengan 35% berat dari material dengan diameter yang lebih besar. Kecepatan aliran dengan menggunakan koefisien tersebut diberikan oleh persamaan:

$$V = k_s R^{2/3} S^{1/2}$$

C. Kekekalan Energi

Energi adalah kemampuan yang dimiliki sebuah sistem fisik untuk bergerak melawan gaya. Energi adalah jumlah daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah massa sepanjang jarak tertentu, daya adalah gaya kali Jarak. Dalam system tertutup energy total adalah konstan ini disebut Hukum Kekekalan Energi.

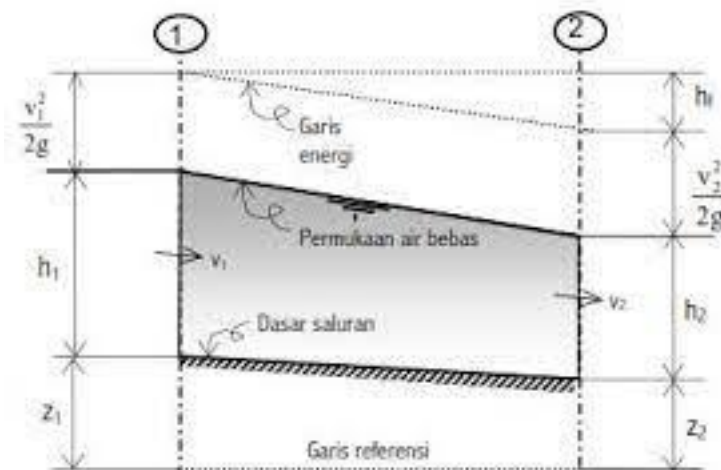
Energi dalam air mengalir terdiri atas beberapa komponen sering disebut '*head*' dan digambarkan sebagai jarak vertikal, yaitu:

- Energi potensial atau '*pressure head*' akibat massa dan gaya gravitasi bumi;
- Energi kinetik yang berhubungan dengan pergerakan air dan disebut sebagai '*velocity head*'.

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.

$$H = z + d \cos \theta + \frac{V^2}{2g}$$

Berdasarkan 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 h_f diantara kedua penampang tersebut.



Gambar 3.3. Energi dalam Aliran Saluran Terbuka

Persamaan energi yang dihasilkan:

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + d_2 \cos \theta + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Untuk saluran yang kemiringannya kecil ($\theta \approx 0$), maka persamaan di atas menjadi:

$$z_1 + h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

di imana:

z = Fungsi titik diatas garis referensi (m)

h = Fungsi tekanan di suatu titik (m)

V = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gaya gravitasi bumi (m/s²)

D. Latihan

Terangkan secara singkat dan jelas pertanyaan di bawah ini.

1. Jelaskan persamaan untuk mendapatkan Nilai Koefisien Chezy.
2. Apa yang dimaksud dengan energi? Dan sebutkan beberapa komponen energi dalam air mengalir.
3. Jelaskan pengertian energi.

E. Rangkuman

Prinsip kontinuitas menyatakan bahwa jumlah pertambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut sehingga diperoleh:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Pada Aliran Tetap (*Steady*) luas tampang basah tidak berubah selama Δt sehingga integrasi persamaan diatas menghasilkan:

$$Q = \text{konstan} \text{ atau } Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Persamaan kecepatan aliran antara lain: Chezy, Manning dan Strickler dengan persamaan berturut-turut dibawah ini:

$$V = \sqrt{\frac{g}{k} R S_0} \text{ atau } V = C \sqrt{R S_0} \text{ (Chezy)}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \text{ (Manning)}$$

$$V = k_s R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \text{ (Strickler)}$$

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.

$$H = z + d \cos \theta + \frac{V^2}{2g}$$

F. Evaluasi

1. Jumlah energi air dari setiap aliran yang melalui suatu penampang saluran, dapat dinyatakan sebagai jumlah fungsi air, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan dikenal dengan ...
 - a. Kekekalan energi
 - b. Hukum Bernoulli
 - c. Manning
 - d. Chezy
2. Energi adalah jumlah daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah massa sepanjang jarak tertentu, dalam sistem tertutup energi total adalah konstan ini disebut ...
 - a. Kekekalan energi
 - b. Hukum Bernoulli

- c. Manning
 - d. Chezy
3. Strickler mencari hubungan antara nilai koefisien n dari rumus manning dan Ganguillet dan Kuetter, sebagai fungsi dari dimensi material yang membentuk ...
- a. Dasar saluran
 - b. Dinding saluran
 - c. Kemiringan saluran
 - d. Kekasaran saluran

G. Umpan Balik

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban, untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul.

Hitunglah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi pada modul ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Untuk latihan soal, setiap soal memiliki bobot nilai yang sama, yaitu 20/soal.

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90 – 100 % = Baik Sekali

80 – 89 % = Baik

70 – 79 % = Cukup

< 70 % = Kurang

Bila anda dapat menjawab salah dua dari pertanyaan di atas, Anda dapat meneruskan ke materi selanjutnya. Tetapi apabila belum bisa menjawab soal di atas, Anda harus mengulangi materi modul, terutama bagian yang belum anda kuasai.

MATERI POKOK 4

ALIRAN *UNIFORM* DAN ALIRAN *NON-UNIFORM*

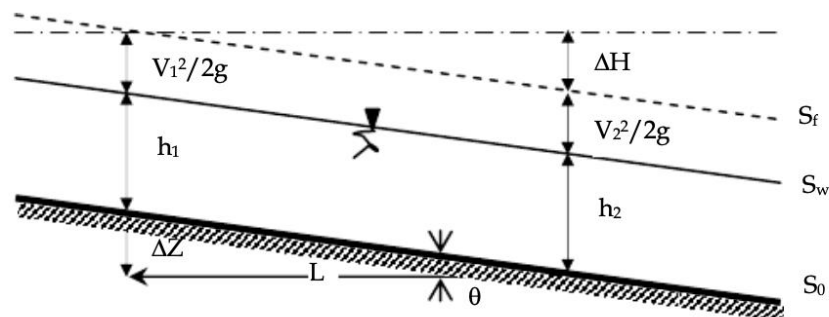
Indikator keberhasilan: setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta dapat menghitung aliran uniform dan aliran non-uniform

A. Aliran *Uniform*

Aliran disebut Seragam (*Uniform Flow*) apabila tidak ada perubahan besar dan arah kecepatan dari satu titik ke titik lain sepanjang aliran. Aliran *Uniform* dapat dikatakan sebagai aliran yang luas penampang lintang basahnya tidak berubah dalam fungsi jarak dan kemiringan dasarnya juga tetap (kecepatan aliran sepanjang alirannya tetap). Persamaan aliran *uniform* ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = 0 \text{ atau } \frac{\partial A}{\partial x} = 0$$

Pada Aliran Seragam, distribusi tekanan adalah hidrostatik dan gaya-gaya yang bekerja pada pias air adalah dalam kondisi seimbang. Keseragaman aliran hanya mungkin terjadi di saluran prismatic.



Gambar 4.1. Aliran Seragam pada Saluran Terbuka

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat kedalaman aliran yang konstan mengakibatkan tinggi tekanan (h) sepanjang aliran akan sama. Kecepatan aliran yang konstan mengakibatkan tinggi kecepatan ($\frac{\alpha V^2}{2g}$) sepanjang aliran juga akan sama. Tinggi tekanan dan tinggi kecepatan yang sama di sepanjang aliran akan mengakibatkan tinggi energi akan sama di sepanjang aliran.

Jika ditarik garis melalui tinggi tekanan dan tinggi kecepatan, maka akan terbentuk garis tekanan dengan kemiringan (S_w) dan garis energi dengan kemiringan (S_f) yang dua-duanya sejajar dengan garis kemiringan dasar saluran (S_0), dengan kata lain $S_w =$

$S_f = S_0$. Kemiringan dasar saluran S_0 adalah $\frac{\Delta z}{L}$ dan Δz adalah selisih tinggi dasar saluran antara titik (1) dan titik (2), sedangkan L adalah jarak antara titik (1) dan titik (2). Kemiringan garis energi (S_f) $\frac{\Delta H}{L}$ dengan ΔH adalah jumlah kehilangan energi antara titik (1) dan titik (2).

Aliran Seragam dapat terjadi hanya pada saluran prismatis, lurus dan panjang atau pada saluran yang memungkinkan terjadinya kecepatan aliran yang tetap. Pada saluran terbuka, aliran akan mengalami tahanan geser. Pada umumnya, gaya tahanan geser (P_f atau F_f) dilawan oleh komponen gaya berat air yang searah aliran. Jika kedua gaya yang saling berlawanan arah ini seimbang maka akan terjadi Aliran Seragam.

B. Aliran Non-uniform

Aliran Tidak Seragam (*Non-uniform Flow*) adalah aliran yang variable alirannya berubah terhadap jarak. Aliran *Non-uniform* juga dapat diartikan sebagai aliran yang luas penampang lintang basah berubah dalam fungsi jarak dan kemiringan dasarnya dapat tetap dapat berubah (kecepatan aliran sepanjang alirannya tidak tetap).

$$\frac{\partial V}{\partial x} \neq 0 \text{ atau } \frac{\partial A}{\partial x} \neq 0$$

Analisis Aliran Tak Seragam biasanya bertujuan untuk mengetahui profil aliran di sepanjang saluran atau sungai. Analisis ini banyak dilakukan dalam perencanaan perbaikan sungai atau penanggulangan banjir, elevasi jembatan dan sebagainya. Dalam hal ini analisis aliran menjadi jauh lebih mudah dan hasil hitungan akan lebih aman, karena debit yang diperhitungkan adalah debit puncak yang sebenarnya terjadi sesaat, tetapi dalam analisis ini dianggap terjadi dalam waktu yang lama. Aliran Tak Seragam dapat dibedakan dalam 2 (dua) kelompok, yaitu:

1. Aliran Berubah Lambat Laun (*Gradually Varied Flow*), terjadi jika parameter hidraulis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain. Apabila di ujung hilir saluran terdapat bendung maka akan terjadi profil muka air pembendungan dimana kecepatan aliran akan berkurang (diperlambat), sedangkan apabila terdapat terjunan maka profil aliran akan menurun dan kecepatan akan bertambah (dipercepat) contoh aliran pada sungai.
2. Aliran Berubah Tiba-Tiba (*Rapidly Varied Flow*), terjadi jika parameter hidraulis berubah secara mendadak (saluran transisi), loncat air, terjunan, aliran melalui bangunan pelimpah dan pintu air. Aliran Berubah Beraturan (*spatially varied flow*) atau lambat laun (*gradually*) memiliki debit seragam akibat pertambahan ataupun

pengurangan air di sepanjang saluran. Pertambahan maupun pengurangan air ini akan menyebabkan gangguan pada energi atau kadar momentum (*momentum content*) aliran. Maka, sifat-sifat hidrolis aliran berubah beraturan akan lebih rumit dibandingkan dengan aliran yang debitnya tetap. Sifat-sifat hidrolis aliran berubah beraturan yang debitnya bertambah besar dalam hal-hal tertentu berbeda dengan aliran yang sama namun debitnya berkurang.

C. Garis Elevasi Muka Air

Tinggi muka air (*stage height, gauge height*) sungai adalah elevasi permukaan air (*water level*) pada suatu penampang melintang sungai terhadap suatu titik tetap yang elevasinya telah diketahui. Tinggi muka air biasanya dinyatakan dalam satuan meter (m) atau centimeter (cm). Fluktuasi permukaan air sungai menunjukkan adanya perubahan kecepatan aliran dan debitnya.

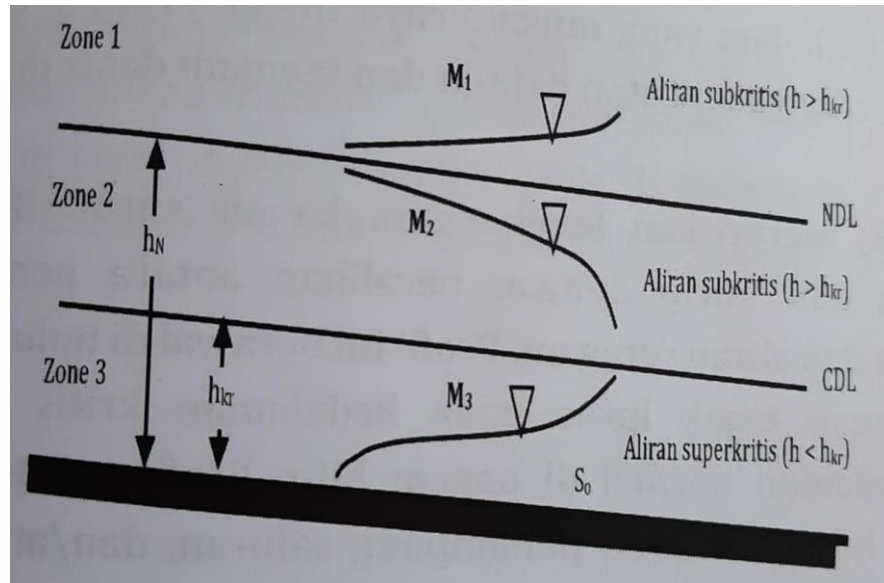
Elevasi muka air didapatkan dari profil muka air yang dipengaruhi berbagai kemiringan dasar saluran. Gambaran profil muka air untuk tiap jenis kemiringan saluran adalah:

1. Profil-profil M1, $S_0 < S_{kr}$, $h_N > h_{kr}$

Profil M1 merupakan lengkung air balik yang paling banyak dikenal dan profil muka air yang paling banyak penerapannya secara praktis. Profil ini terjadi pada saluran dengan kemiringan dasar landai sangat Panjang, dimana di bagian hilir terjadi pengempangan akibat adanya pintu, bending atau penghalang lainnya sehingga kedalam air lebih besar daripada kedalaman normal. Profil aliran ini berada di zona 1.

Profil M2 terjadi pada saluran dengan dasar saluran landau dimana kedalaman air di hilir saluran lebih kecil daripada kedalaman normal. Profil M2 dapat terbentuk Ketika terjadi perubahan kemiringan dasar saluran dari landau ke terjal, terjunan atau terjadi perubahan penampang saluran, misalnya di muara sungai atau sungai masuk ke waduk.

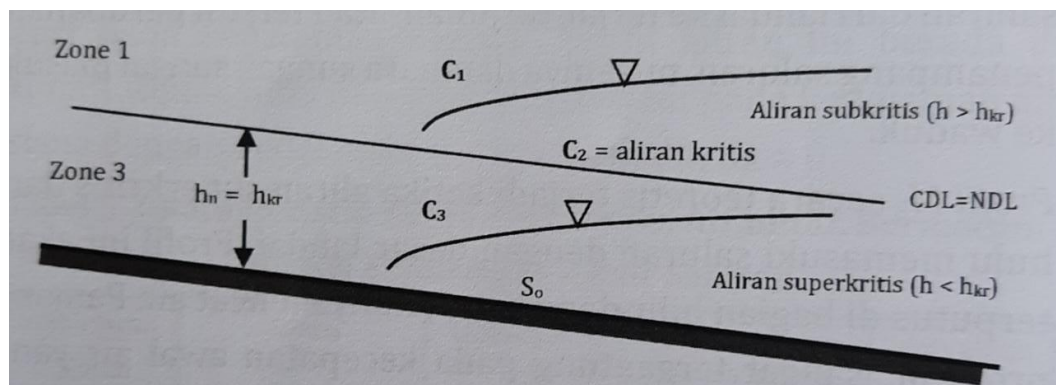
Profil M3 secara teoritis terjadi Ketika aliran superkritis dari hulu memasuki saluran dengan dasar landai. Profil ini akan terputus di bagian hilir dengan terjadinya loncat air. Panjang profil M3 sangat tergantung pada kecepatan awal air yang mengalir. Makin tinggi kecepatan awal, makin Panjang profil ini terbentuk. Profil M3 dapat terjadi Ketika ada perubahan kemiringan dasar saluran dari terjal ke landau atau di hilir pintu geser vertical yang dibuka sebagian.



Gambar 4.2. Profil Muka Air pada Kurva M (Mild Slope)

2. Profil-profil C, $S_0 = S_{kr}$, $h_N = h_{kr}$

Profil-profil C menggambarkan kondisi transisi antara profil M dan profil S. Profil C_1 dan C_3 berbentuk lengkung dan asintotis terhadap horizontal. Profil C_2 menunjukkan keadaan aliran seragam kritis, profil C_2 berimpitan dengan garis kedalaman kritis dan juga garis kedalaman normal.



Gambar 4.3. Profil Muka Air pada Kurva C (Critical Slope)

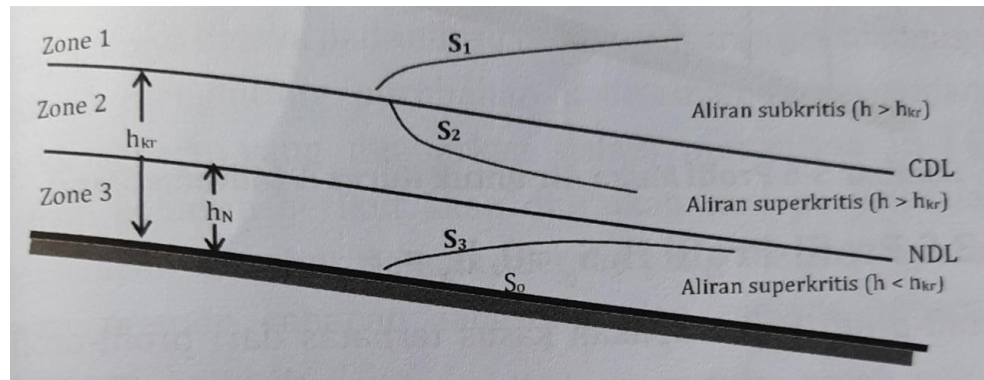
3. Profil-profil S, $S_0 > S_{kr}$, $h_N < h_{kr}$

Profil S_1 dapat terjadi di hulu bending pada saluran terjal atau di hulu pintu geser vertical dan pada saluran terjal yang masuk ke kolam yang muka airnya tinggi. Profil S_1 dimulai dengan adanya loncatan di hulu dan menjadi datar di bagian hilir.

Profil S_2 merupakan lengkung muka air surut. Biasanya pendek dan mirip dengan peralihan antara penurunan hidrolis dan aliran seragam. Profil ini berawal di hulu dengan kemiringan tegak lurus pada kedalaman kritis menuju kedalaman normal

di bagian hilir. Profil ini terjadi di bagian hilir pelebaran penampang saluran dan/atau pada kemiringan terjal berubah menjadi kemiringan yang lebih terjal.

Profil S3 terjadi pada aliran superkritis antara dasa saluran dan kedalaman normal. Profil ini bisa terjadi pada bagian kemiringan terjal berubah menjadi kurang terjal atau pada kemiringan terjal masuk ke penguras dengan kedalaman yang lebih kecil dari kedalaman normal pada saluran dengan kemiringan terjal.



Gambar 4.4. Profil Muka Air pada Kurva S (Steep Slope)

D. Perhitungan Garis Elevasi Muka Air

1. Ketentuan dan Persyaratan Perhitungan Elevasi Muka Air Sungai

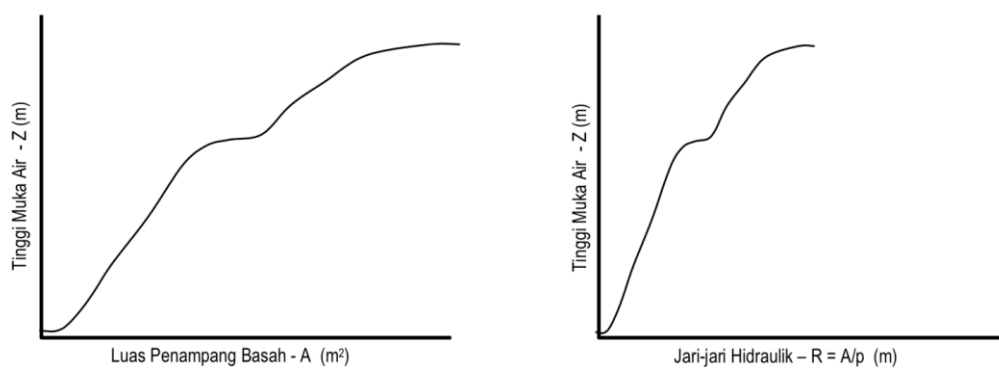
Ketentuan dan persyaratan dalam perhitungan elevasi muka air sungai mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 2830: 2008 tentang Tata Cara Perhitungan Tinggi Muka Air Sungai dengan Cara Pias Berdasarkan Rumus Manning.

a. Data

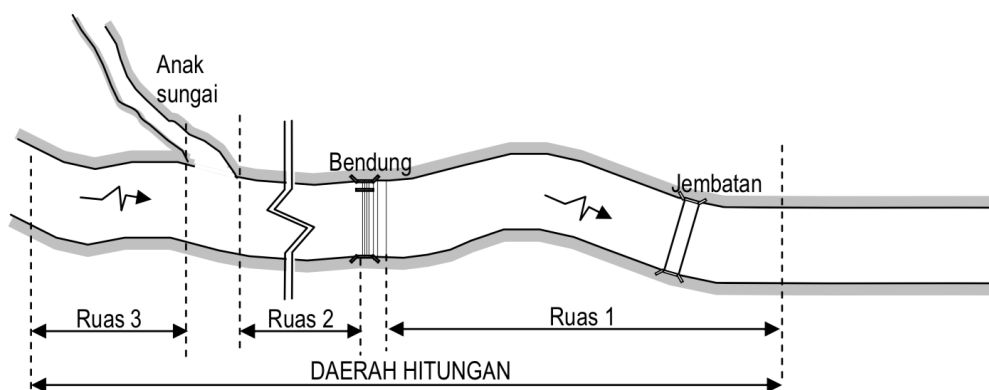
Data yang harus tersedia dalam perhitungan tinggi muka air sungai ini meliputi:

- 1) Penampang melintang sungai, yang berupa tabel atau grafik penampang melintang sungai (Gambar 4.1) yang menunjukkan:
 - Hubungan antara tinggi muka air sungai dan luas penampang basah;
 - Hubungan antara tinggi muka air sungai dan jari-jari hidraulik.
- 2) Penampang memanjang sungai, yang terdiri dari penampang melintang sungai yang jaraknya ditentukan sesuai dengan 1) ketelitian yang diinginkan pada perencanaan, 2) ketelitian yang diinginkan di dekat titik awal hitungan dan 3) situasi sungai, untuk bagian sungai yang lurus lebih besar dari bagian belokan dari data penampang memanjang sungai dapat diketahui kemiringan sungai antar tampang lintang;
- 3) Koefisien kekasaran alur sungai;
- 4) Debit sungai, yang berupa debit yang tetap terhadap waktu (langgeng semu);
- 5) Daerah hitungan yang memuat, (Gambar 4.2):

- Ruas atau ruas-ruas sungai;
 - Pertemuan dan percabangan sungai.;
 - Bangunan melintang sungai seperti: bendung, dam penahan sedimen.
- 6) Penampang melintang tambahan, apabila terjadi penyempitan alur karena bangunan di sungai seperti: pangkal jembatan, pilar jembatan, *krib* atau penyempitan tebing setempat;
- 7) Pengamatan lapangan, antara lain kondisi geometri, vegetasi, material alur dan bantaran, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan nilai kekasaran Manning.



Gambar 4.5. Contoh Grafik Hubungan Tinggi Muka Air (TMA) dengan Luas Penampang Basah (A) dan Jari-Jari Hidraulik ($R = \frac{A}{p}$)



Gambar 4.6. Contoh Daerah Hitungan

b. Titik Awal Hitungan

Perhitungan tinggi muka air sungai ini dimulai untuk Aliran Subkritik dari hilir ke hulu sedang untuk Aliran Superkritik dari hulu ke hilir, dengan menetapkan suatu titik tertentu sebagai titik awal hitungan yang dapat berupa:

- 1) Badan air seperti laut, danau dan waduk;

- 2) Bangunan di sungai seperti bendung atau dam penahan sedimen, penetapan tinggi muka air dihitung dengan rumus peluapan yang berlaku;
- 3) Pos duga air yang mempunyai lengkung debit dan berada di hilir daerah hitungan;
- 4) Titik awal sembarang, jika tidak ada titik acuan seperti pada a), b) dan c) di atas dengan memperhatikan: 1) Tinggi muka air awal sembarang tidak boleh lebih rendah daripada tinggi muka air kritis dan 2) Jarak antara titik awal sembarang dengan daerah hitungan harus cukup jauh sehingga kesalahan di titik awal sembarang dapat diredam.

2. Rumus Perhitungan Tinggi Muka Air Sungai

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung tinggi muka air sungai, meliputi:

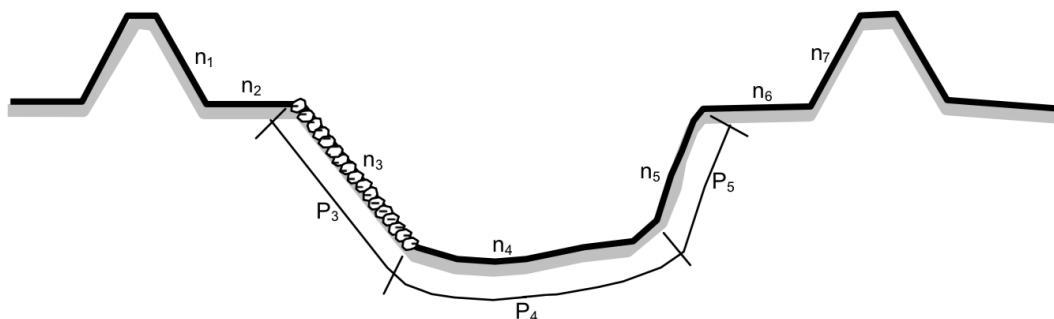
- a) Rumus untuk menghitung Koefisien Kekasaran Manning, adalah sebagai berikut:

$$n_{ek} = \frac{\sum_{i=1}^k \left(n_i^{3/2} P_i \right)^{2/3}}{P_{total}}$$

$$P_{total} = \sum_{i=1}^k P_i$$

di mana:

- n_{ek} = Koefisien Kekasaran Manning ekuivalen
 P_{total} = Keliling basah total (m)
 n_i = Koefisien Kekasaran Manning pada bidang ke-i
 P_i = Keliling basah pada bidang ke-i (m)



Gambar 4.7. Contoh Penampang Melintang Sungai dengan Nilai Kekasaran Manning yang Berbeda-beda

b) Rumus untuk menghitung tinggi air kritis:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g d}} = 1$$

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

di mana:

F_r = Bilangan Froude

q = Debit satuan, debit dibagi lebar muka air sungai ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

h_{kr} = Tinggi air kritis (m)

V = Kecepatan aliran air rata-rata (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

d = Kedalaman aliran (m)

c) Untuk sungai tampang tunggal:

Rumus Aliran Tetap Tidak Seragam Berubah Lambat Laun yang diturunkan dari persamaan energi dan Rumus Manning, yaitu:

$$Z_{i+1} = Z_i - \frac{Q^2}{2g} \left[\frac{1}{A_{i+1}^2} - \frac{1}{A_i^2} \right] + S \cdot \Delta X$$

di mana:

Q = Debit (m^3/s)

Z_{i+1} = Tinggi muka air dari datum pada penampang X_{i+1} (m)

Z_i = Tinggi muka air dari datum pada penampang X_i (m)

A_{i+1} = Luas penampang basah X_{i+1} (m^2)

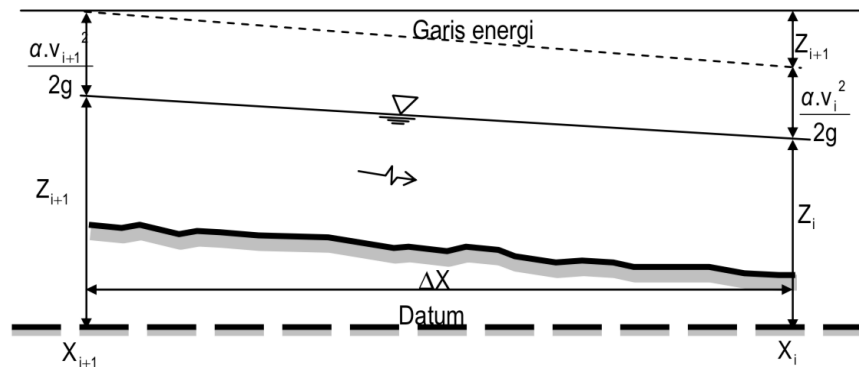
A_i = Luas penampang basah X_i (m^2)

ΔX = Jarak antara penampang X_{i+1} dan X_i (m)

S = Kemiringan garis energi rata-rata

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

α = Koefisien energi untuk keperluan praktis dapat digunakan nilai $1,15 < \alpha < 1,50$



Gambar 4.8. Garis Energi Tampang Tunggal

Kemiringan garis energi rata-rata antar penampang melintang X_{i+1} dan X_i adalah sebagai berikut:

$$\bar{S} = \frac{1}{2} \left[\frac{n_{i+1}^2 \cdot Q^2}{A_{i+1}^2 \cdot R_{i+1}^{4/3}} + \frac{n_i^2 \cdot Q^2}{A_i^2 \cdot R_i^{4/3}} \right]$$

di mana:

$\bar{S}$ = Kemiringan garis energi rata-rata X

n_{i+1} = Koefisien Kekasaran Manning pada penampang X_{i+1}

n_i = Koefisien Kekasaran Manning pada penampang X_i

R_{i+1} = Jari-jari hidraulik pada penampang X_{i+1} (m)

R_i = Jari-jari hidraulik pada penampang X_i (m)

E. Latihan

1. Jelaskan perbedaan Aliran *Uniform* dan *Non-uniform*.
2. Apa yang dimaksud dengan tinggi muka air?
3. Sebutkan data apa yang harus tersedia dalam perhitungan tinggi muka air sungai.

F. Rangkuman

Aliran disebut Seragam (*Uniform Flow*) apabila tidak ada perubahan besar dan arah kecepatan dari satu titik ke titik lain sepanjang aliran. Aliran *Uniform* dapat dikatakan sebagai aliran yang luas penampang lintang basahnya tidak berubah dalam fungsi jarak dan kemiringan dasarnya juga tetap (kecepatan aliran sepanjang alirannya tetap).

Aliran Seragam dapat terjadi hanya pada saluran prismatis, lurus dan panjang atau pada saluran yang memungkinkan terjadinya kecepatan aliran yang tetap. Pada saluran terbuka, aliran akan mengalami tahanan geser. Pada umumnya, gaya tahanan

geser (P_f atau F_f) dilawan oleh komponen gaya berat air yang searah aliran. Jika kedua gaya yang saling berlawanan arah ini seimbang maka akan terjadi aliran seragam.

Aliran Tidak Seragam (*Non-uniform flow*) adalah aliran yang variabel alirannya berubah terhadap jarak. Aliran *Non-uniform* juga dapat diartikan sebagai aliran yang luas penampang lintang basah berubah dalam fungsi jarak dan kemiringan dasarnya dapat tetap dapat berubah (kecepatan aliran sepanjang alirannya tidak tetap). Aliran Tak Seragam dapat dibedakan dalam 2 (dua) kelompok, yaitu Aliran Berubah Lambat Laun (*Gradually Varied Flow*) dan Aliran Berubah Tiba-tiba (*Rapidly Varied Flow*).

Tinggi muka air (*stage height, gauge height*) sungai adalah elevasi permukaan air (*water level*) pada suatu penampang melintang sungai terhadap suatu titik tetap yang elevasinya telah diketahui. Tinggi muka air biasanya dinyatakan dalam satuan meter (m) atau centimeter (cm). Fluktuasi permukaan air sungai menunjukkan adanya perubahan kecepatan aliran dan debitnya.

Perhitungan tinggi muka air sungai ini dimulai untuk Aliran Subkritik dari hilir ke hulu sedang untuk Aliran Superkritik dari hulu ke hilir, dengan menetapkan suatu titik tertentu sebagai titik awal hitungan yang dapat berupa a) Badan air seperti laut, danau dan waduk; b) Bangunan di sungai seperti bendung atau dam penahan sedimen, penetapan tinggi muka air dihitung dengan rumus peluapan yang berlaku; c) Pos duga air yang mempunyai lengkung debit dan berada di hilir daerah hitungan; d) Titik awal sembarang, jika tidak ada titik acuan seperti pada a), b) dan c) di atas dengan memperhatikan : 1) Tinggi muka air awal sembarang tidak boleh lebih rendah daripada tinggi muka air kritis; dan 2) Jarak antara titik awal sembarang dengan daerah hitungan harus cukup jauh sehingga kesalahan di titik awal sembarang dapat diredam.

G. Evaluasi

1. Elevasi muka air didapatkan dari profil muka air yang mengalami perubahan berdasarkan...
 - a. Kemiringan dasar saluran
 - b. Kekasaran dinding saluran
 - c. Kecepatan aliran
 - d. Debit aliran
2. Parameter hidraulis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain, merupakan pengertian dari...
 - a. Aliran Berubah Tiba-tiba

- b. Aliran Berubah Lambat Laun
 - c. Aliran *Uniform*
 - d. Aliran *Non-uniform*
3. Parameter hidraulis berubah secara mendadak (saluran transisi), loncat air, terjunan, aliran melalui bangunan pelimpah dan pintu air, merupakan pengertian dari...
- a. Aliran Berubah Tiba-tiba
 - b. Aliran Berubah Lambat Laun
 - c. Aliran *Uniform*
 - d. Aliran *Non-uniform*

H. Umpan Balik

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban, untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul.

Hitunglah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi pada modul ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Untuk latihan soal, setiap soal memiliki bobot nilai yang sama, yaitu 20/soal.

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90 – 100 % = Baik Sekali

80 – 89 % = Baik

70 – 79 % = Cukup

< 70 % = Kurang

Bila anda dapat menjawab salah dua dari pertanyaan di atas, Anda dapat meneruskan ke materi selanjutnya. Tetapi apabila belum bisa menjawab soal di atas, Anda harus mengulangi materi modul, terutama bagian yang belum anda kuasai.

MATERI POKOK 5

ALIRAN *STEADY* DAN *UNSTEADY*

Indikator Keberhasilan: Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta dapat menghitung Aliran Steady dan Unsteady.

A. Aliran *Steady*

Aliran *steady* adalah aliran yang debitnya tetap sepanjang waktu atau tidak berubah dalam fungsi waktu meskipun pada tempat lainnya bisa jadi sifat-sifat partikel tadi akan berbeda yang hanya disebabkan karena perubahan posisi dari partikel. Persamaan aliran *steady* adalah sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = 0, \frac{dh}{dt} = 0, \frac{dv}{dt} = 0$$

Di mana, Q : Debit aliran (m³/s), h : Kedalaman aliran (m), v : Kecepatan aliran (m/s) dan t : Waktu (s)

B. Aliran *Unsteady*

Aliran *Unsteady* adalah aliran yang debitnya berubah dalam fungsi waktu. Persamaan Aliran *Unsteady* adalah sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} \neq 0, \frac{dh}{dt} \neq 0, \frac{dv}{dt} \neq 0$$

dimana, Q : Debit aliran (m³/s), h : Kedalaman aliran (m), v : Kecepatan aliran (m/s) dan t : Waktu (s)

C. Persamaan Momentum

Menurut Hukum Newton II tentang Gerakan, menyatakan bahwa besarnya perubahan momentum persatuan waktu pada suatu persamaan adalah sama dengan besarnya resultan semua gaya-gaya yang bekerja pada pias tersebut.

$$\sum F = P Q \Delta v$$

Persamaan konservasi momentum dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_1 - P_2 + W \sin \theta - F_f - F_a = P Q (v_2 - v_1)$$

di mana:

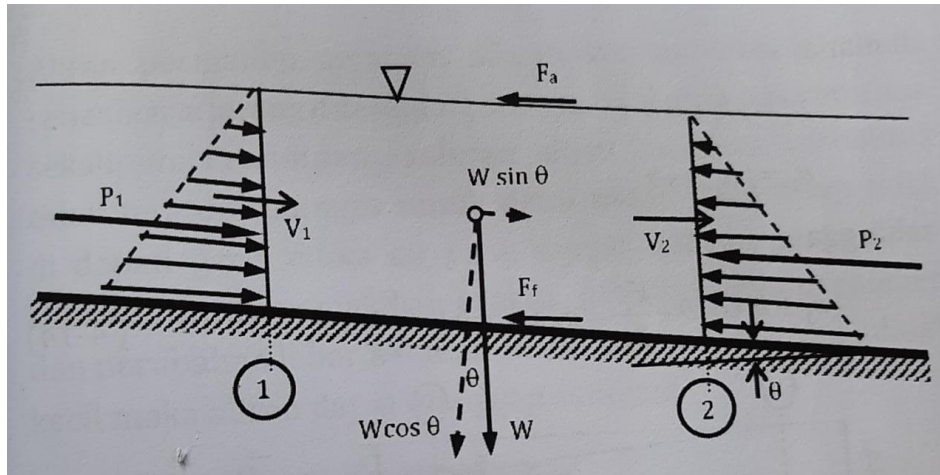
P = Tekanan hidrostatik (N)

W = Berat volume pada pias 1-2 (N)

S_0 = Kemiringan dasar saluran

F_a = Tekanan udara pada muka air bebas (N)

F_f = Gaya geser yang terjadi akibat kekasaran dasar (N)



Gambar 5.1. Penerapan Dalil Momentum

Perubahan netto momentum masuk (momentum flux) ditambah jumlah gaya-gaya luar yang bekerja pada kontrol volume sama dengan besarnya akumulasi momentum.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Qv)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z_s}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Persamaan momentum sangat besar kegunaannya terutama pada hitungan di suatu pias yang mengalami kehilangan energi, misalnya pada loncat air. Pada keadaan tersebut prinsip konservasi energi sudah tidak dapat dipakai lagi.

D. Contoh Deskritisasi Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Momentum

Untuk penyelesaian persamaan kontinuitas dan momentum dilakukan penjabaran parameter-parameter yang ada dalam persamaan tersebut. Contoh penjabaran dari masing-masing persamaan tersebut adalah:

$$\begin{aligned} Q &= A U \\ \frac{\partial Q}{\partial x} &= A \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial A}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial x} &= \frac{\Delta U}{\Delta x}, \quad \frac{\partial A}{\partial x} = \frac{\Delta A}{\Delta x} \\ \frac{\partial A}{\partial t} &= \frac{\Delta A}{\Delta t} \end{aligned}$$

Demikian seterusnya untuk semua parameter dan kemudian dimasukkan kembali ke dalam persamaan tersebut. Akhirnya diperoleh persamaan yang sangat kompleks dan implisit. Persamaan yang kompleks dan implisit tersebut diselesaikan melalui

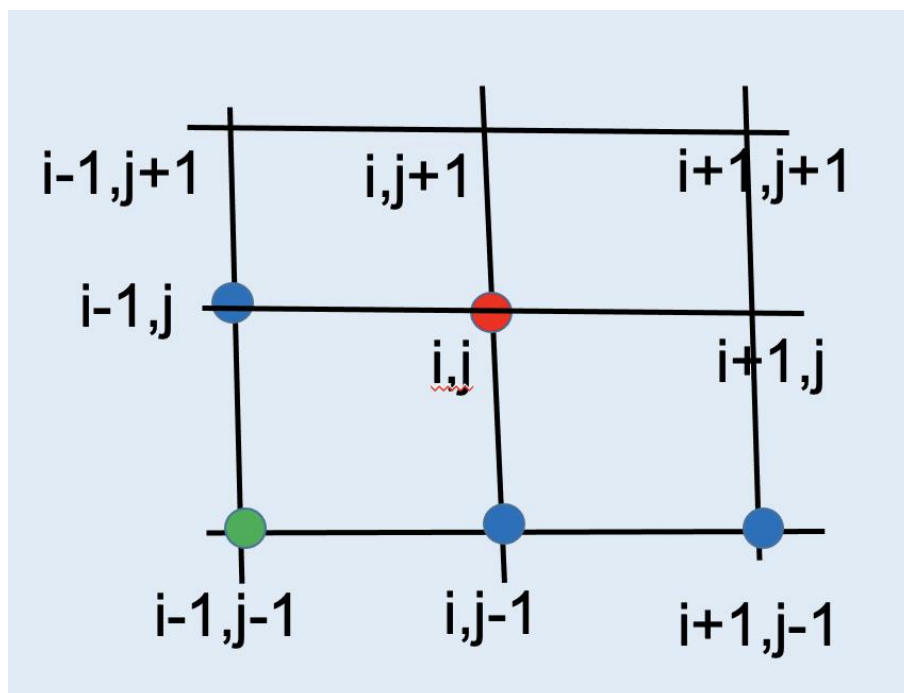
pemrograman numerik dengan Metode Difference Finit (*Finit Difference*). Parameter-parameter aliran dideskritisasi terlebih dahulu, dengan contoh sebagai berikut:

$$U_{i,j} = \frac{(U_{i+1,j-1} + U_{i,j-1} + U_{i-1,j})}{3}$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta x} = \frac{(U_{i,j-1} - U_{i-1,j-1}) + (U_{i,j} - U_{i-1,j})}{2}$$

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = (A_{i,j-1} - A_{i-1,j-1})$$

Dengan pemrograman secara numerik diperoleh hasil perhitungan parameter-parameternya yang tersusun dalam matrik pada setiap langkah waktu dan tempat.



Gambar 5.2. Contoh Deskritisasi Persamaan Kontinuitas dan Momentum

E. Pemodelan Aliran Sungai dengan HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, River Analysis System (RAS), dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satuan kerja 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*).

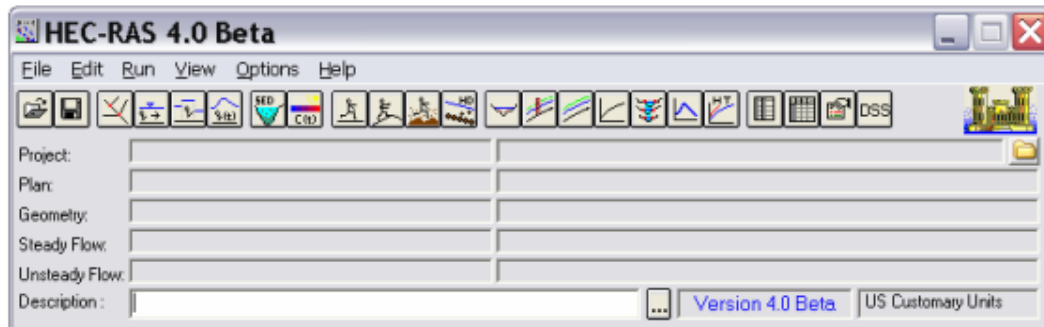
Adapun tahapan pengerjaan dengan *Software HEC-RAS* adalah:

1. Memulai Program HEC-RAS

Untuk menjalankan HEC-RAS dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Klik ganda pada ikon HEC-RAS yang ada pada dekstop atau;

- b. Buka menu start lalu pilih program, kemudian pilih Hec lalu klik HEC-RAS pada menu tersebut.



Gambar 5.3. HEC-RAS Main Window

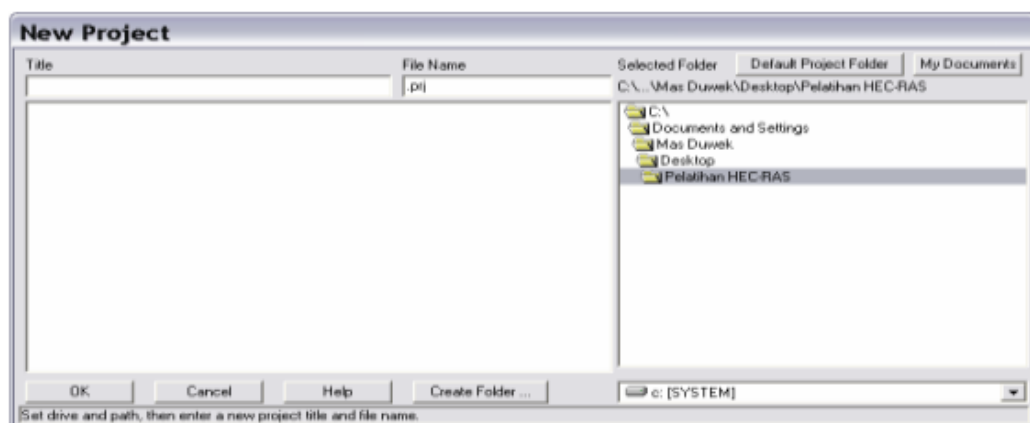
2. Membuat Model Hidraulik

Terdapat 5 (lima) langkah dalam membuat model hidraulik, yaitu :

a. Membuat *Project* Baru

Untuk membuat *project* baru dilakukan dengan melakukan prosedur sebagai berikut :

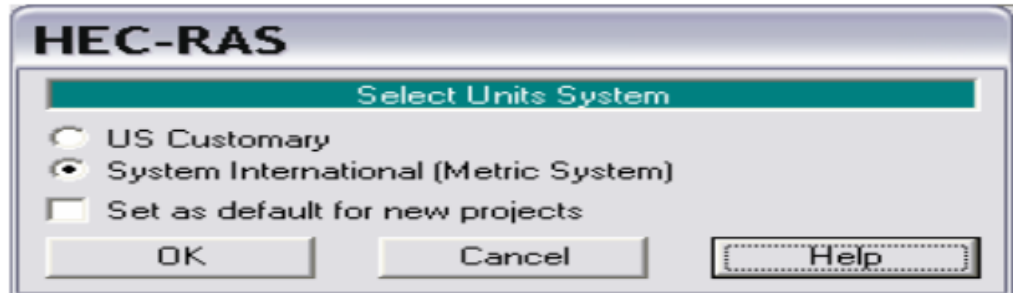
- 1) Pada HEC-RAS *main Window*, pilih menu *File*, kemudian *New Project*;
- 2) Pilih *Directory* dan folder yang diinginkan atau membuat folder baru dengan mengklik *Create Folder*, menuliskan nama folder, klik OK. (untuk menyimpan seluruh file HEC-RAS);
- 3) Kemudian beri nama *Project/title* dan *file name*, klik OK.



Gambar 5.4. Tampilan *Windows New Project*

Sebelum memulai membuat *project* baru atau membuat model hidraulika menggunakan *software* HEC-RAS, sebaiknya pengguna terlebih dahulu mengeset sistem satuan yang akan digunakan. Untuk mengeset satuan dilakukan prosedur sebagai berikut :

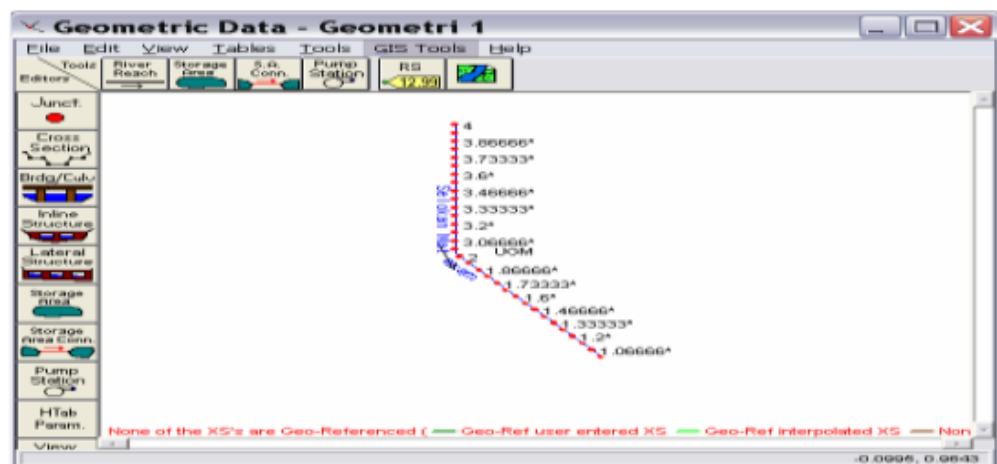
- 1) Pilih menu *Option* pada HEC-RAS main Window kemudian pilih *Unit System*;
- 2) Pilih satuan yang diinginkan.



Gambar 5.5. Pemilihan Satuan

b. Memasukkan Data Geometri

Beberapa data geometri yang dibutuhkan dalam simulasi yaitu: data skema sistem aliran sungai, data penampang sungai dan bangunan hidroulik (jembatan, gorong-gorong dan bendung) jika ada. Untuk memasukkan data geometri klik menu *File* kemudian pilih *Geometric Data*, atau bisa juga dengan mengklik *ikon Geometric Data*.



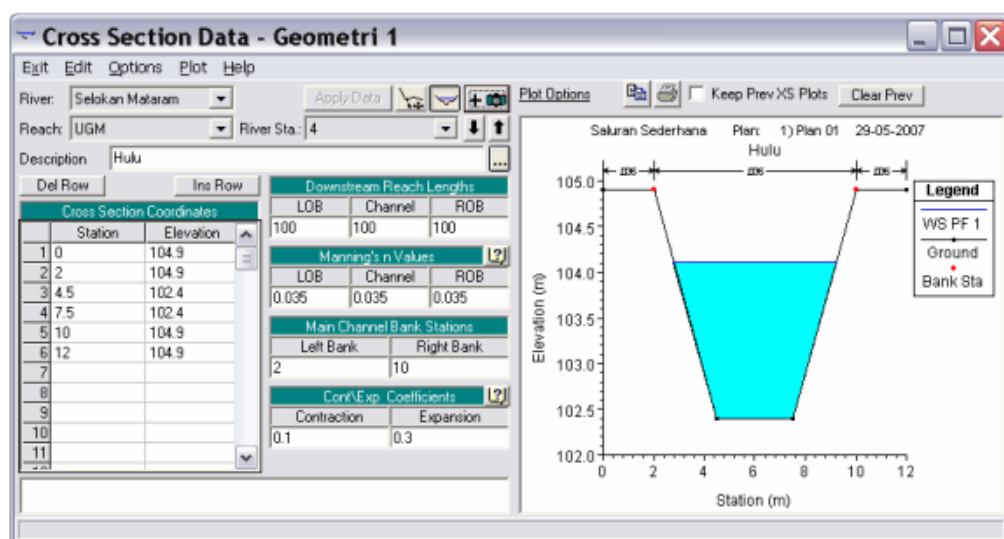
Gambar 5.6. Geometric Data Editor

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menggambar skema jaringan sungai dengan cara sebagai berikut:

- 1) Menggambar skema sistem sungai dengan mengklik ikon *River Reach* dan kemudian menggambar sungai dari hulu ke hilir, kemudian langkah selanjutnya adalah memasukkan nama sungai, dan daerah jangkauannya;
- 2) Setelah semua sistem dibuat, langkah selanjutnya adalah memasukkan tampang melintang. Cara memasukkan data penampang sungai adalah

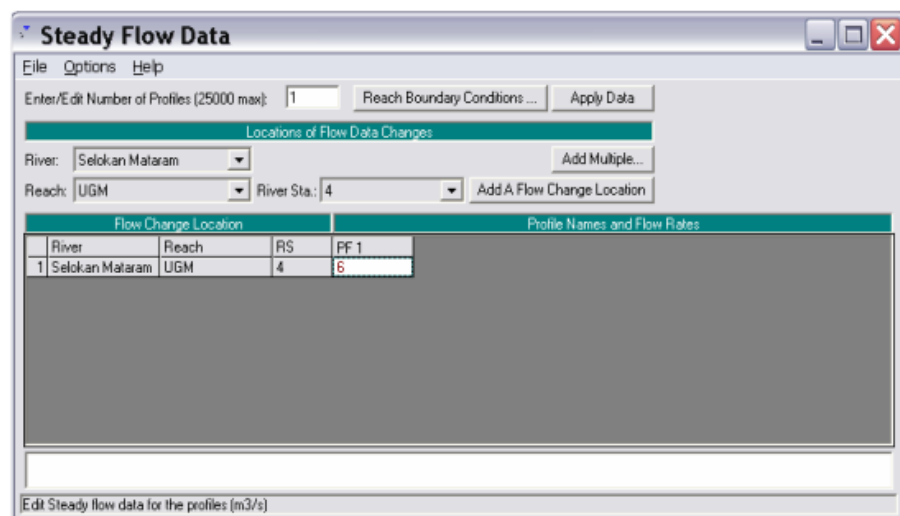
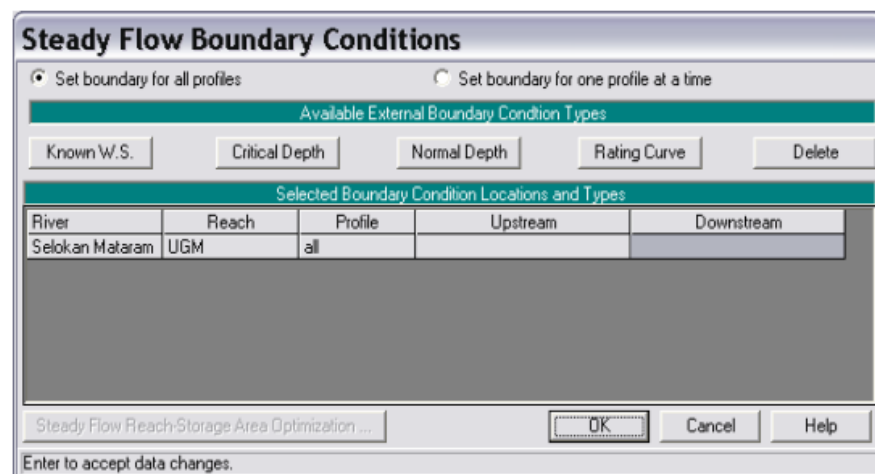
dengan mengklik *ikon Cross Section*, kemudian memasukkan nama sungai, daerah jangkauan sungai, data tiap stasiun sungai yang merupakan jarak antar stasiun elevasi, angka manning serta koefisien kontraksi sebagai berikut:

- 3) Pilih menu *Option* kemudian pilih *add a new cross section*;
- 4) Masukkan *River Stationing* (RS). RS harus berupa angka (1, 2, 3, dst) mulai dari hilir (RS terkecil) ke hulu (RS terbesar) sehingga RS menunjukkan letak di skema sungai, tetapi tidak menunjukkan jarak;
- 5) Masukkan data potongan melintang sungai. Penggambaran potongan melintang sungai digambarkan dengan koordinat X-Y yang merupakan koordinat lokal dengan Y merupakan elevasi dan X merupakan jarak;
- 6) Masukkan jarak potongan melintang ke potongan melintang di hulunya dengan mengisi *Downstream Reach Lengths* (LOB = jarak kiri, *Channel* = tengah, ROB = kanan);
- 7) Masukkan nilai manning;
- 8) Masukkan *bank station* (*Left bank* = jarak tebing kiri dan *right bank* = jarak tebing kanan), *Bank Station* merupakan titik pemisah di mana tampang sungai dibagi menjadi bantaran kiri, kanan dan bagian tengah;
- 9) Masukkan nilai koefisien kontraksi dan ekspansi;
- 10) Agar jarak antar *cross section* tidak terlalu jauh, maka dilakukan interpolasi dengan memilih *tools* pada *geometric data editor*, pilih *XS interpolation*, kemudian memilih RS yang akan diinterpolasi.



Gambar 5.7. Cross Section Data Editor

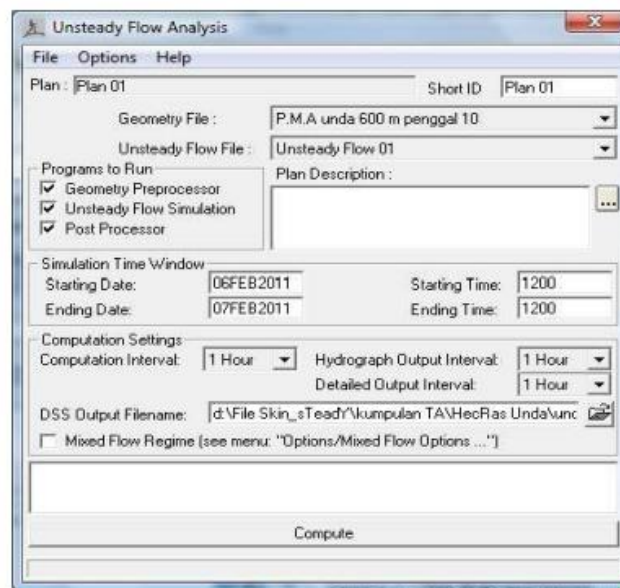
- 11) Setelah semua data geometri dimasukkan, simpan semua data geometri dengan memilih *Save Geometric Data As* dari menu *File*.
- c. Setelah data geometri dimasukkan, langkah selanjutnya adalah memasukkan data aliran sebagai data syarat batas. Langkah-langkah untuk melakukan analisa pada kondisi batas Aliran *Steady* adalah sebagai berikut :
 - 1) Pilih menu *Steady Flow Data* dari menu *Edit* pada HEC-RAS *main window*;
 - 2) Pada menu *Steady Flow Data* akan diminta mengisi debit puncak sebagai batas hulu dan kondisi batas hilir dengan berbagai pilihan. Layar *windows* untuk Aliran *Steady* ditampilkan sebagai berikut:

Gambar 5.8. Tampilan *Windows* Kondisi Batas HuluGambar 5.9. Tampilan *Windows* Kondisi Batas Hilir

- 3) Simpan data Aliran *Steady* dengan memilih *File*, kemudian *Save Flow Data As* dan ketik nama yang diinginkan;
- 4) *Running*.

Setelah semua data dimasukkan, langkah yang terakhir, yaitu melakukan *running* terhadap data masukan.

- 1) Dari HEC-RAS *main window*, klik menu *Run* dan pilih *Steady Flow Analysis*;
- 2) Pilih geometri *file* dan *Steady Flow File* yang diinginkan;
- 3) Pilih *flow regime* yang diinginkan;
- 4) Pilih file kemudian *save plan as*;
- 5) Tekan tombol *COMPUTE* untuk melakukan *running*.

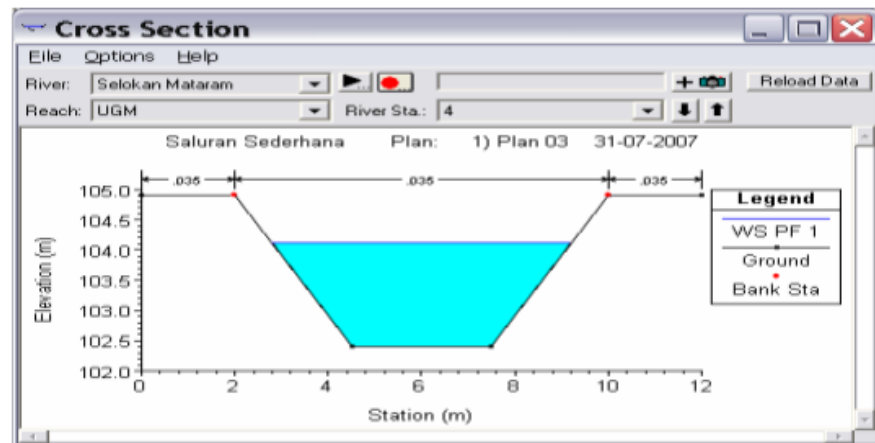


Gambar 5.10. Unsteady Flow Analysis

6) Hasil Analisis

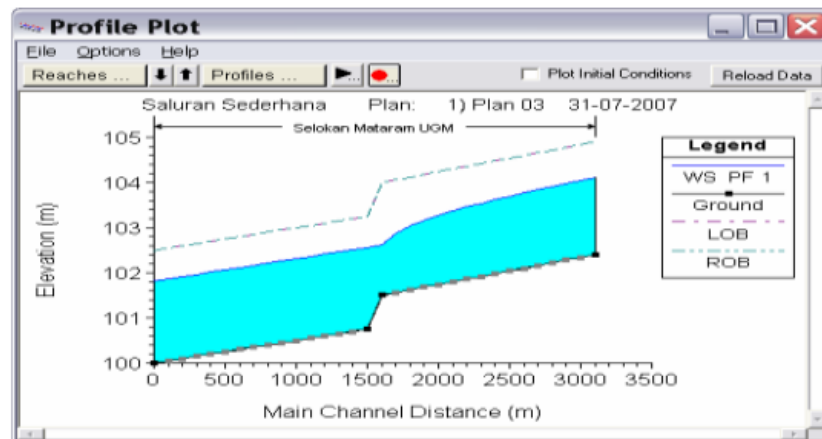
Setelah *running* dilaksanakan dan tidak terdapat kesalahan, hasil analisis dapat ditampilkan dalam bentuk tabel maupun gambar. Untuk melihat hasil *running* adalah sebagai berikut:

- a) Pilih *View* pada HEC-RAS *main window*;
- b) Pilih hasil *running* yang dikehendaki. Hasil *running* tersebut diantaranya :
 - *Plotting* penampang saluran.



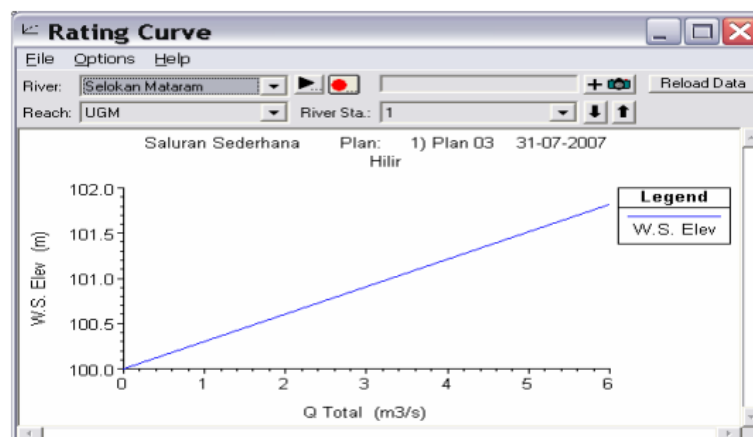
Gambar 5.11. Plotting Penampang Saluran

- Plotting profil saluran secara menyeluruh atau sebagian:



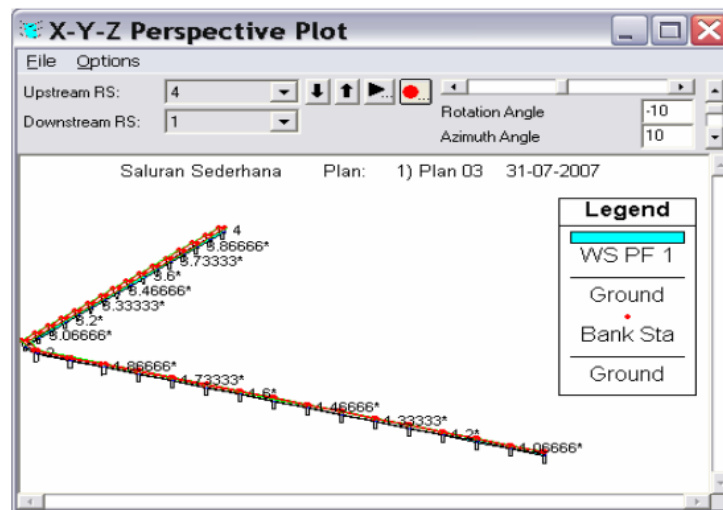
Gambar 5.12. Plotting Profil Saluran secara Menyeluruh atau Sebagian

- Rating curve:



Gambar 5.13. Rating Curve

- *Plotting* perspektif saluran (X, Y, Z):



Gambar 5.14. *Plotting* Perspektif Saluran (X, Y, Z)

- Tabulasi output kondisi saluran pada suatu penampang:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel (m/s)
UGM	4	PF 1	6.00	102.40	104.11		104.14	0.000653	
UGM	3.93333*	PF 1	6.00	102.34	104.05		104.07	0.000662	
UGM	3.86666*	PF 1	6.00	102.28	103.98		104.01	0.000672	
UGM	3.8*	PF 1	6.00	102.22	103.91		103.94	0.000684	
UGM	3.73333*	PF 1	6.00	102.16	103.84		103.87	0.000699	
UGM	3.66666*	PF 1	6.00	102.10	103.77		103.80	0.000717	
UGM	3.6*	PF 1	6.00	102.04	103.70		103.73	0.000738	

Gambar 5.15. Tabulasi Output Kondisi Saluran pada Suatu Penampang

7) Keluar dari Program

Setelah data hasil eksekusi didapatkan, simpan semua data dengan cara mengklik menu *File* pada menu utama *windows* lalu pilih *Save Project*. Setelah selesai pilih menu *File* kemudian klik *Exit* untuk keluar dari program.

8) Melakukan verifikasi, kalibrasi dan validasi hasil model ke lapangan

Hasil simulasi yang diperoleh dari pemodelan dilakukan verifikasi ke lapangan dengan melakukan pengamatan di lapangan untuk mengetahui kondisi real lapangan tentang tinggi genangan dan jumlah luapan serta kondisi lahan yang diperoleh dari hasil pemodelan. Kalibrasi dan validasi hasil dari model HEC-RAS untuk mengetahui tingkat keandalan (*reliability*) dari model tersebut dengan pengecekan hasil model dengan pengukuran di lapangan (pengukuran dilakukan di beberapa tempat).

F. *Soubrotine* untuk Perhitungan yang Lain

Di samping program (*software*) menghitung tinggi muka air dan kecepatan aliran di setiap titik simpul juga dapat ditambahkan penghitungan parameter yang berkaitan dengan aliran sungai (program *subroutine*) antara lain untuk penghitungan penjalaran polutan (pencemaran air), konsentrasi angkutan sedimen dalam suspensi, dan program angkutan sedimen dasar (*bed load*).

Untuk program angkutan sedimen dapat digunakan untuk memperkirakan debit angkutan sedimen, kemungkinan akan terjadinya degradasi atau agradasi dasar sungai, pergerakan konsentrasi sedimen dalam *suspense*, dan lain-lain. Untuk debit angkutan sedimen dapat dipilih rumus-rumus angkutan sedimen yang sekiranya sesuai dengan karakteristik sungai yang dimodelkan, diantaranya persamaan MPM.

G. Latihan

1. Jelaskan perbedaan Aliran *Steady* dan *Unsteady*.
2. Jelaskan persamaan momentum pada aliran sungai.
3. Jelaskan proses diskretisasi persamaan kontinuitas dan momentum.

H. Rangkuman

Aliran *Steady* adalah aliran yang debitnya tetap sepanjang waktu atau tidak berubah dalam fungsi waktu meskipun pada tempat lainnya bisa jadi sifat-sifat partikel tadi akan berbeda yang hanya disebabkan karena perubahan posisi dari partikel. Persamaan Aliran *Steady* adalah sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = 0, \frac{dh}{dt} = 0, \frac{dv}{dt} = 0$$

Aliran *Unsteady* adalah aliran yang debitnya berubah dalam fungsi waktu. Persamaan Aliran *Unsteady* adalah sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} \neq 0, \frac{dh}{dt} \neq 0, \frac{dv}{dt} \neq 0$$

Menurut Hukum Newton II tentang Gerakan, menyatakan bahwa besarnya perubahan momentum persatuan waktu pada suatu persamaan adalah sama dengan besarnya resultan semua gaya-gaya yang bekerja pada pias tersebut.

$$\sum F = P Q \Delta v$$

Persamaan konservasi momentum dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_1 - P_2 + W \sin \theta - F_f - F_a = P Q (v_2 - v_1)$$

I. Evaluasi

1. HEC-RAS merupakan *software* yang melakukan pemodelan pada aliran...
 - a. *Steady* dan *Unsteady*
 - b. *Uniform* dan *Non-uniform*
 - c. Aliran Seragam
 - d. Aliran Non-seragam
2. Aliran yang debitnya tetap sepanjang waktu disebut...
 - a. Aliran *Steady*
 - b. Aliran *Unsteady*
 - c. Aliran *Uniform*
 - d. Aliran *Non-uniform*
3. Aliran yang debitnya dapat berubah sesuai fungsi waktu disebut...
 - a. Aliran *Steady*
 - b. Aliran *Unsteady*
 - c. Aliran *Uniform*
 - d. Aliran *Non-Uniform*

J. Umpan Balik

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban, untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul.

Hitunglah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi pada modul ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Untuk latihan soal, setiap soal memiliki bobot nilai yang sama, yaitu 20/soal.

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90 – 100 % = Baik Sekali

80 – 89 % = Baik

70 – 79 % = Cukup

< 70 % = Kurang

Bila anda dapat menjawab salah dua dari pertanyaan di atas, Anda dapat meneruskan ke materi selanjutnya. Tetapi apabila belum bisa menjawab soal di atas, Anda harus mengulangi materi modul, terutama bagian yang belum anda kuasai.

MATERI POKOK 6

DATA DAN INFORMASI

Indikator Keberhasilan: Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta dapat menguraikan data dan informasi terkait hidrolika sungai.

A. Data dan Informasi

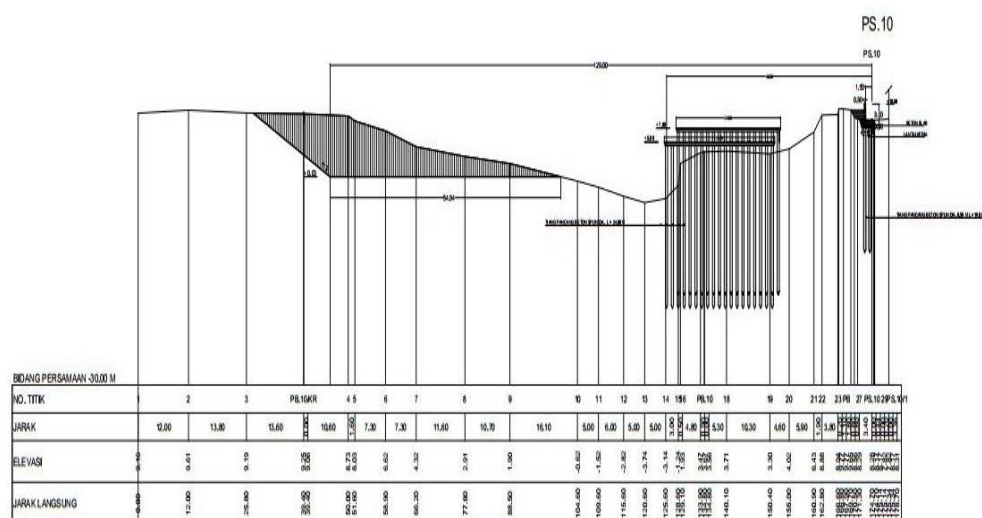
Data dan informasi yang dibutuhkan dalam penerapan hidrolika sungai merupakan data yang dibutuhkan dalam menghitung perencanaan dimensi sungai yang akan dijadikan bahan analisa. Berdasarkan proses pengambilannya, data terbagi menjadi dua yaitu data primer (data yang didapatkan melalui proses pengambilan data sendiri di lapangan) dan data sekunder (data yang didapatkan melalui instansi/badan lainnya). Data yang dibutuhkan dalam hidrolika sungai meliputi data geometri sungai yang terdiri dari pengukuran sungai, kemiringan dasar sungai, kedalaman atau ketinggian muka air sungai dan bentuk dasar sungai.

B. Data Geometri Sungai

Berdasarkan Revisi SNI 03 - 2829 - 1992 data geometri sungai adalah ukuran dari alur, palung, dan lembah sungai secara vertikal dan horizontal dengan parameter panjang, lebar, kemiringan dasar sungai, ketinggian, dan bentuk dasar sungai.

1. Data Pengukuran Sungai

Dari kegiatan pengukuran sungai diperoleh peta situasi sungai, penampang melintang sungai, dan penampang panjang sungai.

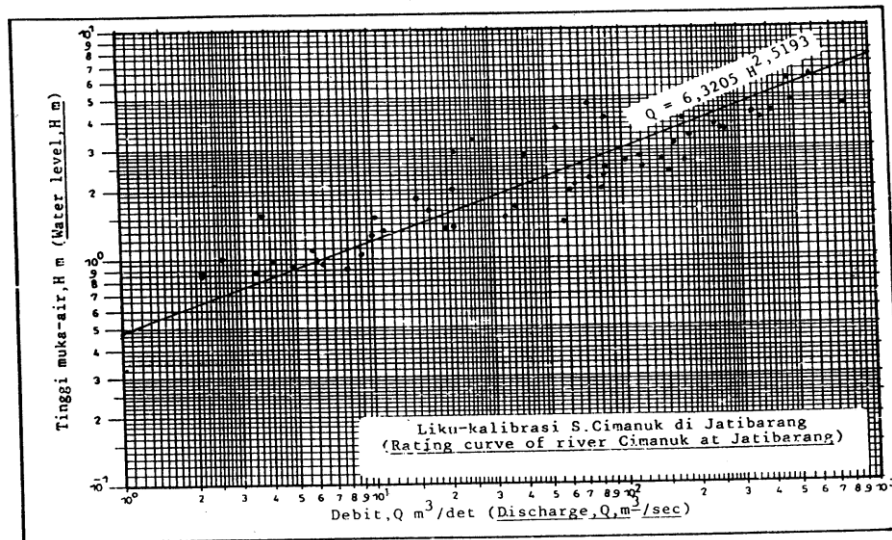


Gambar 6.1. Contoh Data Pengukuran Sungai

2. Kemiringan Dasar Sungai

Kemiringan dasar Sungai Cimanuk antara Bendung Rentang sampai dengan:

- Pintu Banjir Bangkir;
- Elevasi lantai bawah bendung rentang 11,60 m;
- Elevasi dasar Pintu Banjir Bangkir adalah 4,83 m;
- Jarak Bendung Rentang sampai dengan Pintu Banjir bangkir adalah 57,30 km;
- Kemiringan dasar sungai cimanuk bagian hilir(S) = $(11,60 - 4,83) : 57300 = 0,00012$ m.



Gambar 6.2. Liku Kalibrasi Sungai Cimanuk di Jatibarang

3. Data Tinggi Muka Air

Data untuk pengolahan data tinggi muka air Sungai Cimanuk pada debit rata-rata di Pilangsari Jatibarang

- Debit rata-rata Sungai $Q = 192,33 \text{ m}^3/\text{det}$
- Dengan liku Kalibrasi Sungai Cimanuk di Jatibarang diperoleh $h = 3,80$ meter
- Lebar sungai rata-rata $b = 61,70$ meter

$$Q = A \cdot V.$$

$$V = \frac{192,33}{61,70 \times 3,80}$$

$$= 0,82 \text{ m/det}$$

4. Bentuk Dasar Sungai

- Kecepatan geser (*shear velocity*)

$$U = \sqrt{g \cdot h \cdot i}$$

b) Kekasaran dasar sungai

$$U = 5,75 \cdot U \cdot \log \frac{12 h}{k}$$

C. Latihan

1. Jelaskan cara menghitung data untuk pengolahan data tinggi muka air Sungai Cimanuk pada debit rata-rata di Pilangsari-Jatibarang!
2. Data apa saja yang dibutuhkan dalam hidrolika sungai?
3. Berikan contoh data pengukuran sungai.

D. Rangkuman

Berdasarkan Revisi SNI 03 - 2829 - 1992 data geometri sungai adalah ukuran dari alur, palung dan lembah sungai secara vertikal dan horizontal dengan parameter panjang, lebar, kemiringan dasar sungai, ketinggian, dan bentuk dasar sungai.

Kemiringan dasar Sungai Cimanuk antara Bendung Rentang sampai dengan:

- a) Pintu Banjir Bangkir;
- b) Elevasi lantai bawah bendung rentang 11,60 m;
- c) Elevasi dasar Pintu Banjir Bangkir adalah 4,83 m;
- d) Jarak Bendung Rentang sampai dengan Pintu Banjir bangkir adalah 57,30 km;
- e) Kemiringan dasar sungai cimanuk bagian hilir(S) = (11,60 - 4,83): 57300 = 0,00012 m.

E. Evaluasi

1. Berdasarkan Revisi SNI 03 - 2829 - 1992 data geometri sungai adalah ukuran dari alur, palung, dan lembah sungai secara vertikal dan horizontal dengan parameter panjang, lebar, kemiringan dasar sungai, ketinggian, dan...
 - a. Bentuk dasar sungai
 - b. Bentuk tebing sungai
 - c. Tinggi muka air
 - d. Kecepatan alir sungai
2. Berikut ini data geometri yang dibutuhkan dalam hidrolika sugai, kecuali . . .
 - a. Data pengukuran sungai
 - b. Data tinggi muka air
 - c. Kemiringan dasar sungai
 - d. Data kecepatan aliran sungai

3. Data dan informasi didapatkan dengan cara...
 - a. Mengambil dari hasil penelitian orang lain
 - b. Mengambil dari data instansi/ lembaga (sekunder)
 - c. Berdasarkan kebiasaan penduduk setempat
 - d. Wawancara dengan perangkat desa setempat

F. Umpan Balik

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban, untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi modul.

Hitunglah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi pada modul ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Untuk latihan soal, setiap soal memiliki bobot nilai yang sama, yaitu 20/soal.

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai:

90 – 100 % = Baik Sekali

80 – 89 % = Baik

70 – 79 % = Cukup

< 70 % = Kurang

Bila anda dapat menjawab salah dua dari pertanyaan di atas, Anda dapat meneruskan ke materi selanjutnya. Tetapi apabila belum bisa menjawab soal di atas, Anda harus mengulangi materi modul, terutama bagian yang belum anda kuasai.

PENUTUP

A. Simpulan

Di dalam modul ini peserta dapat mempelajari, mendalami dan memahami mengapa materi hidrolika sungai sangat diperlukan dalam melakukan pengelolaan sumber daya air dalam wilayah sungai. Peserta juga dapat memahami dan menerapkan mengenai aliran sungai, Aliran Laminer-Turbulen dan Aliran Subkritik, Kritik dan Superkritik, perhitungan elevasi muka air, Aliran *Uniform* dan Aliran *Non-uniform*, Aliran *Steady* dan Aliran *Unsteady* serta data dan informasi.

Pada dasarnya terdapat beberapa parameter fisik palung sungai yang digunakan dalam hitungan hidrolika. Selain itu penting untuk mengukur parameter fisik tersebut secara periodic dan teliti untuk memahami perubahan yang terjadi di sungai. Terdapat jenis-jenis aliran yang terdiri dari Aliran *Steady* dan *Unsteady*, aliran air rendah, aliran pembentuk alur, dan aliran banjir serta terdapat beberapa bilangan non dimensional yaitu Bilangan Froude yang digunakan untuk menentukan jenis aliran, dan Bilangan Reynold yang digunakan dalam analisis angkutan sedimen.

Saluran terbuka mempunyai permukaan yang terbuka terhadap atmosfer, padahal air adalah suatu zat yang tak bisa dimampatkan. Jadi pasti ketika air mengalir melalui sungai yang tampang melintangnya tidak beraturan aliran tersebut akan mengalami perubahan kecepatan dan kedalaman menyesuaikan terhadap bentuk geometri sungai. Energi adalah kemampuan yang dimiliki sebuah sistem fisik untuk bergerak melawan gaya.

Saluran tampang ganda lebih mendekati kondisi alami sehingga menunjukkan kinerja ekologi yang lebih baik. Alur bagi debit pembentuk alur (debit dominan) diperlukan untuk melewati sedimen, yang paling menentukan bagi alur debit dominan adalah lebar puncak alur. Data dan informasi yang diperlukan dalam penentuan hidrolika sungai, yaitu unsur geometri.

Selain itu juga modul ini dapat memberikan gambaran yang jelas dalam mengimplementasikan kegiatan di atas dalam modul ini juga disertakan ilustrasi yang berupa gambar/ foto pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

B. Tindak Lanjut

Sebagai tindak lanjut dari pelatihan ini, peserta diharapkan dapat lebih memahami detail tentang hidrolika sungai secara menyeluruh pada suatu daerah secara luas serta ketentuan pendukung terkait lainnya sehingga memiliki pemahaman mengenai aliran sungai, Aliran Laminer-Turbulen dan Aliran Subkritik, Kritik dan Superkritik, perhitungan elevasi muka air, Aliran *Uniform* dan Aliran *Non-uniform*, Aliran *Steady* dan Aliran *Unsteady* serta data dan informasi dengan baik dan benar serta bisa menerapkan tentang materi hidrolika sungai secara baik dan bijaksana demi kesinambungan perencanaan teknik sungai secara berkelanjutan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia. 2008. *SNI 2830.2 2008 Tentang Tata cara Perhitungan Tinggi Muka Air Sungai dengan Cara Pias Berdasarkan Rumus Manning*. Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia. Jakarta.
- Chow. 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Erlangga. Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2004. *Pedoman Konstruksi Bangunan Pd T-06-2004-A, Peramalan Debit Aliran Sungai*. Kementerian PUPR. Jakarta.
- Suripin. 2019. *Mekanika Fluida dan Hidraulika Saluran Terbuka untuk Teknik*. Andi. Jakarta.

GLOSARIUM

- Catchment area** : Suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh punggung bukit atau batas-batas pemisah topografi, yang berfungsi menerima, menyimpan dan mengalirkan curah hujan ke alur-alur sungai dan terus mengalir ke anak sungai dan ke sungai utama dan berakhir di muara, danau/waduk atau laut.
- Velositas** : Kecepatan yang diukur dalam satuan jarak per satuan waktu.
- Backwater** : Suatu perubahan keadaan sungai dihilu bendung akibat adanya pembendungan air dengan bangunan pelimpah, yaitu berupa terjadinya kenaikan muka air hilu bendung yang merambat ke udik atau hilu sungai.
- Soubrotine** : Sebuah sekuensi dari instruksi program yang menampilkan tugas spesifik, dikemas sebagai sebuah unit. Unit ini kemudian dapat dipakai dalam program-program saat tugas tertentu harus ditampilkan.
- Polutan** : Bahan/benda yang menyebabkan pencemaran, baik secara langsung maupun tidak langsung, seperti sampah.
- Palung** : Tanah yang berlekuk dalam dan berisi air; paluh
- Parameter** : Ukuran seluruh populasi dalam penelitian yang harus diperkirakan dari yang terdapat di dalam percontoh.
- Sedimentasi** : Pengendapan atau hal mengendapkan benda padat karena pengaruh gaya berat.

KUNCI JAWABAN

Berikut ini merupakan kumpulan jawaban atau kata kunci dari setiap butir pertanyaan yang terdapat di dalam modul. Kunci jawaban ini diberikan dengan maksud agar peserta pelatihan dapat mengukur kemampuan diri sendiri.

Adapun kunci jawaban dari latihan setiap materi pokok, sebagai berikut:

Latihan Materi Pokok 1

1. Kecepatan dan tegangan geser aliran dan Kekentalan Kinematik dan Dinamik;
2. Salah satu faktor yang menyebabkan permulaan gerak adalah kecepatan;
3. Parameter kecepatan dan penampang basah merupakan salah satu parameter terpenting untuk mendapatkan besaran debit banjir dan debit kapasitas dari penampang sungai tersebut.

Evaluasi Materi Pokok 1:

1. B
2. D
3. C

Latihan Materi Pokok 2

1. Pada Aliran Subkritis, biasanya kedalaman aliran lebih besar dari pada kecepatan aliran rendah, semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus. Apabila bilangan lebih kecil dari satu ($Fr < 1$) maka termasuk Aliran Subkritis. Aliran Kritis merupakan aliran yang mengalami gangguan permukaan, seperti yang diakibatkan oleh riak yang terjadi karena batu yang dilempar ke dalam sungai tidak akan bergerak menyebar melawan arus. Aliran dapat dikategorikan Aliran Kritis apabila Bilangan Froude memiliki nilai sama dengan satu ($Fr = 1$).

Pada Aliran Superkritis, kedalamn aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi, segala riak yang ditimbulkan dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus. Apabila Bilangan Froude lebih besar dari satu ($Fr > 1$) maka aliran tersebut termasuk Aliran Superkritis.

2. Kegunaan dari Angka Froude dan Angka Reynold yaitu:
 - a. Angka Froude digunakan untuk menentukan jenis aliran;
 - b. Angka Reynold digunakan dalam analisis angkutan sedimen.
3. Aliran ini digunakan untuk analisis *stable channel*, yaitu saluran yang dalam waktu lama tidak menunjukkan perubahan dimensi yang berarti (relatif tetap). Aliran ini adalah aliran tunggal yang dapat dijadikan pengganti aliran alam yang selalu berubah. Konsep ini

hanya cocok untuk sungai-sungai alluvial di bagian hilir yang selalu ada airnya bukan sungai musiman ataupun sungai di daerah hulu. Aliran pembentuk alur umumnya didekati dengan besaran Q_2 disebut juga *dominant discharge*.

Evaluasi Materi Pokok 2:

1. D
2. C
3. B

Latihan Materi Pokok 3:

1. Penurunan Rumus Chezy digunakan beberapa asumsi, yaitu aliran adalah permanen, kemiringan dasar saluran adalah kecil dan saluran adalah prismatic. Resultan gaya-gaya yang bekerja pada *control volume* sepanjang arah ΔX , Gambar 3.2 ke arah bawah adalah:

$$\sum F = P_1 - P_2 + W_x - F_f - F_a$$

di mana:

P_1 dan P_2 = Tekanan hidrostatik (N)

F_f = Gaya geser antara dasar/dinding saluran dan air = $\tau_0 P \Delta x$ (N)

F_a = Gaya geser antara permukaan air dan udara = 0

W = Berat air dalam segmen yang ditinjau = $\gamma A \Delta x$ (N)

2. Energi adalah kemampuan yang dimiliki sebuah sistem fisik untuk bergerak melawan gaya. Energi adalah jumlah daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah massa sepanjang jarak tertentu, daya adalah gaya kali jarak. Dalam sistem tertutup energi total adalah konstan ini disebut Hukum Kekekalan Energi.

Energi dalam air mengalir terdiri atas beberapa komponen sering disebut '*head*' dan digambarkan sebagai jarak vertikal, yaitu:

- a) Energi potensial atau '*pressure head*' akibat massa dan gaya gravitasi bumi;
- b) Energi kinetik yang berhubungan dengan pergerakan air dan disebut sebagai '*velocity head*'.

3. Energi adalah kemampuan yang dimiliki sebuah sistem fisik untuk bergerak melawan gaya. Energi adalah jumlah daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah massa sepanjang jarak tertentu, daya adalah gaya kali jarak. Dalam sistem tertutup energi total adalah konstan ini disebut Hukum Kekekalan Energi.

Evaluasi Materi Pokok 3:

1. B
2. A

3. B

Latihan Materi Pokok 4

1. Aliran disebut Seragam (*Uniform Flow*) apabila tidak ada perubahan besar dan arah kecepatan dari satu titik ke titik lain sepanjang aliran. Aliran *Uniform* dapat dikatakan sebagai aliran yang luas penampang lintang basahannya tidak berubah dalam fungsi jarak dan kemiringan dasarnya juga tetap (kecepatan aliran sepanjang alirannya tetap). Persamaan Aliran *Uniform* ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = 0 \text{ atau } \frac{\partial A}{\partial x} = 0$$

Pada Aliran Seragam, distribusi tekanan adalah hidrostatis dan gaya-gaya yang bekerja pada pias air adalah dalam kondisi seimbang. Keseragaman aliran hanya mungkin terjadi di saluran prismatic.

Aliran Tidak Seragam (*Non-uniform Flow*) adalah aliran yang variabel alirannya berubah terhadap jarak. Aliran *Non-uniform* juga dapat diartikan sebagai aliran yang luas penampang lintang basahannya berubah dalam fungsi jarak dan kemiringan dasarnya dapat tetap dapat berubah (kecepatan aliran sepanjang alirannya tidak tetap).

$$\frac{\partial V}{\partial x} \neq 0 \text{ atau } \frac{\partial A}{\partial x} \neq 0$$

Analisis Aliran Tak Seragam biasanya bertujuan untuk mengetahui profil aliran di sepanjang saluran atau sungai. Analisis ini banyak dilakukan dalam perencanaan perbaikan sungai atau penanggulangan banjir, elevasi jembatan, dan sebagainya. Dalam hal ini analisis aliran menjadi jauh lebih mudah dan hasil hitungan akan lebih aman, karena debit yang diperhitungkan adalah debit puncak yang sebenarnya terjadi sesaat, tetapi dalam analisis ini dianggap terjadi dalam waktu yang lama.

2. Tinggi muka air (*stage height, gauge height*) sungai adalah elevasi permukaan air (*water level*) pada suatu penampang melintang sungai terhadap suatu titik tetap yang elevasinya telah diketahui. Tinggi muka air biasanya dinyatakan dalam satuan meter (m) atau centimeter (cm). Fluktuasi permukaan air sungai menunjukkan adanya perubahan kecepatan aliran dan debitnya.
3. Data yang harus tersedia dalam perhitungan tinggi muka air sungai ini meliputi:
 - a) Penampang melintang sungai, yang berupa tabel atau grafik penampang melintang sungai (Gambar 4.1) yang menunjukkan:
 - Hubungan antara tinggi muka air sungai dan luas penampang basah;
 - Hubungan antara tinggi muka air sungai dan jari-jari hidraulik.

- b) Penampang memanjang sungai, yang terdiri dari penampang melintang sungai yang jaraknya ditentukan sesuai dengan 1) ketelitian yang diinginkan pada perencanaan, 2) ketelitian yang diinginkan di dekat titik awal hitungan dan 3) situasi sungai, untuk bagian sungai yang lurus lebih besar dari bagian belokan dari data penampang memanjang sungai dapat diketahui kemiringan sungai antar tampang lintang;
- c) Koefisien kekasaran alur sungai;
- d) Debit sungai, yang berupa debit yang tetap terhadap waktu (langgeng semu);
- e) Daerah hitungan yang memuat (Gambar 4.2):
 - Ruas atau ruas-ruas sungai;
 - Pertemuan dan percabangan sungai;
 - Bangunan melintang sungai seperti: bendung, dam penahan sedimen.
- f) Penampang melintang tambahan, apabila terjadi penyempitan alur karena bangunan di sungai seperti: pangkal jembatan, pilar jembatan, *krib* atau penyempitan tebing setempat;
- g) Pengamatan lapangan, antara lain kondisi geometri, vegetasi, material alur dan bantaran sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan Nilai Kekasaran Manning.

Evaluasi Materi Pokok 4

1. A
2. B
3. A

Latihan Materi Pokok 5

1. Aliran *Steady*

Aliran *Steady* adalah aliran yang debitnya tetap sepanjang waktu atau tidak berubah dalam fungsi waktu meskipun pada tempat lainnya bisa jadi sifat-sifat partikel tadi akan berbeda yang hanya disebabkan karena perubahan posisi dari partikel. Persamaan aliran *steady* adalah sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = 0, \frac{dh}{dt} = 0, \frac{dv}{dt} = 0$$

di mana, Q : Debit aliran (m³/s), h : Kedalaman aliran (m), v : Kecepatan aliran (m/s) dan t : Waktu (s)

2. Aliran *Unsteady*

Aliran *Unsteady* adalah aliran yang debitnya berubah dalam fungsi waktu. Persamaan Aliran *Unsteady* adalah sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} \neq 0, \frac{dh}{dt} \neq 0, \frac{dv}{dt} \neq 0$$

di mana, Q : Debit aliran (m³/s), h : Kedalaman aliran (m), v : Kecepatan aliran (m/s) dan t : Waktu (s)

2. Persamaan konservasi momentum dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_1 - P_2 + W \sin \theta - F_f - F_a = P Q (v_2 - v_1)$$

di mana:

P = Tekanan hidrostatik (N)

W = Berat volume pada pias 1-2 (N)

S₀ = Kemiringan dasar saluran

F_a = Tekanan udara pada muka air bebas (N)

F_f = Gaya geser yang terjadi akibat kekasaran dasar (N)

3. Untuk penyelesaian persamaan kontinuitas dan momentum dilakukan penjabaran parameter-parameter yang ada dalam persamaan tersebut. Contoh penjabaran dari masing-masing persamaan tersebut adalah:

$$Q = A U$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = A \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial A}{\partial x}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\Delta U}{\Delta x}, \quad \frac{\partial A}{\partial x} = \frac{\Delta A}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Demikian seterusnya untuk semua parameter dan kemudian dimasukkan kembali ke dalam persamaan tersebut. Akhirnya diperoleh persamaan yang sangat kompleks dan implisit. Persamaan yang kompleks dan implisit tersebut diselesaikan melalui pemrograman numerik dengan Metode *Difference Finit* (*Finit Difference*). Parameter-parameter aliran dideskritisasi terlebih dahulu, dengan contoh sebagai berikut:

$$U_{i,j} = \frac{(U_{i+1,j-1} + U_{i,j-1} + U_{i-1,j})}{3}$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta x} = \frac{(U_{i,j-1} - U_{i-1,j-1}) + (U_{i,j} - U_{i-1,j})}{2}$$

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = (A_{i,j-1} - A_{i-1,j-1})$$

Evaluasi Materi Pokok 5:

1. A
2. A
3. B

Latihan Materi Pokok 6:

1. Data untuk pengolahan data tinggi muka air Sungai Cimanuk pada debit rata-rata di Pilangsari-Jatibarang

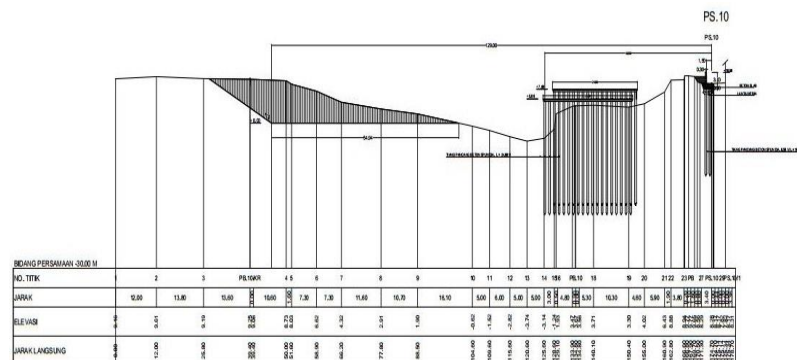
- Debit rata-rata Sungai $Q = 192,33 \text{ m}^3/\text{det}$
- Dengan liku Kalibrasi Sungai Cimanuk di Jatibarang diperoleh $h = 3,80 \text{ meter}$
- Lebar sungai rata-rata $b = 61,70 \text{ meter}$

$$Q = A \cdot V.$$

$$V = \frac{192,33}{61,70 \times 3,80}$$

$$= 0,82 \text{ m/det}$$

2. Data geometri sungai seperti, data pengukuran sungai, kemiringan dasar, sungai data tinggi muka air, dan bentuk dasar sungai.
- 3.

**Evaluasi Materi Pokok 6:**

1. A
2. D
3. B



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
PUSAT PENGEMBANGAN KOMPETENSI SDA DAN PERMUKIMAN
JL. ABDUL HAMID NO.5A, JATIHANDAP, KEC. MANDALAJATI,
KOTA BANDUNG, JAWA BARAT 40195