

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu sumber daya air yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan umat manusia. Manfaat sungai bagi kehidupan manusia antara lain, sebagai sumber air minum, pembangkit tenaga listrik, perikanan, pariwisata, dan lain-lain.

Sungai juga berperan penting bagi alam terutama sebagai sistem drainase alam. Hujan yang turun akan dialirkan sebagai *surface run off* dengan membawa angkutan sedimen hasil pengikisan pada permukaan tanah dan akhirnya akan masuk kedalam sistem drainase alam (sungai) dan menuju kelaut. Didalam aliran sungai itu sendiri terjadi angkutan sedimen antara lain sedimen glanular (non-kohesif) yang pada utamanya searah dengan aliran.

Sungai sebagai saluran terbuka alami (*natural flow channel*) memiliki kecepatan aliran yang kadang berubah-ubah. Keadaan kecepatan yang berubah-ubah ini mempengaruhi stabilitas sungai itu sendiri sebagai saluran terbuka, karena perubahan kecepatan aliran tersebut dapat mengakibatkan terjadinya gerusan (*scouring*) disuatu sisi dan pengendapan (sedimentasi) disisi lain.

Terjadinya gerusan (*scour*) dan sedimentasi tadi tentunya akan mempengaruhi stabilitas sungai seperti yang diungkapkan oleh Coleman (1986), partikel-partikel angkutan sedimen berpengaruh pada pengurangan kecepatan aliran pada wilayah dalam, demikian pula ketebalan, pengaruh lainnya adalah angkutan sedimen dapat mengakibatkan menurunnya kualitas air yang berdampak negatif pada pemakaian air karena terhambatnya distribusi air yang ada pada sungai tersebut.

Sungai selain berfungsi sebagai media untuk mengalirkan air, sungai juga berfungsi untuk mengangkut material sebagai angkutan sedimen. Kuantitas angkutan sedimen yang terjadi perlu diperhitungkan dengan tujuan untuk

memprediksi perubahan konfigurasi dasar saluran sungai, mengetahui jumlah angkutan yang terjadi selama kurun waktu tertentu dan dasar dalam perencanaan serta penempatan suatu bangunan air.

Proses sedimentasi pada sungai merupakan proses yang sangat kompleks. Hal ini karena banyaknya parameter yang saling berkaitan. Seperti yang telah diketahui, bahwa angkutan sedimen pada sungai akan terjadi terus menerus sehingga perlu adanya suatu perhatian khusus dalam pengelolaan sumber daya airnya, terutama yang dikaitkan dengan perencanaan bangunan-bangunan air yang ada didalamnya.

Selain itu perhitungan kuantitas angkutan sedimen yang terjadi juga bertujuan untuk memprediksi perubahan konfigurasi dasar saluran atau sungai dan mengetahui jumlah angkutan yang terjadi selama kurun waktu tertentu sehingga dapat menjadi dasar dalam perencanaan dan penempatan suatu bangunan air.

Awal gerak butiran sangat penting kaitannya dengan studi tentang transpor sedimen, degradasi dasar sungai, desain saluran stabil, dan sebagainya. Pergerakan butiran sangat tidak teratur, maka sangat sulit untuk mendefinisikan dengan pasti sifat dan kondisi aliran yang menyebabkan butiran mulai bergerak. Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya aliran yang bekerja pada butiran. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan atau menyeret butiran.

Sungai Rokan Kanan khususnya sungai Batang Lubuh yang merupakan saluran terbuka alami adalah salah satu sungai besar di Kabupaten Rokan Hulu yang dimanfaatkan oleh banyak warga. Dengan berbagai fungsinya memiliki laju sedimentasi yang tinggi baik dari erosi lahan, maupun sedimentasi akibat sumbangan dari anak-anak sungai Batang Lubuh dan campuran tangan manusia (Harisman, ST. MT).

Hal ini tentu merupakan suatu fenomena yang harus diperhitungkan karena berhubungan dengan kepentingan banyak aspek, dari ekonomi, ekologi, dan tentu saja aspek sosial masyarakat. Berdasarkan uraian diatas, maka perlu

dilakukan penelitian tentang “Analisa Awal Gerak Butiran Pada Sungai Rokan kanan (Studi Kasus Sungai Batang Lubuh)” yang sesuai dengan teori-teori dalam ilmu Hidrolika dan Rekayasa Sungai.

1.2 Tujuan Dan Manfaat penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui parameter hidrolis (kecepatan aliran, kedalaman aliran, lebar sungai serta kemiringan sungai).
2. Dapat mengetahui apakah sedimen dasar sungai batang lubuh bergerak (stabil) atau tidak bergerak (tidak stabil).

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memahami suatu rumusan awal gerak butiran sedimen dengan kondisi material dasar seragam atau tidak seragam dari berbagai variasi kemiringan dasar yang berbeda.

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini fokus pada cara mencari awal gerak butiran dan lokasi penelitian ini terdapat di daerah sungai Rokan Kanan, khususnya Sungai Batang Lubuh, titik koordinat di hulu sungainya $N 00^{\circ} 51' 52.2'' - E 100^{\circ} 17' 24.3''$ dan di hilir sungainya $N 100^{\circ} 52' 06.9'' - E 100^{\circ} 17' 52.7''$ Kecamatan Rambah, Kabupaten Rokan Hulu.
2. Sedimen dasar yang dianalisa adalah sedimen yang granular (non-kohefif) yang merupakan sedimen dengan butiran-butiran partikel yang umumnya berasal dari pasir.
3. Kondisi aliran dianggap seragam dimana kemiringan garis energi (S_f) didekati dengan kemiringan dasar saluran (S_o), debit kedalaman dan kecepatan yang digunakan adalah debit pada saat pengujian.
4. Data penelitian yang akan digunakan meliputi data yang berasal dari hasil pengukuran langsung dilapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai Analisa Awal Gerak Butiran Pada Sungai Rokan Kanan (Studi Kasus Sungai Batang Lubuh) belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya, penelitian yang pernah dilakukan mengenai awal gerak butiran sedimen antara lain :

1. Suryawan, Weka Adi (2008), Kajian angkutan sedimen dasar pada saluran dengan material dasar tidak seragam. Dalam pengelolaan sungai, jumlah angkutan sedimen dasar perlu dipertimbangkan, karena dapat merubah konfigurasi dasar sungai. Analisa angkutan sedimen dasar pada material sedimen tidak seragam memerlukan informasi material dasar perfraksi. Penelitian ini berdasarkan pada pengukuran dilaboratorium dan data sekunder yang diperoleh dari beberapa literatur, yang mana digunakan enam ratus lima belas data perfraksi untuk menganalisa angkutan sedimen dasar perfraksi. Analisa angkutan sedimen dasar perfraksi berdasarkan pada tiga parameter utama yaitu kemiringan saluran, proporsi angkutan sedimen dasar dan proporsi material dasar perfraksi. Angkutan sedimen dasar perfraksi diamati tergantung pada debit aliran, kemiringan saluran dan material dasar. Hasil dari analisa menunjukkan juga bahwa kemiringan saluran, proporsi angkutan sedimen dasar dan proporsi material dasar perfraksi berpengaruh terhadap angkutan sedimen dasar perfraksi. Sebuah persamaan angkutan sedimen dasar perfraksi diusulkan dalam penelitian ini. Verifikasi persamaan yang diusulkan dengan data dari literatur menunjukkan hasil yang cukup baik.
2. Enung (2008), Pengaruh fradasi butiran terhadap awal gerak butir sedimen. Awal gerak butir sedimen merupakan proses yang penting dalam analisis angkutan sedimen. Shields (1936) mengemukakan metode analisa awal gerak butiran untuk butiran seragam. Sedangkan untuk penelitian dengan butiran tidak seragam masih terbatas. Oleh karena itu penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji validitas dari grafik Shields

apabila digunakan pada material dengan gradasi butiran tidak seragam. Pengukuran laboratorium dilakukan untuk meneliti awal gerak butiran sedimen dengan melakukan variasi debit aliran, kemiringan dasar saluran, dan gradasi butiran. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi distribusi butir sedimen yaitu butir sedimen I dengan $D_{50} = 10.2$ mm, dan parameter ketidakseragaman butir sedimen (σ_g) = 7.99, butir sedimen II dengan $D_{50} = 0.9$ mm dan $\sigma_g = 4.23$, butir sedimen III dengan $D_{50} = 0.7$ mm dan $\sigma_g = 2.92$. Kemiringan dasar saluran bervariasi antara 0.03% sampai dengan 2% sedangkan debit aliran bervariasi dari 6 l/s sampai dengan 35 l/s. Selain data hasil eksperimen juga digunakan data sekunder hasil penelitian terdahulu dari berbagai literatur. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa grafik Shields tidak cocok digunakan untuk butiran tidak seragam ($\sigma_g > 1$), karena terdapat penyimpangan yang cukup signifikan antara nilai τ^*_{cr} hasil pengukuran untuk butiran tidak seragam terhadap nilai τ^*_{cr} Shields. Nilai parameter ketidakseragaman butir sedimen ($\sigma_g = D_{84} / D_{16}$) menyebabkan penyebaran data yang tidak konsisten. Peningkatan nilai parameter ketidakseragaman butir sedimen secara umum tidak diikuti oleh peningkatan nilai parameter tegangan geser kritis. Pada butiran dengan gradasi tidak seragam grafik Shields dapat digunakan dengan mengoreksi D_{50} sebagai diameter referensi menggunakan parameter ketidakseragaman butir sedimen (σ_g) dan kemiringan dasar saluran (S_o).

3. Enung (2013), Pengaruh Gradasi Butiran Terhadap Awal Gerak Butir Sedimen. Awal Gerak Sedimen merupakan tahapan yang penting dalam transport sedimen. Shields (1936) sebagai peneliti yang pertama mengemukakan mengenai awal gerak butiran sedimen seragam, sedangkan penelitian mengenai awal gerak sedimen untuk butiran tidak seragam masih terbatas. Dalam tulisan ini akan dibahas mengenai diagram Shields apakah masih relevan atau tidak untuk memprediksi awal gerak sedimen tidak seragam. Kajian laboratorium dilakukan untuk meneliti awal gerak sedimen dengan berbagai variasi debit, kemiringan saluran, dan gradasi butiran sedimen. Tiga jenis gradasi butiran yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sedimen I dengan $D_{50} = 10.2$ mm,

dan parameter ketidakteraturan butiran (σ_g) = 7.90, sedimen II dengan $D_{50} = 0.9$ mm, dan parameter ketidakteraturan butiran (σ_g) = 4.23, sedimen III dengan $D_{50} = 0.7$ mm, dan parameter ketidakteraturan butiran (σ_g) = 2.92. Kemiringan saluran bervariasi antara 0.03% sampai dengan 2%, sedangkan debit aliran bervariasi mulai dari 6 l/s sampai dengan 35 l/s. Data sekunder diperoleh dari berbagai literatur digunakan dalam penelitian ini. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa grafik Shields tidak sesuai untuk digunakan pada analisis butiran sedimen tidak seragam ($\sigma_g > 1$), * τ_{cr} hasil τ karena terdapat penyimpangan yang signifikan antara * τ_{cr} berdasarkan grafik τ penelitian untuk butiran tidak seragam terhadap Shields. Dengan menggunakan parameter ketidakteraturan butiran, data yang diperoleh tidak konsisten, dimana kenaikan nilai parameter ketidakteraturan butiran tidak diikuti oleh kenaikan dari nilai tegangan geser kritis. Dengan mengoreksi nilai D_{50} sebagai diameter representatif dengan parameter σ_g dan S_0 , grafik Shields dapat digunakan untuk butiran sedimen tidak seragam.

4. Wigati, Restu (2008), Perubahan gradasi material sedimen terangkut terhadap material dasar butiran tidak seragam. Proses angkutan sedimen yang terjadi pada suatu sungai dapat menentukan bentuk konfigurasi dasar sungai serta karakteristik yang terjadi, baik material yang tertinggal maupun material yang terangkut akibat proses tersebut. Karakteristik yang dimaksud berupa perubahan distribusi gradasi butiran serta pola keseragaman butiran. Penelitian ini didasarkan pada pengukuran yang dilakukan di laboratorium dengan variasi kondisi aliran berupa variasi debit aliran (Q), variasi kemiringan dasar saluran (S_0) serta variasi gradasi butiran material dasar saluran. Material dasar yang digunakan berasal dari sungai Krasak dengan diameter median ($d_{501} = 10,2$ mm; $d_{502} = 0,88$ mm; $d_{503} = 0,663$ mm). Debit aliran yang digunakan adalah antara 5 l/s hingga 35 l/s dengan kemiringan dasar saluran (S_0) antara 0,00015 hingga 0,02. Selain menggunakan data laboratorium, dalam penelitian ini juga digunakan data sekunder. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih lanjut sejauh mana pengaruh perubahan kondisi aliran dan variasi material dasar terhadap perubahan karakteristik gradasi

material sedimen beserta keseragaman butiran material terangkut. Berdasarkan hasil analisa gradasi butiran material terangkut dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya debit aliran (Q) dan kemiringan dasar saluran (S_0) gradasi material terangkut 1 dan 2 cenderung lebih halus dan untuk gradasi material terangkut dasar 3 cenderung lebih kasar. Karakteristik material terangkut berupa keseragaman butiran menunjukkan dengan semakin bertambah besar kemiringan dasar saluran (S_0) gradasi material terangkut cenderung semakin tidak seragam, sedangkan dengan semakin bertambah besar debit aliran (Q), material terangkut tidak secara konsisten menunjukkan suatu pola tertentu dimana mengindikasikan bahwa butiran semakin tidak seragam.

5. Sinatra, Wenny (2008), Pengaruh kemiringan dasar terhadap awal gerak sedimen tidak seragam. Gerakan baru sedimen tidak seragam sangat penting untuk memahami transportasi sedimen pada tempat tidur fluvial. Kemiringan saluran tempat tidur akan menjadi parameter penting yang mempengaruhi karakteristik aliran, sehingga kemiringan tempat tidur akan mempengaruhi gerak sedimen yang baru mulai. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengeksplorasi pengaruh kemiringan lereng pada kondisi kritis untuk inisiasi gerakan sedimen dan untuk mengembangkan persamaan dalam memprediksi gerak awal sedimen non uniform. Studi eksperimental gerak mapan sedimen non seragam dilakukan dengan flume dengan panjang 10 m dan lebar 0,6 m. Tiga jenis sedimen yang digunakan dalam percobaan ini dengan diameter representatif (D_{50}) adalah 0,7 mm, 0,9 mm dan 10,2 mm, dengan masing-masing parameter keseragaman non (σ) adalah 2,9; 4,2; Dan 7,9. Lereng tempat tidur bervariasi dengan 0,03% sampai 2% sedangkan debit alirannya adalah 6 sampai 35 l / dt. Selain data eksperimen, beberapa data sekunder digunakan dalam penelitian ini yang diperoleh dari beberapa literatur. Penelitian ini telah mengungkapkan bahwa parameter kemiringan tempat tidur tidak didefinisikan secara jelas sebagai pola pada grafik Shields, karena gerakan sedimen tidak uniform yang baru terbentuk tidak hanya dipengaruhi oleh kemiringan tempat tidur tetapi juga oleh ukuran butiran

parameter sedimen dan tidak seragam. Disisi lain, penelitian ini telah menunjukkan bahwa kurva Shields yang biasanya digunakan untuk menentukan inisiasi gerakan sedimen seragam adalah valid untuk digunakan untuk memprediksi gerakan awal sedimen non seragam dengan mengoreksi D50 sebagai diameter representatif dengan σ dan S_o .

2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian ini meninjau tentang Analisa Awal Gerak Butiran Pada Sungai Rokan Kanan (Studi Kasus Sungai Batang Lubuh). Banyak sedikit angkutan sedimen pada suatu sungai dapat dilihat dari keruh tidaknya aliran sungai, yang dipengaruhi oleh besar kecilnya kecepatan aliran. Makin besar kecepatan aliran, aliran air makin keruh yang berarti makin besar angkutan sedimen yang terangkut.

Awal gerak butiran merupakan awal terjadinya angkutan sedimen disuatu sungai atau saluran terbuka, dan oleh karenanya merupakan hal penting dalam perhitungan angkutan sedimen. Awal gerak butiran dasar merupakan kondisi batas antara aliran tanpa angkutan sedimen dasar dan aliran dengan angkutan sedimen dasar. Dalam literatur diterangkan bahwa distribusi kecepatan dan distribusi konsentrasi sedimen pada kondisi aliran dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar relatif berbeda, yang mungkin dapat diketahui pada saat kondisi kritis awal pergerakan butiran.

Perbedaan penelitian ini dengan beberapa hasil penelitian terdahulu terletak pada:

1. Penelitian ini fokus pada cara mencari Awal Gerak Butiran Pada Sungai Rokan Kanan (Studi Kasus Sungai Batang Lubuh).
2. Lokasi penelitian ini terdapat didaerah Sungai Rokan Kanan, sungai Batang Lubuh, titik koordinat dihulu sungainya N $00^{\circ} 51' 52. 2''$ – E $100^{\circ} 17' 24. 3''$ dan dihilir sungainya N $100^{\circ} 52' 06. 9''$ – E $100^{\circ} 17' 52. 7''$ Kabupaten Rokan Hulu dan dilakukan pada tahun 2018.
3. Gradasi dasar saluran sungai Batang Lubuh ditinjau dari beberapa titik pengambilan sampel dan debit aliran yang digunakan adalah debit pada saat pengukuran.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Sungai

Sungai adalah aliran air alami dari daerah hulu ke daerah hilir. Aliran alami sungai merupakan sumber utama untuk memenuhi air bagi manusia. Air yang berada di permukaan daratan, baik air hujan, mata air, maupun cairan gletser, akan mengalir melalui sebuah saluran menuju tempat yang lebih rendah. Mula-mula saluran yang dilalui ini relatif sempit dan pendek. Namun, secara proses alamiah aliran ini mengikis daerah-daerah yang dilaluinya. Akibatnya, saluran ini semakin lama semakin lebar dan panjang, maka terbentuklah sungai.

Secara alami, sungai mengalir sambil melakukan aktivitas yang satu sama lain saling berhubungan. Aktivitas tersebut, antara lain erosi (pengikisan), pengangkutan (transportasi), dan pengendapan (sedimentasi). Ketiga aktivitas tersebut tergantung pada faktor kemiringan daerah aliran sungai, volume air sungai, dan kecepatan aliran. Bahan yang diangkut oleh sungai terdiri atas material halus yang melayang dan material kasar berupa bongkahan batu yang menggelinding didasar sungai. Sungai mengalir dalam tiga tingkatan, yaitu bagian atas/hulu, tengah, dan bagian bawah/hilir.

Aliran bagian atas atau hulu sungai ditandai dengan lembah berbentuk V yang disebut sungai muda. Banyak mata air ditemukan di daerah ini. Erosi yang intensif menghasilkan lembah curam, jurang, dan air terjun. Aliran sungai bagian tengah ditandai dengan bentuk lembah U disebut sungai dewasa. Banyak terdapat anak-anak sungai yang menambah jumlah material yang harus diangkut kehilir. Diwilayah ini banyak terdapat daerah sisa erosi dan secara perlahan mengakibatkan sungai mulai berkelok-kelok. Aliran bagian bawah ditandai dengan lembah daerah yang datar disebut sungai tua. Terdapat beban yang sangat besar berupa material hasil erosi yang sangat banyak yang diendapkan dikiri-kanan aliran sungai dan kelokan-kelokan sungai membentuk dataran.

Sungai selain berfungsi sebagai media untuk mengalirkan air, sungai juga berfungsi untuk mengangkut material sebagai angkutan sedimen. Proses transpor sedimen pada sungai merupakan proses yang sangat komplik, karena banyaknya parameter yang saling berkaitan baik parameter aliran ataupun parameter angkutan itu sendiri.

3.2 Angkutan Sedimen

Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk dari akumulasi material hasil perombakan batuan yang sudah ada sebelumnya atau hasil aktivitas kimia maupun organisme, yang diendapkan lapis demi lapis pada permukaan bumi yang kemudian mengalami pembatuan (Pettjohn, 1975).

Prinsip dasar angkutan sedimen adalah untuk mengetahui apakah pada keadaan tertentu akan terjadi keadaan seimbang (*equilibrium*), erosi (*erosion*), atau pengendapan (*deposition*) dan dimana gejala alam itu terjadi dan bagaimana konfigurasi dasar yang akan terbentuk.

Proses angkutan sedimen dapat dibagi dalam tiga proses (Van Der Velden, 1989 ; Bandan 1998) :

1. *The string-up of bottom*, adalah material yang terbawa lepas keatas dari lapis dasar saluran.
2. *The horizontal displacement*, secara horizontal butiran lepas bergerak dalam air.
3. *The re-sedimentation*, adalah pengendapan butiran kembali kedasar saluran.

Lebih lanjut diterangkan bahwa angkutan sedimen sangat dipengaruhi oleh karakteristik sedimennya, yang tersiri dari dua faktor penting yaitu diameter butiran sedimen (d) dan rapat massanya (ρ_s).

Inpasihardjo (1993), mengungkapkan bahwa ukuran diameter butiran sedimen sangat berpengaruh dalam campuran sedimennya, yang berpengaruh baik secara mutlak maupun secara relatif. Bila kerapatan dan bentuk butiran ditentukan, maka ukuran diameter butiran menjadi berpengaruh mutlak karena

menentukan massanya dan luas permukaan yang terbuka untuk aliran. Luas butiran sebanding dengan d^2 dan massa butiran sebanding dengan d^3 .

Dikatakan lebih lanjut bahwa, rapat massa berpengaruh terhadap berat dari butiran sedimen, sehingga semakin besar rapat massanya maka diperlukan gaya penggerak yang semakin besar pula untuk menggerakkan butiran sedimennya.

3.3 Transpor Sedimen

Transpor sedimen adalah gerak partikel yang dibangkitkan oleh gaya yang bekerja. Transpor sedimen merupakan hubungan aliran air dan partikel-partikel sedimen. Pemahaman dari sifat-sifat fisik air dan partikel sedimen sangatlah penting untuk mengetahui tentang pengertian transpor sedimen.

Sifat-sifat pokok dari air dan partikel-partikel sedimen, parameter yang menggambarkan beberapa sifat yang sering digunakan dalam persamaan transpor sedimen. Metode komputasi dan beberapa contoh digunakan dalam menjelaskan prosedur untuk mendeterminasikan beberapa sifat-sifat sedimen.

Pada umumnya transpor sedimen dikelompokkan atas tiga kelompok, yaitu:

1. *Bedload* didefinisikan sebagai transpor sedimen yang mengalami kontak terus-menerus dengan dasar selama pergerakannya (*sliding, jumping* dan *rolling*).
2. *Suspended load* dalam gerakannya tidak mengalami kontak yang terus-menerus dengan dasar dan ukuran partikelnya lebih kecil (Murphy dan Aguirre, 1985, Fredsoe dan Rolf, 1993 dalam Mubarak, 2004).
3. *Wash load* terdiri dari partikel-partikel yang sangat halus, biasanya wash load tidak mewakili komposisi dasar.

3.3.1 Transpor Sedimen Kohesif

Sedimen kohesif merupakan butiran-butiran partikel lumpur yang berada didasar maupun dibadan air yang bila bergabung bersama akan membentuk suatu unit yang lebih besar yang disebut *Floc*. Proses ini

sangat bergantung pada konsentrasi sedimen. Flokulasi yang terjadi sangat mempengaruhi kecepatan jatuh sedimen kohesif. Semakin besar konsentrasi dari flokulasi yang terjadi maka akan semakin besar pula kecepatan jatuh sedimen (Irham, 2000).

3.3.2 Transpor Non-Kohesif

Sedimen non-kohesif merupakan sedimen dengan butiran-butiran partikel yang umumnya berasal dari pasir. Pergerakan sedimen ini sangat bergantung pada besar kecilnya diameter partikel sedimen. berbeda dengan sedimen kohesif, partikel sedimen non-kohesif tidak pernah membentuk flokulasi sehingga antara partikel sedimen tidak pernah bergabung membentuk suatu unit baru.

Gaya-gaya yang bekerja pada suatu butiran sedimen non-kohesif dalam aliran air :

- 1) Gaya berat (*gravity force*)
- 2) Gaya apung (*buoyancy force*)
- 3) Gaya angkat (*hydrodynamic lift force*)
- 4) Gaya seret (*hydrodynamic drag force*)

3.4 Klasifikasi Ukuran Butiran

Klasifikasi ukuran butiran biasa digunakan oleh para ahli hidraulika adalah klasifikasi ukuran butiran yang diusulkan oleh *The Subcommittee On Sediment Terminologi* dari AGU (*American Geophysical Union*), adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1 dibawah. Material sedimen yang mempunyai penyebaran kecil dan mempunyai ukuran yang dianggap sama dalam sebuah fraksi sering dinamakan sebagai material *uniform* (seragam), sedangkan material sedimen yang mempunyai penyebaran besar dinamakan sebagai material *non uniform* (tidak seragam).

Kurva frekuensi dari beberapa sampel material sedimen biasanya memiliki satu puncak kurva (*unimodal*) dan sebagian yang lain memiliki dua puncak kurva (*bimodal*). Dalam beberapa kasus tertentu kadang-kadang dijumpai distribusi frekuensi dengan jumlah puncak (nilai maksimum) lebih dari dua, dimana kurva semacam ini disebut kurva *polymodal*.

Tabel 3.1 :Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen menurut AGU (*American Geophysical Union*)

Rentang Diameter (mm)	Nama
4096-2049	Batu Sangat Besar (<i>Very Large Boulders</i>)
2048-1024	Batu Besar (<i>Large Boulders</i>)
1024-512	Batu Sedang (<i>Medium Boulders</i>)
512-256	Batu Kecil (<i>Small Boulders</i>)
256-128	Kerakal Besar (<i>Large Cobbles</i>)
128-64	Karakal Kecil (<i>Small Cobbles</i>)
64-32	Kerikil Sangat Kasar (<i>Very Coarse Gravel</i>)
32-16	Kerikil Kasar (<i>Coarse Gravel</i>)
16-8	Kerikil Sedang (<i>Medium Gravel</i>)
8-4	Kerikil Halus (<i>Fine Gravel</i>)
4-2	Kerikil Sangat Halus (<i>Very Fine Gravel</i>)
2-1	Pasir Sangat Kasar (<i>Very Coarse Sand</i>)
1-1/2	Pasir Kasar (<i>Coarse Sand</i>)

Rentang Diameter (mm)	Nama
1/2-1/4	Pasir Sedang (<i>Medium Sand</i>)
1/4-1/8	Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)
1/8-1/16	Pasir Sangat Halus (<i>Very Fine Sand</i>)
1/16-1/32	Lumpur Kasar (<i>Coarse Silt</i>)
1/32-1/64	Lumpur Sedang (<i>Medium Silt</i>)
1/64-1/128	Lumpur Halus (<i>Fine Silt</i>)
1/128-1/256	Lumpur Sangat Halus (<i>Very Fine Silt</i>)
1/256-1/512	Lempung Kasar (<i>Coarse Clay</i>)
1/512-1/1024	Lempung Sedang (<i>Medium Clay</i>)
1/1024-2048	Lempung Halus (<i>Fine Clay</i>)
1/2048-1/4096	Lempung Sangat Halus (<i>Very Fine Clay</i>)

Dalam literatur dikenal juga beberapa klasifikasi ukuran butiran yang lain, seperti misalnya klasifikasi menurut *U.S Bureau Of Roads*, klasifikasi menurut Atterberg, dan klasifikasi menurut *U.S Bureau Of Soils*.

3.5 Sedimen Seragam

Keseragaman dari ukuran besar butir penyusun batuan sedimen, yang berarti semakin seragam ukuran dan besar butirnya, maka sortasinya semakin baik, begitu pula sebaliknya. Sortasi dapat dibagi menjadi :

1. Sortasi baik : Bila ukuran butir pada batuan sedimen tersebut seragam, hal ini biasa terjadi pada batuan sedimen dengan kemas tertutup.
2. Sortasi sedang : Bila ukuran butir pada batuan sedimen terdapat yang seragam maupun yang tidak seragam.
3. Sortasi buruk : Bila ukuran butir pada batuan sedimen sangat beragam, dari halus hingga kasar dan biasa terjadi pada batuan sedimen dengan kemas terbuka.

Bentuk butiran sedimen penyusun material dasar sungai juga sangat tidak teratur, dari yang berbentuk mendekati bulat sampai dengan bentuk yang sangat pipih, sehingga tidak mudah untuk mendefinisikan ukuran dari butiran yang mempunyai bentuk sangat tidak teratur tersebut.

Selain dengan menggunakan parameter standar deviasi, untuk mendapatkan suatu parameter keseragaman butiran dapat digunakan beberapa kriteria diantaranya :

1. *Kramer's uniformity coefficient* (M)

Kramer (1935) dalam Grade dan Ranga Raju (1977) merumuskan koefisien keseragaman *Kramer's uniformity coefficient* sebagai berikut :

$$M = \frac{\sum_{0}^{50} \Delta p_i d_i}{\sum_{50}^{100} \Delta p_i d_i} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan :

M = koefisien keseragaman Kramer

Δp_i = prosentase dari butiran dengan ukuran d_i (%)

d_i = diameter butiran setiap fraksi (mm)

dimana untuk butiran seragam, koefisien keseragaman Kramer (M) = 1

2. Koefisien keseragaman Sakai (β)

$$\beta = \frac{2+M}{1+2M} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan :

β = Koefisien keseragaman Sakai

M = Koefisien keseragaman Kramer

3. Christady (1992), kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi dapat digambarkan dengan koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*) C_u , diberikan menurut persamaan berikut :

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{(d_{60})(d_{10})} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan :

C_u = *Coefficient of uniformity*

d_{60} = diameter butiran dimana 60% dari berat sampel butiran lolos Saringan

d_{10} = diameter butiran dimana 10% dari berat sampel butiran lolos Saringan

d_{30} = diameter butiran dimana 30% dari berat sampel butiran lolos Saringan

Tanah bergradasi baik jika mempunyai kefisien gradasi C_c antara 1 dan 3 dengan C_u lebih besar 4 untuk kerikil dan lebih besar 6 untuk pasir.

4. Standar deviasi geometrik

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dengan :

D_{84} = ukuran butiran (saringan), dimana 84% dari berat sampel lolos Saringan

D_{16} = ukuran butiran (saringan), dimana 16% dari berat sampel lolos Saringan

σ_g = standar deviasi geometric

dimana $\sigma_g \leq 1$ termasuk butiran seragam dan $\sigma_g > 1$ termasuk butiran tidak seragam (*nonuniform*)

3.6 Debit Aliran

Debit aliran adalah laju air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai persatuan waktu. Dalam sistem SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik perdetik (m^3/dt). Sedangkan dalam laporan-laporan teknis, debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran.

Hidrograf aliran adalah suatu perilaku debit sebagai respon adanya perubahan karakteristik biogeofisik yang berlangsung dalam suatu DAS oleh adanya kegiatan pengelolaan DAS dan/atau adanya perubahan (fluktuasi musiman atau tahunan) iklim lokal.

Teknik pengukuran debit aliran langsung dilapangan pada dasarnya dapat dilakukan melalui empat kategori (Gordon et al. 1992):

- a. Pengukuran volume air sungai.
- b. Pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang sungai.

- c. Pengukuran debit dengan menggunakan bahan kimia (pewarna) yang dialirkan dalam aliran sungai (*substance tracing method*).
- d. Pengukuran debit dengan membuat bangunan pengukuran debit seperti *weir* (aliran air lambat) atau *flume* (aliran cepat).

Pada kategori pengukuran debit yang kedua, yaitu pengukuran debit dengan bantuan alat ukur *current meter* atau sering dikenal sebagai pengukuran debit melalui pendekatan *velocity-area method* yang paling banyak digunakan dan berlaku untuk kebanyakan aliran sungai. *Current meter* berupa alat yang berbentuk propeller dihubungkan dengan kotak pencatat (monitor yang akan mencatat jumlah putaran selama propeller tersebut berada dalam air) kemudian dimasukkan kedalam sungai yang akan diukur kecepatannya. Bagian ekor alat tersebut yang berbentuk seperti sirip akan berputar karena gerakan lairan air sungai. Kecepatan aliran air akan ditentukan dengan jumlah putaran perdetik yang kemudian dihitung akan disajikan dalam monitor kecepatan rata-rata aliran air selama selang waktu tertentu.

Pengukuran dilakukan dengan membagi kedalaman sungai menjadi beberapa bagian dengan lebar permukaan yang berbeda. Kecepatan aliran sungai pada setiap bagian diukur sesuai dengan kedalaman.

Setelah kecepatan aliran sungai dan luasnya didapatkan, debit aliran sungai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan matematis berikut :

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(3.6)$$

Dengan :

- Q = debit (m³/dt)
- V = kecepatan (m/dt)
- A = luasan sungai (m²)

Dalam melakukan pengukuran debit sungai perlu diperhatikan angka kecepatan aliran rata-rata, lebar sungai, kedalaman, kemiringan, dan geseran tepian dasar sungai. Geseran tepi dan dasar sungai akan menurunkan kecepatan aliran terbesar pada bagian tengah dan terkecil pada bagian dasar sungai. Faktor penting lainnya yang perlu diperhatikan adalah jari-jari hidrolis *r* (*hydraulic radius*).

$$R = \frac{A}{W_p} \dots\dots\dots(3.7)$$

Dengan :

A = luasan penampang melintang (m²)

W_p = keliling basahan (*wetted perimeter*)

Cara pengukuran lainnya selain dengan menggunakan alat *Current meter*, dalam pengukuran kecepatan aliran sungai juga dapat dilakukan dengan metode apung (*floating method*). Caranya dengan menempatkan benda yang tidak dapat tenggelam dipermukaan aliran sungai untuk jarak tertentu dan mencatat waktu yang diperlukan oleh benda apung tersebut bergerak dari satu titik pengamatan ketitik pengamatan lain yang telah ditentukan.

Jarak antara dua titik pengamatan yang diperlukan ditentukan sekurang-sekurangnya yang memberikan waktu perjalanan selama 20 detik. Pengukuran dilakukan beberapa kali sehingga dapat diperoleh kecepatan rata-rata permukaan aliran sungai dengan persamaan berikut :

$$Q = A \times k \times U \dots\dots\dots(3.8)$$

Q = debit (m³/det)

U = kecepatan pelampung (m/det)

A = luas penampang basah sungai (m²)

K = koefisien pelampung

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

Benda apung yang digunakan dalam pengukuran ini pada dasarnya adalah benda apa saja sepanjang dapat terapung dalam aliran sungai. Pemilihan tempat pengukuran sebaiknya pada bagian sungai yang relatif lurus dengan tidak banyak arus tidak beraturan.

3.7 Tegangan Geser Kritis (*Critical Shear Strees*)

Awal gerak suatu butiran sedimen tergantung dari karakteristik butiran dan karakteristik aliran. Salah satu pendekatan yang sering digunakan untuk menganalisis awal gerak butiran sedimen adalah pendekatan tegangan geser kritis. Persamaan yang sering digunakan untuk menganalisis tegangan geser kritis adalah persamaan Shields (1936). Dengan menganalisis keseimbangan gaya seret dan gaya hambatan yang bekerja pada butiran seragam didapatkan tegangan kritis sebagai fungsi dari angka Reynold butiran.

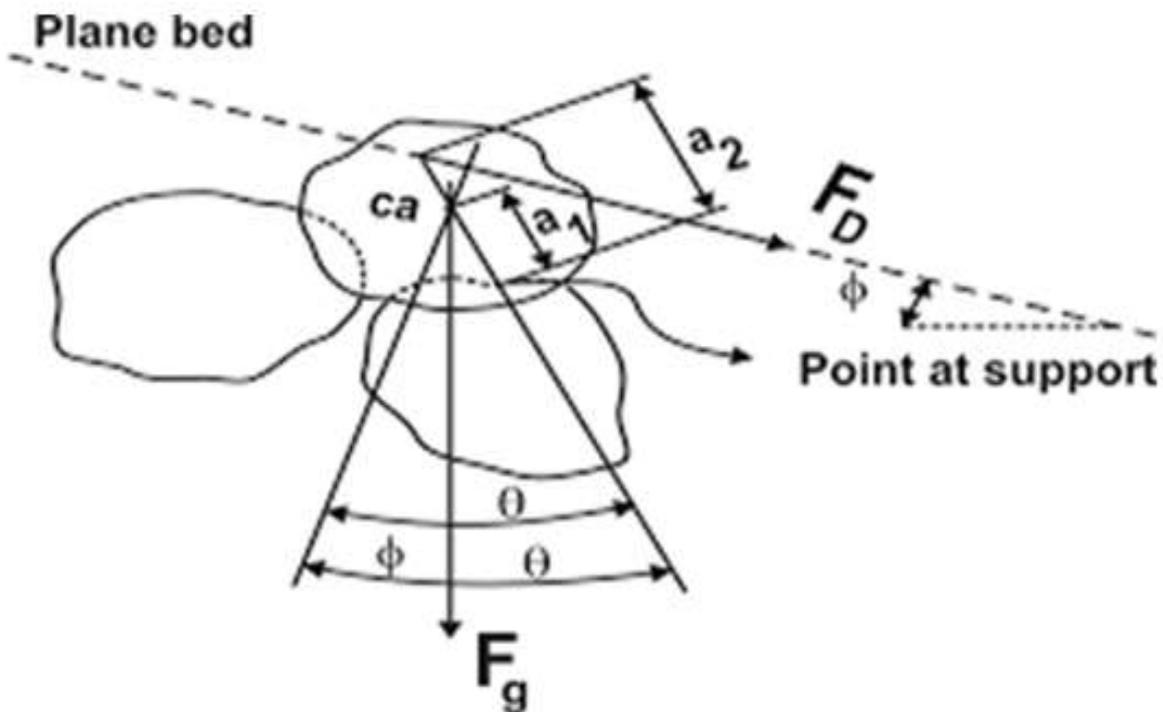
$$\frac{\tau}{(\rho_s - \rho)gd_s} = \left(\frac{f(u^*d_s)}{v} \right) = f(Re^*) \dots \dots \dots (3.9)$$

$$U_* = \sqrt{gR_h S_0} \dots \dots \dots (3.10)$$

Dengan :

R_h = Jari-jari hidraulis saluran

S_0 = kemiringan dasar saluran



Gambar 3.1 : Gaya-gaya yang bekerja pada suatu butiran sedimen non-kohesif dalam aliran air, Sumber Kironoto (1997).

Dengan :

F_D : gaya seret

F_g : gaya berat didalam air

ϕ : sudut kemiringan dasar

θ : sudut gesek (longsor) alam (*angle of repose*)

a_1 : jarak antara pusat berat (CG) sampai titik guling (*point of support*)

a_2 : jarak antara pusat gaya seret (*drag*) sampai titik guling

pada kondisi kritis, butir sedimen hampir bergerak mengguling terhadap titik guling (*point of support*).

Gaya berat didalam air dinyatakan dengan rumus :

$$F_g = C_1 (\gamma_s - \gamma) d_s^3 \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan :

$C_1 d_s^3$ = Volume dari butiran sedimen

d_s = Diameter signifikan dari sedimen (biasanya ukuran ayakan)

C_1 = konstanta untuk konversi volume butiran

Gaya gesek kritik (*critical drag force*) dinyatakan dengan rumus :

$$F_D = C_2 \tau_c d_s^2 \dots\dots\dots(3.12)$$

Dengan :

$C_2 d_s^2$ = luas permukaan efektif dari partikel yang mengalami tegangan gesek kritik, τ_c

Luas efektif adalah luas dari proyeksi partikel pada bidang \perp arah aliran

C_2 = konstanta untuk konversi luas permukaan efektif partikel.

Kondisi kritis (seimbang) terjadi pada saat momen gaya berat sama dengan momen gaya seret, sehingga :

Momen gaya berat = momen gaya seret

Jarak . $F_g = F_D$. jarak

$$C_1(\gamma_s - \gamma) d_s^3 a_1 \sin(\theta - \phi) = C_2 \tau_{cr} d_s^2 a_2 \cos \theta \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\tau_{cr} = \frac{C_1 a_1}{C_2 a_2} (\gamma_s - \gamma) d_s \cos \phi (\tan \theta - \tan \phi) \dots\dots\dots(3.14)$$

untuk dasar sungai/saluran dengan kemiringan kecil ($\tan \phi = 0$)

$$\tau_{cr} = \frac{C_1 a_1}{C_2 a_2} (\gamma_s - \gamma) d_s \tan \theta \dots\dots\dots(3.15)$$

untuk aliran turbulen, $a_1 = a_2$, sehingga :

$$\tau_{cr} = k (\gamma_s - \gamma) d_s \tan \theta \dots\dots\dots(3.16)$$

dengan :

$$k = \frac{C_1}{C_2} \dots\dots\dots(3.17)$$

atau

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = \tan \theta \dots\dots\dots(3.18)$$

Secara umum dapat dinyatakan bahwa kondisi kritis dari awal gerak sedimen tergantung pada : $b, D, d_s, g, \rho_s, \rho, u_{*cr}$

Dari analisa dimensi dapat diperoleh :

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = \frac{\rho u_{*cr}^2}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = f\left(\frac{d_s}{b}, \frac{d_s}{D}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{u_{*cr} d_s}{\nu}\right) \dots\dots\dots(3.19)$$

Untuk butiran halus, $\frac{d_s}{b}$ dan $\frac{d_s}{D}$ dapat diabaikan, juga untuk ρ_s konstan, $\frac{\rho_s}{\rho}$ dapat diabaikan sehingga :

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = \frac{\rho u_{*cr}^2}{\gamma_s' d_s} = \frac{u_{*cr}^2 d_s}{\nu} = f(Re_{*cr}) \dots\dots\dots(3.20)$$

Persamaan diatas tidak berlaku untuk butiran kasar. Untuk butiran kasar, biasanya :

$$\frac{\rho u_{*cr}^2}{\gamma_s' d_s} = f \frac{d_s}{D} \gamma_s' = \gamma_s - \gamma \dots\dots\dots(3.21)$$

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = \frac{\rho u_{*cr}^2}{(\gamma_s - \gamma) d_s} \dots\dots\dots(3.22)$$

Persamaan $\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = f (Re_{*cr})$ dapat pula diperoleh dengan metode lain, yaitu dengan anggapan bahwa butiran sedimen yang bergerak disebabkan oleh kecepatan yang bergerak z dari dasar. Menurut Einstein, $z = 0,35 d$.

Secara eksperimental Shields menggunakan sedimen diameter seragam yang bervariasi dan data dari percobaan lain menghasilkan grafik fungsi yang disebut Grafik Shields..

Grafik Shields dapat digunakan untuk mempermudah memprediksi butiran sedimen bergerak atau diam. Untuk material dasar dengan distribusi ukuran butiran tidak seragam, nilai parameter tersebut bervariasi sebagai interaksi antara pengaruh perbedaan ukuran butir terhadap kondisi kritis untuk setiap ukuran fraksi.

3.8 Parameter Aliran

Dalam proses yang berkaitan dengan proses awal gerak butiran sedimen pada sungai dan angkutan sedimen disaluran, disamping parameter karakteristik sedimen parameter aliran juga merupakan salah satu faktor utama yang harus diperhatikan. Parameter aliran yang dimaksud meliputi kecepatan aliran (U), kecepatan geser (U*), debit aliran (Q), kedalaman aliran (h), dan kemiringan dasar saluran (S₀).

Kecepatan aliran rata-rata :

$$U_r = Q / h b \dots\dots\dots(3.23)$$

Dengan :

Q = debit (m^3/dt)

h = tinggi muka air (m)

b = lebar saluran (m)

3.9 Kecepatan Geser

Pemahaman tentang karakteristik kecepatan gesek dasar, u^* atau tegangan gesek dasar, τ_o , sering kali dikaitkan dengan proses perubahan profil dasar sungai. Pada sungai menikung, proses degradasi (gerusan) cenderung terjadi pada sisi luar tikungan, sedangkan proses agradasi (deposisi) terjadi pada sisi dalam tikungan (Kironoto Et Al, 2012, p.239).

Kecepatan aliran (U) dipengaruhi oleh kedalaman aliran, kondisi saluran dan debit aliran. Kecepatan geser (U^*) merupakan besaran geseran akibat adanya aliran yang ditunjukkan dalam hubungan sebagai berikut :

$$U^* = \sqrt{g R_b S_o} \dots \dots \dots (3.24)$$

Dimana : $R_b = \frac{A}{P}$

Dengan :

U^* = kecepatan geser butiran (m/s)

g = kecepatan gravitasi (m/s^2)

R_b = jari-jari hidraulis (m)

A = luas tampang basah aliran (m^2)

P = keliling basah (m)

S_o = kemiringan saluran = kemiringan garis energi

Untuk menentukan kecepatan geser dasar pada aliran disaluran terbuka dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu (B.A. Kironoto dkk, 2012):

1. Persamaan energi (*energy gradient method*)
2. Metoda Clauser
3. Metoda distribusi tegangan Reynolds.

Dari ketiga metode tersebut di atas, yang akan dibahas hanya dua, yaitu metode Clauser, yang menggunakan data hasil pengukuran kecepatan tangensial dan metode dengan menggunakan data hasil pengukuran tegangan Reynolds. Sedangkan metoda pertama agak sulit digunakan, karena tidak mudah menentukan kemiringan garis energi pada saluran menikung.

3.9.1 Metoda Clauser

Metoda Clauser adalah merupakan suatu metoda dimana kecepatan gesek, u^* , dapat diperoleh dari data pengukuran distribusi kecepatan bersama-sama dengan hukum distribusi kecepatan logaritmik oleh Prandtl (Cardoso, et al., 1989, dan Kironoto dan Graf, 1994). Cara ini sering dipergunakan, karena disamping ketelitiannya yang cukup tinggi, juga relatif mudah untuk diterapkan.

Hanya saja untuk dapat menggunakan metode ini diperlukan data pengukuran distribusi kecepatan (khususnya didekat dasar; *inner region data*) dan informasi bahwa hukum logaritmik masih berlaku didaerah dekat dasar (*inner region*). Jadi tingkat ketelitian dari metode ini tergantung pada berlaku tidaknya hukum logaritmik, disamping ketelitian dari data pengukuran kecepatan yang diperoleh didekat dasar.

Pada metoda Clauser, kecepatan rata-rata titik dari data pengukuran distribusi kecepatan didaerah *inner region*, sebagai koordinat, diplotkan dengan nilai $\ln(y/ks)$ sebagai absisnya. Bila mana plot data pengukuran distribusi kecepatan membentuk korelasi (*trend*) linear, dapat diartikan bahwa data distribusi kecepatan di daerah *inner region* masih mengikuti hukum logaritmik, dan metode Clauser dapat digunakan. Sebaliknya, kalau plot data tidak memperlihatkan korelasi linear, berarti data (atau sebagian data) pengukuran distribusi kecepatan tidak mengikuti hukum logaritmik, dan metode Clauser tidak dapat digunakan atau kurang teliti untuk digunakan menentukan kecepatan

gesek, u^* . Dengan metode pencocokan kurva (regresi linear), dapat diperoleh nilai u^* dan Br (dengan menggunakan nilai konstanta Karman, $\kappa = 0.4$). Dengan demikian, selain dapat diperoleh nilai kecepatan gesek, u^* , metode Clauser juga dapat memberikan nilai konstanta integrasi numerik dari persamaan distribusi kecepatan, Br.

Untuk aliran seragam, banyak sekali penelitian eksperimental [Nezu dan Rodi (1986), Kironoto dan Graf (1994), Coleman (1981)] yang membuktikan bahwa hukum kecepatan logaritmik berlaku pada aliran dalam saluran terbuka, khususnya pada daerah yang berada didekat dasar/*inner region* ($y < 0.2 D$, dimana D adalah kedalaman aliran). Didaerah jauh dari dasar, data distribusi kecepatan biasanya sedikit menyimpang terhadap persamaan distribusi kecepatan logaritmik, hal ini tidak menjadikan masalah, karena metode Clauser hanya menggunakan data distribusi kecepatan didaerah dekat dasar (Kironoto, 1992).

3.9.2 Metoda distribusi tegangan Reynolds

Menurut prosedur Reynolds, pada aliran turbulen tegangan geser pada ketinggian z dari dasar saluran didalam suatu aliran tetap dan seragam. Pada aliran turbulen, kecepatan sesaat dapat dipisah menjadi dua komponen yaitu kecepatan rata-rata terhadap waktu (*time average velocity*) dan fluktuasi kecepatan, sehingga dapat dituliskan dalam bentuk:

$$u = \bar{u} + u' \dots\dots\dots(3.25)$$

dengan:

- u : kecepatan longitudinal (m/s)
- \bar{u} : kecepatan rerata (m/s)
- u' : fluktuasi kecepatan, bisa positif atau negatif (m/s)

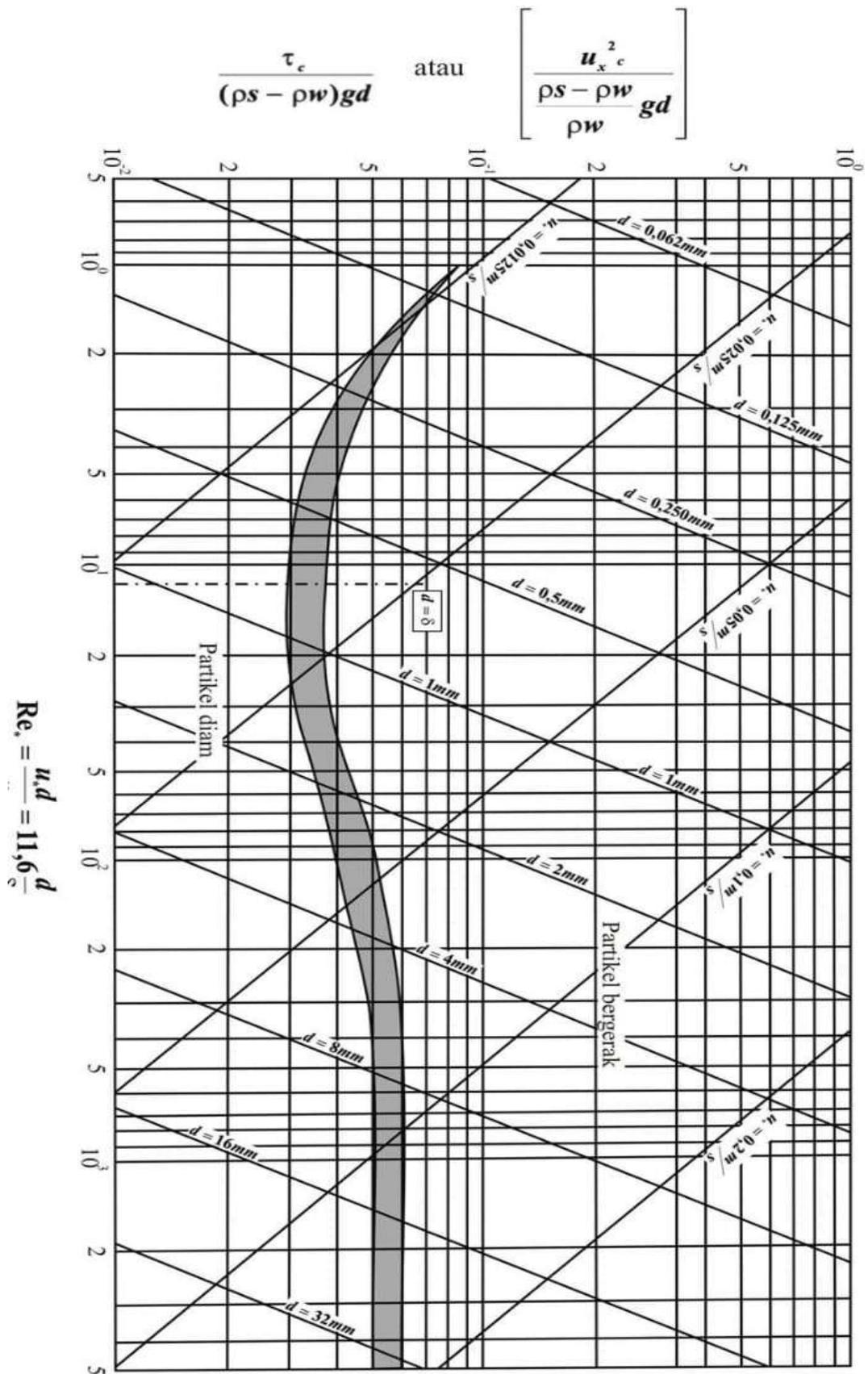
3.10 Awal Gerak Butiran Sedimen

Awal gerak butiran sedimen dasar merupakan awal terjadinya angkutan sedimen disuatu sungai atau saluran terbuka, dan oleh karenanya merupakan hal penting dalam perhitungan angkutan sedimen. Awal gerak butiran dasar

merupakan kondisi batas antara aliran tanpa angkutan sedimen dasar dan aliran dengan angkutan sedimen dasar.

Awal gerak butiran sedimen ditunjukkan dengan suatu kondisi kritis oleh suatu nilai batas (nilai kritis). Mengingat ukuran butiran sebagai perhitungan nilai-nilai kritis ditentukan oleh diameter ekivalen maka untuk sedimen dengan ukuran butiran yang seragam atau yang bergradasi rapat, sempit atau kecil dapat dianggap hanya mempunyai satu nilai kritis sesuai dengan tinjauan kondisi kritisnya, sehingga untuk menggerakkan butiran tersebut harus mempunyai nilai parameter yang lebih besar dari nilai kritisnya dan apabila kurang seragam akan mempunyai banyak nilai kritis tergantung dari diameter masing-masing butiran pada sedimen tersebut dan dapat dihasilkan nilai kritis yang sangat berbeda antara butiran yang terkecil dan terbesar. Menurut Einstein (1950) untuk menentukan nilai kritis pada sedimen tidak seragam harus digunakan d_{35} .

Rumus yang bisa digunakan untuk menentukan permulaan gerak butiran ini, diantaranya memanfaatkan grafik shields, seperti berikut :



Gambar 3.2 : Grafik Shields untuk menentukan permulaan gerak butiran.

Sumbu X dari grafik tersebut menunjukkan Boundary Reynold Number (Re^*), dengan u^* = kecepatan kritik, d = diameter butiran, dan ν = viskositas kinematik fluida.

Sumbu Y dari grafik tersebut merupakan tegangan tak berdimensi (dimensionless stress), dengan τ_c = tegangan kritis, ρ_w = rapat massa air, dan ρ_s = rapat massa butiran.

Pada Aliran Seragam, tegangan gesek dasar (τ_o) dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut (Yang, 1996):

$$\tau_o = \rho \cdot g \cdot d \cdot S_o = \rho \cdot u_*^2 \dots\dots\dots(3.26)$$

Permulaan Gerak Butiran biasanya dicari dengan pendekatan *ekstrapolasi critical tractive force*. Dengan melakukan regresi linear (*least square fitting method*) dari data τ_o , v_s , q_b' (berat kering sedimen/satuan waktu = q_b/dt), didapat nilai τ_{oc} . Dari τ_{oc} inilah dapat dihitung nilai kedalaman (h_{cr}) dengan berdasarkan persamaan:

$$\tau_{ocr} = \gamma \cdot d \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_{cr} \cdot S_o \dots\dots\dots(3.27)$$

dengan :

- τ_{ocr} = tegangan geser kritis (N/m^2)
- γ = berat jenis air (N/m^3)
- D = kedalaman aliran (m)
- S_o = kemiringan dasar
- h_{cr} = kedalaman aliran saat kritis pergerakan sedimen (m)
- g = percepatan grafitasi (m/dt^2)
- u^* = kecepatan gesek (m/dt)
- ρ = rapat massa air (kg/m^2)

Ada beberapa pendekatan dalam mendefinisikan awal gerak butiran, yaitu apabila pada suatu kondisi pengaliran terjadi :

1. Satu partikel diketahui sudah ada yang bergerak,
2. Sejumlah partikel sudah bergerak,
3. Butiran pada dasar secara umum sudah bergerak,
4. Pada kondisi dimana jumlah angkutan sedimen sama dengan nol.

Untuk kondisi 1 dan 2 sangat subjektif karena tergantung pada orang yang mengamati pergerakan sedimen. Untuk kondisi 3 kurang tepat didefinisikan sebagai awal gerak butiran, Karena angkutan sedimen sudah terjadi disepanjang dasar. Sedangkan untuk kondisi 4 bisa dibilang paling objektif, hanya saja perlu pengukuran besarnya angkutan sedimen pada berbagai kondisi pengaliran yang berbeda yang kemudian selanjutnya dilakukan interpolasi untuk mendapatkan kondisi dasarnya angkutan sedimen sama dengan nol.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dipakai dalam pembuatan skripsi Analisa Awal Gerak Butiran Pada Sungai Rokan Kanan (Studi Kasus Sungai Batang Lubuh) adalah data sekunder dari berbagai literatur, data dari hasil pengujian dilapangan dan labolatorium yang diharapkan dari berbagai variasi data penelitian tersebut dapat diketahui awal gerak butiran sedimen.

4.1 Kondisi Sungai Batang Lubuh

Kabupaten Rokan Hulu terdapat beberapa sungai, 2 diantaranya adalah sungai yang cukup besar yaitu Sungai Rokan Kanan dan Sungai Rokan Kiri. Selain sungai besar tersebut, terdapat juga sungai-sungai kecil antara lain Sungai Tapung, Sungai Dantau, Sungai Ngaso, Sungai Batang Lubuh, Sungai Batang Sosa, Sungai Batang Kumu, Sungai Duo (Langkut), dan lain-lain.

Secara visual sungai Batang Lubuh memiliki alur yang berkelok-kelok mengikuti pola tertentu, akibat aliran dengan debit dominan yang terus-menerus mengikis tebing sungai pada belokan luar dan berlangsung insentif sedangkan sisi bagian dalam terjadi pengendapan. Pada bagian sungai yang mengalami proses berkelok-kelok ini sesuai dengan proses alam akan terjadi pemindahan alur sungai secara alamiah, dengan demikian dapat menyebabkan tergerusnya tebing sungai bagian bawah, sedangkan bagian atasnya tidak ada lagi yang menumpu maka terjadinya proses longSORan tebing sungai.

Hal ini tentu merupakan suatu fenomena yang harus diperhitungkan karena berhubungan dengan kepentingan banyak aspek, dari ekonomi, ekologi, dan tentu saja aspek sosial masyarakat. Oleh karena itu maka perlu dilakukan penelitian tentang Analisa Awal Gerak Butiran Pada Sungai Rokan Kanan (Studi Kasus Sungai Batang Lubuh).

4.2 Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini berada diwilayah Kabupaten Rokan Hulu, titik koordinat dihilu sungai N $00^{\circ} 51' 52.2''$ – E $100^{\circ} 17' 24.3''$ dan dihilir sungainya N $100^{\circ} 52' 06.9''$ – E $100^{\circ} 17' 52.7''$, Kecamatan Rambah, Kabupaten Rokan Hulu, Sungai Batang Lubuh yang melintasi Kecamatan Rambah.



Gambar 4.1 : Lokasi Penelitian.

4.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian ini adalah :

1. Rool meter
Digunakan untuk mengukur dimensi saluran sungai dilapangan.
2. Current Meter
Digunakan untuk mengukur kecepatan aliran.
3. Stopwach
Digunakan untuk menghitung waktu yang diperlukan.
4. Form Pengujian
Untuk mencatat data yang telah diambil.
5. GPS
Digunakan untuk menentukan titik pengujian.
6. Total Station (TS)
Digunakan untuk mengukur elevasi.
7. Plastik kresek
Digunakan untuk tempat sampel material.
8. Peralatan tulis dan kamera
Digunakan untuk menulis dan mengambil dokumentasi dilapangan.
9. Satu set ayakan
Digunakan untuk mengayak material atau analisa ayak butiran dengan susunan dari paling besar 57 mm dan paling kecil 0,25 mm.
10. Timbangan
Digunakan untuk menimbang sampel material.

4.4 Metode Pengambilan Data

Urutan metode pengambilan data yang harus dilakukan untuk penelitian ini adalah :

1. Survei lapangan, disini kita mencari dan melihat kondisi sungai yang akan diteliti dan menentukan titik stasiun yang akan dilakukan penelitian dengan menggunakan GPS.

2. Melakukan pengambilan data debit aliran (Q), yang meliputi data kecepatan aliran (V), luasan sungai (A) dan kedalaman aliran (h) dengan menggunakan Stopwatch, Rool meter, Total Station (TS) dan Current Meter.
3. Tempatkan alat ukur Current Meter pada kedalaman tertentu sesuai kedalaman sungai dan dengan menggunakan Stopwatch, hitunglah kecepatan sungai melalui angka yang ditampilkan dalam monitor Current Meter, lama waktu pencatatan adalah 30 detik.
4. Mencari kemiringan saluran (S_0) dan mengukur elevasi saluran dengan menggunakan alat Total Station (TS).
5. Suatu Total Station (TS) bisa digunakan dan diakui hasil pengukurannya apabila sumbu kesatu benar-benar dalam posisi tegak dan sumbu kedua benar-benar dalam posisi mendatar. Posisi garis bidik juga harus benar-benar tegak lurus dengan sumbu kedua serta tidak terdapat kesalahan indeks pada lingkaran kesatu. Sebelum bisa digunakan, setiap Total Station (TS) perlu disetel terlebih dahulu. Caranya dirikanlah bagian statif sesuai prosedurnya, lalu pasang pesawat diatas kepala statif dengan mengikatkan landasan pesawat memakai sekrup pengunci. Setelah itu, Anda bisa mulai mengatur bagian nivo kotak pada Total Station (TS) tersebut.
6. Catat semua data yang telah diambil baik data titik stasiun, debit aliran, kemiringan saluran dan elevasi saluran diform penelitian.
7. Ambil sampel material didalam sungai dengan jarak pengambilan sampel antara sampel pertama dan seterusnya 200 meter. Pengujian yang dilakukan terhadap material dasar antara lain pengujian berat jenis butiran dan uji analisis ayakan.
8. Untuk uji analisis ayakan keringkan sampel dengan bantuan Oven dengan suhu 100°C dalam waktu 24 jam. Setelah sampel kering, lakukan penimbangan berat kering material dengan alat ukur timbangan dan pengayakan dengan nomor saringan paling besar 75 mm dan paling kecil 0,25 mm, kemudian saringan diguncang dengan tangan atau mesin selama 15 menit.

9. Sampel yang tertahan pada setiap saringan ditimbang. Masukkan sampel yang tertahan kecawan berdasarkan nomor saringan masing-masing. Timbang berat sampel tanah yang tertahan berdasarkan nomor saringan yang tadi telah didinginkan. Lakukan perhitungan analisa saringan dan buat grafiknya.
10. Selanjutnya mencari berat jenis material. Siapkan sampel material, lalu lakukan pengecekan dengan kerucut. Isi $\frac{1}{3}$ dari kerucut tersebut, tumbuk 8 kali. Lakukan hal tersebut hingga 2 kali. Lepas kerucut dan apabila tinggi sampel material yang terbentuk yaitu $\frac{2}{3}$ dari kerucutnya maka material tersebut sudah bisa digunakan. Nolkan timbangan lalu timbang labu takar 1000 cc dan catat hasilnya. Masukkan material kedalam labu takar. Timbang lagi material beserta Labu takar, timbang material itu sebanyak 500 gr dan timbang labu takar tersebut. Isi air pada labu takar hingga batas kapasitas, dan diputar–putar dengan posisi tangan miring supaya gelembung udara keluar. Timbang dan catat berat Air, material, beserta labu ukurnya. Material dan air dikeluarkan dari labu takar, lalu labu takar diisi air hingga batas kapasitas lalu timbang dan catat.

4.5 Metode Pengolahan Data

Dari semua data yang terkumpul selanjutnya dilakukan analisis pengolahan data diantaranya yaitu mencari debit aliran, parameter aliran dan perhitungan awal gerak butiran material.

1. Koreksi debit aliran.

Kecepatan aliran dihitung berdasarkan jumlah putaran baling-baling perwaktu putarannya ($N = \text{putaran}/dt$). Kecepatan aliran ($V = aN + b$) dimana a dan b adalah nilai kalibrasi alat Current Meter. Hitung jumlah putaran dan waktu putaran baling-baling (dengan Stopwatch).

Setelah kecepatan aliran sungai dan luasnya didapatkan, debit aliran sungai dapat dihitung dengan ,menggunakan persamaan matematis berikut :

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan :

- Q = debit (m³/dt)
- V = kecepatan (m/dt)
- A = luasan sungai (m²)

Dalam melakukan pengukuran debit sungai perlu diperhatikan angka kecepatan aliran rata-rata, lebar sungai, kedalaman, kemiringan, dan geseran tepian dasar sungai. Geseran tepi dan dasar sungai akan menurunkan kecepatan aliran terbesar pada bagian tengah dan terkecil pada bagian dasar sungai. Faktor penting lainnya yang perlu diperhatikan adalah jari-jari hidrolis r (*hydraulic radius*).

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(4.2)$$

Dengan :

- A = luasan penampang melintang (m²)
- P = keliling basah (m)

2. Parameter aliran

- a) Kecepatan aliran rata-rata

$$U_r = Q / h b \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan :

- Q = debit hasil kalibrasi
- h = tinggi muka air
- b = lebar saluran

- b) Kecepatan geser

$$U^* = \sqrt{g Rh So} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana : $R_b = \frac{A}{P}$

Dengan :

- U* = kecepatan geser butiran (m/s)
- g = kecepatan gravitasi (m/s²)
- R_b = jari-jari hidraulis (m)

- A = luas tampang basah aliran (m²)
- P = keliling basah (m)
- S_o = kemiringan saluran = kemiringan gasir energy

3. Perhitungan awal gerak butiran sedimen

Permulaan Gerak Butiran biasanya dicari dengan pendekatan *ekstrapolasi critical tractive force*. Dengan melakukan regresi linear (*least square fitting method*) dari data τ_o , v_s , q_b' (berat kering sedimen/satuan waktu = qb/dt), didapat nilai τ_{oc} . Dari τ_{oc} inilah dapat dihitung nilai kedalaman (h_{cr}) dengan berdasarkan persamaan:

$$\tau_{ocr} = \gamma \cdot d \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_{cr} \cdot S_o \dots\dots\dots(4.5)$$

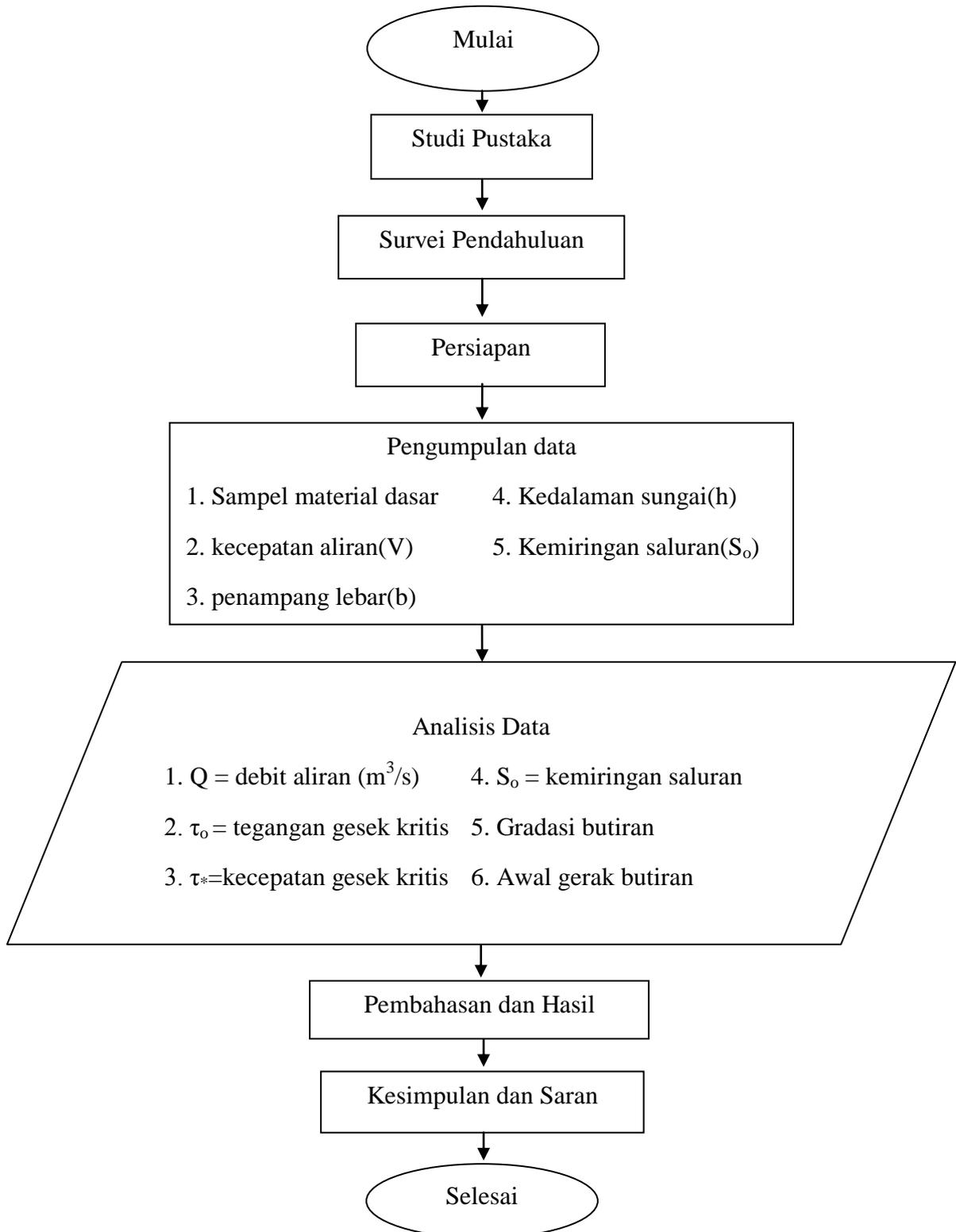
dengan :

- τ_{ocr} = tegangan geser kritik (N/m²)
- γ = berat jenis air (N/m³)
- d = kedalaman aliran (m)
- S_o = kemiringan dasar
- h_{cr} = kedalaman aliran saat kritis pergerakan sedimen (m)
- g = percepatan grafitasi (m/dt²)
- u* = kecepatan gesek (m/dt)
- ρ = rapat massa air (kg/m²)

Selebihnya dapat digambarkan hubungan antar parameter-parameter yang berpengaruh dalam awal gerak butiran sedimen.

4.6 Bagan alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 : Bagan Alir Penelitian.