

TUGAS AKHIR

**SIMULASI PENGARUH DEBIT TERHADAP POLA ALIRAN
PADA DOWNSTREAM SUNGAI JENEBERANG DENGAN
MENGUNAKAN NAYS2DH**

***SIMULATION OF THE EFFECT OF DEBIT AGAINST FLOW
PATTERN ON THE DOWNSTREAM OF JENEBERANG
RIVER USE NAYS2DH***

**MUHAMMAD CHAIDIR
D111 15 534**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**SIMULASI PENGARUH DEBIT TERHADAP POLA ALIRAN PADA
DOWNSTREAM SUNGAI JENERBERANG DENGAN MENGGUNAKAN NAYS2DH**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD CHAIDIR

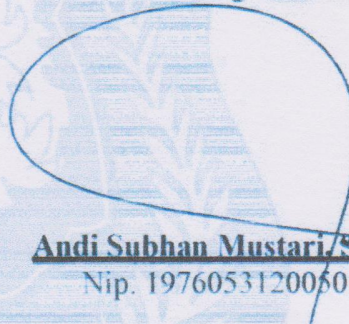
D111 15534

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 2 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Riswal K. ST. MT
Nip. 197105052006041002

Andi Subhan Mustari/ST. M.Eng
Nip. 197605312006011004

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge. ST. M.Eng
Nip. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Chaidir
NIM : D111 15 534
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**(SIMULASI PENGARUH DEBIT TERHADAP POLA ALIRAN PADA
DOWNSTREAM SUNGAI JENEBERANG DENGAN MENGGUNAKAN
NAYS2DH)**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan aliahn tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil kasrya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian ataua keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi ata perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Maret 2021

Yang Menyatakan



(Muhammad Chaidir)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah wa syukurillah, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan akademik untuk memperoleh gelar sarjana S1 pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar, dengan judul **“SIMULASI PENGARUH DEBIT TERHADAP POLA ALIRAN PADA DOWNSTREAM SUNGAI JENEBERANG DENGAN MENGGUNAKAN NAYS2DH”**

Dengan selesainya penulisan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya atas doa, bimbingan, bantuan, dorongan dan partisipasi kepada:

1. Keluarga yang tercinta, Bapak **Drs Hijas Tiro** dan Ibu **Rahmatiah S.H**, serta atas segala doa dan dukungan selama perkuliahan hingga melewati seluruh rangkaian ujian.
2. Yang Terhormat, Bapak **Prof. Dr. Ir. H. M. Arsyad Thaha, MT.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yang Terhormat, Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, dan Bapak **Dr.Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.**, selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr. Ir. Riswal K,ST, MT.**, dan Bapak **Ir. Andi Subhan Mustari, ST, M.Eng** selaku Pembimbing I dan Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan bantuannya selama penelitian hingga laporan Tugas Akhir ini selesai.
5. Seluruh Dosen yang telah membantu penulis selama mengikuti perkuliahan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh Staff dan Karyawan Departemen Teknik Sipil.
7. Teman-teman KKD Keairan yaitu **Radinal, Ika, Eka, Nunu, Febri, Ilham Taufiq, Ilham, Apry, Ibe, Fekis, Mukhlis, Zulham, William, Eca, Uga, Lutfi, Oky, Ari, Jusriadi, Fachrul**, yang telah memberikan masukan-masukan dan dorongan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
8. **Teman-teman Angkatan 2015 (Patron 2016)**, atas kebersamaan, kekompakan, dan persahabatannya dalam susah ataupun senang sejak awal memasuki kehidupan kampus hingga sekarang, semoga

tali silaturahmi tidak pernah terputus. KEEP ON FIGHTING TILL THE END.

9. **HMS FT-UH**, terima kasih telah menjadi wadah dalam pembentukan karakter penulis selama aktif dalam berorganisasi.
10. Seluruh Senior dan Junior yang selama ini bersama-sama menjalani kehidupan kampus dan memberikan pengalaman yang tidak akan terlupakan.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis baik dalam penelitian maupun selama mengarungi kehidupan kampus, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa setiap karya manusia pasti memiliki banyak kekurangan dan mengharapkan partisipasi pembaca untuk memberikan kritik ataupun saran yang berguna untuk penyempurnaan ataupun pengembangan penelitian ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga seluruh ilmu yang diperoleh dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya dan dapat membawa manfaat bagi semua orang. Semoga seluruh dukungan dan doa yang telah diberikan mendapatkan balasan oleh Allah SWT dan membawa kami menjadi manusia yang lebih baik kedepannya.

ABSTRAK

Sungai merupakan daerah yang dilalui badan air, bergerak dari tempat tinggi ke tempat lebih rendah melalui permukaan, atau bawah tanah. karakteristik aliran sungai pada bagian hilir Sungai Jeneberang hasil simulasi aplikasi iRIC. mengetahui karakteristik aliran sungai pada bagian hilir Sungai Jeneberang dengan berdasarkan hasil simulasi aplikasi iRIC. referensi studi karakteristik aliran pada bagian hilir Sungai Jeneberang dengan berdasarkan hasil simulasi menggunakan aplikasi iRIC. terpusat pada aliran sungai utama Sungai Jeneberang yakni pada bagian hilir daripada sungai jeneberang. metode penelitian dilakukan dengan cara simulasi Hasil penelitian diperoleh hasil simulasi menggunakan *software* iRIC, kecepatan aliran Sungai Jeneberang Q Max yakni antara 0.28 – 0.93 m/s, untuk variasi Q Min diperoleh distribusi kecepatan hasil *running* yakni berkisar antara 0.01- 0.08 m/s. Flux Kecepatan dari penelitian ini di peroleh arah aliran bervariasi sepanjang sungai. kedalaman aliran (*depth*) Q Max dengan besaran nilai berkisar antara 1.33 – 2.72 m, sementara itu untuk Q Min memiliki kisaran nilai yakni 0.62 – 2.51 m. tinggi muka air aliran.kisaran nilai 0.1 m – 2.9 m untuk besaran debit Q Max dan Q Min, kisaran nilai yakni berada pada nilai 0.1 – 1.03 M. Bilangan Froude yakni 0.07 – 0.51 untuk Q Max, sementara itu untuk variasi debit Q Min, memiliki kisaran nilai 0.01 – 0.0756. tegangan geser (*shear stress*) besaran nilai 3.21 – 23.45 N/m². Dari hasil simulasi aliran pada muara Sungai Jeneberang dari bendung karet hingga muara sungai jeneberang di muara menggunakan *software* iRIC,disimpulkan bahwa, morfologi ,topografi serta input debit pada muara sungai menentukan pola karakteristik aliran.

Kata Kunci : Debit, IRiC, Pola Aliran, DownStream

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------------------|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN | ii |
| kata pengantar | iii |
| ABSTRAK | v |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 2 |
| C. Tujuan Penelitian..... | 3 |
| D. Manfaat Penelitian..... | 3 |
| E. Batasan Masalah | 4 |
| F. Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| A. Morfologi Muara Sungai | 6 |
| 1. Muara yang didominasi debit sungai..... | 7 |
| 2. Kriteria Stabilitas Muara Sungai..... | 8 |
| B. Hidrologi | 9 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| C. Ambang Lebar..... | 11 |
| D. Analisis Hidrologi..... | 12 |
| E. Daerah Aliran Sungai (DAS) | 13 |
| F. Sungai sebagai Saluran Terbuka | 16 |
| F.1. Bentuk dan Parameter Geometrik Penampang Sungai | 18 |
| F.2. Fungsi Sungai..... | 21 |
| F.3. Pola Aliran dan Klasifikasi Aliran Sungai dalam DAS | 22 |
| F.4. Karakteristik Aliran..... | 27 |
| F.5. Tipe Angkutan Sedimen..... | 41 |
| G. Software iRIC | 42 |
| G.1. Software iRIC Secara Umum..... | 42 |
| G.2. Solver Nays2DH | 45 |
| H. Bilangan Froude..... | 48 |
| I. Tegangan Geser | 49 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN..... | 51 |
| A. Jenis dan Variabel Penelitian | 51 |
| B. Penentuan Lokasi Penelitian..... | 51 |
| C. Data Penelitian..... | 52 |
| D. Prosedur Penelitian..... | 53 |
| E. Diagram Alir Penelitian..... | 63 |

| | |
|-----------------------------------------------------|----|
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 64 |
| A. Debit Rencana | 64 |
| B. Pemodelan | 66 |
| B.1. Daerah Pemodelan | 66 |
| B.2. Grid Pemodelan | 67 |
| B.3. Paramater pemodelan | 67 |
| C. Karakteristik Aliran Sungai Hasil Simulasi | 68 |
| C.1. Kecepatan Aliran dan Flux Kecepatan | 69 |
| C.2. Kedalaman Aliran | 71 |
| C.3. Tinggi Muka Air | 73 |
| C.4. Bilangan Froude | 74 |
| C.5. Tegangan Geser | 75 |
| D. Validasi Model Numerik | 76 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 78 |
| A. Kesimpulan | 78 |
| B. Saran | 79 |
| DAFTAR PUSTAKA | 80 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Tipe muara yang didominasi aliran sungai | 8 |
| Gambar 2 Daur Hidrologi..... | 10 |
| Gambar 3. Peluap Ambang Lebar..... | 12 |
| Gambar 4 Konsep Daerah Aliran Sungai (DAS)..... | 14 |
| Gambar 5 Contoh Daerah Aliran Sungai (DAS) | 16 |
| Gambar 6 Skema Tampang Lintang Suatu Sungai | 18 |
| Gambar 7 Potongan Melintang dan Memanjang Saluran..... | 19 |
| Gambar 8 Bagian-Bagian Sungai..... | 21 |
| Gambar 9 Pola Aliran Daerah Aliran Sungai | 25 |
| Gambar 10 <i>Ephemeral River</i> | 26 |
| Gambar 11 <i>Intermittent River</i> | 26 |
| Gambar 12 <i>Perennial River</i> | 27 |
| Gambar 13 Klasifikasi Aliran pada Saluran Terbuka | 28 |
| Gambar 14 Aliran Tunak dan Tidak Tunak..... | 29 |
| Gambar 15. Aliran Seragam dan Tidak Seragam..... | 30 |
| Gambar 16. Lengkung energi Spesifik | 34 |
| Gambar 17. Profil Muka Air Pada Kurva M (<i>Mild Slope</i>)..... | 36 |
| Gambar 18. Profil Muka Air pada Kurva C (<i>Critical Slope</i>) | 37 |
| Gambar 19. Profil Muka Air untuk Kurva S (<i>Steep Slope</i>) | 37 |
| Gambar 20. Profil Muka Air untuk Kurva A (<i>Adverse Slope</i>) | 38 |
| Gambar 21. Profil Muka Air untuk Kurva H (<i>Horizontal Slope</i>) | 39 |
| Gambar 22. Tipe Loncat Air | 40 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 23. Bagan Pengoperasian <i>Software</i> iRIC | 43 |
| Gambar 24. Penentuan Lokasi Penelitian | 52 |
| Gambar 25. <i>iRIC Software Start Page</i> | 54 |
| Gambar 26. Melakukan <i>Import Data</i> Topografi ke <i>Software</i> iRIC..... | 55 |
| Gambar 27. Data <i>Topografi</i> yang telah ter- <i>Input</i> | 55 |
| Gambar 28. Menentukan Sistem Koordinat..... | 56 |
| Gambar 29. Pemilihan Jenis <i>Grid</i> yang akan Digunakan | 57 |
| Gambar 30. Penentuan Detail <i>Grid</i> | 57 |
| Gambar 31. <i>Grid</i> yang telah Dibuat | 58 |
| Gambar 32. Menentukan Batasan Kalkulasi | 59 |
| Gambar 33. Tahap untuk memulai Simulasi pada <i>Software</i> iRIC..... | 60 |
| Gambar 34. Proses <i>Running</i> Simulasi <i>Software</i> iRIC..... | 60 |
| Gambar 35. Menampilkan Hasil Simulasi <i>Software</i> iRIC..... | 61 |
| Gambar 36. Visualisasi Hasil Simulasi <i>Software</i> iRIC | 61 |
| Gambar 37. Diagram Alir Penelitian | 63 |
| Gambar 38. Grafik Regresi Konversi Tinggi Peluapan dengan Besaran Debit..... | 65 |
| Gambar 39. Peta muara sungai jeneberang..... | 66 |
| Gambar 40. Grid pemodelan | 67 |
| Gambar 41. Hasil Simulasi iRIC Parameter Kecepatan Aliran (Q Max) ... | 69 |
| Gambar 42. Hasil Simulasi iRIC Parameter Kecepatan Aliran (Q Min).... | 69 |
| Gambar 43. Hasil Simulasi iRIC Flux Kecepatan (Q Max) | 70 |
| Gambar 44. Hasil Simulasi iRIC Flux Kecepatan (Q Min) | 71 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 45. Hasil Simulasi iRIC Parameter Kedalaman (Q Max)..... | 72 |
| Gambar 46. Hasil Simulasi iRIC Parameter Kedalaman (Q Min) | 72 |
| Gambar 47. Hasil Simulasi iRIC Parameter Elevasi..... | 73 |
| Gambar 48. Hasil Simulasi iRIC Parameter Elevasi..... | 73 |
| Gambar 49. Hasil Simulasi iRIC Parameter Bilangan Froude (Q Max) ... | 75 |
| Gambar 50. Hasil Simulasi iRIC Parameter Bilangan Froude (Q Min) | 75 |
| Gambar 51. Hasil Simulasi iRIC Parameter Tegangan Geser (Q Max) ... | 76 |
| Gambar 52. Hasil Simulasi iRIC Parameter Tegangan Geser (Q Min).... | 76 |

DAFTAR TABEL

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Harga Koefisien Kekasaran Manning (n) | 32 |
| Tabel 2. Konversi Tinggi Peluapan ke Debit..... | 64 |
| Tabel 3. Debit Hasil Konversi dari Data Tinggi Peluapan | 65 |
| Tabel 4. Uji Kestabilan Metode dengan Menggunakan Bilangan Courant | 77 |

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai merupakan daerah yang dilalui badan air, bergerak dari tempat tinggi ke tempat lebih rendah melalui permukaan, atau bawah tanah. Berdasarkan sifatnya sungai dibedakan menjadi daerah hulu, hilir dan muara, dengan ciri dari badan sungai tiap daerah tersebut memiliki perbedaan masing-masing. Adapun cabang ilmu pengetahuan yang membahas terkait fenomena yang ada pada sungai tersebut yakni hidrologi. Hidrologi ilmu yang secara khusus mempelajari tentang siklus hidrologi atau siklus air di permukaan bumi dengan berbagai macam konsekuensinya. Basis dari hidrologi adalah pengukuran fenomena alam, salah satunya adalah pengukuran aliran air di sungai yang sudah dijelaskan sebelumnya. Konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi satuan wilayah terkecil di permukaan bumi yang digunakan untuk pengamatan, pengukuran, interpretasi siklus hidrologi dengan segala konsekuensinya.

Luas area di dalam DAS bertanggung jawab terhadap besarnya aliran di sungai secara keseluruhan. Analisis hidrograf dengan berbagai macam cara telah berkembang menjadi suatu metodologi yang cukup andal dan masih dominan dipakai oleh ilmuwan dan praktisi di berbagai belahan dunia untuk memahami proses hidrologi di dalam DAS.

Di Indonesia sendiri ada banyak sekali sungai dan DAS yang potensi dan manfaatnya sangatlah besar. Salah satu DAS yang sangat terkenal dan

vital di Indonesia khususnya Sulawesi Selatan adalah DAS Jeneberang. Daerah Aliran Sungai Jeneberang yang merupakan daerah tangkapan air untuk beberapa kabupaten di Sulawesi Selatan ini punya potensi dan manfaat yang sangat besar.

Setiap aliran sungai tentu saja memiliki karakteristik dan bentuk yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya, tak terkecuali Sungai Jeneberang. Perbedaan tersebut bisa diakibatkan oleh banyak faktor, seperti faktor topografi dan sebagainya. Didukung dengan perkembangan teknologi, informasi, dan komunikasi, saat ini telah banyak dikembangkan aplikasi praktis dalam bidang Teknik Sipil, khususnya dalam bidang keairan. Salah satu aplikasi tersebut adalah *The International River Interface Cooperative* (iRIC).

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian karakteristik aliran Sungai Jeneberang pada bagian hilir dengan menggunakan bantuan aplikasi iRIC dengan judul **“SIMULASI PENGARUH DEBIT TERHADAP POLA ALIRAN PADA DOWNSTREAM SUNGAI JENEBERANG DENGAN MENGGUNAKAN NAYS2DH”**.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aliran sungai pada bagian hilir Sungai Jeneberang hasil simulasi menggunakan aplikasi iRIC?

2. Bagaimana pengaruh *input* debit pada simulasi menggunakan aplikasi iRIC pada bagian hilir sungai jeneberang?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui karakteristik aliran sungai pada bagian hilir Sungai Jeneberang dengan berdasarkan hasil simulasi menggunakan aplikasi iRIC
2. Untuk mengetahui pengaruh input debit pada simulasi menggunakan aplikasi iRIC pada bagian hilir sungai jeneberang.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan ataupun referensi studi karakteristik aliran pada bagian hilir Sungai Jeneberang dengan berdasarkan hasil simulasi menggunakan aplikasi iRIC.
2. Sebagai referensi bagi pemerintah dan pihak terkait perencanaan terhadap sungai jeneberang, mitigasi ataupun pemanfaatan Sungai Jeneberang tersebut.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini terpusat pada aliran sungai utama Sungai Jeneberang yakni pada bagian hilir daripada sungai jeneberang tersebut.
2. Simulasi terhadap aliran Sungai Jeneberang dilakukan menggunakan aplikasi iRIC.
3. Debit aliran sungai yang digunakan berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari instansi pemerintah dalam hal ini Dinas PUPR.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan memuat suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai konsep teori yang relevan dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan lokasi penelitian, variabel penelitian, data yang digunakan dalam penelitian, tahapan analisis hidrologi, tahapan prosedur simulasi pada aplikasi iRIC, dan penyajian bagan alir penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijabarkan hasil analisis hidrologi dan deskripsi model karakteristik aliran sungai hasil simulasi pada aplikasi iRIC.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Morfologi Muara Sungai

Muara adalah daerah pertemuan antara sungai dan laut yang berfungsi sebagai pengeluaran/pembuangan debit sungai, terutama pada waktu

banjir ke arah laut, sesuai dengan fungsinya muara sungai haruslah lebar dan dalam dan letaknya berada di hilir maka debit aliran di muara adalah lebih besar dibandingkan pada bagian hulu. sehingga permasalahan utama yang sering terjadi pada muara adalah endapan sedimen sehingga menyebabkan tampang alirannya kecil yang dapat mengganggu pembuangan debit sungai ke laut. peristiwa ini mengakibatkan terjadinya dinamika arus yang berpengaruh pada proses yang terjadi di muara. (Triatmodjo, 1999)

Muara sungai dapat dibedakan dalam tiga kelompok, semuanya tergantung pada faktor dominan yang mempengaruhinya. Ketiga faktor dominan tersebut adalah gelombang, debit sungai, dan pasang surut. Faktor dominan tersebut bekerja secara simultan tetapi biasanya salah satunya mempunyai pengaruh lebih dominan dari yang lainnya. Gelombang memberikan pengaruh paling dominan pada sungai kecil yang bermuara di laut terbuka sedangkan pada sungai besar yang bermuara di laut tenang akan didominasi oleh debit sungai.

1. Muara yang didominasi debit sungai

Muara ini terjadi pada sungai dengan debit cukup besar di sepanjang tahun yang bermuara di laut dengan gelombang laut relatif kecil. Sungai tersebut membawa angkutan sedimen dari hulu cukup besar sehingga sedimen yang sampai di muara sungai merupakan sedimen suspensi dengan diameter partikel sangat kecil. Sifat-sifat sedimen kohesif ini lebih tergantung pada gaya-gaya permukaan pada gaya berat.

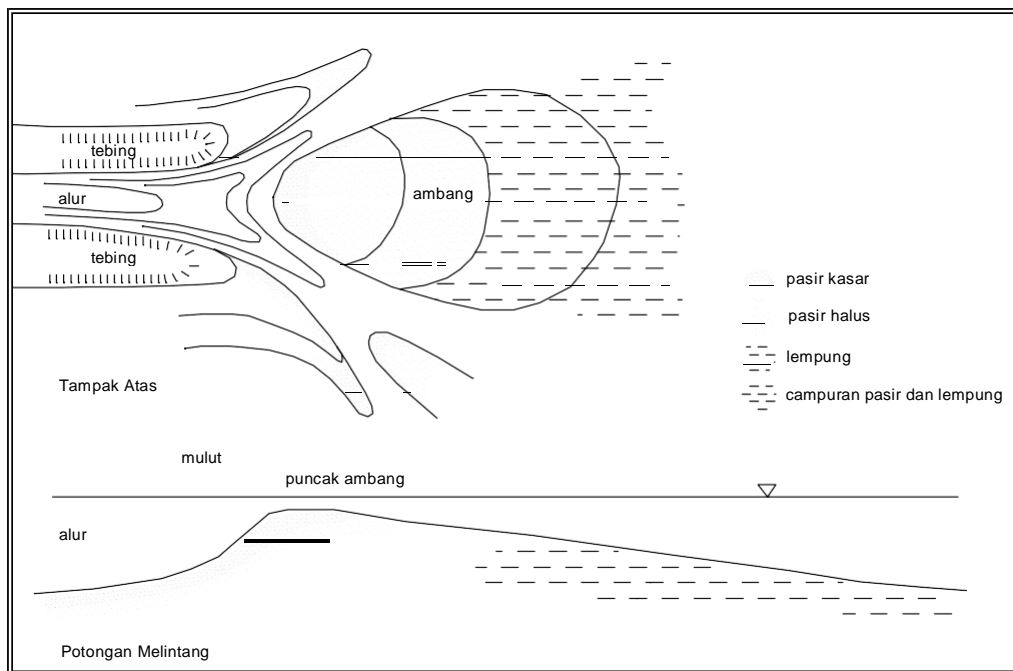
Pada waktu air surut sedimen tersebut akan terdorong ke muara dan menyebar di laut. Selama periode sekitar titik balik dimana kecepatan aliran kecil, sebagian suspensi mengendap. Selama proses ini air mulai pasang, kecepatan aliran bertambah besar dan sebagian suspensi dari air laut masuk kembali ke sungai bertemu sedimen yang berasal dari hulu.

Selama periode dari titik balik ke air pasang maupun air surut kecepatan aliran bertambah sampai mencapai maksimum dan kemudian berkurang lagi. Dialur sungai terutama pada waktu air surut kecepatan aliran besar, sehingga sebagian sedimen yang diendapkan tererosi kembali, di depan muara aliran sungai akan menyebar, kecepatan aliran lebih kecil sehingga tidak mampu mengerosi semua sedimen yang telah diendapkan.

Dengan demikian dalam satu siklus pasang surut jumlah sedimen yang mengendap lebih banyak daripada yang tererosi, sehingga terjadi

pengendapan di depan mulut sungai. Proses tersebut terjadi terus menerus sehingga muara sungai yang menuju ke laut membentuk delta.

Gambar 1. menunjukkan pola sedimen di muara sungai yang didominasi oleh debit sungai mengalami endapan yang terjadi di depan muara



Gambar 1. Tipe muara yang didominasi aliran sungai

2. Kriteria Stabilitas Muara Sungai

Stabilitas muara menurut merupakan refleksi dari perbandingan volume prisma pasang surut (P) dibagi dengan volume angkutan sedimen menyusur pantai (S). Nilai tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a) $P/S \geq 150$: Kondisi muara baik, terdapat sedikit tumpukan pasir dan penggelontoran baik.

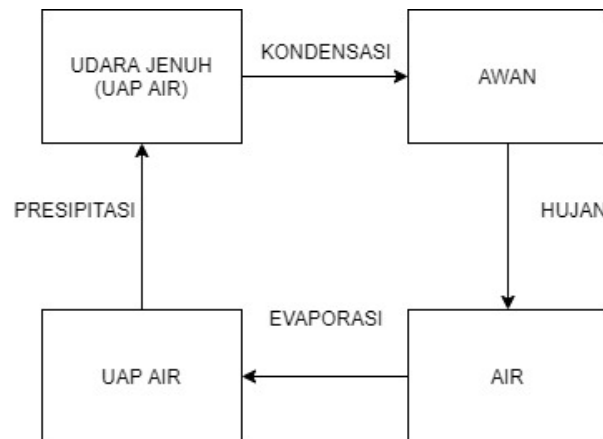
- b) $100 \leq P/S < 150$: Kondisi muara kurang baik, formasi tumpukan pasir terlihat di mulut sungai.
- c) $50 \leq P/S < 100$: Tumpukan pasir membesar, tetapi alur muara masih dapat menerobos tumpukan pasir.
- d) $20 \leq P/S < 50$: Mulut muara sudah dipenuhi tumpukan pasir, tetapi muara masih berfungsi karena adanya aliran air tawar dari sungai.
- e) $P/S < 20$: Mulut muara sudah tidak stabil sama sekali

B. Hidrologi

Jumlah air di bumi akan selalu tetap dan mutlak keberadaannya. Hanya saja, wujudnya dapat berubah, misalnya dari wujud benda padat (es) ke wujud cair, dan kemudian berubah menjadi uap. Sesuai dengan sifat air, sumber aliran air akan selalu mengalir dari satu tempat tinggi ke tempat lebih rendah. Air juga berubah dari satu fase ke fase lain (Jusuf, 2015).

Linsley dkk (1996) mengemukakan bahwa hidrologi membahas tentang air yang ada di bumi, yaitu kejadian, sirkulasi dan penyebaran, sifat-sifat fisis dan kimiawi serta reaksinya terhadap lingkungan, termasuk hubungannya dengan lingkungan.

Hukum pergerakan air di muka bumi ini terjadi secara siklik menjadi satu daur yang disebut dengan daur hidrologi seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Daur Hidrologi

Dalam Gambar 2 secara sederhana terlihat hujan akan turun membasahi bumi. Apabila turun di pegunungan akan mengalir ke daratan lebih rendah melalui sungai-sungai, mengisi danau dan badan air lainnya, dan mengalir sampai ke laut. Sebagian air meresap turun ke bawah permukaan tanah dan mengalir menjadi aliran bawah tanah. Di laut yang luas dan di badan air seperti sungai dan danau, air dapat menguap, terjadi kondensasi dan menjadi awan lalu turun hujan. Gambar 2 juga menerangkan proses sublimasi dari es sampai turun menjadi salju, meleleh pada musim panas, dan mengalir ke sungai-sungai (Jusuf, 2015).

Penerapan ilmu hidrologi dapat dijumpai dalam beberapa kegiatan seperti perencanaan dan operasi bangunan air, penyediaan air untuk berbagai keperluan (air bersih, irigasi, perikanan, peternakan), pembangkit listrik tenaga air, pengendalian banjir, pengendalian erosi dan sedimentasi, transportasi air, drainase, pengendalian polusi, air limbah, dan sebagainya (Triatmodjo, 2008).

Data pokok yang memadai adalah penting untuk tiap ilmu pengetahuan, dan tidak terkecuali bagi hidrologi. Tanpa data historis yang memadai untuk lingkup masalah khusus, maka pakar hidrologi berada dalam posisi sulit. Sebagian besar negara mempunyai satu atau beberapa yang bertanggung jawab atas pengumpulan data. Persoalan hidrologi pada umumnya berkaitan dengan perhitungan nilai-nilai ekstrim yang tidak tercatat di dalam sampel data yang pendek, karakteristik hidrologi pada lokasi-lokasi di mana data belum pernah dikumpulkan (lokasi semacam ini jauh lebih banyak daripada daerah yang mempunyai data), atau perkiraan-perkiraan tentang pengaruh yang ditimbulkan oleh kegiatan manusia terhadap sifat-sifat hidrologi dalam suatu daerah. Umumnya, setiap masalah hidrologi bersifat unik karena berhadapan dengan seperangkat kondisi fisik yang berbeda pada setiap wilayah sungai. Karenanya kesimpulan kuantitatif dari satu analisis sering tidak dapat secara langsung ditransfer ke masalah lain. Namun, penyelesaian umum bagi hampir seluruh masalah dapat dikembangkan melalui pemakaian suatu konsep dasar yang relatif sedikit (Linsley, Kohler, & Paulhus, 1996).

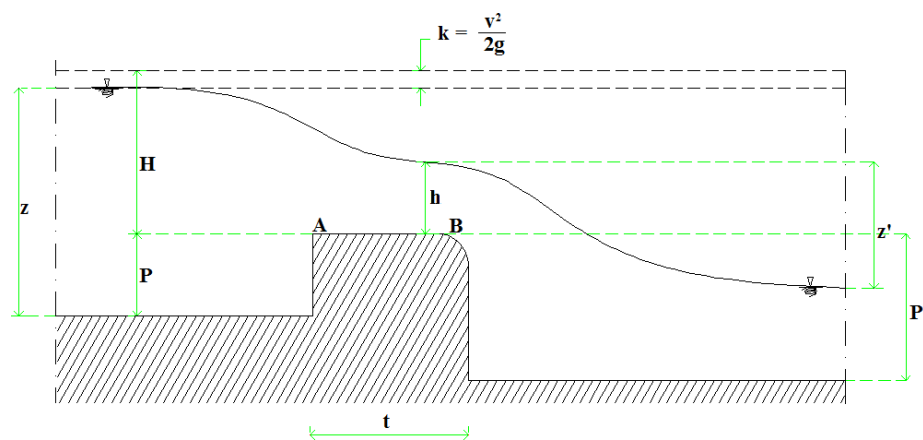
C. Ambang Lebar

Ambang lebar adalah bagian dasar pelimpah yang berfungsi sebagai alat pengukur aliran. Bentuk penampang pelimpah aliran dari ambang tajam yaitu penampang berbentuk empat persegi panjang (SNI-036455.3-2000; SNI-033-6455.5-2000). Menurut

Chow (1959) dalam buku *Open Channel Hydraulics* bahwa pengaruh akibat percepatan gravitasi bumi terhadap aliran dinyatakan dengan rasio gaya inersia dengan gaya percepatan gravitasi bumi (g). Rasio ini diterapkan sebagai bilangan Froude (Fr) yang

didefinisikan dengan rumus : $F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}}$

Peluap disebut ambang lebar apabila $t > 0,66 H$ dengan t adalah tebal peluap dan H adalah tinggi peluapan. Titik A dan B adalah ujung hulu dan hilir dari peluap. Tinggi air di atas peluap pada titik A adalah H sedang pada titik B adalah h , dan b adalah lebar (Panjang dalam arah melintang saluran) peluap (Bambang Triatmodjo, 1996).



Gambar 3. Peluang Ambang Lebar

D. Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*). Data hidrologi merupakan bahan informasi yang sangat penting dalam pelaksanaan inventarisasi

potensi sumber-sumber air, pemanfaatan dan pengelolaan sumber-sumber air yang tepat dan rehabilitasi sumber-sumber alam seperti air, tanah dan hutan yang telah rusak. Fenomena hidrologi seperti besarnya: curah hujan, temperatur, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah menurut waktu. Dengan demikian suatu nilai dari sebuah data hidrologi itu hanya dapat diukur satu kali dan nilainya tidak akan sama atau tidak akan dapat terjadi lagi pada waktu yang berlainan sesuai dengan fenomena pada saat pengukuran nilai itu dilaksanakan (Soewarno, 1995).

E. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Ditjen Tata Ruang & Pengembangan Wilayah (2002) mendefinisikan Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai suatu daerah tertentu yang bentuk dan sifat alamnya sedemikian rupa, sehingga merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang melalui daerah tersebut dalam fungsinya untuk menampung air yang berasal dari air hujan dan sumber-sumber air lainnya yang penyimpanannya serta pengalirannya dihimpun dan ditata berdasarkan hukum-hukum alam sekelilingnya demi keseimbangan daerah tersebut; daerah sekitar sungai, meliputi punggung bukit atau gunung yang merupakan tempat sumber air & semua curahan air hujan yang mengalir ke sungai, sampai daerah dataran dan muara sungai.

Sementara itu Kodoatie & Sugiyanto (2002) menjelaskan bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu kesatuan daerah/wilayah/kawasan tata air yang terbentuk secara alamiah di mana air tertangkap (berasal dari curah hujan) dan akan mengalir dari daerah/wilayah/kawasan tersebut menuju ke anak sungai dan sungai yang bersangkutan. Disebut juga Daerah Pengaliran Sungai (DPS) atau Daerah Tangkapan Air (DTA): Dalam Bahasa Inggris ada beberapa macam istilah yaitu *Catchment Area* dan *Watershed*.

DAS (*basin, drainage basin, or watershed*) menunjukkan suatu luasan yang berkontribusi pada aliran permukaan (Gambar 4). Suatu batas wilayah imajiner, dibatasi oleh punggung-punggung pegunungan dan lembah, di mana air yang jatuh pada setiap lokasi di dalam batas tersebut, mengalir dari bagian hulu DAS melalui anak-anak sungai ke sungai utama, sampai akhirnya keluar lewat satu *outlet* (Indarto, 2010).



Gambar 4 Konsep Daerah Aliran Sungai (DAS)

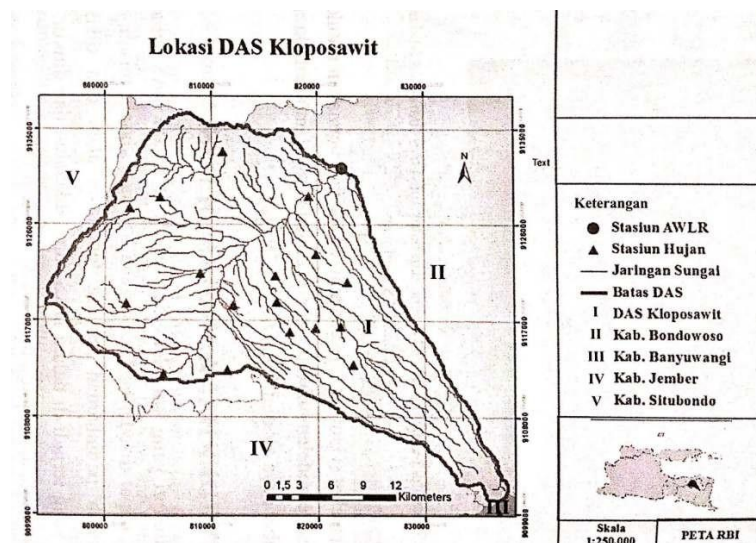
Luas DAS sangatlah relatif tergantung dari luas daerah tangkapan hujan (*catchment area*) yang berkontribusi menghasilkan aliran air. Luas

DAS dapat beberapa kilometer persegi hingga ratusan kilometer persegi. Satu DAS dapat hanya mencakup wilayah di dalam satu desa, tetapi dapat juga mencakup wilayah beberapa kabupaten, beberapa wilayah provinsi, bahkan beberapa negara.

Proses hidrologi yang kompleks dan terjadi di dalam DAS sebagaimana dijelaskan, dapat disederhanakan karena berbagai alasan, misalnya: untuk mempermudah pemahaman tentang fenomena alam dan tidak semua subproses yang terjadi di dalam DAS dapat diketahui dan diukur. *Input* utama atau air yang mengalir di dalam DAS berasal dari hujan yang jatuh di berbagai tempat di dalam DAS. Hujan tersebut diukur oleh jaringan alat ukur (stasiun hujan) yang terpasang di dalam wilayah DAS. Hujan rerata DAS ditentukan berdasarkan interpolasi data-data hujan yang terekam dari sejumlah stasiun. Air selanjutnya mengalir melalui jaringan sungai di dalam DAS dan sampai ke suatu tempat yang disebut sebagai *outlet*. Pada *outlet* DAS dipasang alat untuk mengukur aliran yang keluar dari DAS tersebut. Jadi, hujan digunakan untuk mewakili *input* ke dalam DAS. Sementara itu, debit digunakan untuk menggambarkan *output* dari sistem DAS.

Pengelola DAS perlu mengukur kualitas dan kuantitas air sehingga dapat memprediksi debit yang ada di sungai. Debit di sungai dipengaruhi oleh hujan yang jatuh di dalam DAS, bentuk saluran sungai, kecepatan air sungai, dan volume air. Selama periode hujan lebat, debit air di sungai dapat naik secara mendadak. Debit aliran di sungai dapat dianalisis

menggunakan hidrograf banjir. Kapasitas penyimpanan bendungan dapat dihitung dan diperkirakan menggunakan hidrograf. Analisis hidrograf juga dapat digunakan untuk mengantisipasi debit air sungai agar cenderung stabil sepanjang tahun sehingga dapat memenuhi kebutuhan air.



Gambar 5 Contoh Daerah Aliran Sungai (DAS)

Karakteristik DAS yang meliputi ukuran dan bentuk DAS, rerata kemiringan lahan, topografi, tanah dan vegetasi, jaringan sungai dan pola drainase, peruntukan lahan, kondisi kadar lengas tanah pada saat terjadinya hujan juga berpengaruh terhadap bentuk hidrograf (Indarto, 2016).

F. Sungai sebagai Saluran Terbuka

Menurut Peraturan Pemerintah No.35 Tahun 1991 Tentang Sungai, menjelaskan bahwa sungai merupakan tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan

dibatasi kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan. Lebih lanjut Mulyanto (2007) menyebutkan potensi-potensi dan kegunaan yang dapat diambil dari sebuah sungai yaitu air, merupakan kebutuhan seluruh makhluk untuk kelangsungan hidup; aliran, bersama dengan airnya akan menghasilkan energi, pembersih pencemaran maupun memberikan fasilitas rekreasi; alur, jalan transportasi dan unsur pertahanan; sedimen, dapat digunakan sebagai bahan bangunan, membentuk maupun menyuburkan lahan; lembah/delta, dapat dikembangkan sebagai areal pemukiman, pertanian dan industri.

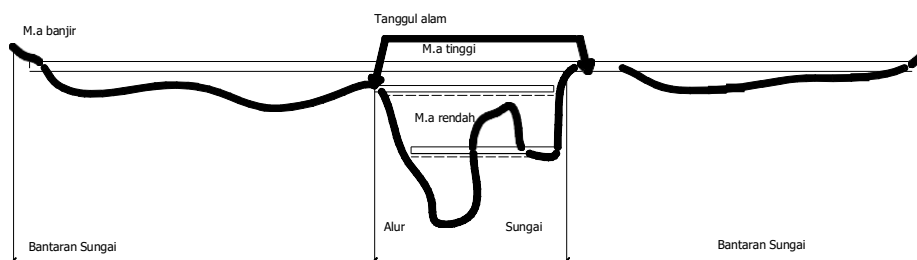
Aliran zat cair nyata lebih rumit bila dibandingkan dengan aliran zat cair ideal. Definisi dari zat cair nyata adalah zat cair yang mempunyai kekentalan (*viscosity*), yaitu sifat pada zat cair untuk menahan tegangan geser. Pada zat cair yang bergerak, tegangan geser akan bekerja di antara lapisan-lapisan zat cair, dan menyebabkan kecepatan yang berbeda-beda pada lapisan-lapisan zat cair tersebut. Gaya-gaya geser antara partikel-partikel zat cair dengan dinding-dinding batasnya, dihasilkan dari kekentalan zat cair nyata tersebut. Aliran zat cair nyata juga disebut sebagai aliran viskos (Suripin, 2018).

Menurut Suripin (2018), aliran dalam saluran terbuka maupun tertutup 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. Sungai, saluran irigasi, selokan, dan *estuary* semuanya adalah saluran terbuka.

F.1. Bentuk dan Parameter Geometrik Penampang Sungai

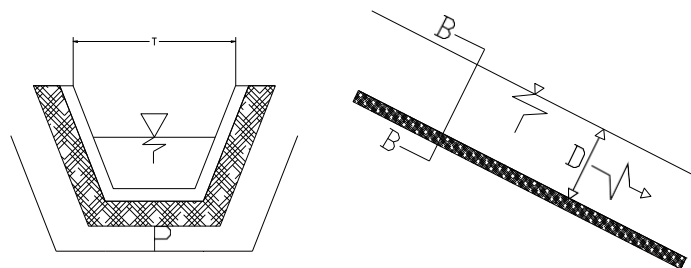
Sebuah alur sungai biasanya mempunyai tampang melintang seperti Gambar 6 di bawah ini. Penampang melintang biasanya terdiri dari dasar sungai yang dalam dan yang dangkal yang bila airnya surut akan diisi dengan gugus-gugus endapan, tanggul-tanggul alam pada kedua sisinya, dan bantaran banjir atau *flood plain* penampung luapan banjir yang akan tergenang pada saat sungai meluap. Dimensi dari tampang melintang dapat berbeda dari satu lokasi ke lokasi lain di sepanjang alur sungai (Mulyanto, 2007).



Gambar 6 Skema Tampang Lintang Suatu Sungai

Berbagai parameter digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik hidraulika suatu aliran sungai. Keliling basah (*wetted perimeter*) menyatakan panjang penampang melintang sungai (dasar saluran dan

kedua tepi sungai) yang basah sampai dengan muka air sungai. Radius hidrolis (*hydraulic radius*) adalah karakteristik fisik dari dasar saluran (luas penampang melintang saluran dibagi dengan keliling basah). Koefisien kekasaran (*roughness coefficient*) digunakan untuk mendeskripsikan gaya gesekan oleh dinding saluran yang menghambat aliran air. Saluran alam yang terdiri dari pepohonan dan bebatuan mempunyai koefisien kekasaran yang lebih tinggi daripada saluran modern yang dirapuhkan dengan pasangan batu-semen (Indarto, 2016).



Gambar 7 Potongan Melintang dan Memanjang Saluran

Keterangan Gambar 7 (Suripin, 2018):

- h = kedalaman aliran vertikal, adalah jarak vertikal antara titik terendah pada dasar saluran dan permukaan air (m)
- d = kedalaman air normal, adalah kedalaman yang diukur tegak lurus terhadap garis aliran (m)
- Z = adalah elevasi atau jarak vertikal antara permukaan air dan garis referensi tertentu (m)
- T = lebar potongan melintang pada permukaan air (m)
- A = luas penampang basah yang diukur tegak lurus arah aliran (m²)

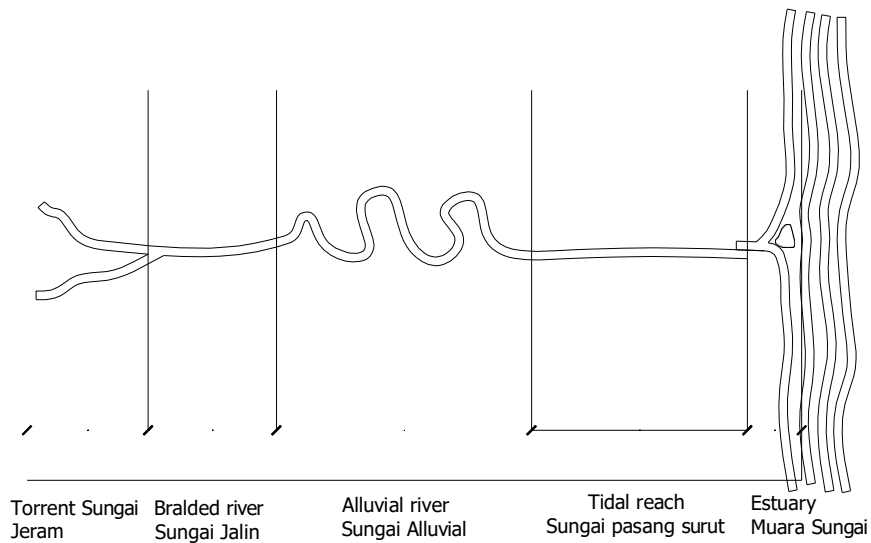
P = keliling basah, yaitu panjang garis persinggungan antara air dan dinding dan atau dasar saluran yang diukur tegak lurus arah aliran

R = jari-jari hidraulis (m), $R = A/P$

D = kedalaman hidraulis (m), $D = A/T$

Mulyanto (2007) lebih lanjut menjelaskan bahwa masing-masing sungai biasanya memiliki bentuknya sendiri sesuai faktor-faktor yang mengaturnya, terutama formasi geologi dari daerah aliran sungainya, serta iklim daerah tersebut. Bahkan di dalam sebuah sungai sendiri, timbul pula perbedaan antara bagian-bagiannya. Ke arah memanjang, sebuah sungai dapat dibagi menjadi beberapa bagian yang berbeda sifat-sifatnya yaitu:

1. Hulu sungai berarus deras dan turbulen atau *torrential river* yang dapat berupa sungai jeram atau *rapids river* atau sungai jalin atau *braided river*.
2. Sungai alluvial.
3. Sungai pasang surut atau *tidal river*.
4. Muara sungai atau *estuary*.
5. Mulut sungai atau tidal inlet yaitu bagian laut yang langsung berhubungan dengan muara di mana terjadi interaksi antara gelombang laut dan aliran air yang keluar masuk melewati muara.
6. Delta sungai yang berupa dataran yang terbentuk oleh sedimentasi di dalam muara dan mulut sungai. Delta ini perlu ditinjau karena berpengaruh terhadap sifat-sifat sungai di mana delta itu terbentuk di dalam muaranya.



Gambar 8 Bagian-Bagian Sungai

Perbedaan antara sebuah sungai dengan sungai lainnya dapat disebabkan karena:

1. Perubahan waktu, misalnya sebuah sungai akan lebih landau karena proses erosi dan sedimentasi yang terus terjadi sepanjang waktu.
2. Letak topografis dari sungai dan DASnya
3. Perbedaan akibat pengaruh luar, misalnya karena perubahan iklim dan kondisi geologi dari lembah di mana sungai itu mengalir.

F.2. Fungsi Sungai

Menurut Mulyanto (2007) terdapat dua fungsi utama yang diberikan oleh alam kepada sungai, yaitu:

1. Mengalirkan air.
2. Mengangkut sedimen hasil erosi pada DAS dan alurnya.

Keduanya berlangsung secara bersamaan dan saling mempengaruhi.

Air hujan yang jatuh pada sebuah DAS akan terbagi menjadi akumulasi-akumulasi yang tertahan sementara di daerah itu sebagai air tanah dan air permukaan, serta *runoff* yang akan memasuki alur sebagai debit sungai dan terus dialirkan ke laut.

Bersama masuknya *runoff* ke dalam sungai akan terbawa juga material hasil erosi. Material sedimen ini sebagian akan terbawa air banjir ke luar alur aliran untuk diendapkan menjadi dataran alluvial atau di dalam daerah retensi yang lama-lama akan mengisinya sehingga timbul dataran baru. Sebagian besar sedimen lainnya akan terbawa sampai ke laut atau perairan di mana sungai bermuara dan diendapkan menjadi delta. Transportasi sedimen ini tidak akan terjadi secara langsung dari hulu ke laut seketika, tetapi akan terjadi secara berantai di dalam proses pengendapan dan penggerusanyang terjadi di dalam dan di sepanjang alur sungai.

F.3. Pola Aliran dan Klasifikasi Aliran Sungai dalam DAS

Secara alamiah arah aliran sungai akan menuju ke laut mengikuti kondisi Batasan orografis pada daerah tersebut. Sering mengikuti *fault* atau patahan geologi, tetapi tidak pernah mengikuti garis lurus sepenuhnya.

Meandering hampir selalu terjadi begitu lembah sungainya cukup lebar untuk memungkinkan terbentuknya kelokan-kelokan sungai atau *meander*. Seluruh pola *meander* yang terbentuk akan pelan-pelan menjalar

ke arah hilir, dengan melewati proses penggerusan dan pengendapan tebing-tebing pada tempat tertentu. Kecepatan menjalarnya kadang-kadang sangat lambat, tetapi dapat pula sangat cepat. Meandering terjadi hanya pada ruas alluvial di mana terjadi proses dinamik penggerusan dan pengendapan sedimen yang dibawa aliran dalam alurnya. Pada bagian sungai di hulu proses *meander* akan terhambat oleh sifat alurnya yang tidak mudah tergerus. Lain halnya pada bagian pasang surut, proses pembentukan *meander* terhalang oleh adanya dua arah aliran yaitu aliran pasang naik ke hulu dan surutnya kemudian bersama debit dari hulu ke arah hilir. Keadaan ini akan mengganggu terbentuknya arus spiral yang menjadi mekanisme pembentuk *meander* ini.

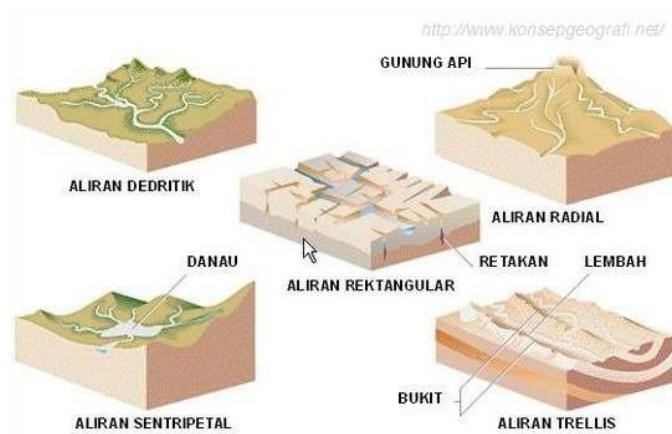
Proses meandering terjadi akibat pengaruh percepatan *Coriolis* atau percepatan geostrofik. Akibat perputaran bumi, seluruh partikel yang bergerak padanya akan mengalami penyimpangan dari arus lurus, oleh sebuah gaya yang berarah tegak lurus terhadap arah gerakan partikel tersebut.

1. Pola Aliran Sungai

Pola aliran atau pola pematusan (*drainage*) menggambarkan bentuk aliran anak-anak sungai ke arah-arah berlainan (Mulyanto, 2007).

- a. Pola aliran yang paling umum adalah pola bercabang-cabang (*dendritic*) yang menyerupai bentuk pohon yang cenderung terbentuk pada DAS yang seluruhnya terdiri dari batuan yang sama.

- b. Pola aliran segi panjang terbentuk dari sejumlah rekahan yang membentuk pola kisi yang biasa terdapat pada suatu tipe batuan tertentu seperti granit, yang mempunyai banyak rekahan (*joint*) yang membentuk kisi-kisi.
- c. Pola aliran radial terjadi pada sungai-sungai yang mengalir ke seluruh arah dari suatu ketinggian seperti gunung api.
- d. Pola sentripetal terdapat pada sungai-sungai yang mengalir dari ketinggian sekeliling ke dalam kolam di tengah yang sering berupa danau.
- e. Beberapa pola aliran yang paling rumit ditemukan pada DAS dengan erosi pada lipatan pada dasar-dasar lapisan, membentuk alur-alur batuan yang bergantian dari lunak ke keras. Di sini, sungai-sungai mengiris lembah-lembah sejajar pada lapisan yang lunak, dan anak-anak sungainya yang deras mengalir masuk hampir tegak lurus dari ketinggian punggung perbukitan yang berbatuan keras. Pada beberapa tempat terdapat celah pada punggung perbukitan yang dapat dilalui sungai-sungai dan menghubungkan alur-alur sungai utama yang sejajar. Tipe ini disebut pola aliran trellis.

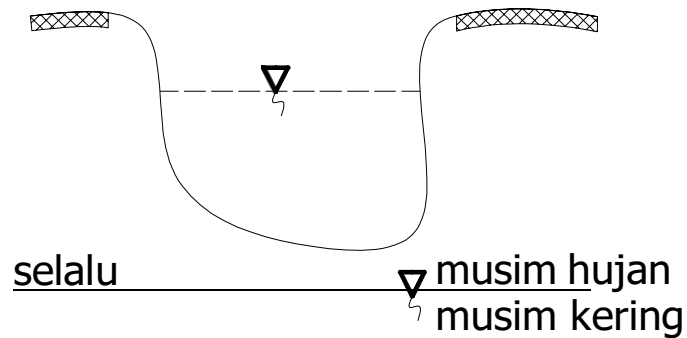


Gambar 9 Pola Aliran Daerah Aliran Sungai

2. Klasifikasi Aliran Sungai

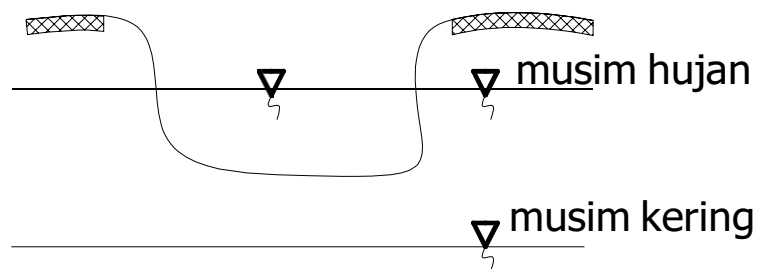
Berdasarkan kontinuitas aliran, sungai diklasifikasikan menjadi 3 yaitu *Ephemeral River*, *Intermittent River*, dan *Perennial River*.

- a. *Ephemeral river* (dikategorikan sebagai sungai musim hujan). Pada tipe ini muka air selalu berada di bawah dasar sungai baik saat musim hujan maupun musim kemarau, kecuali jika terjadi hujan yang sangat besar ada kemungkinan muka air berada di atas dasar sungai. Sungai *ephemeral* merupakan jenis sungai yang aliran airnya hanya akan ada sesaat, yaitu saat hujan melebihi laju infiltrasi.



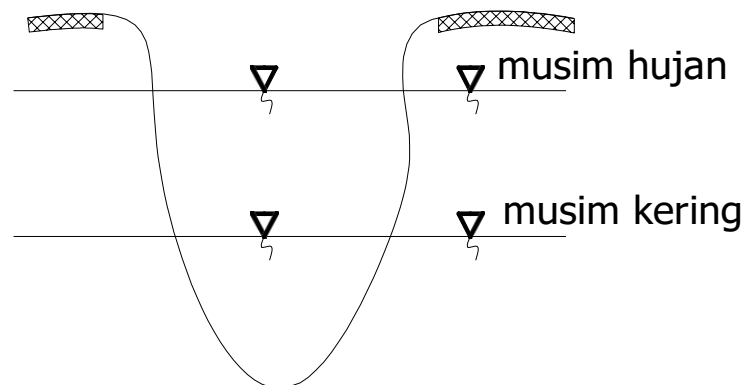
Gambar 10 *Ephemeral River*

- b. *Intermittent river*. Pada tipe ini muka air berada di atas dasar sungai saat musim hujan sedangkan muka air ada di bawah dasar sungai saat musim kemarau. *Intermittent river* merupakan jenis sungai yang aliran airnya hanya akan ada saat musim hujan saja.



Gambar 11 *Intermittent River*

- c. *Perennial river*. Pada tipe ini muka air selalu berada di atas dasar sungai baik saat musim hujan maupun musim kemarau. *Perennial river* merupakan jenis sungai yang mengalirkan air sepanjang tahun sehubungan dengan keadaan akuifer di sekitarnya cukup baik.

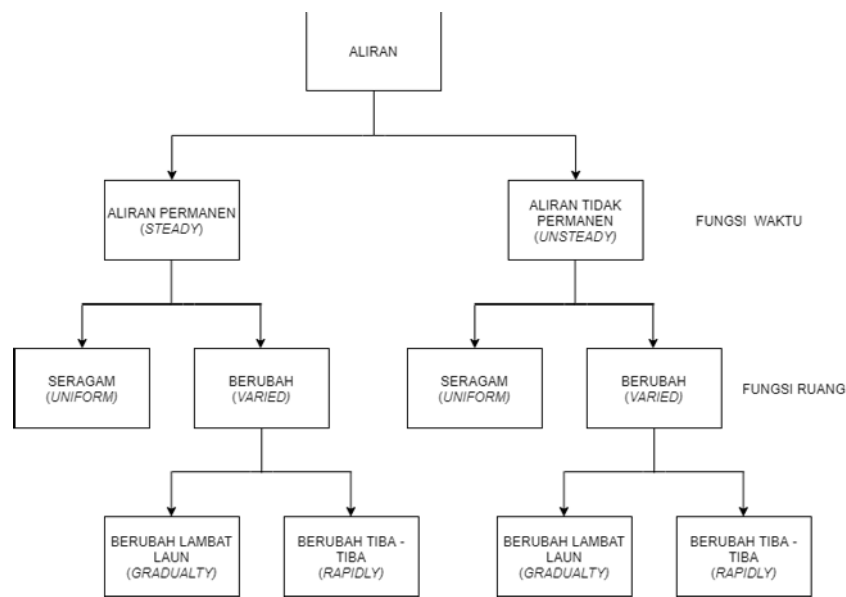


Gambar 12 *Perennial River*

F.4. Karakteristik Aliran

1. Aliran Permanen dan Aliran Tidak Permanen

Jika kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu maka alirannya disebut aliran permanen atau tunak (*steady flow*). Jika kecepatan pada suatu lokasi tertentu berubah terhadap waktu maka alirannya disebut aliran tidak permanen atau tidak tunak (*unsteady flow*) (Suripin, 2018). Lebih lanjut Indarto (2016) mengklasifikasikan aliran tunak dan tidak tunak sebagai berikut:



Gambar 13 Klasifikasi Aliran pada Saluran Terbuka

- a. Aliran tunak dan seragam (*steady uniform flow*), menggambarkan suatu kondisi aliran yang tidak berubah sepanjang sungai dan sepanjang waktu.
- b. Aliran tunak tetapi tidak seragam (*steady nonuniform flow*), menggambarkan kondisi aliran yang berubah dari titik ke titik di dalam sungai, tetapi pola tersebut tetap sepanjang waktu.
- c. Aliran tidak tunak tetapi seragam (*unsteady uniform flow*), menggambarkan suatu jenis aliran pada saat yang sama dan kondisi di setiap titik seragam, tetapi berubah sejalan dengan perubahan waktu.
- d. Aliran tidak tunak dan tidak seragam (*unsteady nonuniform flow*), menyatakan suatu aliran yang kondisi alirannya selalu berubah dari titik ke titik maupun dari waktu ke waktu.

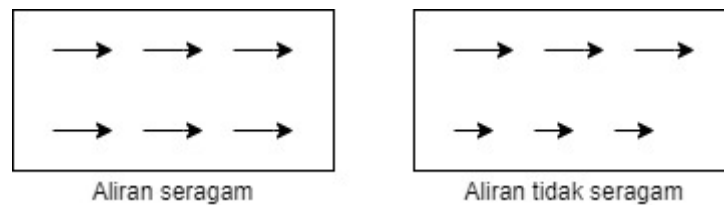


Gambar 14 Aliran Tunak dan Tidak Tunak

2. Aliran Seragam dan Aliran Tidak Seragam

Jika kecepatan aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang saluran yang ditinjau maka alirannya disebut aliran seragam (*uniform flow*). Namun, jika kecepatan aliran pada saat tertentu berubah terhadap jarak, alirannya disebut aliran tidak seragam atau aliran berubah (*nonuniform flow or varied flow*).

Bergantung pada laju perubahan kecepatan terhadap jarak, aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*). Aliran berubah lambat laun, perubahan kecepatan terjadi secara gradual terhadap jarak sehingga pengaruh percepatan pada aliran antara dua potongan yang berdekatan dapat diabaikan. Aliran berubah tiba-tiba adalah suatu aliran yang kedalaman airnya berubah secara signifikan pada jarak pendek. Hal ini terjadi di mana ada gangguan lokal terhadap keseimbangan antara gravitasi dan gesekan atau ketidaksesuaian antara kedalaman di hulu dan hilir (loncat air) (Suripin, 2018).



Gambar 15. Aliran Seragam dan Tidak Seragam

3. Aliran Laminer dan Aliran Turbulen

Jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti gerakan serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang parallel maka alirannya disebut aliran 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 relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Jika gaya viskositas dominan, alirannya laminar. Jika gaya inersia yang dominan, maka alirannya turbulen. Nisbah antara gaya kekentalan dan inersia dinyatakan dalam bilangan Reynold (Re) sebagai berikut:

$$Re = \frac{vL}{\nu} \quad (36)$$

dimana,

Re = Bilangan Reynold

v = Kecepatan aliran (m/s)

L = Panjang karakteristik (m), pada saluran terbuka $L=R$

ν = Kekentalan kinematik (m^2/s)

R = Jari-jari hidraulis saluran (m)

Tidak seperti aliran dalam pipa, di mana diameter pipa biasanya dipakai sebagai panjang karakteristik, pada aliran terbuka dipakai kedalaman hidraulis atau jari-jari hidraulis sebagai panjang karakteristik.

Aliran dikatakan laminar jika $Re < 500$, sedangkan aliran dikatakan turbulen jika $Re > 2000$. Dalam kehidupan sehari-hari, aliran laminar pada saluran terbuka sangat jarang ditemui (Suripin, 2018).

4. Aliran Subkritis, Aliran Kritis, dan Aliran Superkritis.

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitude kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan mengubah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, alirannya disebut subkritis. Jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, alirannya disebut superkritis.

Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia, yang dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr) (Suripin, 2018):

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gR}} \text{ atau } F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (37)$$

dimana,

F_r = Bilangan Froude

V = Kecepatan aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

R = Jari-jari hidraulis (m)

D = Kedalaman hidraulis (m)

5. Persamaan Manning

Kecepatan rerata pada suatu penampang saluran dihitung menggunakan persamaan Manning dengan kemiringan muka air (S), radius hidrolis (R), dan koefisien kekasaran saluran (n). Untuk satuan metrik, nilai faktor konversi adalah 1,0.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

dimana,

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

n = Koefisien kekasaran Manning (s/m^{1/3})

R = Jari-jari hidraulis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

Nilai koefisien kekasaran Manning (n) untuk berbagai macam saluran dapat dilihat pada Tabel (Chow, 1959).

Tabel 1. Harga Koefisien Kekasaran Manning (n)

| No | Tipe Saluran dan Jenis Bahan | Harga n | | |
|----|----------------------------------------------------------------|---------|--------|-------|
| | | Min. | Normal | Maks. |
| 1 | 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 |
| 2 | 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 |
| 2 | ▪ Bersih, berkelok-kelok | 0,033 | 0,040 | 0,045 |
| | ▪ Banyak tanaman pengganggu | 0,050 | 0,070 | 0,080 |
| | ▪ Dataran banjir berumput pendek-tinggi | 0,025 | 0,030 | 0,035 |
| | ▪ Saluran di belukar | 0,035 | 0,050 | 0,070 |

6. Energi Spesifik

Konsep energi spesifik diperkenalkan ooleh Bakhmeteff pada tahun 1912. Konsep ini sangat berguna bagi penerapan persamaan Bernoulli. Energi spesifik adalah tinggi tenaga pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran, atau tenaga tiap satuan berat air pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran. Jadi yang dimaksud dengan energi spesifik secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = h + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (39)$$

dimana,

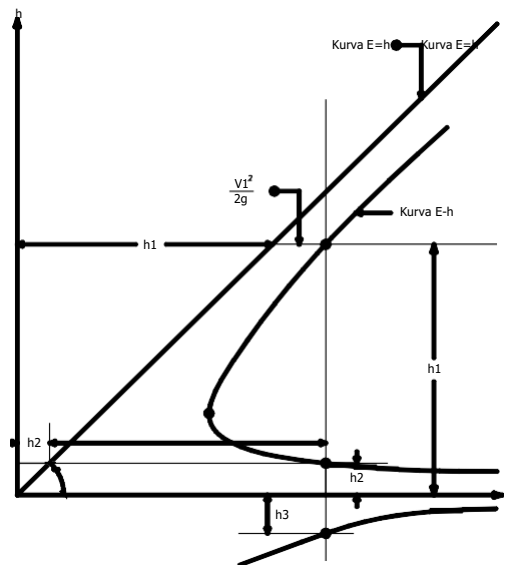
E = Energi spesifik (m)

h = Kedalaman aair (m)

α = Koefisien Coriolis, nilainya 1 s.d. 1,1

V = Kecepatan arus (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)



Gambar 16. Lengkung energi Spesifik

Sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (39) bahwa energi spesifik (E) terdiri dari dua komponen, kedalaman aliran (h), dan tinggi kecepatan ($V^2/2g$). Mengacu pada Gambar 16, lengan bagian atas kurva mendekati garis lurus ($E=h$) manakala tinggi kecepatan menjadi sangat kecil untuk nilai h yang sangat besar. Dengan cara yang sama, meningkatnya nilai V akan menurunkan harga h dan meningkatkan nilai tinggi kecepatan. Jika h mendekati nol, tinggi kecepatan cenderung menjadi tak terhingga dan lengkung bawah kurva mendekati sumbu horizontal. Pada kondisi khusus, dimungkinkan $h_1 = h_2$, yaitu pada titik C. Kedalaman pada titik ini dinamakan kedalaman kritis (h_c) dan alirannya dinamakan aliran kritis (Suripin, 2018).

7. Profil Muka Air untuk Berbagai Kemiringan Dasar Saluran

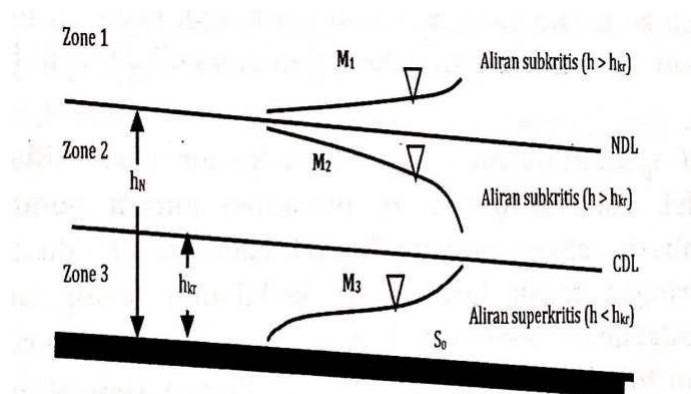
Bergantung pada kemiringan dasar saluran, kondisi permukaan, geometri penampang melintang, dan debit, saluran terbuka dapat diklasifikasikan ke dalam lima macam. Kriterianya adalah sebagai berikut:

- a. Saluran datar (*Horizontal channel*): $S_o=0$ dan $h_N=\infty$
- b. Saluran landau (*Mild channel*): $S_o<S_{kr}$ dan $h_N>h_{kr}$
- c. Saluran kritis (*Critical channel*): $S_o=S_{kr}$ dan $h_N=h_{kr}$
- d. Saluran terjal (*Steep channel*): $S_o>S_{kr}$ dan $h_N<h_{kr}$
- e. Saluran menanjak (*Adverse channel*): $S_o<0$

Karakteristik profil muka air untuk berbagai macam kemiringan dasar saluran yang telah disebutkan di atas adalah sebagai berikut (Suripin, 2018):

- a. Profil-profil M (*Mild*), $S_o<S_{kr}$ dan $h_N>h_{kr}$

Profil M_1 merupakan lengkung air balik yang paling banyak dikenal. Profil ini terjadi pada saluran dengan kemiringan dasar landau sangat panjang, di mana dibagian hilir terjadi pengempangan akibat adanya pintu, bending atau penghalang lainnya sehingga kedalaman air lebih besar dari kedalaman normal.



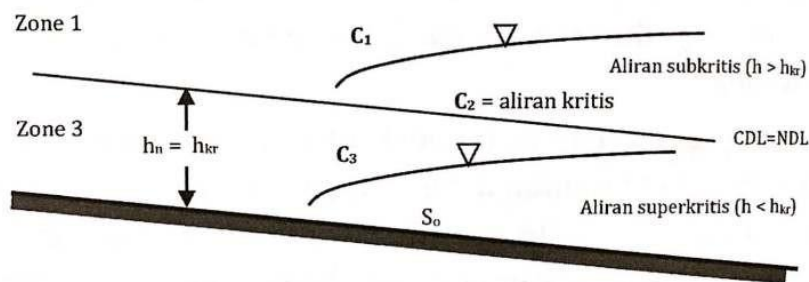
Gambar 17. Profil Muka Air Pada Kurva M (*Mild Slope*)

Profil M_2 terjadi pada saluran dengan dasar landai di mana kedalaman air di hilir saluran lebih kecil daripada kedalaman normal. Profil ini dapat terbentuk ketika terjadi perubahan kemiringan dasar saluran dari landai ke terjal, terjunan, atau terjadi perubahan penampang saluran, misalnya di muara sungai atau sungai masuk ke waduk.

Profil M_3 dapat terjadi ketika aliran superkritis dari hulu memasuki saluran dengan dasar landai. Profil ini akan terputus pada bagian hilir dengan terjadinya loncat air.

b. Profil-profil C (*Critical*), $S_0 = S_{kr}$ dan $h_N = h_{kr}$

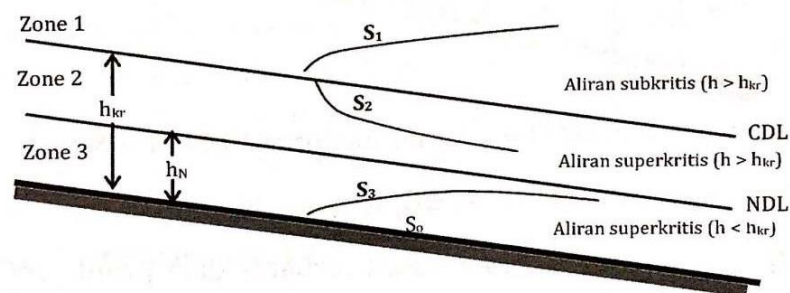
Profil-profil C menggambarkan kondisi transisi antara profil M dan profil S. Profil C_1 dan C_3 berbentuk lengkung terhadap horizontal. Profil C_2 menunjukkan keadaan aliran seragam kritis, profil berimpitan dengan garis kedalaman kritis dan juga garis kedalaman normal.



Gambar 18. Profil Muka Air pada Kurva C (*Critical Slope*)

c. Pofil-profil S (*Steep*), $S_0 > S_{kr}$ dan $h_N < h_{kr}$

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



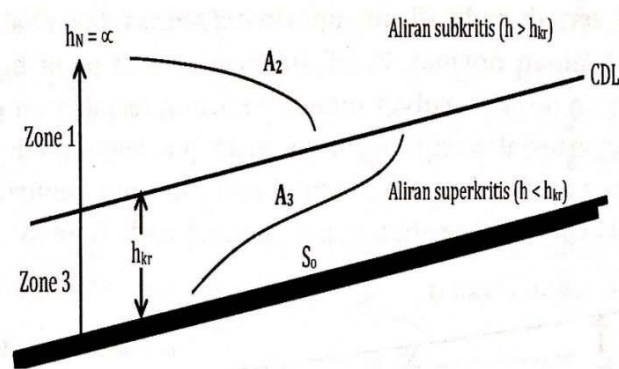
Gambar 19. Profil Muka Air untuk Kurva S (*Steep Slope*)

Profil S_2 merupakan lengkung muka air surut. Profil ini berawal di hulu dengan kemiringan tegak lurus pada kedalaman kritis menuju ke kedalaman normal di bagian hilir. Profil ini dapat terjadi di bagian hilir

pelebaran penampang saluran, dan/atau pada kemiringan terjal berubah menjadi kemiringan yang lebih terjal.

Profil S_3 terjadi pada aliran superkritis antara dasar saluran dengan 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 kemiringan terjal.

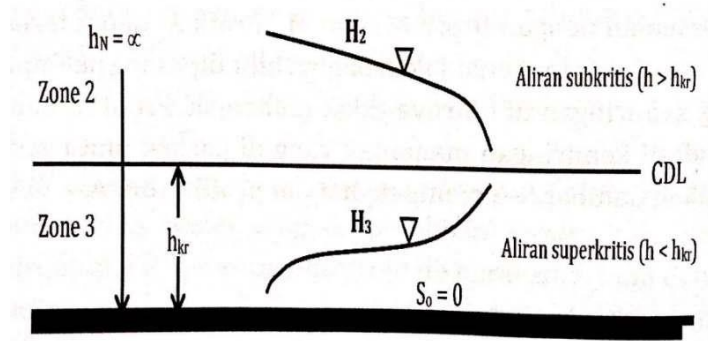
d. Profil-profil A (*Adverse*), $S_0 < 0$



Gambar 20. Profil Muka Air untuk Kurva A (*Adverse Slope*)

Profil-profil A merupakan kasus langka di dunia nyata. Profil A_1 tidak ada karena nilai h_N tidak riil. Profil A_2 dan A_3 bersesuaian dengan profil M_2 dan M_3 . Profil A_2 dapat terjadi pada kemiringan menanjak di bagian hilir dipasang pelimpah yang kemiringan di hilirnya tidak menanjak. Profil A_3 dapat terjadi di kemiringan menanjak yang dipasang pintu geser vertikal.

e. Profil-profil H (*Horizontal*), $S_0=0$ dan $h_N=\infty$



Gambar 21. Profil Muka Air untuk Kurva H (*Horizontal Slope*)

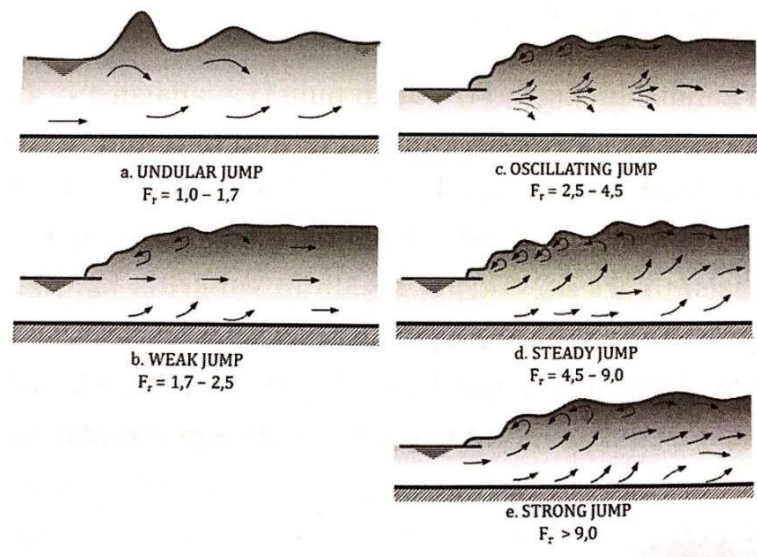
Profil-profil H merupakan kasus terbatas dari profil-profil M jika dasar saluran menjadi datar ($S_0=0$). Profil H_1 tidak pernah ada, karena kedalaman normal h_N bersifat tak terhingga, sedangkan profil H_2 dan H_3 bersesuaian dengan profil M_2 dan M_3 .

8. Jenis Loncat Air

Suripin (2018) memaparkan bahwa loncat hidraulis atau loncat air merupakan fenomena alam yang terjadi ketika aliran superkritis berubah menjadi aliran subkritis. Ketika aliran air yang kecepatannya tinggi dan kedalamannya kecil (aliran superkritis) bertemu aliran dengan kecepatan rendah dan kedalaman tinggi (aliran subkritis), terjadi perubahan muka air secara tiba-tiba. Fenomena ini pada umumnya disertai dengan turbulensi yang cukup besar dan kehilangan sebagian besar energi kinetic aliran superkritis. Peristiwa ini dapat terjadi di hilir pintu geser, di hilir pelimpah,

atau lokasi di mana terjadi perubahan kemiringan dasar saluran secara mendadak dari kemiringan terjal ke kemiringan landai.

Berdasarkan besarnya bilangan Froude aliran yang datang, Biro Reklamasi (USBR, 1987) telah mengklasifikasikan loncat air dan karakteristik aliran pada dasar horizontal menjadi 5 tipe, seperti ditunjukkan pada Gambar 22, yaitu:



Gambar 22. Tipe Loncat Air

- $Fr = 1,0 - 1,7$: loncatan berombak (*undular jump*), seperti pada Gambar 22a.
- $Fr = 1,7 - 2,5$: loncatan lemah (*weak jump*), kecepatan relatif seragam dan kehilangan energi kecil. Terjadi gelombang kecil pada permukaan loncat air, tetapi bagian permukaan air tetap halus seperti pada Gambar 22b.

- c. $Fr = 2,5 - 4,5$: loncatan berosilasi (*oscillating jump*), pancaran air yang masuk mengalir bergetar bolak-balik dari dasar ke permukaan dan sebaliknya seperti Gambar 22c.
- d. $Fr = 4,5 - 9,0$: loncatan mantap (*steady jump*), loncat air yang terbentuk dalam kondisi stabil. Kehilangan energi berkisar antara 45% s.d 70% (Gambar 22d).
- e. $Fr > 9,0$: loncatan kuat (*strong jump*), timbul permukaan air yang kasar dan menerus sampai jarak yang cukup panjang ke hilir. Kehilangan energi dapat mencapai 85% (Gambar 22e).

F.5. Tipe Angkutan Sedimen

Menurut Mulyanto (2007) ada tiga macam angkutan sedimen yang terjadi di dalam alur sungai, yaitu:

1. *Wash load* atau sedimen cuci, terdiri dari partikel-partikel lanau dan debu yang terbawa masuk ke dalam sungai dan tetap tinggal melayang sampai mencapai laut atau genangan air lainnya. Sedimen jenis ini hampir tidak mempengaruhi sifat-sifat sungai. Jenis sedimen ini berasal dari proses pelapukan atau *weathering process* permukaan tanah DAS yang terutama terjadi pada musim kemarau sebelumnya.
2. *Suspended load* atau sedimen layang terutama terdiri dari pasir halus yang melayang dalam aliran karena tersangga oleh turbulensi aliran air. Pengaruhnya terhadap sifat-sifat sungai tidak begitu besar, tetapi

apabila terjadi perubahan kecepatan aliran, jenis angkutan ini dapat menjadi angkutan jenis *bed load*. Gaya gerak bagi angkutan jenis ini adalah turbulensi aliran dan kecepatan aliran itu sendiri. Untuk besar butiran tertentu bila kecepatan punggutnya (*pick up velocity*) dilampaui, material akan melayang. Tetapi apabila kecepatan aliran yang mengangkutnya mengecil di bawah kecepatan punggutnya, material akan tenggelam ke dasar aliran.

3. *Bed load* atau angkutan dasar, di mana material dengan butiran-butiran yang lebih besar akan bergerak menggelincir atau *translate*, menggelinding atau *rotate* satu di atas lainnya pada dasar sungai. Tenaga penggeraknya adalah gaya seret atau *drag force* atau *tractive force* dari aliran terhadap partikel tersebut.

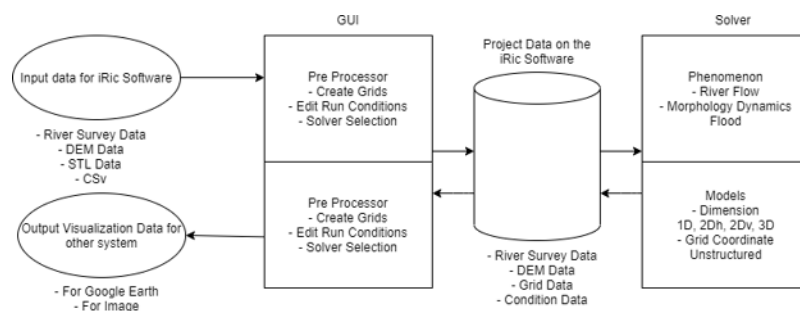
G. Software iRIC

G.1. Software iRIC Secara Umum

The International River Interface Cooperative (iRIC) dimulai pada tahun 2007 oleh Profesor Yasuyuki Shimizu (Universitas Hokkaido) dan Dr. Jonathan Nelson (*United States Geological Survey*, USGS) dengan tujuan untuk mengembangkan platform perangkat lunak yang disebut iRIC yang berguna untuk simulasi numerik aliran dan morfodinamik di sungai. Juga menyediakan seminar dan materi pendidikan untuk mendukung perangkat lunak tersebut.

Aplikasi perangkat lunak *The International River Interface Cooperative* (iRIC) menyediakan ruang simulasi sungai yang terintegrasi. iRIC menyediakan lingkungan yang komprehensif dan terpadu di mana data yang diperlukan oleh pemecah analisis sungai (*solvers*) dapat dihimpun, sungai dapat disimulasikan, dan hasil analisis simulasi sungai dapat divisualisasikan. Secara umum pengoperasian simulasi menggunakan perangkat lunak iRIC mempunyai tiga tahapan utama, yaitu tahap *Pre-Processing*, tahap *Solver Console*, dan tahap *Post-Processing*.

Software ini sangat fleksibel sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan pemindahan hasil analisis dari *solver* iRIC, atau pengguna dapat menggunakan *solver* iRIC yang lainnya untuk memadukan hasil analisis yang telah dilakukan. Setelah pengguna melakukan pemilihan *solver*, iRIC memilih fungsi yang sesuai dan menyiapkan ruang atau lingkungan simulasi yang optimal.



Gambar 23. Bagan Pengoperasian *Software* iRIC

iRIC yang terkenal sebagai platform simulasi numerik yang mendukung berbagai jenis solusi komputasi untuk masalah dalam ilmu dan

teknik keairan, awalnya hanyalah alat analisis aliran sungai dan analisis morfodinamik sungai. Tetapi sekarang perangkat lunak ini telah dikembangkan untuk menangani serangkaian masalah yang lebih luas lagi seperti prediksi terjadinya banjir, curah hujan limpasan, simulasi tsunami, aliran debris, dan sebagainya.

Fungsi iRIC sangat beragam bergantung jenis *solver* yang dipilih, sehingga metode penggunaan aplikasi juga bergantung pada pemilihan *so/ver*. Berikut adalah beberapa alat analisis atau *solvers* yang dimiliki oleh iRIC (iRIC-UC, 2019):

1. Nays2DH
2. FaSTMECH
3. SRM
4. Morpho2DH
5. Nays1D+
6. CERI1D
7. *Culvert Analysis Program (CAP)*
8. *Slope Area Computation (SAC)*
9. Mflow_02
10. River2D
11. NaysCUBE
12. NaysEddy
13. SToRM
14. Nays2DFlood

15. ELIMO
16. DHABSIM
17. EvaTRiP

G.2. Solver Nays2DH

Alat analisis *Solver Nays2DH* merupakan model komputasi yang dimiliki *software* iRIC yang dapat melakukan simulasi aliran horizontal dua dimensi (2D), angkutan sedimen, dan simulasi perubahan morfologi dasar dan tepi sungai. Meskipun iRIC telah memiliki beberapa alat analisis dua dimensi seperti Nays2D, Morpho2D, FaSTMECH, dan sebagainya, developer iRIC percaya bahwa pengguna aplikasi ini pastinya terkadang sulit untuk menentukan jenis solver yang tepat untuk digunakan terhadap kasus yang ingin mereka simulasikan. Oleh karena itu developer iRIC memutuskan untuk melakukan kombinasi Nays2D dan Morpho2D untuk menyediakan alat analisis yang lebih kuat dan lebih mudah digunakan oleh pengguna iRIC, yang dinamakan *Solver Nays2DH*.

Solver Nays2D, yang dikembangkan oleh Dr. Yasuyuki Shimizu di Universitas Hokkaido, Jepang, merupakan alat analisis dua dimensi (2D) untuk melakukan simulasi aliran, angkutan sedimen, evolusi dasar sungai, dan erosi tepi sungai. Dengan bergabungnya lebih banyak developer dalam proyek pengembangan Nays2D, maka telah banyak ditambahkan beberapa fungsi model dalam alat analisis ini, seperti model pertemuan sungai dan model butiran campuran. Selain itu, Nays2D juga telah dapat diaplikasikan

pada beberapa model simulasi seperti evolusi dasar sungai akibat pengaruh vegetasi, perhitungan dan prediksi genangan pada dataran banjir, sedimentasi pada pertemuan sungai, analisis erosi tepi sungai, dan sebagainya.

Lain halnya dengan *Solver* Morpho2D, alat analisis ini dikembangkan oleh Dr. Hiroshi Takebayashi yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi perubahan morfodinamik dua dimensi di sungai. Morpho2D memungkinkan pengguna melakukan simulasi terhadap perubahan morfologi dasar sungai dengan ukuran butiran sedimen seragam dan campuran, dan sebagainya.

Intinya kedua *solver* memiliki kelebihan tersendiri, tetapi mereka termasuk sama-sama menangani simulasi dalam dua dimensi 2D. Dengan digabungkannya kedua *solver* ini dalam *Solver* Nays2DH, pengguna dapat melakukan simulasi angkutan sedimen berdasarkan fungsi yang telah diterapkan pada kedua *solver* (Nays2D dan Morpho2D). Selain itu dengan digabungkannya kedua *solver* ini, pengguna juga dapat melakukan simulasi gabungan terhadap model pertemuan sungai, model erosi tepi, simulasi angkutan sedimen dasar dan sedimen suspensi (*bed load-suspended load*) terhadap sedimen campuran, dan sebagainya. Pengembangan *solver-solver* iRIC ini terus dilakukan agar hasil simulasi komputasi yang dilakukan dapat menyerupai apa yang terjadi di lapangan (Shimizu & Takebayashi, 2014).

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots 1$$

Persamaan Momentum:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(V \frac{\partial(hu)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(V \frac{\partial(hu)}{\partial y} \right)$$

..... 2

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{by}}{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(V \frac{\partial(hv)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(V \frac{\partial(hv)}{\partial y} \right)$$

..... 3

dimana h = kedalaman air; u, v = komponen kecepatan rata-rata kedalaman; τ_{bx} = tegangan geser dasar; ρ = kerapatan air; H = tinggi tahap ($H = h + z_b$); z_b = elevasi dasar; V = viskositas eddy; t = waktu; dan x, y = koordinat spasial dalam sistem Cartesian. Komponen tegangan geser dasar diberikan oleh:

$$\tau_{bx} = \rho C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \dots\dots\dots 4$$

$$\tau_{by} = \rho C_f v \sqrt{u^2 + v^2} \dots\dots\dots 5$$

$$v = \frac{k}{6} u h \dots\dots\dots 6$$

dimana C_f = koefisien gesekan dasar; k = Karman konstan; dan u = kecepatan geser. Persamaan berada dalam sistem koordinat Kartesius. Aturan rantai Jacobian digunakan untuk mengkonversikannya menjadi sistem koordinat batas yang bergerak. Metoda *Cubic interpolation pseudo-particle (CIP)* juga disebut *high-order Godunov*, digunakan untuk

penerapan persamaan aliran air. Variabel secara spasial diinterpolasi pada langkah waktu sebelumnya dengan menggunakan interpolasi *Cubic* dengan asumsi bahwa gradien spasial juga ditransportasi menggunakan persamaan konvektif yang sama. Informasi tentang sejumlah kecil *cell* yang berdekatan cukup untuk pendekatan ini untuk menghitung profil yang tepat dari variabel konveksi. Perubahan dalam konfigurasi aliran dan floodplan dihitung secara numerik pada langkah waktu terkecil yang diizinkan oleh kriteria *CFL*-nya. Perangkat lunak ini telah banyak ditemukan dalam pemodelan sungai, pemetaan banjir bandang (Shokory, J. A. N, Tsutsumi, J. G., Sakai, K. 2016).

H. Bilangan Froude

Bilangan Froude Aliran melalui saluran terbuka dibedakan menjadi tipe aliran sub-kritis (mengalir) dan super kritis (meluncur). Aliran sub-kritis bergantung pada kondisi daerah hilir yang nantinya mempengaruhi keadaan hulu. Keadaan aliran super kritis ini memungkinkan kondisi hulu akan mempengaruhi aliran di sebelah hilir. Penentuan tipe aliran sub-kritis maupun super kritis didasarkan pada nilai Froude (Triadmodjo, 2010). Adapun persamaannya sebagai berikut: $Fr^2 = V^2 g.Y$.

I. Tegangan Geser

Tegangan Geser Dasar (Bottom Shear Stress) Metode perhitungan tegangan geser dasar untuk aliran seragam, didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut . Metode baru perhitungan tegangan geser dasar pada gelombang non linear berdasarkan penggabungan istilah kecepatan dan percepatan yang diberikan melalui kecepatan gesekan sesaat Studi yang melibatkan angkutan sedimen dibawah gelombang sinusoidal telah menunjukkan bahwa angkutan sedimen selama satu siklus gelombang adalah nol. Namun dalam kenyataannya gelombang non linear memiliki asimetris dari kecepatan antara puncak gelombang dan lembah serta percepatan asimetris yang diwujudkan pada gelombang miring dimana transpor sedimen selama satu siklus gelombang dapat dihasilkan. . Dalam metode perhitungan baru diusulkan koefisien percepatan baru, a_c Disini, σ adalah frekuensi angular (U_{max}/a yang mengekspresikan efek non linearitas pada tegangan geser dasar pada gelombang non linear (Stokes) (2) m), sedangkan a_c adalah nilai koefisien percepatan. 3 koefisien percepatan a_c sebagai fungsi dari N_i , Peningkatan dalam non linearitas gelombang memberikan peningkatan nilai koefisien percepatan a_c . N_i adalah parameter gelombang non linearitas yang menunjukkan perbandingan antara kecepatan gelombang dengan hasil penjumlahan kecepatan pada puncak dan lembah gelombang. Sehingga apabila N_i menunjukkan hasil yang tinggi berarti menunjukkan juga profil gelombang non linear yang tinggi pula. Selanjutnya, faktor gesekan f_w diusulkan oleh

Tanaka dan To (1995) seperti yang diberikan pada persamaan (2.24) digunakan untuk menentukan tegangan geser dasar untuk semua metode. Dimana a_m adalah amplitudo orbital suatu fluida yang berada diatas suatu lapisan batas, sedangkan z_0 adalah tinggi kekasaran. Sementara perbedaan fase antara kecepatan aliran bebas dan tegangan geser dasar Untuk percepatan partikel gelombang, menggunakan teori gelombang Stokes Orde 2. Dimana untuk kecepatan partikel gelombang pada arah horizontal, didefinisikan dengan rumus sebagai berikut termasuk efek gelombang skew-ness dibawah gelombang skew yang digunakan dengan menggunakan relasi yang diusulkan oleh Tanaka et.al. (2006). Dimana, κ adalah konstanta Von Karman's yang bernilai 0.4. Dimana, H adalah tinggi gelombang, k adalah wave number. Disini juga dipertimbangkan faktor wave celerity, C untuk kondisi dangkal sama dengan. Dimana g adalah percepatan grafitasi, dan d adalah kedalaman air.