

TUGAS AKHIR
KARAKTER SEDIMEN PADA TIKUNGAN
DI SUNGAI DELI

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

DISUSUN OLEH :

MUHAMMAD VICKY

2007210204



FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Vicky
NPM : 2007210204
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : “ Karakter Sedimen Pada Tikungan Di Sungai Deli ”

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 16 September 2025

Dosen Pembimbing



Yunita Pane, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Vicky

NPM : 2007210204

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : “ Karakter Sedimen Pada Tikungan Di Sungai Deli ”

Medan, 16 September 2025

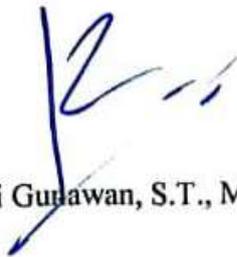
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Yunita Pane, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I



Randi Gunawan, S.T., M.Si.

Dosen Pembanding II



Sayed Iskandar Muda, S.T., M.T.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Vicky
Tempat/Tanggal Lahir : P. Siantar, 25 Februari 2001
NPM : 2007210204
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: "Karakter Sedimen Pada Tikungan Di Sungai Deli".

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kerjasama saya.

Demikian surat pernyataan ini saya perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 September 2025

Saya yang menyatakan,

A 10000 Rupiah Indonesian postage stamp (METERAI TEMBEL) with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the number 10000. The signature is written in black ink over the stamp.

Muhammad Vicky

NPM : 2007210204

ABSTRAK

Karakter Sedimen Pada Tikungan Di Sungai Deli

Muhammad Vicky

2007210204

Yunita Pane, S.T., M.T.

Sungai Deli merupakan salah satu sungai utama di Kota Medan yang mengalami tekanan lingkungan akibat perubahan tata guna lahan dan aktivitas manusia. Kondisi ini mempengaruhi pola aliran serta proses transportasi dan pengendapan sedimen, terutama pada bagian tikungan sungai yang secara hidraulis cenderung memiliki variasi distribusi ukuran butir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sedimen pada tikungan Sungai Deli, meliputi ukuran butir, fraksi pasir–lanau, serta distribusi gradasinya, sekaligus menganalisis pengaruh kondisi aliran terhadap pola pengendapan yang terjadi. Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan sampel sedimen sebanyak ± 1000 gram basah pada tiga posisi berbeda di tikungan sungai, yaitu bagian luar, tengah, dan dalam. Sampel kemudian dikeringkan untuk menghilangkan kadar air, dilanjutkan dengan analisis ayakan menggunakan saringan standar. Data hasil pengayakan dianalisis secara manual untuk memperoleh persentase tertahan, kumulatif, dan lolos (finer), serta ditentukan parameter ukuran butir (D10, D30, D50, D60), koefisien keseragaman (Cu), dan koefisien gradasi (Cc). Hasilnya divisualisasikan dalam bentuk grafik komposisi sedimen dan kurva gradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimen di ketiga lokasi didominasi oleh fraksi pasir dengan variasi kandungan lanau dan sedikit pasir kasar. Pada bagian luar sungai, komposisi didominasi pasir sebesar 62,16%, lanau 25,62%, dan pasir kasar 12,22%. Bagian tengah sungai didominasi pasir sebesar 71,10% dan lanau 28,91%. Sementara pada bagian dalam sungai, komposisi terdiri atas pasir 55,50%, lanau 36,17%, dan pasir kasar 8,33%. Analisis kurva gradasi menunjukkan bahwa nilai D50 bervariasi antara 0,16–0,79 mm, dengan nilai $Cu > 15$ yang mengindikasikan sedimen bersifat tidak seragam. Kondisi ini sejalan dengan dinamika aliran di tikungan, di mana bagian luar cenderung mengalami erosi dan membawa butiran yang lebih kasar, sedangkan bagian dalam lebih banyak mengendapkan butiran halus. Kesimpulannya, karakteristik sedimen pada tikungan Sungai Deli menunjukkan variasi gradasi dan distribusi ukuran butir yang erat kaitannya dengan posisi relatif terhadap aliran. Temuan ini memberikan gambaran penting mengenai proses transportasi sedimen yang dapat dijadikan dasar dalam pengelolaan sungai dan mitigasi permasalahan lingkungan di kawasan perkotaan.

Kata kunci: Sedimen, Sungai Deli, Tikungan Sungai, Ukuran Butir, Gradasi

ABSTRACT

Sediment Characteristics At Bends In The Deli River

Muhammad Vicky

2007210204

Yunita Pane, S.T., M.T.

The Deli River is one of the main rivers in Medan City that has been significantly affected by land use changes and human activities. These conditions influence flow patterns as well as sediment transport and deposition processes, particularly at river bends where hydraulic variations tend to produce differences in grain size distribution. This study aims to investigate the sediment characteristics at a bend of the Deli River, including grain size, sand–silt fractions, and gradation distribution, as well as to analyze the influence of flow conditions on sediment deposition patterns. The research method involved collecting sediment samples of approximately 1000 grams (wet weight) from three positions across the river bend: the outer, middle, and inner banks. Samples were dried to remove water content, followed by sieve analysis using standard sieves. The results were manually processed to obtain retained percentages, cumulative percentages, and finer percentages, and to determine grain size parameters (D10, D30, D50, D60), the coefficient of uniformity (Cu), and the coefficient of gradation (Cc). The findings were presented in sediment composition charts and gradation curves. The results indicate that sediments in all three locations are dominated by sand fractions with varying contents of silt and small amounts of coarse sand. On the outer bend, the composition consists of sand (62.16%), silt (25.62%), and coarse sand (12.22%). The middle section is dominated by sand (71.10%) and silt (28.91%). Meanwhile, the inner bend is composed of sand (55.50%), silt (36.17%), and coarse sand (8.33%). Gradation curve analysis shows that D50 values range between 0.16–0.79 mm, with Cu values greater than 15, indicating poorly graded sediments. This condition corresponds to the flow dynamics in the bend, where the outer bank tends to experience erosion and transport coarser particles, while the inner bank deposits finer particles. In conclusion, the sediment characteristics of the Deli River bend exhibit gradation variations and grain size distributions that are closely related to the relative position of flow. These findings provide important insights into sediment transport processes, which can serve as a basis for river management and mitigation of environmental problems in urban areas.

Keywords: *Sediment, Deli River, River Bend, Grain Size, Gradation*

KATA PENGANTAR



Assalamu 'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ Karakter Sedimen Pada Tikungan Di Sungai Deli ” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada:

1. Ibu Yunita Pane, ST.,MT. Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan memberi saran demi kelancaran proses penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Randi Gunawan, S.T.,M,Si. Selaku Dosen Pembimbing-I yang telah banyak memberi koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sayed Iskandar Muda, S.T.,M,T. Selaku Dosen Pembimbing-II yang telah banyak memberi koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik sipil kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Teristimewa sekali kepada Ibunda tercinta Nuriana saya yang dengan tulus memberi doa, kasih sayang, nasehat, serta dukungan semangat penuh cinta yang tidak pernah ternilai harganya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Secara khusus, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada yang terkasih Anggita Damayanti S.E., yang telah menjadi salah satu sumber semangat dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kesabaran, pengertian, serta dukungan moral yang telah diberikan dalam setiap situasi, baik suka maupun duka
9. Rekan seperjuangan Kelas A3 Malam Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2020. Yang telah memberikan perhatian serta dukungan dalam menjalankan perkuliahan. Terimakasih saya ucapkan sudah menjadi bagian dari sebuah kisah yang takkan terlupakan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan masukan yang membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Medan, 19 September 2025

Saya yang menyatakan,

Muhammad Vicky

2007210204

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Saluran Terbuka	5
2.2 Geometri Saluran	6
2.3 Bentuk Saluran	7
2.4 Daerah Aliran Sungai	7
2.4 Klasifikasi Aliran	8
2.4.1 Aliran permanen dan tidak permanen	8
2.4.2 Aliran Seragam dan Tidak Seragam	9
2.4.3 Aliran Laminer dan Turbulen	10
2.4.4 Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis	13
2.5 Sungai	14
2.6 Tikungan Sungai	15
2.7 Morfologi Sungai	16
2.8 Pola Aliran Sungai	18

2.9 Bentuk Daerah Pengaliran Sungai	18
2.10 Alur Sungai	19
2.11 Sedimen	20
2.12 Permulaan Gerak Butir Sedimen	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Metode Penelitian	32
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	34
3.3 Peralatan Penelitian	34
3.4 Variabel Penelitian	34
3.5 Langkah-Langkah Penelitian	35
3.6 Pencatatan Data	35
3.7 Sungai Deli	36
3.8 Analisa Data	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	39
HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Deskripsi Umum Lokasi Penelitian	39
4.2 Analisis Sedimen Bagian Luar Tikungan	39
4.3 Analisis Sedimen Bagian Tengah Tikungan	41
4.4 Analisis Sedimen Bagian Dalam Tikungan	42
4.5 Perbandingan dan Pembahasan	44
4.6 Penutup	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	50
BIODATA PENULIS	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 : Proses Awal Sedimen	21
Tabel 4. 1 Distribusi Sedimen Bagian Luar Sungai	40
Tabel 4. 2 Distribusi Sedimen Bagian Tengah Sungai	41
Tabel 4. 3 Distribusi Sedimen Bagian Dalam Sungai	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 : Geometri Penampang Persegi dan Trapezium	6
Gambar 2. 2 : Macam-macam Bentuk Saluran Terbuka; Trapezium, Persegi Panjang, Segitiga, dan Saluran Alam	7
Gambar 2. 3 : Aliran Turbulen dan Laminer	12
Gambar 2. 4 : Pola Penjalaran Gelombang di Saluran Terbuka	14
Gambar 2. 5 : Tampang Panjang Saluran Dengan Dasar Granuler	21
Gambar 2. 6 : Angkutan Sedimen Pada Tampang Panjang Dengan Dasar Granuler	21
Gambar 2. 7 : Transpor Sedimen Dalam Aliran Air Sungai	24
Gambar 2. 8 : Bagan Mekanisme Dan Asal Bahan Sedimen	27
Gambar 2. 9 : Permulaan Gerak Butiran	28
Gambar 2. 10 : Grafik Tegangan Geser	29
Gambar 3. 1 : Bagan Alir Penelitian	33
Gambar 3. 3 : Hulu Sungai Deli Medan.	36
Gambar 3. 4 : Denah Hulu Sungai	37

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Komposisi Sedimen Bagian Luar	40
Grafik 4. 2 Komposisi Sedimen Bagian Tengah	42
Grafik 4. 3 Komposisi Sedimen Bagian Dalam	44
Grafik 4. 4 Kurva Perbandingan Komposisi Sedimen Luar, Tengah dan Dalam	45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai adalah saluran alamiah yang ada di permukaan bumi yang menampung dan menyalurkan air hujan dari daerah yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah dan akhirnya bermuara ke danau atau laut. Di dalam aliran air terangkut juga material-material sedimen yang berasal dari proses erosi yang terbawa oleh aliran air dan dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan akibat sedimentasi dimana aliran air tersebut akan bermuara yaitu di danau atau di laut.

Sungai pada umumnya memiliki karakteristik sifat yaitu terjadinya perubahan morfologi pada bentuk dan tampang aliran. Perubahan pada sungai umumnya terjadi akibat dari faktor alam atau faktor manusia seperti adanya bangunan – bangunan air pada badan sungai seperti pilar, abutmen, bending dan sebagainya. Sifat dinamis pada sungai, suatu waktu akan dapat memberikan pengaruh kerusakan pada bangunan yang ada disekitarnya.

Salah satu permasalahan yang terjadi pada sungai adalah sedimentasi. Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (deposition). Proses tersebut berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetic yang merupakan awal dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal pada tanah sedangkan sebagian lagi masuk ke dalam sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen (Iskandar dkk., 2013).

Pengendapan umumnya merupakan akibat adanya erosi dan sebagai perantara utamanya adalah air. Di sungai ataupun saluran – saluran irigasi, jika terjadi pengendapan akan menyebabkan pendangkalan dan hal ini sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia. Pada bagian tikungan sungai, fenomena sedimen menjadi lebih kompleks. Aliran air cenderung lebih cepat di bagian luar tikungan (cut bank) yang menyebabkan erosi, sedangkan pada bagian dalam tikungan (point bar) kecepatan aliran menurun sehingga terjadi pengendapan sedimen. Kondisi ini sesuai dengan pendapat Knighton (1998) yang menyatakan

bahwa tikungan sungai adalah zona dinamis tempat terjadinya perpindahan sedimen secara intensif yang memengaruhi perubahan morfologi sungai.

Semakin besar debit yang dialirkan, semakin banyak bed load yang terangkut (Ikhsan Cahyono, 2007). Angkutan sedimen tersebut pada waktu tertentu akan diendapkan pada suatu tempat. Sedimentasi dapat terjadi pada badan sungai, muara sungai, maupun pantai.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, perlu diadakan studi eksperimen mengenai karakter sedimen pada saluran terbuka tepatnya pada tikungan sungai. Maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tugas akhir dengan judul **“Karakter Sedimen Pada Tikungan Di Sungai Deli ”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik sedimen (ukuran butir, fraksi pasir–lanau–lempung, serta distribusi) pada tikungan Sungai Deli?
2. Bagaimana pengaruh kondisi aliran terhadap pola pengendapan dan distribusi sedimen pada tikungan Sungai Deli?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah sebagaimana yang diuraikan di atas, maka tujuan penelitian adalah :

1. Menganalisis karakteristik sedimen yang terdapat pada tikungan Sungai Deli.
2. Mengetahui hubungan antara pola aliran dengan distribusi serta pengendapan sedimen pada tikungan Sungai Deli.

1.4 Manfaat Penelitian

Bagi keilmuan bidang teknik sipil memberikan tambahan pengetahuan tentang karakter sedimen pada tikungan di sungai deli.

Hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat membantu memahami dan menjadi referensi tambahan dalam kajian hidrolika dan morfologi sungai, khususnya mengenai karakter sedimen pada tikungan sungai.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada analisis karakter sedimen pada tikungan Sungai Deli di Kota Medan. Penelitian dilakukan melalui:

- Observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi fisik tikungan sungai.
- Pengukuran parameter hidraulika seperti kedalaman, kecepatan aliran, dan debit sungai.
- Pengambilan sampel sedimen secara langsung di lapangan untuk dianalisis karakteristiknya (ukuran butir, distribusi, dan jenis sedimen) menggunakan metode perhitungan dan klasifikasi standar.
- Kajian hubungan antara kondisi aliran dengan pola pengendapan dan distribusi sedimen di tikungan sungai.

Penelitian ini tidak menekankan pada analisis laboratorium yang mendetail, melainkan lebih pada pengolahan data lapangan dan pendekatan teoritis untuk menjelaskan karakter sedimen pada tikungan Sungai Deli.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan ini merupakan susunan yang serasi dan teratur oleh karena itu dibuat dengan komposisi bab-bab mengenai pokok-pokok uraian sehingga mencakup pengertian tentang apa dan bagaimana, jadi sistematika penulisan diuraikan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori yang berupa pengertian dan landasan teori dari penelitian sebelumnya dan metode metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dapat diuraikan mengenai tahapan penelitian, tentang bagaimana penelitian dilaksanakan, Teknik pengumpulan data, metode analisis.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang data hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam Bab ini merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan dan saran atas hasil penelitian yang sudah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Saluran Terbuka

Menurut (Harseno & Setdin, 2007) Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik disepanjang saluran, tekanan dipermukaan air adalah sama. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), Parameter saluran sangat tidak teratur baik terhadap ruang dan waktu.

Parameter tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, pembendungan, debit aliran dan sebagainya. Hal ini menyangkut sifat-sifat fluida dan pengaruhnya terhadap pola aliran dan gaya yang akan timbul di antara fluida dan pembatas (dinding). Telah diketahui secara umum bahwa akibat adanya perilaku terhadap aliran untuk memenuhi kebutuhan manusia, menyebabkan terjadinya perubahan alur aliran dalam arah hozintal maupun vertikal.

Sifat aliran saluran terbuka berbeda dengan aliran saluran tertutup. Artinya, aliran air di saluran terbuka memiliki permukaan bebas, tekanan air di permukaan bebas sama dengan tekanan atmosfer, dan ketergantungan muncul. Antara radius permukaan basah, viskositas cairan, kemiringan dasar saluran, kekasaran dasar, dan berbagai geometri saluran

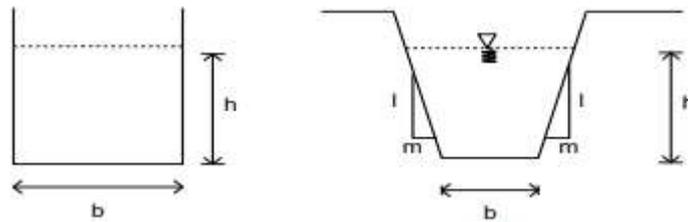
Berbagai permasalahan teknik yang berhubungan dengan aliran terkadang tidak dapat diselesaikan dengan analitis, maka harus melakukan pengamatan dengan membuat suatu bentuk saluran atau alat peraga, bentuk saluran ini mempunyai bentuk yang sama dengan permasalahan yang diteliti, tetapi ukuran dimensi lebih kecil dari yang ada di lapangan

Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu, saluran alam (natural) dan saluran buatan (artificial). Saluran alam merupakan suatu aliran yang meliputi semua alur aliran air secara alami, seperti sungai yang kecil dan besar dimana alirannya mengalir dari hulu ke hilir. Saluran buatan saluran yang dibuat dan direncanakan sesuai dengan konteks pemanfaatnya seperti, saluran irigasi, saluran drainase, saluran pembawa pada pembangkit listrik tenaga air dan saluran untuk

industri. Karakteristik aliran yang terjadi pada saluran buatan merupakan aliran seragam yang terjadi di sepanjang saluran. Oleh karena itu, penerapan teori hidrolika untuk saluran buatan dapat membuahkan hasil yang cukup sesuai dengan kondisi sesungguhnya, dengan demikian cukup teliti untuk keperluan perancangan praktis.

2.2 Geometri Saluran

Geometri (penampang) saluran, (*channel section*) adalah tegak lurus terhadap arah aliran sedangkan penampang vertikal saluran (*vertical channel section*) adalah suatu penampang melalui titik terbawah atau terendah dari penampang saluran Gambar 1.



Gambar 2. 1 Geometri Penampang Persegi dan Trapezium

$$\text{Luas (A)} = b \times h$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2h$$

$$\text{Jari jari Hidrolik (R)} = bh / (b + 2h)$$

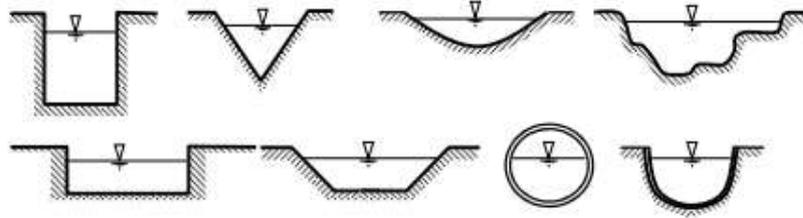
Dimana :

$$b = \text{lebar dasar saluran (m)}$$

$$h = \text{tinggi kedalaman air (m)}$$

2.3 Bentuk Saluran

Terdapat banyak bentuk penampang saluran terbuka antara lain penampang bentuk trapesium, penampang bentuk persegi panjang, penampang bentuk segitiga, penampang bentuk parit dangkal, dan penampang saluran alam yang tidak beraturan.



Gambar 2. 2 Macam-macam Bentuk Saluran Terbuka; Trapesium, Persegi Panjang, Segitiga, dan Saluran Alam

2.4 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang di batasi punggung-punggung gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama (Asdak, 2002). Karakteristik DAS mencakup jenis tanah, tata guna lahan dan penutupan lahan, topografi, kemiringan.

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daratan yang menjadi tempat mengalirnya air, baik air hujan, mata air, maupun limpasan, menuju sungai utama dan akhirnya bermuara ke laut atau danau. DAS sering disebut juga sebagai *catchment area* atau *drainage basin*.

Komponen Utama DAS:

a) Hulu DAS

- Berada di bagian atas DAS, biasanya berupa kawasan pegunungan atau perbukitan.
- Berfungsi sebagai daerah resapan air dan sumber mata air.

b) Tengah DAS

- Berada di antara hulu dan hilir.
- Merupakan tempat aliran sungai utama dan anak-anak sungai bersatu.

- Banyak digunakan untuk aktivitas manusia, seperti pertanian atau pemukiman.

c) Hilir DAS

- Bagian terendah DAS, biasanya dekat dengan laut, danau, atau sungai besar.
- Rawan banjir karena menjadi tempat akumulasi air.

Fungsi DAS:

- Hidrologis: Mengatur siklus air di wilayah tertentu.
- Ekologis: Mendukung keanekaragaman hayati.
- Ekonomis: Sebagai sumber air untuk irigasi, pembangkit listrik, dan kebutuhan masyarakat.
- Sosial: Menyediakan ruang untuk aktivitas manusia, seperti pemukiman dan rekreasi.

2.4 Klasifikasi Aliran

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*).

Dalam morfologi klasik, arah membujur dasar sungai dapat dibedakan menjadi lurus, bercabang dan berkelok-kelok. Bentuk alur sungai sangat ditentukan oleh kemiringan dasar sungai dan sedimen yang membentuk dasar sungai (Mangelsdorf & Scheuermann, 1980). Penampang memanjang sungai mempengaruhi kecepatan aliran pada sungai.

2.4.1 Aliran permanen dan tidak permanen

Menurut (Latif dkk., 2019) Jika kecepatan aliran pada suatu titik pada saluran tidak berubah terhadap waktu maka aliran tersebut termasuk kedalam aliran permanen (*steady flow*), namun jika kecepatan aliran pada suatu titik pada saluran berubah seiring berjalannya waktu maka aliran tersebut termasuk kedalam aliran tidak permanen (*unsteady flow*).

Dalam kondisi tertentu ada kemungkinan aliran tidak permanen dapat ditransformasikan ke aliran permanen berdasarkan pada titik terjadinya perubahan kecepatan aliran yang ditandai dengan pergerakan aliran yang berbeda. Dengan demikian ada beberapa keuntungan yang didapatkan seperti kemudahan visualisasi, kemudahan penulisan persamaan yang terkait, dan sebagainya. Namun penyederhanaan ini hanya memungkinkan jika bentuk gelombang yang ada tidak berubah dalam perambatannya (beraturan).

Seperti yang dimisalkan oleh (Latif dkk., 2019), bentuk gelombang kejut (*surge*) tidak berubah ketika merambat pada saluran halus, dan konsekuensinya perambatan gelombang kejut yang tidak permanen dapat dikonverikan menjadi aliran permanen dengan koordinat referensi yang bergerak dengan kecepatan absolut gelombang kejut. Hal ini akan ekivalen dengan pengamatan yang bergerak disamping gelombang kejut sehingga gelombang kejut terlihat tetap oleh pengamat jadi aliran air dapat dianggap sebagai aliran permanen. Namun jika bentuk gelombang berubah selama perambatannya (tidak beraturan) maka tidak memungkinkan untuk ditransformasikan ke aliran permanen. Sebagai contoh dapat kita lihat pada gelombang banjir yang merambat pada sungai alamiah tidak dapat ditransformasikan menjadi aliran permanen, karena bentuk gelombang tidak beraturan seiring dengan perambatannya pada saluran sungai.

2.4.2 Aliran Seragam dan Tidak Seragam

Menurut (Latif dkk., 2019) Jika kecepatan aliran pada waktu tertentu tidak berubah pada sepanjang saluran yang ditinjau maka alirannya disebut aliran seragam (*uniform flow*). Sebaliknya aliran tak seragam (*nonuniform flow*) berarti kecepatan aliran pada sepanjang saluran yang berubah pada waktu tertentu

Terkadang kecepatan aliran air dalam saluran tidak langsung berubah dan berubah pada jarak tertentu saja hal semacam itu dapat disebut juga sebagai aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) atau aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

2.4.3 Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran laminer adalah aliran dengan partikel zat cair yang bergerak pada saluran yang gerakannya menyerupai serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang paralel. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran dengan partikel zat cair pada saluran yang bergerak secara tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang maupun waktu.

Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Dengan kata lain dapat dikatakan apabila gaya viskositas dominan maka akan terjadi aliran laminer, dan apabila gaya inersia dominan maka akan terjadi aliran turbulen. Hubungan antara gaya viskositas dan juga gaya inersia dapat dinyatakan dalam bilangan Reynold (Re) yang dirumuskan sebagai:

$$Re = (v \cdot L) / \nu$$

Dengan:

v = kecepatan aliran (m/s)

L = panjang karakteristik (m)

R = jari-jari hidraulik saluran

ν = viskositas (m^2/s)

dimana viskositas didefinisikan sebagai:

$$\nu = (\mu) / \rho_w$$

Dengan:

ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)

μ = kekentalan dinamik (kg/ms)

di mana kekentalan kinematik didefinisikan sebagai

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dimana :

μ = kekentalan dinamik dengan satuan kg/m.d

ρ = kerapatan air dengan satuan kg/m³

Adapun sifat-sifat aliran berdasarkan pengaruh gaya kelebaman dengan gaya kekentalan yaitu:

- 1) Aliran Laminer yaitu suatu aliran dimana gaya-gaya kekentalan relatif lebih besar dibanding dengan gaya kelebaman sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Pada aliran ini partikel cairan seolah-olah bergerak secara teratur sepanjang saluran.
- 2) Aliran Turbulen yaitu apabila kecepatan aliran lebih besar daripada kekentalan dalam hal ini partikel zat cair dalam aliran bergerak secara tidak teratur, tidak lancar, tidak tetap, walaupun partikel bergerak maju dalam kesatuan aliran secara keseluruhan.
- 3) Aliran Transisi yaitu aliran peralihan dari lamer ke turbulen dimana kekentalan relatif terhadap kecepatan aliran.

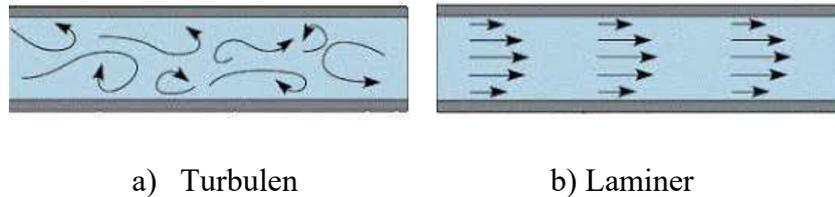
Klasifikasi aliran berdasarkan Bilangan Reynolds dapat dibedakan menjadi tiga kategori seperti berikut ini (French,1985) :

$Re < 500$	aliran laminar
$500 < Re < 12.500$	aliran transisi
$Re > 12.500$	aliran turbulen

Umunnya aliran pada saluran terbuka mempunyai $Re > 12.500$ sehingga alirannya termasuk dalam kategori aliran turbulen.

Berdasarkan Bilangan Reynolds, aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua yaitu aliran turbulen dan aliran laminer. Di samping itu turbulensi juga merupakan fenomena yang kontinyu. Proses kejadian hujan dapat dikatakan merupakan aliran turbulen.tiga dimensi karena ruangnya terletak di udara. Sehingga bila diterjemahkan dalam bentuk persamaan matematis juga harus dalam bentuk tiga dimensi.

Gerakan air pada saluran terbuka berdasarkan efek dari gravitasi bumi dan distribusi tekanan di dalam air umumnya bersifat hidrostatis. Distribusi tekanan di dalam air hidrostatis karena kuantitasnya tergantung dari berat jenis aliran dan kedalaman. Karena berat jenis aliran dapat diasumsikan tetap, maka tekanan hanya tergantung kedalamannya; semakin dalam tekanannya semakin besar. Namun pada beberapa kondisi bisa ditemukan distribusi tekanan tidak hidrostatis.



Gambar 2. 3 Aliran Turbulen dan Laminer

Seperti sudah dijelaskan diatas aliran pada saluran terbuka hampir seluruh alirannya bersifat turbulen. Hanya pada batas-batasnya (dasar saluran dan tebing saluran/river bank) ada bagian kecil aliran yang bersifat laminer. Gambar di bawah ini mengilustrasikan aliran pada saluran terbuka.

Distribusi kecepatan aliran disebabkan oleh tekanan pada muka air akibat adanya perbedaan fluida antara udara dan air, dan juga akibat gaya gesekan pada dinding saluran (dasar maupun dinding saluran) maka kecepatan aliran pada suatu potongan melintang saluran tidak seragam. Ketidak seragaman ini juga disebabkan oleh bentuk penampang melintang saluran, kekasaran saluran, dan lokasi saluran (saluran lurus atau pada belokan).

Tidak seperti aliran dalam pipa, dimana diameter pipa biasanya dipakai sebagai panjang karakteristik, pada aliran bebas dipakai kedalaman hidraulik atau jari-jari hidraulik sebagai panjang karakteristik. Kedalaman hidraulik didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi lebar permukaan air, sedangkan jari-jari hidraulik didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi keliling basah. Batas peralihan antara aliran laminer dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan Reynold, $Re \pm 600$, yang dihitung berdasarkan jari-jari hidraulik sebagai panjang karakteristik.

Dalam kehidupan sehari-hari, aliran laminar pada saluran terbuka sangat jarang ditemui. Aliran jenis ini mungkin dapat terjadi pada aliran dengan kedalaman sangat tipis di atas permukaan gelas yang sangat halus dengan kecepatan yang sangat kecil.

2.4.4 Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia, yang dinyatakan dengan bilangan Froude (Fr). Untuk saluran berbentuk persegi, bilangan Froude didefinisikan sebagai :

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

dengan V = kecepatan aliran (m/det),

h = kedalaman aliran (m),

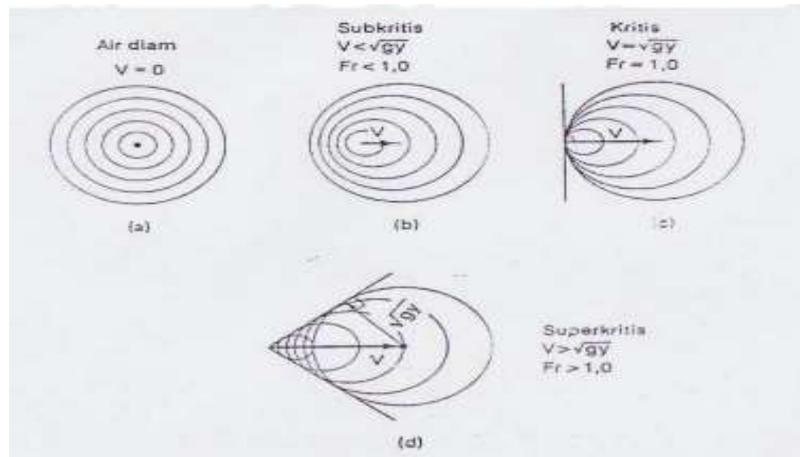
g = percepatan gravitasi (m/det²)

$\sqrt{g \cdot h}$ = kecepatan gelombang dangkal

Sehingga :

1. Aliran bersifat Kritis apabila $Fr = 1$, dimana kecepatan aliran sama dengan kecepatan rambat gelombang .
2. Aliran bersifat subkritis apabila $Fr < 1$, dimana kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan rambat gelombang .
3. Aliran bersifat superkritis apabila $Fr > 1$, dimana kecepatan aliran lebih besar dari pada kecepatan rambat gelombang.

Berikut gambar aliran sub kritis, aliran super kritis, aliran kritis:



Gambar 2. 4 : Pola Penjalaran Gelombang di Saluran Terbuka

Pada gambar di atas diperlihatkan suatu saluran panjang dengan tiga jenis kemiringan, subkritis, kritis dan superkritis. Pada kemiringan subkritis (Gambar a) permukaan air di zona peralihan tampak bergelombang. Aliran dibagian tengah saluran bersifat seragam namun kedua ujungnya bersifat berubah. Pada kemiringan kritis (Gambar b) permukaan air dari aliran kritis ini tidak stabil. Dibagian tengah dapat terjadi gelombang tetapi kedalaman rata-ratanya konstan dan alirannya dapat dianggap seragam. Pada kemiringan superkritis (Gambar c) permukaan air beralih dari keadaan subkritis menjadi superkritis setelah melalui terjunan hidrolis lambat laun.

2.5 Sungai

Sungai adalah alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan (PP No. 38 tahun 2011). Sungai merupakan torehan dipermukaan bumi yang merupakan penampung dan penyalur alamiah aliran air dan material yang dibawahnya dari bagian hulu ke bagian hilir suatu daerah pengaliran ke tempat yang lebih rendah dan akhirnya bermuara ke laut.

Sungai juga didefinisikan sebagai paduan antara alur sungai dan aliran air didalamnya. Daerah aliran sungai merupakan lahan total dan permukaan air yang dibatasi oleh suatu batas topografi dan salah satu cara memberikan sumbangan

terhadap debit suatu sungai yang merupakan suatu alur tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan. (Sehyan, 1990).

Secara umum sungai dapat dibagi berdasarkan pengalirannya pada daerah hulu di pegunungan dengan lereng yang curam pada umumnya sungainya lurus sedang pada daerah lereng dengan topografi sangat landai dekat muara terjadi meander dan juga sering terbentuk delta. Di hulu pada umumnya sungai mengalir deras oleh karena kemiringan medannya yang sangat terjal, sedang sungai dibagian hilir sudah memasuki dataran rendah yang kemiringan medannya cukup landai, sehingga kecepatan air menjadi lambat dan sering terjadi pengendapan sedimen, yang menyebabkan sungai menjadi mudah berpindah-pindah arus dan berbelok-belok.

Sungai dengan kemiringan yang landai menyebabkan kecepatan air menurun sedimen akan mengendap yang menyebabkan terjadinya hambatan aliran air berakibat berubahnya sungai menjadi berbelok-belok dan semakin lebar. Dari hal tersebut di atas sungai dengan aliran yang tetap, berbagai macam morfologi ada sungai belok menjadi lurus dan sebaliknya, dan ada yang menganyam menjadi lurus atau berbelok. Pada bagian hulu sungai pada umumnya terjal dimana aliran yang terjadi adalah aliran kritis – turbulen, sedang pada bagian hilir dimana alirannya landai dan berbelok-belok sehingga terjadi aliran subkritis-turbulen.

Berdasarkan segi hidrologi sungai mempunyai fungsi utama yaitu menampung curah hujan dan mengalirkannya sampai ke laut. Daerah pengaliran sungai (DPS) sendiri memiliki definisi sebagai daerah dimana sungai memperoleh air yang merupakan daerah tangkapan hujan, atau sebagai unit kesatuan wilayah tempat air hujan menjadi aliran permukaan dan mengumpul ke sungai menjadi aliran sungai, dan dibatasi oleh punggung permukaan bumi yang dapat memisahkan dan membagi air hujan menjadi aliran permukaan ke masing-masing daerah pengaliran sungai.

2.6 Tikungan Sungai

Tikungan sungai adalah bagian dari sungai yang berbelok atau melengkung membentuk kurva. Tikungan ini terjadi secara alami karena aliran air yang

mengikis bagian luar tikungan (disebut tebing luar atau *cut bank*) dan mengendapkan sedimen di bagian dalam tikungan (disebut *point bar*). Tikungan-tikungan sungai ini sering berkembang menjadi bentuk yang lebih melingkar seiring waktu, terutama pada sungai-sungai yang mengalir di dataran rendah.

Faktor yang memengaruhi terbentuknya tikungan sungai:

- a) Kecepatan Aliran: Air mengalir lebih cepat di bagian luar tikungan, menyebabkan erosi, sementara di bagian dalam aliran lebih lambat sehingga terjadi pengendapan.
- b) Topografi: Kemiringan dan jenis tanah di sekitar sungai memengaruhi pola aliran air.
- c) Volume Air: Aliran dengan debit besar cenderung membentuk tikungan yang lebih tajam.

Karakteristik yang spesifik pada sebuah tikungan sungai, yaitu aliran air di belokan yang dapat menyebabkan gerusan pada bagian luar tikungan, sedang bagian dalam belokan dalam terjadi endapan. Sungai mempunyai banyak masalah pada gerusan pada bagian luar tikungan sungai, pada bagian dalam tikungan terjadi endapan secara terus menerus (Mozaffari dkk, 2011, Masjedi dkk, 2007).

Jika dibiarkan tanpa perubahan buatan, tikungan-tikungan sungai bisa berkembang menjadi meander yang akhirnya dapat memisahkan diri menjadi danau tapal kuda (*oxbow lake*).

2.7 Morfologi Sungai

Morfologi sungai adalah ilmu yang mempelajari perubahan bentuk dan perilaku sungai terhadap dimensi ruang dan waktu, sifat dinamik yang punya hubungan satu dengan lainnya. Morfologi sungai dipengaruhi oleh besarnya kemiringan dan bentuk daerah aliran sungainya.

Studi morfologi sungai terbagi dalam 3 (tiga) dimensi, yaitu ;

- 1) Pengaruh fenomena alam
- 2) Pergerakan air yang membawa endapan (sediment)
- 3) Pengaruh waktu ke waktu

Hubungan morfologi sungai utamanya data hidrolika untuk keperluan desain bangunan teknik sipil di sungai yaitu ;

- 1) Pemeliharaan sungai
- 2) Penggunaan air sungai
- 3) Pengembangan wilayah sungai
- 4) Pekerjaan Perbaikan dan pelestarian lingkungan sungai.

Unsur-unsur morfologi sungai untuk menunjang rancangan bangunan adalah parameter dan dimensi sungai; serta fenomena dan karakter sungai; geometri sungai dan waktu serta akibat perubahan morfologi sungai itu sendiri. Perubahan morfologi sungai yang berhubungan dengan aspek-aspek desain bangunan sipil yaitu :

- 1) **Geometri Sungai** ; Menganalisis geometri sungai meliputi pembuatan topografi, alur, dan palungsungai serta lembah disekitar sungai. Untuk geometri diperlukan data :Lebar sungai; Panjang sungai; Kemiringan; Sudut belokan; elevasi dan azimuth arah arus.
- 2) **Data Hidrograf**; Data Hidrograf diperlukan untuk menunjang desain persungai. Data-data tersebut adalah:Volume banjir; Volume pengaliran; Tinggi muka air; Kecepatan naik dan turunnya pengaliran; lamanya waktu mencapai debit puncak; dan debit puncak.
- 3) **Hidrolika Sungai**; Pengaliran di sungai dapat berupa aliran laminar, turbulen, loncatan; pusarandan lain sebagainya. Pengaliran ini mengakibatkanpartikel dasar sungai bergerak tergantung dari butiran dan berat jenis sedimen. Berdasarkan Geometri sungai menyebabkan pengaliran yang berbeda-beda arah sehingga akan berdampak pada ;
 - a) Angkutan sedimen
 - b) Rembesan pada tebing sungai
 - c) Gerusan dasar sungai
 - d) Gerusan tebing sungai akibat adanya gaya setrifugal,mengakibatkan terjadinya aliran spiral dan pusaran air
 - e) Perubahan karakter sungai tersebut membentuk sungai yang berbelok dan menganyam.

2.8 Pola Aliran Sungai

Sungai di dalam semua DPS mengikuti aturan bahwa aliran sungai dihubungkan oleh suatu jaringan satu arah dimana cabang selain anak sungai mengalir ke dalam sebagai induk yang lebih besar dan membentuk suatu pola tertentu yang tergantung pada kondisi topografi, geologi, iklim, dan vegetasi yang terdapat dalam daerah pengaliran sungai. Beberapa pola aliran yang terdapat di Indonesia yaitu :

a) Radial

Pola ini biasanya dijumpai di daerah lereng gunung atau di daerah dengan topografi berbentuk kubah.

b) Rektangular

Pola ini biasa di jumpai pada daerah batuan berkapur.

c) Trellis

Pola ini biasanya dijumpai pada daerah dengan lapisan sedimen di daerah pengunungan lipatan.

d) Denritik

Pola ini pada umumnya terdapat daerah batuan sejenis dengan penyebaran yang luas;

2.9 Bentuk Daerah Pengaliran Sungai

Pola-pola aliran ini menentukan bentuk suatu daerah pengaliran sungai yang secara umum dapat dibedakan dalam empat bentuk yaitu:

a) Bentuk Memanjang

Bentuk ini induk sungai akan memanjang dengan anak-anak sungai langsung masuk ke induk sungai, dengan debit banjir yang relatif kecil karena perjalanan banjir dari anak-anak sungai memiliki waktu yang berbeda-beda.

b) Bentuk Radial

Bentuk ini terjadi karena arah alur sungai seolah-olah memusat pada satu titik sehingga menggambar bentuk radial, kipas, atau lingkaran. Pada bentuk ini waktu yang diperlukan aliran yang datang dari segala penjuru arah alur sungai memerlukan waktu yang relatif bersamaan, sehingga bila hujan yang sifatnya

merata diseluruh daerah pengaliran sungai terjadi maka banjir besar akan terjadi.

c) Bentuk Paralel

Daerah pengaliran sungai ini dibentuk oleh dua lajur sub daerah pengaliran sungai yang menyatu dibagian hilir. Banjir yang terjadi pada bentuk ini biasanya terjadi setelah disebelah dibagian hilir titik pertemuan kedua alur sungai sub daerah pengaliran sungai tersebut.

d) Bentuk Kompleks

Bentuk ini merupakan gabungan dasar-dasar dua atau lebih bentuk daerah pengaliran.

2.10 Alur Sungai

Secara sederhana alur sungai dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

a) Bagian Hulu

Pada umumnya alur sungai bagian hulu melalui daerah pengunungan, perbukitan, atau lereng gunung api yang memiliki cukup ketinggian dari muka laut, sehingga dapat disebut sumber erosi. Alur sungai dibagian hulu biasanya mempunyai kecepatan aliran yang lebih besar dari pada bagian hilir, sehingga pada saat banjir material hasil erosi yang diangkut berupa pasir, kerikil, dan batuan.

b) Bagian Tengah

Bagian tengah umumnya memiliki penampang berbentuk peralihan bentuk V dan bentuk U sehingga daya tampungnya masih dapat menerima aliran banjir, bagian ini juga merupakan daerah keseimbangan antara proses dan sedimentasi, serta merupakan daerah peralihan dari bagian hulu dan hilir.

c) Bagian Hilir

Bagian ini biasanya alur sungainya melalui daerah pedataran dengan kemiringan dasar sungai landai sehingga kecepatan alirannya lambat, dan memungkinkan proses pengendapan terjadi dengan mudah.

2.11 Sedimen

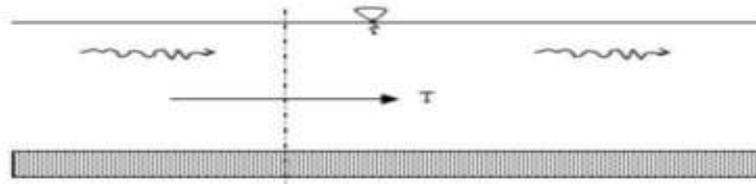
Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang terangkut oleh aliran dari bagian hulu akibat dari erosi. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Sedimen dapat berada di berbagai lokasi dalam aliran, tergantung pada keseimbangan antara kecepatan ke atas pada partikel (gaya tarik dan gaya angkat) dan kecepatan pengendapan partikel (Chay, 2014)

Aliran pada sungai, secara umum membawa sejumlah sedimen, baik sedimen suspensi (*suspended load*) maupun sedimen dasar (*bed load*). Adanya perubahan angkutan sedimen dasar (*bed load*) akan disertai dengan perubahan konsentrasi sedimen suspensi. Konsentrasi sedimen suspensi (dan distribusi kecepatan) diketahui berubah dari tengah ke arah tepi saluran. Coleman (1981) dan Zainuddin dan Kironoto (2003) dalam Kironoto (2007), melaporkan bahwa adanya sedimen suspensi dapat mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan, yang akan mempengaruhi besaran kecepatan gesek yang ditimbulkannya.

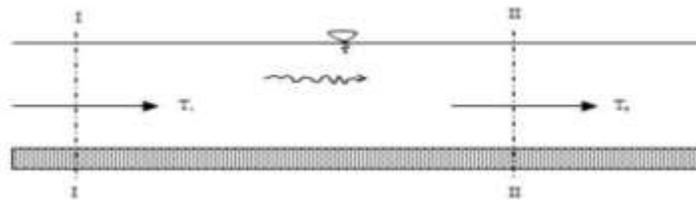
Adanya *bed load* yang diketahui mempengaruhi kandungan konsentrasi sedimen suspensi, dan juga mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan, diperkirakan juga mempengaruhi besarnya kecepatan gesek. Sehubungan dengan itu, dalam tulisan ini akan dipelajari seberapa besar pengaruh angkutan sedimen dasar (*bed load*) terhadap kecepatan gesek pada arah transversal, dari tengah saluran ke arah di tepi, termasuk pengaruh kemiringan dasar saluran dan debit aliran terhadap distribusi kecepatan gesek.

Menurut (Mardjiko, 1987) angkutan sedimen merupakan perpindahan tempat bahan sedimen granular (non kohesif) oleh air yang sedang mengalir searah aliran. Banyaknya angkutan sedimen T dapat ditentukan dari perpindahan tempat suatu sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu yang cukup.

Pada gambar dinyatakan dalam (berat, massa, volume) tiap satuan waktu.



Gambar 2. 5 : Tampang Panjang Saluran Dengan Dasar Granuler



Gambar 2. 6 : Angkutan Sedimen Pada Tampang Danjang Dengan Dasar Granuler

Laju sedimen yang terjadi bias dalam kondisi seimbang (equilibrium). Erosi (erosion), atau pengendapan (deposition), maka dapat ditentukan kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut. Proses sedimentasi di dasar saluran dapat dilihat pada gambar 2.10.

Tabel 2. 1 : Proses Awal Sedimen

Perbandingan τ	Proses yang terjadi	
	Sedimen	Dasar
$\tau_1 = \tau_2$	Seimbang	Stabil
$\tau_1 < \tau_2$	Erosi	Degradasi
$\tau_1 > \tau_2$	Pengendapan	Agradasi

Sumber : (Mardjikoen, 1987)

Kondisi yang dikatakan sebagai awal gerakan butiran adalah salah satu dari peristiwa berikut :

1. Satu butiran bergerak,
2. Beberapa (sedikit) butiran bergerak,
3. Butiran bersama-sama bergerak dari dasar, dan
4. Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis.

Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu ;

1. Kecepatan aliran dan diameter / ukuran butiran,

2. Gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan
3. Gaya geser kritis.

Partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bed load*). Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel-partikel dasar sungai. Gerakan itu dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir.

Berdasarkan pergerakan partikel sedimen yang terdapat di sungai, maupun yang terdapat pada saluran-saluran pengairan, maka angkutan sedimen dapat digolongkan dalam 3 (tiga) bagian yang tergantung pada kecepatan aliran sungai. Ketiga macam angkutan sedimen tersebut adalah sebagai berikut :

1. Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load Transport*) Proses angkutan ini, terjadi pada suatu kondisi kecepatan aliran yang relative rendah, yang mampu mengerakkan butiran yang semula dalam keadaan diam akan menggelinding dan meluncur di sepanjang dasar saluran.
2. Angkutan Sedimen Loncat (*Saltation Load Transport*) Pada kecepatan aliran yang lebih tinggi, butiran-butiran sedimen akan membuat loncatan-loncatan pendek meninggalkan dasar sungai, karena gaya dorong yang bekerja terhadap butiran makin besar. Kemudian butiran tersebut kembali ke dasar sungai atau melanjutkan gerakanya dengan membuat loncatan – loncatan yang lebih jauh

Karakteristik Angkutan Sedimen Loncat:

- a) Partikel yang Terlibat:

Biasanya berupa partikel pasir atau sedimen dengan ukuran menengah.

- b) Proses Pergerakan:

Partikel terdorong oleh aliran, terangkat dari dasar, lalu jatuh kembali ke dasar setelah menempuh jarak tertentu. Ketika partikel mendarat, mereka dapat menabrak partikel lain, yang kemudian dapat ikut terlempar dan berkontribusi pada proses saltasi.

c) Gaya yang Berperan:

- Gaya dorong (shear force): Gaya dari aliran fluida yang mendorong partikel dari belakang.
- Gaya gravitasi: Menarik partikel kembali ke dasar setelah meloncat.
- Gaya angkat: Mengangkat partikel dari permukaan dasar.

d) Media yang Terlibat:

- Air: Saltasi sering terjadi di sungai, saluran air, atau pantai.
- Angin: Fenomena serupa terjadi di lingkungan gurun atau pantai, di mana partikel pasir dibawa oleh angin.

e) Contoh Fenomena:

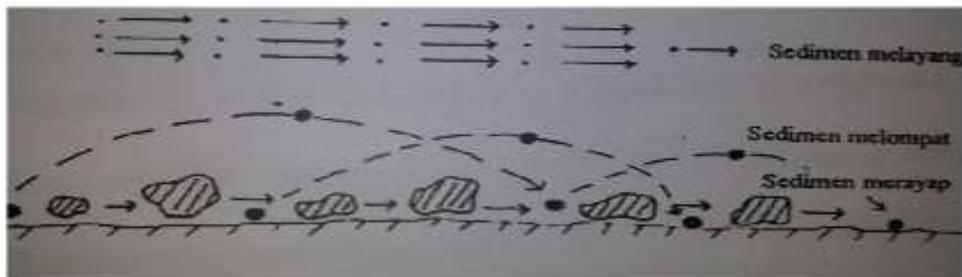
- Di sungai berarus deras, pasir yang terangkat sebentar dari dasar lalu jatuh kembali ke dasar.
- Pasir gurun yang terbawa angin dan tampak meloncat-loncat di permukaan tanah.

Saltasi penting dalam pembentukan lanskap, erosi, dan sedimentasi, serta berperan dalam dinamika transportasi sedimen di lingkungan alami.

3. Angkutan Sedimen Layang (*Suspended Load Transport*) Jika kecepatan aliran ditingkatkan lebih besar lagi, maka gerakan loncatan tersebut akan sering terjadi, sehingga apabila butiran tersebut oleh arus utama atau oleh gerakan aliran turbulen ke arah permukaan, maka butiran akan tetap bergerak ke dalam arus aliran air untuk selang waktu tertentu yang dapat diamati.

Menurut (Chay, 2014) besarnya transport sedimen dalam aliran sungai merupakan fungsi dari suplai sedimen dan energi aliran sungai (*stream energy*). Ketika besarnya energi aliran sungai melampaui besarnya suplai sedimen, terjadilah degradasi sungai. Pada sisi lain, ketika suplai sedimen lebih besar dari pada energi aliran sungai, terjadilah aggradasi sungai. Hasil penelitian di lapangan menunjukkan bahwa aliran sungai merupakan sistem yang bersifat dinamika sehingga aliran air sungai selalu bervariasi.

Menurut (Chay, 2014) proses Transportasi sedimen adalah begitu sedimen memasuki badan sungai, maka berlangsunglah transpor sedimen. Kecepatan transport merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut (*wash load*). Sedang partikel yang lebih besar, antara lain, pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*) seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. 7 : Transpor Sedimen Dalam Aliran Air Sungai

Besarnya ukuran sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut : ukuran sedimen yang masuk kedalam sungai / saluran air, karakteristik saluran, debit, dan karakteristik fisik partikel sedimen. Besarnya sedimen yang masuk ke sungai dan besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi, dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal datangnya sedimen. Sedang karakteristik sungai yang penting, terutama bentuk morfologi sungai, tingkat kekasaran dasar sungai, dan kemiringan sungai. Interaksi dan masing-masing faktor tersebut di atas akan menentukan jumlah dan tipe sedimen serta kecepatan transport sedimen.

Berdasarkan pada jenis sedimen dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi mineral dari bahan induk yang menyusunnya, dikenal bermacam jenis sedimen seperti pasir, liat, dan lain sebagainya. Tergantung dari ukuran partikelnya, sedimen ditemukan terlarut dalam sungai atau disebut muatan sedimen (*suspended sediment*) dan merayap di dasar sungai atau dikenal sebagai sedimen dasar (*bed load*).

Menurut ukurannya, sedimen dibedakan menjadi :

1. Liat ukuran partikelnya $< 0,0039$ mm
2. Debu ukuran partikelnya $0,0039-0,0625$ mm
3. Pasir ukuran partikelnya $0,0625-2,0$ mm
4. Pasir besar ukuran partikelnya $2,0-64,0$ mm

Tabel 2. 2 Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen *American Geophysical Union*

Interval/range (mm)	Nama	Interval/range (mm)	Nama
4096 - 2048	Batu sangat besar (<i>Very Large Boulders</i>)	1/2 - 1/4	Pasir sedang (<i>Medium Sand</i>)
2048 - 1024	Batu besar (<i>Large Boulders</i>)	1/4 - 1/8	Pasir halus (<i>Fine Sand</i>)
1024 - 512	Batu sedang (<i>Medium Boulders</i>)	1/8 - 1/16 (s/d 0.0625 mm)	Pasir sangat halus (<i>Very Fine Sand</i>)
512 - 256	Batu kecil (<i>Small Boulders</i>)	1/16 - 1/32	Lumpur kasar (<i>Coarse Silt</i>)
256 - 128	Kerakal besar (<i>Large Cobbles</i>)	1/32 - 1/64	Lumpur sedang (<i>Medium Silt</i>)
128 - 64	Kerakal kecil (<i>Small Cobbles</i>)	1/64 - 1/128	Lumpur halus (<i>Fine Silt</i>)
64 - 32	Kerikil sangat kasar (<i>Very Coarse Gravel</i>)	1/128 - 1/256	Lumpur sangat halus (<i>Very Fine Silt</i>)
32 - 16	Kerikil kasar (<i>Coarse Gravel</i>)	1/256 - 1/512	Lempung kasar (<i>Coarse Clay</i>)
16 - 8	Kerikil sedang (<i>Medium Gravel</i>)	1/512 - 1/1024	Lempung sedang (<i>Medium Clay</i>)
8 - 4	Kerikil halus (<i>Fine Gravel</i>)	1/1024 - 1/2048	Lempung halus (<i>Fine Clay</i>)
4 - 2	Kerikil sangat halus (<i>Very Fine Gravel</i>)	1/2048 - 1/4096	Lempung sangat halus (<i>Very Fine Clay</i>)
2 - 1	Pasir sangat kasar (<i>Very Coarse Sand</i>)		Koloid
1 - 1/2	Pasir kasar (<i>Coarse Sand</i>)		

Proses pengangkutan sedimen (*sediment transport*) dapat diuraikan meliputi tiga proses sebagai berikut :

- a) Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat diatas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat menggerakkan partikel - partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama - sama limpasan permukaan (*overland flow*).

- b) Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat diatas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat menggerakkan partikel - partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama - sama limpasan permukaan (*overland flow*).
- c) Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat (*pick up velocity*) dan mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*) yang dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran.

Ada dua kelompok cara mengangkut sedimen dari batuan induknya ke tempat pengendapannya, yakni suspensi (*suspended load*) dan (*bed load transport*). Di bawah ini diterangkan secara garis besar ke duanya.

a) Suspensi

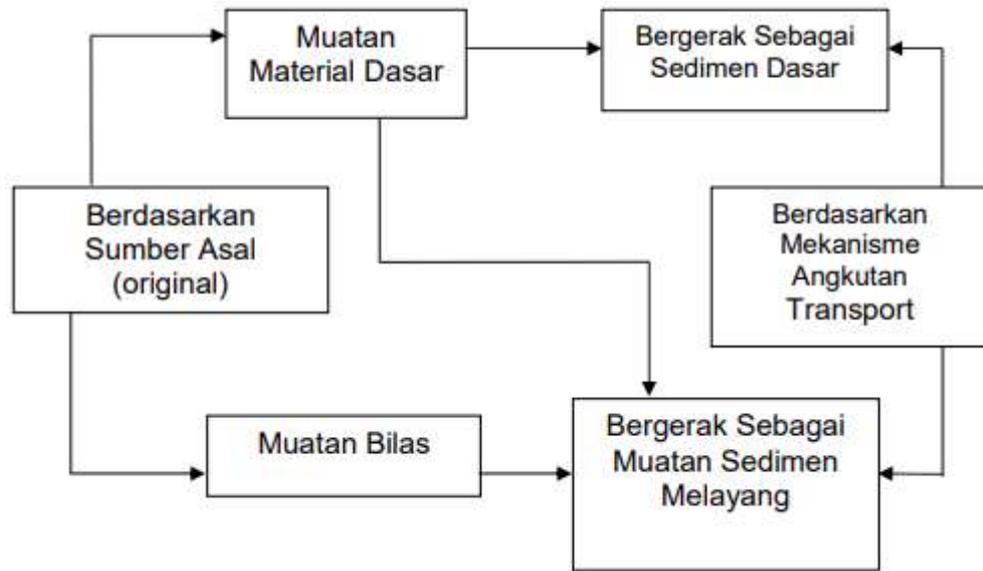
Dalam teori segala ukuran butir sedimen dapat dibawa dalam suspensi, jika arus cukup kuat. Akan tetapi di alam, kenyataannya hanya material halus saja yang dapat diangkut suspensi. Sifat sedimen hasil pengendapan suspensi ini adalah mengandung prosentase masa dasar yang tinggi sehingga butiran tampak mengambang dalam masa dasar dan umumnya disertai memilahan butir yang buruk. Ciri lain dari jenis ini adalah butir sedimen yang diangkut tidak pernah menyentuh dasar aliran.

b) *Bed load transport*

Berdasarkan tipe gerakan media pembawanya, sedimen dapat dibagi menjadi:

- 1) Endapan arus traksi
- 2) Endapan arus pekat (*density current*) dan
- 3) Endapan suspensi.

Secara skematis angkutan sedimen dapat digambarkan sebagai berikut :

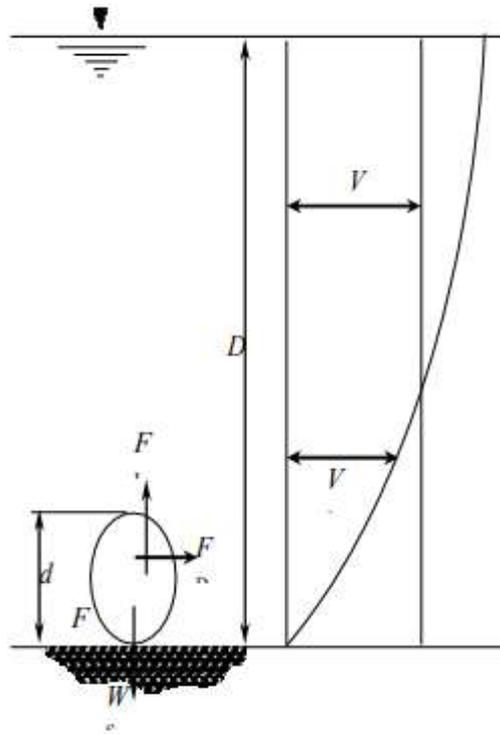


Gambar 2. 8 : Bagan Mekanisme Dan Asal Bahan Sedimen

2.12 Permulaan Gerak Butir Sedimen

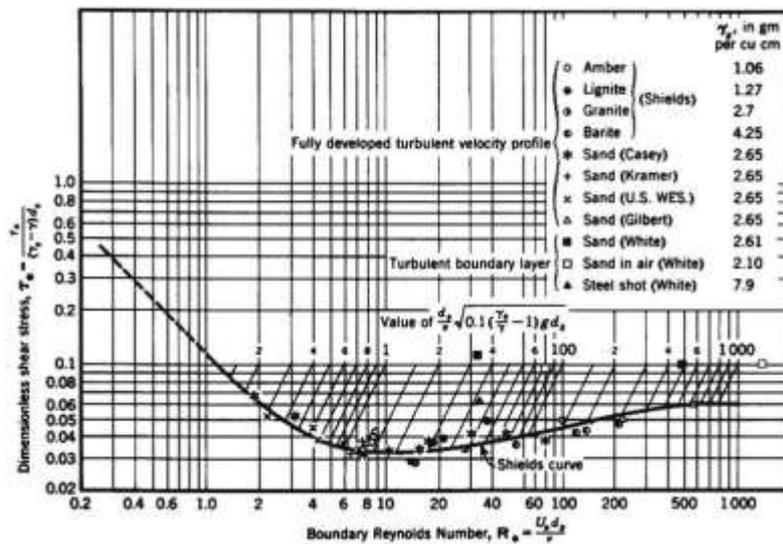
Gaya yang bekerja pada suatu partikel sedimen bundar (*spherical*) pada dasar saluran terbuka dapat dilihat pada gambar 5, hampir setiap kriteria permulaan gerak butir diturunkan dari pendekatan tegangan geser ataupun kecepatan arus. Gaya yang bekerja pada butiran sedimen (non kohesif) dalam air :

1. Gaya berat di air (*submerged weight, W_s*)
2. Gaya yang menahan (*resistance force, F_s*)
3. Gaya angkat (*lift force, F_L*)
4. Gaya seret (*drag force, F_D*)



Gambar 2. 9 : Permulaan Gerak Butiran

Teori permulaan gerak dengan pendekatan tegangan geser menurut (Shield, 1936) dapat dilihat pada grafik di Gambar 5. Secara umum sangat sulit untuk menghitung secara analitik berapa besar gayagaya yang bekerja pada partikel sedimen, sehingga dengan melakukan analisis dimensi dari beberapa parameter sehingga dapat membuat diagram permulaan gerak dengan pendekatan tegangan geser. Faktor yang berpengaruh dalam penetapan permulaan gerakan butir antara lain adalah tegangan geser, perbedaan rapat masa air dengan rapat massa sedimen, diameter partikel, angka kekentalan kinetik dan grafitasi bumi.



Gambar 2. 10 : Grafik Tegangan Geser

Data ukuran butir partikel sedimen banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Metode yang digunakan untuk menganalisa ukuran butiran yaitu dengan cara ayakan. Dengan cara ayakan ini digunakan satu set ayakan dan pengukuran dilakukan dengan 2 cara meliputi : cara ayakan kering, digunakan bila contoh/sampel terdiri dari pasir lepas sehingga tidak menggumpal. Cara ayakan basah, digunakan bila contoh/sampel banyak mengandung fraksi-fraksi halus sehingga sukar untuk dipisahkan.(Soewarno,1991).

Tegangan Geser Dasar, Permulaan gerak butiran sedimen dasar merupakan awal mula angkutan sedimen. Salah satu faktor yang menyebabkan permulaan gerak sedimen adalah kecepatan. Kecepatan efektif untuk menggerakkan butiran dinyatakan dalam rumus berikut :

$$U_* = (g.D.I) 0,5$$

U_* = kecepatan geser (m/dt)

g = gravitasi (m/dt²)

D = kedalaman aliran (m)

I = kemiringan saluran

Rumus bilangan Reynolds adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{(v.L)}{\nu}$$

Dengan:

v = kecepatan aliran (m/s)

L = panjang karakteristik (m)

R = jari-jari hidraulik saluran

ν = viskositas (m^2/s)

Sedangkan tegangan geser yang terjadi dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\tau_o = \rho_w \cdot g \cdot H \cdot I$$

dengan:

τ_o = tegangan geser (kg/m^2)

g = gravitasi (m/dt^2)

ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)

H = kedalaman saluran (m)

I = kemiringan dasar saluran

Setelah menghitung τ_o maka dilanjutkan dgn menghitung c

Tegangan geser kritis (τ_c)

$$\tau_c = (\rho_s - \rho_w) g \times d$$

Dengan ;

τ_c = tegangan geser kritis (kg/m^2)

ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)

ρ_s = berat sedimen (kg/m^3)

g = gravitasi (m/dt^2)

d = Diameter butiran

setelah semua sudah di dapatkan hasilnya maka dapat dilihat pergerakannya pada ketentuan di bawah ini:

apabila:

$\tau_0 < \tau_c$ maka butiran diam

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

$\tau_0 > \tau_c$ maka butiran bergerak

BAB 3

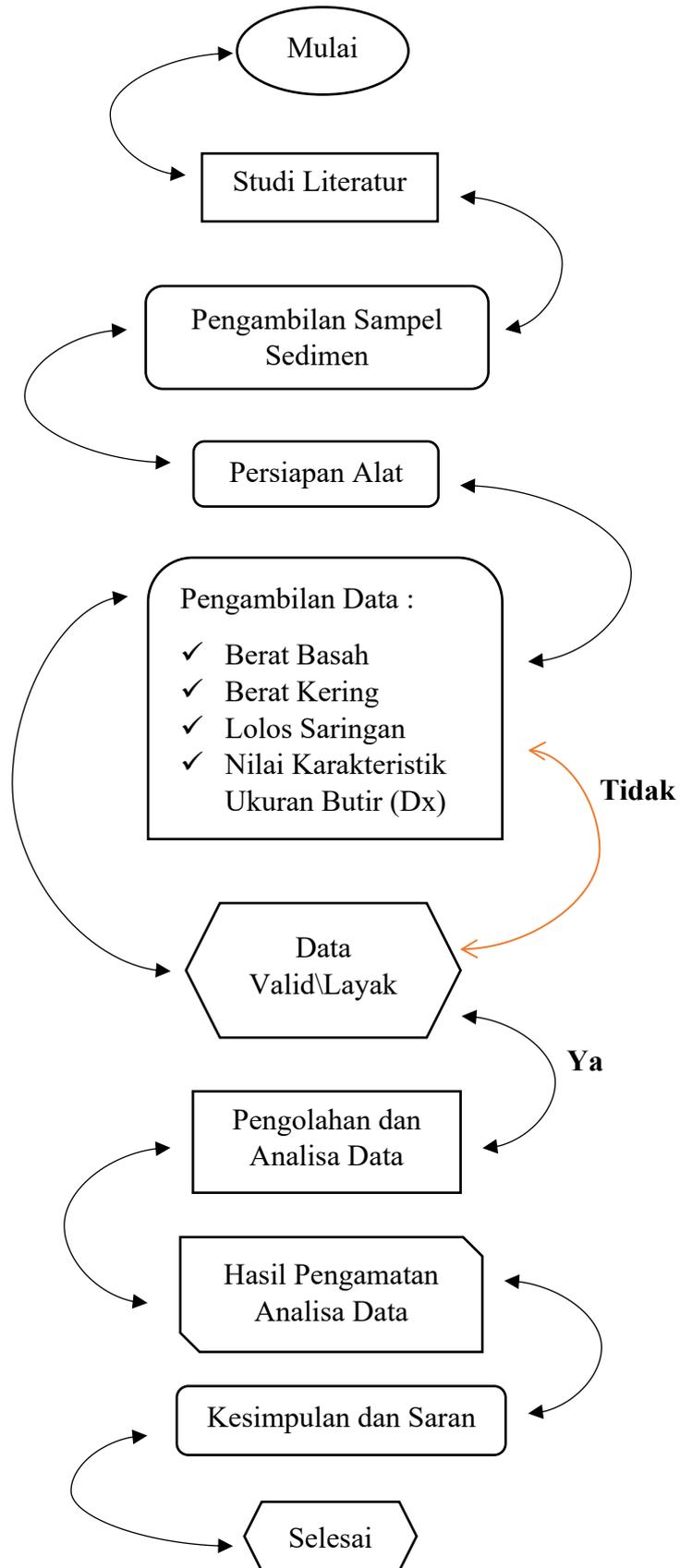
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada salah satu tikungan Sungai Deli di Kota Medan. Lokasi ini dipilih karena mewakili kondisi sungai perkotaan dengan aktivitas manusia yang tinggi serta menunjukkan gejala erosi dan sedimentasi yang signifikan.

Pada penelitian ini akan menggunakan data primer yaitu, data yang di dapat dari hasil perhitungan data dari lapangan lebih tepatnya adalah salah satu tikungan pada sungai deli.

Langkah-langkah penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1 : Bagan Alir Penelitian

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dan waktu penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Hulu Sungai Deli yang berada di Jln. Brig. Jend Zein Hamid Lk.10, Gang Tapian Nauli, Titi Kuning Medan, Sumatera Utara, 20146.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025.

3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

- Sekop untuk pengambilan sampel sedimen dari dasar sungai.
- Ember dan kantong plastik sampel untuk wadah pengangkutan material sedimen.
- Timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g untuk menimbang berat sedimen sebelum dan sesudah pengeringan.
- Satu set ayakan standar (sieve set) dengan ukuran bukaan 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, dan 0,063 mm beserta pan penampung.
- Alat pencatat (buku catatan, kamera, laptop) untuk mendokumentasikan data dan hasil percobaan.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dibagi menjadi:

- Variabel bebas: lokasi pengambilan sampel (bagian luar, tengah, dan dalam tikungan Sungai Deli).
- Variabel terikat: karakteristik sedimen yang meliputi ukuran butir, distribusi gradasi (% tertahan, % lolos), serta parameter karakteristik butir (D10, D30, D50, D60, Cu, Cc).
- Variabel kontrol: berat sampel basah ± 1000 g untuk tiap lokasi, serta prosedur analisis saringan yang sama pada setiap sampel.

3.5 Langkah-Langkah Penelitian

1. Pengambilan sampel: sampel sedimen diambil pada tiga posisi tikungan Sungai Deli, yaitu bagian luar, tengah, dan dalam, masing-masing seberat ± 1000 g dalam kondisi basah.
2. Pengeringan sampel: sampel yang telah diambil kemudian dikeringkan di lapangan terbuka dengan sinar matahari selama 12 jam hingga mencapai berat konstan, sehingga diperoleh berat kering dan dapat dihitung kadar airnya.
3. Pengayakan (sieve analysis): sampel kering kemudian dimasukkan ke dalam satu set ayakan standar dan digoyangkan hingga seluruh fraksi tertahan sesuai ukuran bukaan ayakan.
4. Penimbangan fraksi: setiap fraksi sedimen yang tertahan pada ayakan ditimbang dan dicatat beratnya.
5. Perhitungan manual: hasil penimbangan diolah menjadi persen tertahan, persen kumulatif tertahan, dan persen lolos (finer). Data ini digunakan untuk membuat kurva gradasi dan menghitung nilai D10, D30, D50, D60, Cu, dan Cc.

3.6 Pencatatan Data

Seluruh hasil penelitian dicatat secara sistematis, meliputi:

- Berat sampel basah dan berat kering setelah pengeringan untuk menghitung kadar air.
- Berat fraksi yang tertahan di setiap ayakan.
- Persentase tertahan, kumulatif, dan lolos untuk tiap ukuran butir.
- Kurva gradasi sedimen untuk masing-masing lokasi (luar, tengah, dan dalam).
- Parameter karakteristik butir (D10, D30, D50, D60, Cu, dan Cc) sebagai dasar analisis dan pembahasan.

Pencatatan dilakukan secara berurutan dari tahap pengambilan sampel hingga perhitungan manual, sehingga diperoleh data yang lengkap dan konsisten dengan tujuan penelitian.

3.7 Sungai Deli

Ada dua puluh Daerah Aliran Sungai (DAS) yang dimiliki oleh Provinsi Sumatera Utara, enam di antaranya tergabung dalam satu Wilayah Sungai Belawan-Ular-Padang (WS BUP) dengan luasan 6.215,66 km². Adapun cakupan wilayah studi penelitian ini berada pada DAS Deli yang merupakan salah satu bagian dari WS BUP yang memiliki luas 472,98 km² yang mencakup jantung kota Medan

DAS sebagai sebuah wilayah yang dibatasi oleh pemisah topografis, yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan curah hujan yang jatuh di atasnya menuju sungai utama yang bermuara ke danau atau lautan, pemisah topografi ialah punggung bukit (Webster, 1976). Di bawah tanah juga terdapat pemisah bawah tanah berupa batuan. Sebuah DAS merupakan kumpulan dari beberapa sub DAS yang lebih kecil. Ukuran dan bentuk DAS dengan sendirinya berbeda antara satu dengan lainnya. (Nefriansyah, dkk.)

Berikut ini adalah gambar Hulu dan Hilir Sungai Deli yang di dokumentasikan di lokasi dan melalui aplikasi Google Earth :

a) Hulu Sungai



Gambar 3. 2 : Hulu Sungai Deli Medan.

Sumber : Dokumentasi di lapangan

b) Denah Hulu Sungai



Gambar 3. 3 : Denah Hulu Sungai

Sumber : Google Earth, 3°31'41"N 98°40'57"E, Jln. Brig. Jend Zein Hamid Lk.10, Gang Tapian nauli, Titi Kuning Medan , Sumatera Utara, 20146

Bentuk saluran pada hulu sungai sebelum dan sesudah melewati saluran berbentuk saluran terbuka trapesium serta adanya talud atau dinding penahan tanah longsong. Lebar saluran sebelum melewati tikungan yaitu 14,3 meter, sedangkan untuk lebar saluran pada tikungan yaitu 29,4 meter dan lebar saluran setelah melewati tikungan yaitu 15,6 meter dengan kedalaman rata-rata berada di 1-1,5 meter.

3.8 Analisa Data

Data yang diperoleh dianalisis melalui tahapan berikut :

1. Analisis hidraulika
 - Menghitung debit sungai berdasarkan hasil pengukuran kecepatan dan luas penampang.
 - Menghitung parameter aliran seperti kecepatan rata-rata dan energi aliran.
2. Analisis sedimen
 - Mengklasifikasikan sedimen berdasarkan ukuran butir menggunakan standar AGU (1976).

- Membandingkan karakter sedimen di bagian luar, dalam, dan tengah tikungan untuk melihat variasinya.

3. Interpretasi

- Mengkaji hubungan antara pola aliran dan distribusi sedimen.
- Menjelaskan fenomena sedimentasi di tikungan berdasarkan hasil analisis data lapangan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Sungai Deli di salah satu bagian tikungan, dengan pengambilan sampel sedimen pada bagian luar tikungan, tengah dan bagian dalam tikungan. Tikungan sungai dipilih karena secara hidrodinamika aliran, bagian luar biasanya memiliki kecepatan arus lebih besar sehingga dominan mengangkut butiran kasar, sedangkan bagian dalam memiliki arus lebih tenang yang cenderung mengendapkan butiran halus.

4.2 Analisis Sedimen Bagian Luar Tikungan

Hasil analisis saringan sedimen pada bagian luar tikungan Sungai Deli menunjukkan distribusi ukuran butir sebagai berikut.

a) Sampel Bagian Luar Sungai

- **Berat basah** : 1000 gr
- **Berat kering** : 823,5 gr
- **Air yang menguap** : 176,5 gr

b) Perhitungan kadar air:

$$\% \text{ Air} = \frac{W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}}}{W_{\text{basah}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Air} = \frac{1000 - 823,5}{1000} \times 100\% = 17,65 \%$$

c) Komposisi sedimen setelah pengayakan:

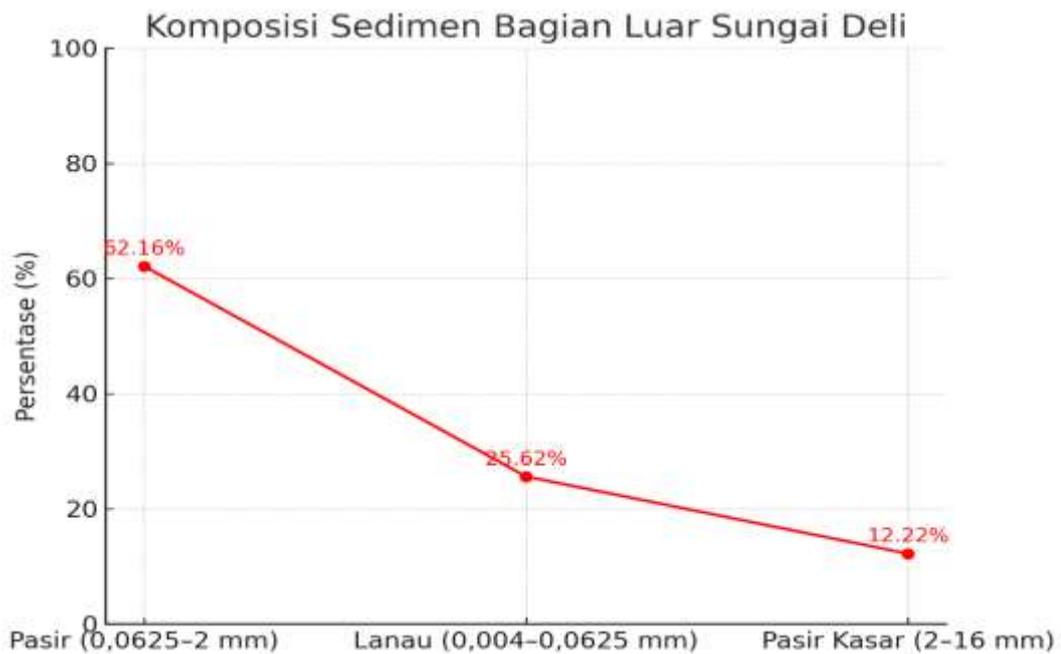
- Pasir (0,0625 – 2 mm) = 512 gr (62,16%)
- Lanau (0,004 – 0,0625 mm) = 211 gr (25,62%)
- Pasir kasar/kerikil kecil (~2 – 16 mm) = 100,5 gr (12,22%)

d) perhitungan untuk % berat pasir (bagian luar sungai):

- **Pasir :** $\% \text{ Pasir} = \frac{512}{823,5} \times 100\% = 62,16\%$
 - **Lanau :** $\% \text{ Lanau} = \frac{211}{823,5} \times 100\% = 25,62\%$
 - **Pasir Kasar :** $\% \text{ Pasir Kasar} = \frac{100,5}{823,5} \times 100\% = 12,22\%$
- $= 62,16\% + 25,62\% + 12,22\% = 100\%$

Tabel 4. 1 Distribusi Sedimen Bagian Luar Sungai

Jenis Sedimen	Berat (gr)	%Berat
Pasir (0,0625 – 2 mm)	512	62,16 %
Lanau (0,004-0,0625 mm)	211	25,62 %
Pasir kasar (2 – 16 mm)	100,5	12,22 %
Total	823,5	100 %



Grafik 4. 1 Komposisi Sedimen Bagian Luar

D10 = 0.0630 mm; D30 = 0.2498 mm; D50 = 0.7933 mm; D60 = 1.1889 mm.

Cu = 18.87; Cc = 0.83.

Sedimen didominasi pasir kasar hingga kerikil halus, menunjukkan pengaruh arus lebih kuat di bagian luar tikungan.

4.3 Analisis Sedimen Bagian Tengah Tikungan

Hasil analisis saringan sedimen pada bagian tengah tikungan Sungai Deli ditunjukkan pada tabel perhitungan manual dan kurva gradasi berikut.

a) Sampel Bagian Tengah Sungai

- **Berat basah** : 1000 gr
- **Berat kering** : 713,5gr
- **Air yang menguap** : 286,5 gr

b) Perhitungan kadar air :

$$\% \text{ Air} = \frac{1000-713,5}{1000} \times 100\% = 28.65 \%$$

c) Komposisi sedimen setelah pengayakan:

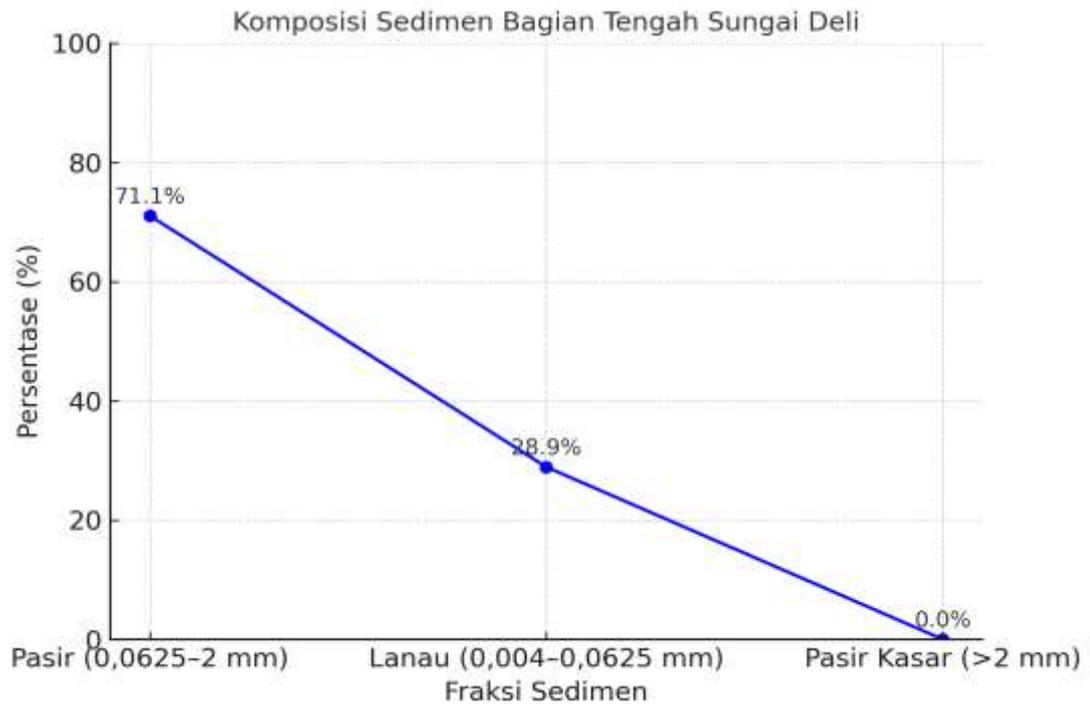
- Pasir (0,0625 – 2 mm) = 507,2 g (71,1 %)
- Lanau (0,004 – 0,0625 mm) = 206,3 g (28,9 %)
- Pasir kasar (>2 mm) = 0 g (0 %)

d) Perhitungan untuk **% berat pasir (bagian dalam sungai):**

- **Pasir** : $\% \text{ Pasir} = \frac{507,2}{713,5} \times 100\% = 71.10\%$
- **Lanau** : $\% \text{ Lanau} = \frac{206,3}{713,5} \times 100\% = 28,91\%$
- **Pasir Kasar** : $\% \text{ Pasir Kasar} = \frac{0}{713,5} \times 100\% = 0\%$
 $= 71,10\% + 28,91\% + 0\% = 100\%$

Tabel 4. 2 Distribusi Sedimen Bagian Tengah Sungai

Jenis Sedimen	Berat (gr)	%Berat
Pasir (0,0625 – 2 mm)	507,2	71,10 %
Lanau (0,004-0,0625 mm)	206,3	28,91 %
Pasir kasar (2 – 16 mm)	0	0 %
Total	715,3	100 %



Grafik 4. 2 Komposisi Sedimen Bagian Tengah

D10 = 0.0104 mm; D30 = 0.0661 mm; D50 = 0.1667 mm; D60 = 0.3182 mm.

Cu = 30.65; Cc = 1.32.

Sedimen tengah didominasi pasir halus dengan distribusi melebar (poorly graded).

4.4 Analisis Sedimen Bagian Dalam Tikungan

Hasil analisis saringan sedimen pada bagian dalam tikungan Sungai Deli ditunjukkan pada kurva berikut.

e) Sampel Bagian Dalam Sungai

- **Berat basah** : 1000 gr
- **Berat kering** : 801,6 gr
- **Air yang menguap** : 198,4 gr

f) Perhitungan kadar air :

$$\% \text{ Air} = \frac{1000-801,6}{1000} \times 100\% = 19,84 \%$$

g) Komposisi sedimen setelah pengayakan:

- Pasir (0,0625 – 2 mm) = 445 gr (55,5%)
- Lanau (0,004 – 0,0625 mm) = 290 gr (36,17%)
- Pasir kasar (2 – 16 mm) = 66,6 gr (8,33%)

h) Perhitungan untuk % berat pasir (bagian dalam sungai):

➤ **Pasir :** $\% \text{ Pasir} = \frac{445}{801,6} \times 100\% = 55,50\%$

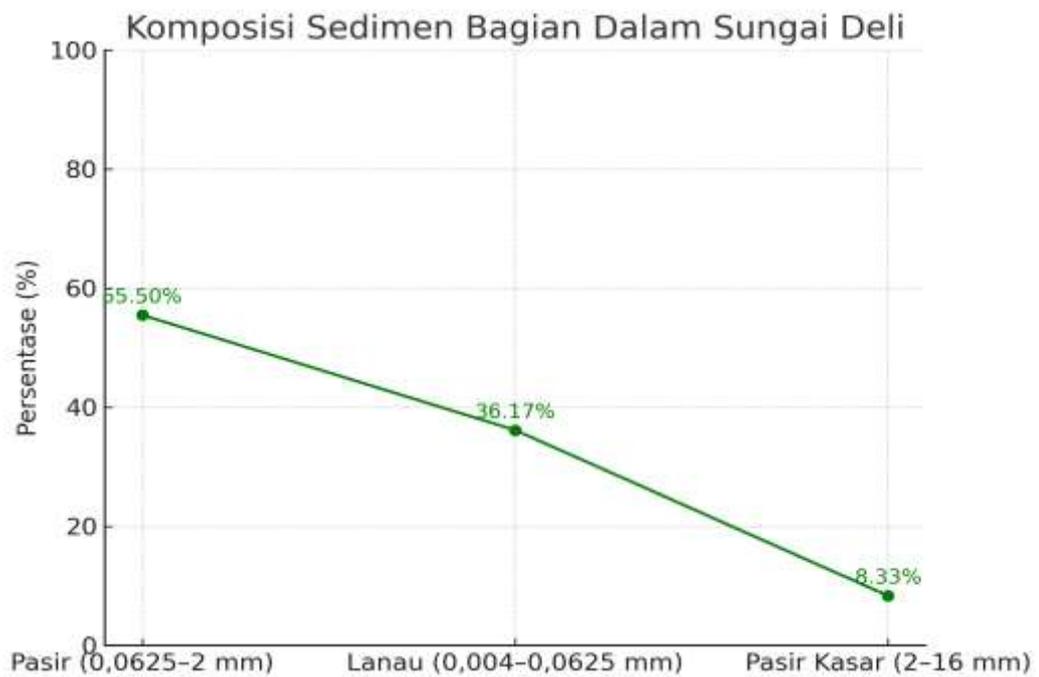
➤ **Lanau :** $\% \text{ Lanau} = \frac{290}{801,6} \times 100\% = 36,17\%$

➤ **Pasir Kasar :** $\% \text{ Pasir Kasar} = \frac{66,6}{801,6} \times 100\% = 8,33\%$

$$= 55,50\% + 36,17\% + 8,33\% = 100\%$$

Tabel 4. 3 Distribusi Sedimen Bagian Dalam Sungai

Jenis Sedimen	Berat (gr)	% Berat
Pasir (0,0625 – 2 mm)	445	55,50%
Lanau (0,004 – 0,0625 mm)	290	36,17%
Pasir kasar (2 – 16 mm)	66,6	8,33%
Total	801,6	100%



Grafik 4. 3 Komposisi Sedimen Bagian Dalam

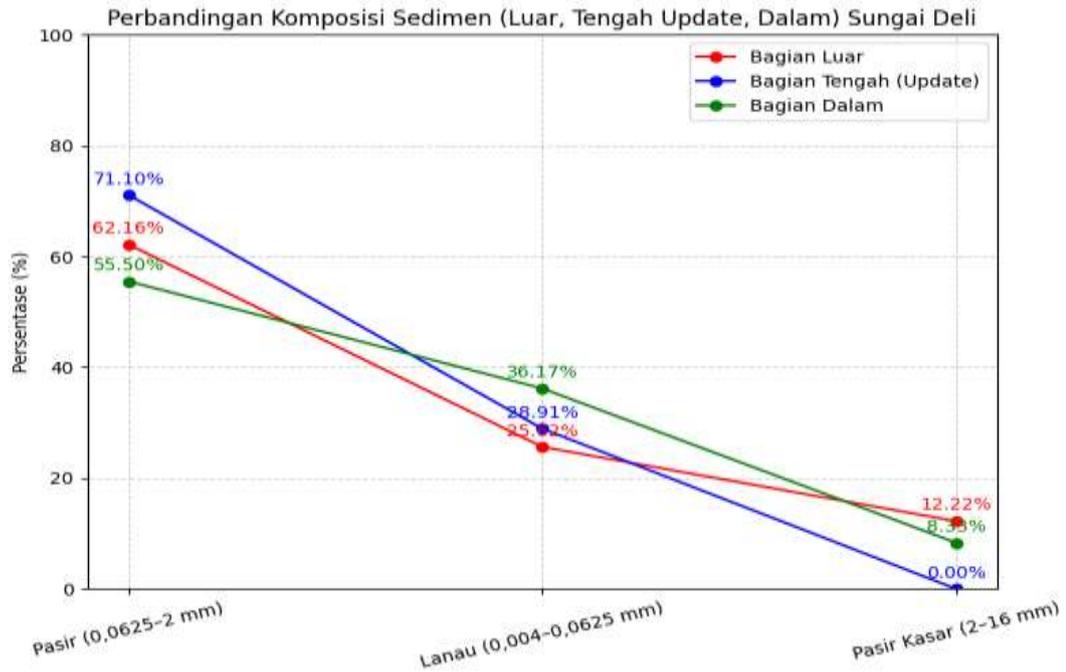
$D_{10} = 0.0530$ mm; $D_{30} = 0.2195$ mm; $D_{50} = 0.7142$ mm; $D_{60} = 1.1410$ mm.

$C_u = 21.53$; $C_c = 0.80$.

Sedimen dalam didominasi oleh pasir halus dan lanau, konsisten dengan arus lebih tenang di bagian dalam tikungan.

4.5 Perbandingan dan Pembahasan

Kurva perbandingan sedimen pada bagian luar, tengah, dan dalam tikungan ditunjukkan pada gambar berikut.



Grafik 4. 4 Kurva Perbandingan Komposisi Sedimen Luar, Tengah dan Dalam

- Bagian luar → sedimen lebih kasar, dominasi pasir kasar–kerikil.
- Bagian tengah → sedimen transisi, dominasi pasir halus.
- Bagian dalam → sedimen halus, dominasi lanau–pasir halus.

Pola ini sesuai dengan teori aliran sungai pada tikungan, di mana kecepatan arus lebih tinggi di luar sehingga mengendapkan butiran lebih kasar, sedangkan di dalam lebih rendah sehingga mengendapkan butiran halus.

4.6 Penutup

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa karakteristik sedimen di tikungan Sungai Deli berbeda antara bagian luar, tengah, dan dalam. Distribusi ukuran butir dipengaruhi langsung oleh kondisi aliran, dengan arus kuat cenderung mengendapkan sedimen kasar di luar tikungan, sedangkan arus lebih tenang mengendapkan sedimen halus di bagian dalam.

Hal ini selaras dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan. Dengan demikian, hasil analisis karakteristik sedimen menunjukkan bahwa terdapat variasi ukuran butir pada setiap posisi tikungan Sungai Deli, yaitu sedimen kasar pada bagian luar, pasir halus pada bagian tengah, dan sedimen halus/lanau pada bagian dalam.

Variasi ini tidak berdiri sendiri, tetapi erat kaitannya dengan kondisi aliran. Bagian luar dengan energi aliran tinggi menyebabkan dominasi sedimen kasar, bagian tengah menjadi zona transisi dengan dominasi pasir halus, sedangkan bagian dalam dengan energi aliran rendah mengendapkan material halus. Oleh karena itu, kedua rumusan masalah saling terhubung: karakteristik sedimen yang ditemukan di lapangan merupakan refleksi langsung dari pola distribusi energi aliran sungai pada tikungan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Karakteristik sedimen pada tikungan Sungai Deli menunjukkan perbedaan signifikan antarposisi: bagian luar didominasi pasir kasar hingga kerikil kecil (energi aliran tinggi), bagian tengah merupakan zona transisi dengan dominasi pasir halus (energi sedang), dan bagian dalam didominasi pasir halus hingga lanau (energi rendah).

Pengaruh kondisi aliran sungai sangat menentukan pola distribusi dan pengendapan sedimen. Energi arus tinggi di bagian luar menyebabkan pengendapan butiran kasar, energi sedang di tengah menyebabkan endapan campuran, sedangkan energi rendah di bagian dalam mengendapkan butiran halus.

Secara keseluruhan, pola distribusi sedimen pada tikungan Sungai Deli sesuai dengan teori hidraulika aliran sungai, di mana variasi energi aliran menghasilkan gradasi ukuran butir berbeda pada tiap posisi.

5.2 Saran

- a. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis fraksi lempung ($<0,004$ mm) dengan metode hidrometer untuk memperoleh distribusi sedimen yang lebih lengkap.
- b. Pengambilan sampel sebaiknya dilakukan pada beberapa tikungan lain di Sungai Deli agar hasil penelitian lebih representatif untuk keseluruhan kondisi sungai.
- c. Data karakteristik sedimen ini dapat dimanfaatkan pemerintah daerah dalam perencanaan dan pengendalian erosi serta sedimentasi, khususnya pada kawasan yang rawan pendangkalan dan erosi tebing sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press.
- Bambang Triatmodjo, I., & Kedua, C. (2010). HIDROLOGI TERAPAN.
- BBWS Sumatera II. (2022). *Laporan Tahunan Normalisasi Sungai Deli*. Medan: Balai Besar Wilayah Sungai Sumatera II.
- Chow, V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill.
- Chay, A. (2014). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Davis, H. E. (t.t.). MeGRA W-Hltr, Civil Engineering Series.
- Garde, R. J., & Ranga Raju, K. G. (2000). *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. New Age International.
- Graf, W. H. (1984). *Hydraulics of Sediment Transport*. McGraw-Hill.
- Harianja, J. A., Rosa, N.A.P., Teknik, J., Universitas, S., & Yogyakarta, K. I. (t.t.). Pengaruh Perubahan Debit Terhadap Pergerakan Sedimen. Dalam Majalah Ilmiah UKRIM Edisi.
- Harseno, E., & Setdin, J. V. (2007). Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 2/th XII.
- Ikhsan, C. (t.t.). Media Teknik Sipil/ Januari 2007/63 Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Laju Bed Load Pada Saluran Terbuka Dengan Pola Aliran Steady Flow.
- Iskandar, R., Tony, F., Pertanian, F., Achmad, U., Banjarbaru, Y., Perikanan, F., Kelautan Universitas, I., & Mangkurat Banjarbaru, L. (2013). Studi Sedimentasi Di Muara Sungai Angsana Kecamatan Angsana Kabupaten Tanah Bumbu Kalimantan Selatan. *EnviroScienteeae*, 9, 106–111.
- Julien, P. Y. (2010). *Erosion and Sedimentation*. Cambridge University Press.
- Latif, F., Said, M., & Astuti Risky Amalia, D. (2019). Studi Pergerakan Sedimen Akibat Fluktuasi Debit Pada Saluran Terbuka (Uji Laboratorium). Dalam *Jurnal Teknik Hidro* (Vol. 12, Nomor 1).

Mardjikoen, P. (1987). Angkutan Sedimen. Yogyakarta: KMTS FT-UGM .

Oliviana Mokonio. Dkk, 2013. Analisis Sedimentasi di Muara Sungai Saluangko
Desa Tounelet Kec. Kakas Kab. Minahasa (<http://google>, diakses 24
februari 2018)

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 tahun 2011 Tentang Sungai
Dengan Rahmat Tuhan Yang Maha Esa Presiden Republik Indonesia. (t.t)

Sosrodarsono,suyono, Dkk, 2008, perbaikan dan pengaturan sungai,paradnya
paramita,Jakarta.

Suripin, 2002. Dalam buku Tata Ruang Air Oleh Restam Sjarief

Triatmodjo, Bambang.2003,Hidrolika II, Beta Offset,Yogyakarta

LAMPIRAN

Foto dokumentasi di lapangan



BIODATA PENULIS



Nama : Muhammad Vicky
Tempat/Tanggal Lahir : P. Siantar, 25 Februari 2001
Alamat : Jln Bawang Merah, Kota Tebing Tinggi
Agama : Islam

Nama orang tua
Ayah : Junaidi
Ibu : Nuriana
No. Hp : 083109354573
E-mail : mhdvicky87@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 2007210204
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mukhtar Basri BA. No. 3 S 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SDN 163083	2015
2	SMP	SMP NEGRI 4 TEBING TINGGI	2017
3	SMA	SMK TI TAMAN SISWA T. TINGGI	2020
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020 sampai selesai		