

ANALISIS PENGARUH LEBAR SALURAN KACA PADA KEDUDUKAN RELATIF DATAR TERHADAP TERJADINYA ANGKUTAN SEDIMEN

Oleh: Mochammad Bardan¹
E-mail: dmohammadbardan@gmail.com

Abstrak: Pengaruh terjadinya Angkutan Sedimen di sungai ataupun saluran cukup membahayakan, terutama bagi bangunan atau menurunnya kemampuan bangunan atau menurunnya dari manfaat bangunan tersebut. Akibat utamanya adalah kurang mendapatkan perhatian saat merencanakan bangunan ataupun pemeliharaan saat dalam keadaan bangunan beroperasi. Kalau hal ini terjadi karena ulah manusia setelah bangunan jadi, lebih memprihatinkan lagi, prediksi masa layanan bangunan menjadi lebih cepat usai, sehingga kesempurnaan manfaat dari bangunan tinggal sebuah harapan belaka.

Penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan pengamatan guna memprediksikan besaran atau jumlah angkutan sedimen, melihat dari perbedaan lebar saluran, sehingga diharapkan adanya hasil awal tentang lebar saluran. Walaupun hasil eksperimen Laboratorium, masih terlalu dini rasanya perlu pengamatan lebih lanjut di lapangan.

Pengaruh Lebar Saluran Kaca, secara langsung memang tidak nampak, orientasi debit atau kecepatan aliran ditambah lamanya waktu aliran sangatlah dominan, namun tidak terlalu signifikan. Sebagai contoh di saluran lebar 20 cm, debit aliran 4,14 lt/dt pada aliran selama 10 menit, hasil angkutan sedimennya sebanyak 145 gr, pada aliran selama 15 menit hasil angkutannya sebanyak 338 gr, sedangkan untuk saluran kaca lebar 10 cm dengan debit sebesar 0,60 lt/dt dengan waktu aliran selama 10 menit diperoleh angkutan sebanyak 1,9 gr, pada aliran selama 15 menit diperoleh angkutan sebanyak 83,4 gr dan aliran selama 20 menit diperoleh angkutan sebanyak 425,2 gr. Dari perhitungan koefisien kekasaran komposit pada saluran lebar 20 cm dan lebar 10 cm, bedanya sangat kecil, namun nampak dalam pengamatan kecepatan permukaan pada hamparan Material Dasar Pasir selama 15 detik pada hamparan kerikil selama 25 detik (dasar kerikil ternyata lebih lambat 10 detik, untuk kedua lebar saluran). Akhirnya memang sangat menarik untuk terus dikaji.

Kata Kunci : Angkutan sedimen, pengaruh lebar sungai/saluran, Material dasar, menarik untuk terus dikaji.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Adanya aliran air di Sungai atau di saluran drainase menyebabkan terjadinya Angkutan Sedimen, proses angkutan ini terjadi dan berlangsung terus menerus secara alamiah, sampai ke muara sungai atau ke laut. Sedimen yang dimaksud merupakan hasil dari pengikisan atau gerusan pada bagian dasar atau dinding sungai/saluran, yang ikut terbawa oleh aliran.

Akibat adanya Angkutan Sedimen inilah yang perlu diwaspadai, mengingat berbagai aspek teknik hidro, antara lain :

- a. Hidrolika Fluvial, yaitu berkenaan dengan pengendalian banjir, perancangan bangunan pengendalian sungai, pengendalian erosi dasar saluran/sungai dan lain-lainnya.
- b. Irigasi, antara lain perencanaan saluran stabil, perencanaan pada bangunan pengambilan (pintu pengambilan = *in take*), bangunan kantong lumpur, bangunan pengendapan, bangunan pembilas dan lain-lainnya.

¹⁾ adalah staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta

- c.
- d. Teknik Pantai, yaitu pada perancangan bangunan pelindung pantai (*Jetty, groin*), perencanaan pelabuhan dan lain-lain.
- e. Layanan operasional Waduk, saat pengerukan, berkaitan dengan periode pengerukan, cara pengerukan, pembuangan material dan lain-lain.

Pada hakekatnya pengaruh dari adanya Angkutan sedimen, mengakibatkan terbentuknya delta, pendangkalan pada waduk, muara sungai, saluran irigasi, terbentuknya daerah-daerah baru di pinggiran, keruntuhan jembatan karena pilar-pilar penyangga jembatan yang terpasang pada struktur tanah terus-menerus tergerus dan terbawa aliran air, serta dengan adanya endapan di suatu tempat pada alur sungai mengakibatkan terempangnya arah aliran sungai tersebut sehingga dasar sungai mengalami perubahan elevasi.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana pengaruh lebar saluran terhadap terjadinya angkutan sedimen, mengingat kecepatan aliran pada saluran yang lebih lebar relatif lebih pelan bila dibandingkan dengan kecepatan aliran pada saluran yang lebih kecil (sempit) atau dengan kata lain pada debit yang sama kecepatan aliran yang terjadi pada saluran lebar (v_L) akan lebih kecil bila dibandingkan dengan kecepatan aliran pada saluran sempit (v_S) atau $v_L < v_S$. Diharapkan pengaruh kecepatan ini nampak dalam pengamatan Angkutan Sedimennya.

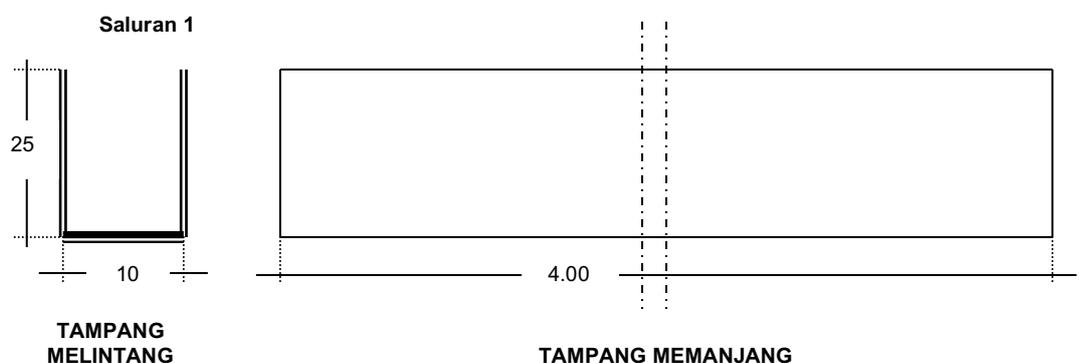
Memang kecepatan aliran air bukan satu-satunya penyebab terjadinya angkutan, namun merupakan salah satu faktor sehingga sebagai prediksi dapat dilakukan sebagai salah satu kemungkinannya. Kiranya masih diperlukan penelitian lanjutan guna mendapatkan kesimpulan yang lebih mendekati keadaan di lapangan.

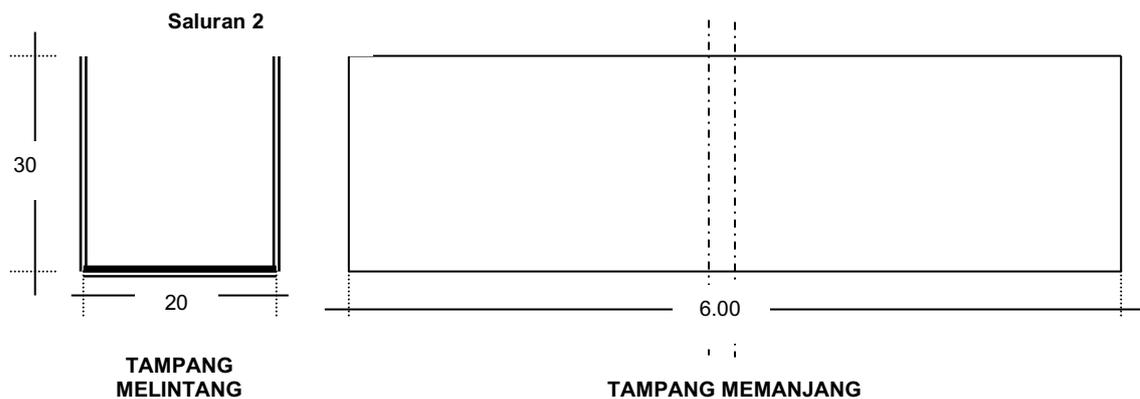
1.3 Batasan Masalah

Sebagai batasan masalah dari penelitian ini, antara lain :

- a. Dilakukan pada dua buah saluran kaca dengan ukuran yang berbeda, yang pertama berukuran lebar 10 cm dengan panjang 4,00 m, berdinding kaca setinggi 25 cm, dan yang kedua berukuran lebar 20 cm dengan panjang 6,00 m berdinding kaca setinggi 30 cm.
- b. Bahan dasar saluran, yang pertama berupa pasir berdiameter antara 0,43 mm sampai 0,58 mm dan yang kedua berupa kerikil halus berdiameter antara 1,40 mm sampai 2,25 mm, yang ditaburkan di sepanjang dasar saluran dengan ketebalan 10,00 cm.

Sket Saluran kaca, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1.





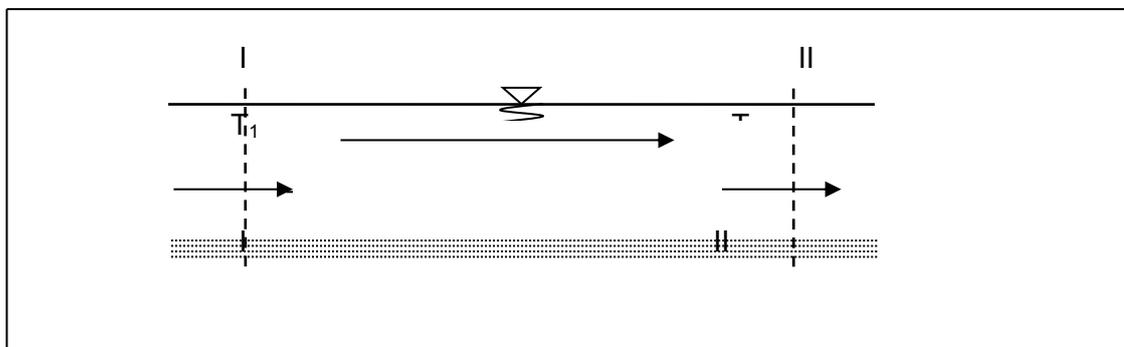
Gambar 1.1 Sket Saluran Tampang Melintang dan Tampang Memanjang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen merupakan gerakan perpindahan tempat bahan sedimen granuler/non kohesif oleh adanya aliran air di sungai atau saluran, yang diakibatkan adanya pengikisan atau gerusan yang terjadi pada dasar atau dinding saluran. Dalam beberapa pustaka menerangkan bahwa terjadinya angkutan sedimen di satu tempat (I) dapat dilihat di tempat lain (II) dalam suatu tampang memanjang sungai/saluran, sehingga dapat disimpulkan ada atau tidaknya angkutan sedimen di suatu tempat dengan memperhatikan besaran T_1 (hasil angkutan sedimen di tempat I) dan besaran T_2 (hasil angkutan sedimen di tempat II).

Apabila dalam pengamatan besaran $T_1 > T_2$ berarti terjadi pengendapan di sepanjang antara tempat I dan tempat II, bila $T_1 = T_2$ berarti terjadi keseimbangan, sedangkan bila $T_1 < T_2$ berarti terjadi angkutan, sehingga diperkirakan banyak terjadi pengikisan ataupun gerusan, kejadian seperti ini ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sket Kondisi Secara Umum, pada Aliran air di sungai/saluran.

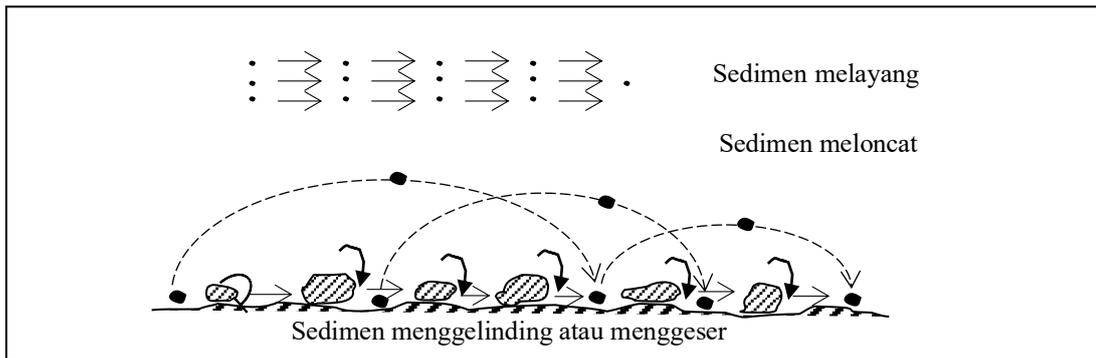
Keterangan : T_1 = Jumlah angkutan sedimen melalui tampang I

T_2 = Jumlah angkutan sedimen melalui tampang II

Menurut Asdak, 2002 angkutan sedimen terjadi secara umum dengan tiga macam gerakan dari butiran sedimennya, yaitu:

- Mengelinding (*rolling*) atau menggeser (*sliding*) di sepanjang dasar saluran.
- Meloncat (*jumping*) yang terlihat melenting dan
- Melayang di atas dasar saluran.

Gerakan butiran sedimen dalam aliran air, ditunjukkan seperti dalam Gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Angkutan Sedimen dalam aliran (Asdak, 2002)

Proses angkutan sedimen berlangsung, dengan cara begitu butiran sedimen terangkut bersama dengan aliran air yang memasuki badan sungai atau penampang memanjang saluran, partikel sedimen yang berukuran kecil seperti tanah liat dan debu terangkut oleh aliran air dalam bentuk terlarut (melayang). Sedangkan partikel yang lebih besar seperti pasir cenderung melompat dan partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak secara menggeser atau menggelinding di dasar saluran (Asdak, 2002).

Beberapa faktor yang berpengaruh dalam angkutan sedimen antara lain, sifat-sifat butiran dari butiran sedimen dan sifat-sifat aliran (menurut Mardjikoen, 1988). Dalam hal ini Asdak, 2002 menambahkan bahwa besarnya ukuran sedimen yang terangkut oleh aliran air ditentukan oleh ukuran butiran sedimen yang masuk ke dalam badan sungai/saluran air, karakteristik penampang saluran, debit, dan sifat-sifat butiran sedimennya.

Lebih lanjut Mardjikoen, 1988, mengemukakan bahwa angkutan sedimen (*transport sediment*) terjadi dengan dua cara, yaitu :

a. Sedimen Melayang/*Suspended Load* (T_s)

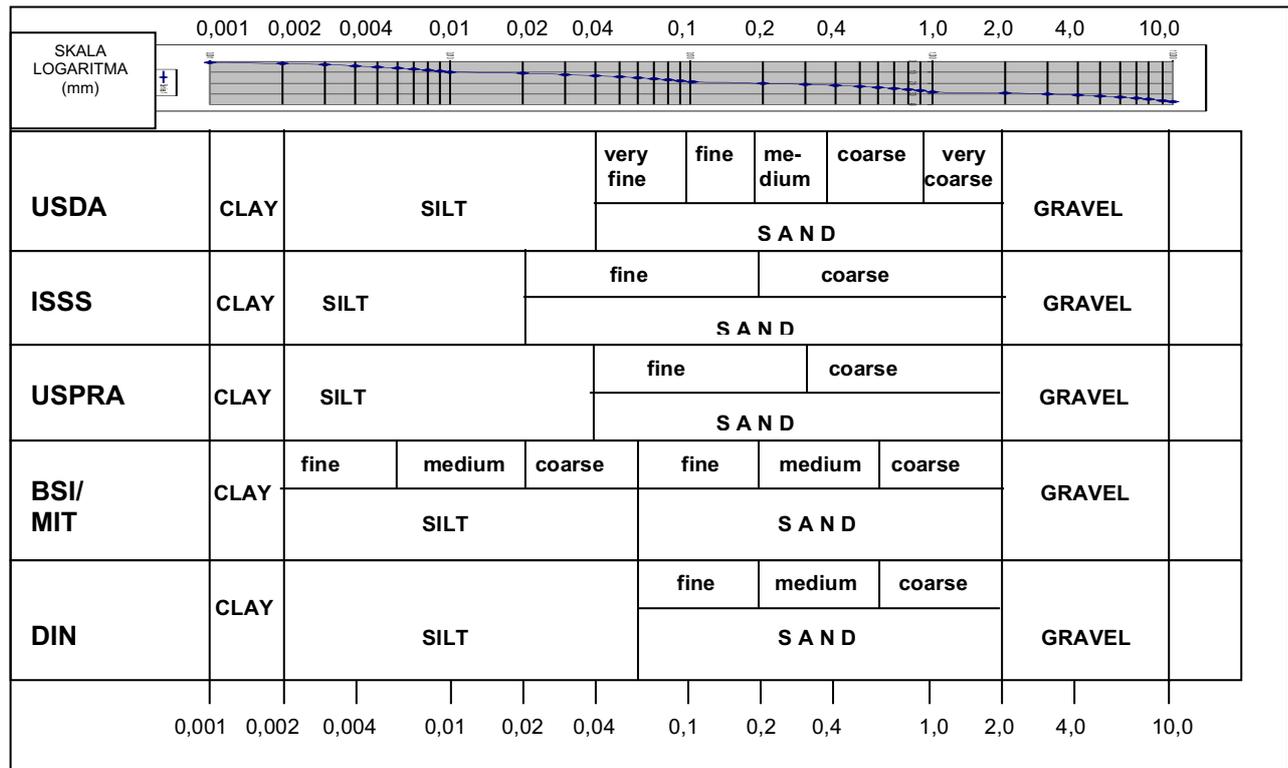
Butiran sedimen bergerak bersamaan aliran air secara melayang. Berat butir terus-menerus dikompensasi oleh gerak turbulensi air.

b. Sedimen Dasar/*Bed Load* (T_b)

Butiran *Bed Load* selalu kontak/bersinggungan dengan dasar, terjadi secara menggelinding (*rolling*), menggeser (*sliding*) atau meloncat (*jumping*). T_b dapat dihitung dengan rumus semi empirik, tetapi bila dilakukan dengan pengukuran langsung di sungai (alam) banyak terkendala (kesukaran).

2.1 Butiran Sedimen

Dinding dan dasar sungai pada umumnya terdiri dari tanah dan batu-batuan, dalam Gambar 2.3 ditunjukkan skema pembagian butiran dari tanah (Bardan, 2007)



Keterangan : U.S Department of Agricultural (USDA), International Soil Science Society (ISSS), U.S Public Roads Administration (USPRA), German Standard (DIN), British Standard Institute (BSI), Massachusetts of Technology (MIT).

Gambar 2.3 Skema Butiran Tanah (Bardan, 2007)

Tanah di alam terdiri dari berbagai macam partikel butiran dengan bentuknya tidak beraturan serta ukurannya bermacam-macam, hal ini terutama dihasilkan oleh adanya pelapukan batuan secara mekanik maupun kimiawi (Bowles, 1997).

a. Bentuk Butiran

1) Ukuran ("size")

Menurut ukuran, butiran sedimen dapat ditentukan dari diameter butirannya.

2) Bentuk ("shape")

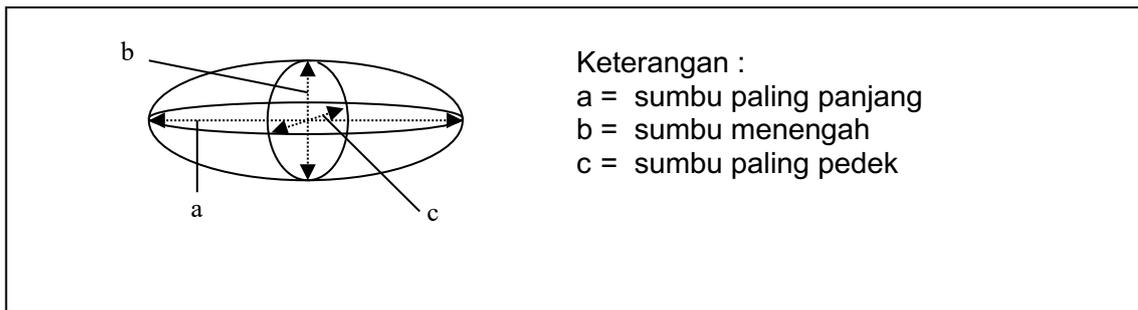
Bentuk butiran sedimen dapat mempengaruhi gerak dari angkutan sedimen. Berdasarkan bentuk butiran sedimen, dibedakan dari ukuran sumbu butiran, dalam Gambar 2.4 ditunjukkan tiga buah sumbu, sehingga dapat membedakan bentuk butiran (Mardjikoen, 1988), yaitu :

a) Pipih/tipis

Apabila panjang sumbu $a >$ sumbu b dan c , (panjang sumbu b dan c hampir sama),

b) Bulat

Jika butiran mempunyai panjang ketiga sumbunya sama atau hampir sama (sumbu $a =$ sumbu $b =$ sumbu c)



Keterangan :
 a = sumbu paling panjang
 b = sumbu menengah
 c = sumbu paling pendek

Gambar 2.4 Bentuk Butiran (Mardjikoen, 1988)

c) Lonjong

Jika panjang dua sumbu a dan c lebih panjang dibandingkan dengan sumbu b, disebut butiran berbentuk lonjong.

Menurut Mardjikoen, 1988, karakterisasi bentuk butiran sedimen dinyatakan dengan faktor bentuk (*shape factor*), sesuai rumus :

$$s.f = \frac{c}{\sqrt{a.b}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan : a,b,c = 3 sumbu (lihat Gambar 2.4)
 s.f = faktor bentuk.

b. Sifat Butiran

1) Berat Jenis Butiran

Berat jenis (*weight density*) butiran adalah perkalian antara rapat massa butiran dengan gaya gravitasi (Bowles, 1997).

Berat jenis butiran dinyatakan dalam rumus :

$$\gamma_s = \rho_s g \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan : γ_s = Berat jenis butiran (N/m³)
 ρ_s = Rapat massa butiran (kg/m³)
 g = Gaya gravitasi (m/d²)

2) Berat Spesifik Butiran

Berat spesifik (*specific gravity*) butiran merupakan perbandingan antara berat jenis butiran dengan berat jenis air (Bowles, 1997). Berat spesifik butiran dinyatakan dalam rumus :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan : G_s = Berat spesifik butiran
 γ_s = Berat jenis butiran (N/m³)
 γ_w = Berat jenis air (N/m³)

Berat spesifik untuk beberapa jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Berat Spesifik Butiran

Tanah	Berat Spesifik Butiran (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau, anorganik	2,62 – 2,68
Lempung, organik	2,58 – 2,65
Lempung, anorganik	2,68 – 2,75

Sumber : Bowles(1997)

3) Rapat Massa Butiran

Rapat massa (*mass density*) butiran merupakan massa butiran tiap satuan volume (Bowles, 1997). Rapat massa butiran dinyatakan dalam rumus :

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan : ρ_s = Rapat massa butiran (kg/m³)
 M_s = Massa butiran (kg)
 V_s = Volume butiran (m³).

2.3 Aliran

Menurut Raju, 1981 aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran tertutup atau aliran pipa (*pipe flow*). Aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas, sedangkan aliran pipa tidak demikian karena air harus mengisi seluruh media saluran (pipa). Saluran terbuka dapat diklasifikasikan sebagai buatan (*artificial*) atau alami (*natural*), tergantung pada apakah penampangannya adalah buatan manusia atau sebaliknya. Contoh dari saluran alami diantaranya sungai dan muara, sedangkan pembuangan air yang mengalir sebagian penuh dan saluran irigasi termasuk dalam kategori saluran buatan.

a. Macam Aliran

Aliran dalam saluran terbuka dapat digolongkan menjadi berbagai jenis aliran. Menurut Anggrahini, 2005 berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan ruang dan waktu, aliran dibedakan menjadi :

1) Aliran Tetap

Aliran tetap yaitu aliran dimana kedalaman air (h) dan kecepatan (u) tidak berubah menurut waktu atau dapat dianggap tetap dalam suatu interval waktu (t).

Aliran tetap ini dibedakan atas dua yaitu aliran seragam (*uniform flow*) dan tidak seragam (*nonuniform flow*) aliran berubah-ubah (*varied flow*).

2) Aliran Seragam

Aliran dikatakan seragam apabila kedalaman aliran (h) dan kecepatannya (u) tidak berubah menurut tempat.

Aliran seragam dapat berubah menurut waktu dan tidak berubah menurut waktu.

Aliran seragam yang tidak berubah menurut waktu disebut aliran tetap seragam (*steady uniform flow*) atau sering disebut aliran beraturan.

3) Aliran Tidak Seragam

Aliran disebut tidak seragam apabila kedalaman aliran (h) dan kecepatannya (u) berubah-ubah menurut tempat di sepanjang aliran.

Aliran tidak seragam/berubah terdiri atas dua yaitu aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah dengan cepat/tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

4) Aliran Tidak Tetap

Aliran dikatakan tidak tetap apabila kedalaman aliran (h) dan kecepatannya (u) berubah menurut waktu (t).

Aliran tidak tetap ini dibedakan atas dua yaitu aliran aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) dan aliran tidak tetap/berubah-ubah (*unsteady varied flow*).

5) Aliran Seragam Tidak Tetap

Aliran disebut aliran seragam tidak tetap apabila permukaan air berfluktuasi dari waktu ke waktu, namun tetap sejajar dengan dasar saluran.

Dalam kenyataannya aliran semacam ini tidak pernah terjadi.

6) Aliran Tidak Tetap dan Berubah-ubah

Aliran tidak tetap dan berubah-ubah terdiri atas dua yaitu aliran tidak tetap berubah lambat laun (*gradually varied unsteady flow*) dan aliran tidak tetap berubah dengan cepat/tiba-tiba (*rapidly varied unsteady flow*).

Aliran yang melalui suatu penampang saluran menurut Raju, 1981 diklasifikasikan sebagai berikut :

1) Berdasarkan pengaruh kekentalan (*viscosity*)

Aliran berdasarkan pengaruh kekentalannya ini terbagi atas dua yaitu aliran laminar dan turbulen.

Aliran laminar adalah bila gaya kekentalan relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya inersia. Sedangkan aliran turbulen adalah bila gaya kekentalan relatif lemah dibandingkan dengan gaya inersia.

Perbedaan kedua jenis aliran ini dapat ditinjau dari bilangan Reynolds (Re) merupakan perbandingan (*ratio*) dari gaya inersia terhadap gaya kekentalan kinematis yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan : V = kecepatan karakteristik (m/d)
 L = panjang karakteristik (m)
 ν = kekentalan kinematis cairan (m²/d)

Dari persamaan tersebut diperoleh aliran laminar memiliki harga Re yang kecil sedangkan aliran turbulen memiliki harga Re yang besar (Raju, 1981). Lebih lanjut Kodoatie, 2002 mengemukakan bahwa berdasarkan bilangan Reynolds aliran dibedakan menjadi 3 kategori, yaitu :

- a) $Re < 500$ merupakan aliran laminar
- b) $500 < Re < 2.000$ merupakan aliran transisi
- c) $Re > 2.000$ merupakan aliran turbulen

2) Berdasarkan gaya gravitasi

Aliran berdasarkan gaya gravitasi terdiri atas tiga macam aliran yaitu aliran kritis, aliran subkritis dan aliran superkritis. Perbedaan ketiga jenis aliran ini dapat ditinjau dari bilangan Froude (F) yang merupakan perbandingan gaya-gaya inersia dengan gaya-gaya gravitasi (per satuan volume) dan ditulis sebagai berikut :

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan : V = kecepatan rata-rata aliran (m/d)
 g = gaya gravitasi (m/d²)
 L = panjang karakteristik (m)

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan Froude sama dengan satu, aliran disebut subkritis apabila $F < 1,0$ dan aliran dikatakan superkritis apabila $F > 1,0$

Aliran dapat digolongkan ke dalam empat resim berikut, yang didasarkan pada harga bilangan Froude dan Reynolds (Raju, 1981), yaitu :

- a) Laminar subkritis (*subcritical laminar*) – $F < 1,0$ dan $Re \leq 500$
- b) Laminar superkritis (*supercritical laminar*) – $F > 1,0$ dan $Re \leq 500$
- c) Turbulen subkritis (*subcritical turbulent*) – $F < 1,0$ dan $Re \geq 2000$
- d) Turbulen superkritis (*supercritical turbulent*) – $F > 1,0$ dan $Re \geq 2000$

Aliran itu dikatakan kritis apabila $F = 1,0$ dan selanjutnya aliran itu adalah dalam keadaan peralihan apabila $500 < Re < 2000$.

b. Sifat-sifat Air

Zat cair memiliki memiliki beberapa sifat sebagai berikut (Triatmodjo, 1996) :

1) Kekentalan (Viskositas)

Viskositas adalah sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser pada waktu mengalami pergerakan/terjadi aliran. Viskositas disebabkan karena adanya kohesi antara partikel zat cair. Viskositas terdiri atas viskositas kinematis dan dinamis.

a) Viskositas Kinematis

Viskositas kinematis dinyatakan dalam rumus :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan : v = viskositas kinematis (m^2/d)

μ = viskositas dinamis (Nd/m^2)

ρ = rapat massa air (kg/m^3)

Viskositas kinematis dipengaruhi oleh suhu, seperti pada Tabel 2.3.

b) Viskositas Dinamis

Viskositas dinamis dinyatakan dalam rumus :

$$\mu = v \rho \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan : μ = viskositas dinamis (Nd/m^2)

ρ = rapat massa air (kg/m^3)

v = viskositas kinematis (m^2/d)

Berdasarkan pengaruh suhu, besarnya nilai viskositas kinematis, viskositas dinamis dan rapat masa air ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

2) Rapat Massa

Rapat massa didefinisikan sebagai massa zat cair tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu. Rapat massa dinyatakan dalam rumus :

$$\rho_w = \frac{M_w}{V_w} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan : ρ_w = Rapat massa air (kg/m^3)

M_w = Massa (kg)

V_w = Volume (m^3)

3) Berat Jenis Air

Berat jenis air adalah berat zat cair tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu. Berat jenis air dinyatakan dalam rumus :

$$\gamma_w = \rho_w \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan : γ_w = Berat Jenis butiran (N/m^3)

ρ_w = Rapat massa air (kg/m^3)

g = Gaya gravitasi (m/d^2)

c. Kecepatan Aliran

1) Kecepatan Rata-rata Penampang

Kecepatan rata-rata penampang pada aliran seragam (Raju, 1981) dinyatakan dalam rumus Manning dan Chezy berikut :

Persamaan Manning :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan Chezy

$$V = C\sqrt{R.I} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

- Dengan : V = Kecepatan aliran (m/d)
- n = Koefisien kekasaran Manning
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- C = Koefisien Chezy
- I = Kemiringan Saluran
- A = Luas penampang basah (m²)
- P = Keliling basah (m)

2) Kecepatan Endap

Kecepatan endap (w) sangat penting dalam masalah sedimentasi. Kecepatan endap (*fall velocity*) ditentukan oleh persamaan keseimbangan antara berat butir dalam air dan hambatan selama butir mengendap (Mardjikoen, 1988).

Kecepatan endap dinyatakan dengan rumus :

$$w = \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{gd}{C_D} \Delta \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \dots\dots\dots (2.14)$$

- Dengan : w = Kecepatan endap (m/d)
- Δ = Rapat massa relatif
- D = Diameter butir (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/d²)
- C_D = Koefisien hambatan (*drag coefficient*)
- ρ_s = Rapat massa butir (kg/m³)
- ρ_w = Rapat massa air (kg/m³)

3) Kecepatan Geser

Untuk kecepatan geser dinyatakan dalam rumus (Kodoatie, 2002) :

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \dots\dots\dots (2.15)$$

- Dengan : u_* = Kecepatan geser (m/d)
- ρ = Rapat massa air (kg/m³)
- τ_0 = Tegangan di dasar saluran (kg/md²)

b) **Debit**

Debit pada suatu penampang saluran dinyatakan dengan persamaan berikut (Raju, 1981):

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (2.16)$$

$$A = b \cdot h \dots\dots\dots (2.17)$$

- Dengan : Q = Debit pada suatu penampang (m³/d)
- V = Kecepatan aliran (m/d)
- A = Luas penampang (m²)
- b = Lebar penampang (m)
- h = Kedalaman rata-rata aliran penampang (m)

Selain dari persamaan tersebut di atas, debit aliran juga dapat dilakukan menggunakan alat ukur ambang tajam, seperti bentuk segi empat atau model Franchis dan bentuk tampang segitiga atau model Thomson.

Pengukuran Debit aliran, yang dilakukan dengan alat ukur ambang tajam dengan cara mengamati tinggi muka air di atas ambang. Untuk model Franchis (Bardan, 2007) debit aliran dinyatakan dengan rumus :

$$Q = 1,838 b H^{3/2} \dots\dots\dots (2.18)$$

- Dengan : Q = Debit aliran (m³/d)

- b = Lebar ambang (m)
- H = Tinggi aliran di atas ambang (m)

Sedangkan untuk pengukuran Debit aliran model Thomson (Bardan, 2007) dinyatakan dengan rumus :

$$Q = 1,39 H^{5/2} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Dengan : Q = Debit aliran (m³/d)
- H = Tinggi aliran di atas ambang (m)

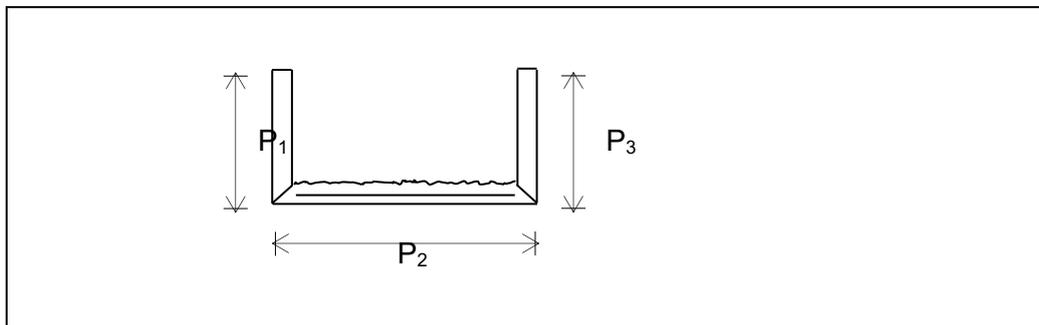
d. Gesekan

Aliran di sepanjang saluran atau sungai pasti mengalami gesekan. Gesekan yang terjadi yaitu gesekan antara air dengan udara dan gesekan antara air dengan media yang dilalui yaitu bagian dasar dan dinding saluran.

Menurut Triatmodjo, 1996, tegangan permukaan (gesekan antara air dengan udara) pada 10°C dan tekanan 1 atm, $\sigma = 0,0748$ N/m sedangkan pada suhu 20°C, $\sigma = 0,0736$ N/m.

Gesekan yang terjadi antara air dengan media saluran, karena kemungkinan bagian dasar maupun dinding memiliki kekasaran yang berbeda maka angka kekasaran diperhitungkan secara komposit (Kodoatie, 2002).

Rumus Pavlovskii, Muhlhofer, Einstein dan Bank, dalam Anggrahini, 2005 perhitungan untuk n komposit saluran ditunjukkan Gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8 Penampang Saluran (Anggrahini, 2005)

$$n_k = \frac{(P_1 n_1^2 + P_2 n_2^2 + P_3 n_3^2)^{1/2}}{P^{1/2}} \dots\dots\dots (2.20)$$

- Dengan : n_k = Kekasaran komposit (m)
- P₁, P₃ = Dinding saluran (m)
- P₂ = Lebar dasar (m)
- P = Keliling basah saluran (m)
- n₁, n₃ = Kekasaran dinding saluran (m)
- n₂ = Kekasaran dasar saluran (m)

Sedangkan Kironoto, 2010 menyajikan rumus untuk Kekasaran Komposit sebagai rumus berikut :

$$n_k = \left\{ \frac{(n_1^{3/2} \cdot P_1 + n_2^{3/2} \cdot P_2 + n_3^{3/2} \cdot P_3)}{P_1 + P_2 + P_3} \right\}^{2/3} = \dots\dots\dots (2.21)$$

III. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimen di Laboratorium, dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh lebar saluran kaca, terhadap terjadinya angkutan sedimen yang terbawa oleh adanya suatu aliran. Saluran berbatu dasar tanah asli, termasuk pasir dan kerikil (pada hakekatnya dua material dasar yaitu tanah berpasir dan tanah berkerikil).

Tahapan yang dilakukan antara lain :

- Di Laboratorium Mekanika Tanah, mempersiapkan bahan dan alat, dilanjutkan pemeriksaan Berat Jenis, pemeriksaan gradasi butiran material tanah, sebelum dan sesudah melakukan pengamatan aliran, terhadap hasil angkutan sedimennya.
- Di Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, mempersiapkan bahan dan alat kemudian mencoba melakukan uji alirannya. Setelah material dasar dihampar, dilakukan pengamatan aliran dan menampung hasil angkutan sedimennya dengan mencatat waktu aliran.
- Analisis dari semua pengamatan mulai awal (material dasar), aliran dan hasil angkutannya, melalui diskusi.

Pengamatan dengan metode/cara, sebagaimana Tabel 3.1 untuk saluran yang panjang 8,00 m dan lebar saluran 20 cm dengan masing-masing material dasar dilakukan sebanyak tiga pengamatan dan Tabel 3.2 untuk saluran yang panjangnya 4,00 m dan lebar saluran 10 cm dengan masing-masing material dasar dilakukan tiga pengamatan.

Tabel 3.1 Bentuk isian pencatatan pada pengamatan aliran pada lebar saluran 20 cm

Debit	h1	h2	h3	h4	T (waktu)
					10 menit
					15 menit
					20 menit

Catatan : h1 tinggi muka air di awal saluran, h2 di tengah, h3 di akhir saluran dan h4 di alat ukur

Tabel 3.1 Bentuk isian pencatatan pada pengamatan aliran pada lebar saluran 10 cm

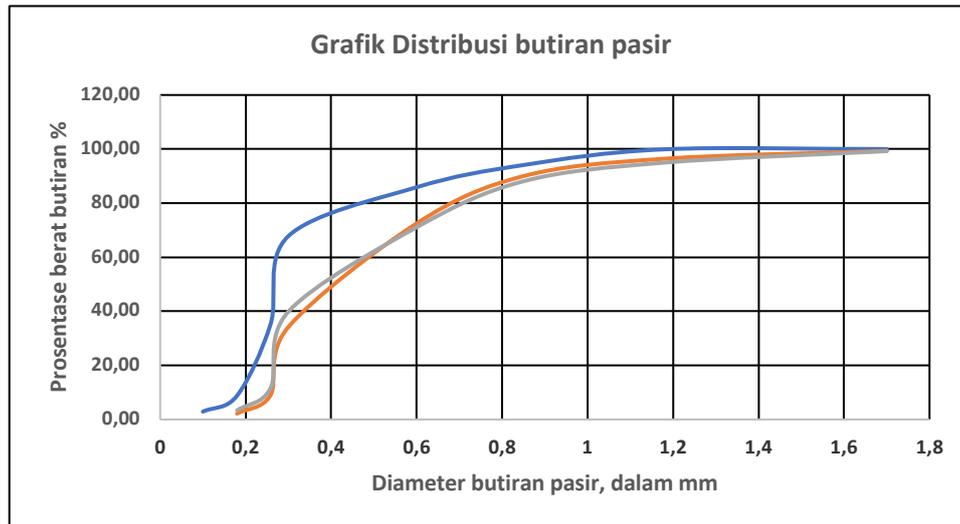
Debit	h1	h2	h3		T (waktu)
					10 menit
					15 menit
					20 menit

Catatan : h1 tinggi muka air di awal saluran, h2 di tengah, h3 di alat ukur

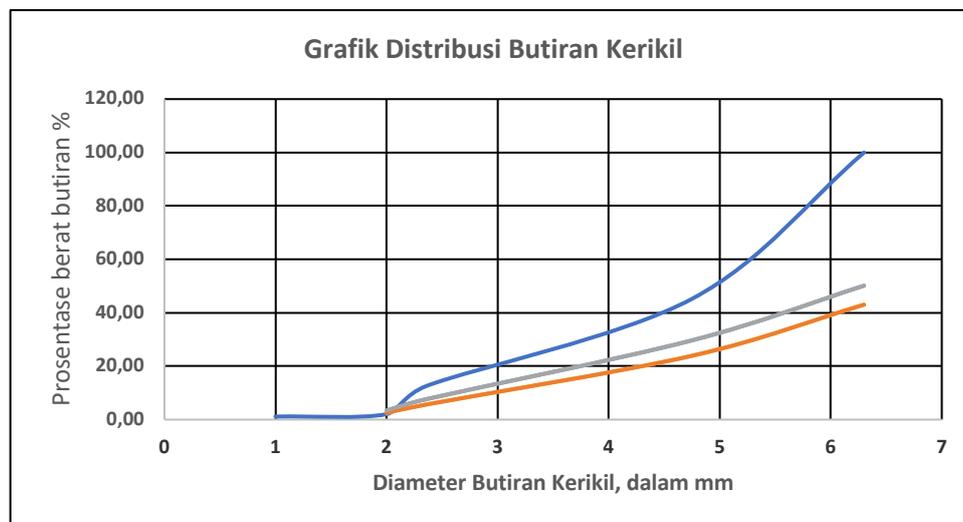
IV. Hasil Uji dan Pengamatan

Pengamatan terhadap material dasar pasir dan kerikil, diperoleh :

- Distribusi Butiran sebagai Grafik pada Gambar 4.1 untuk material dasar Pasir dan Gambar 4.2 untuk material dasar Kerikil



Gambar 4.1 Grafik Distribusi Butiran Pasir.



Gambar 4.2 Grafik Distribusi Material dasar Kerikil

- b. Pengamatan material dasar pasir dan kerikil, meliputi : Kadar Air, dalam % Rapat Masa, dalam kg/m^3 , Gravitasi, dalam m/dt^2 , Berat Jenis, dalam N/m^3 dan G_s . Tersaji dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Material Dasar Pasir dan Kerikil

	Pasir			Rera ta	Kerikil			Rera ta
	1	2	3		1	2	2	
Kadar air, %	0,029 6	0,039 9	0,033 8	0,03 44	0,023 4	0,026 9	0,025 0	0,02 51
Rapat Masa, kg/m^3	2642, 86	2564, 10	2631, 57	2612 ,8	2704, 55	2830, 19	2692, 31	2742 ,3
Gravitasi, m/dt^2	996,9 5	996,9 5	996,9 5	996, 95	997,2	997,2	997,2	997, 2
Berat Jenis, N/m^3	2634, 80	2556, 28	2623, 55	2604 ,9	2696, 97	2822, 26	2684, 77	2734 ,7

	Pasir			Rera ta	Kerikil			Rera ta
	1	2	3		1	2	2	
G _s	2,642 9	2,564 1	2,631 6	2,61 3	2,704 5	2,830 2	2,692 3	2,74 2

c. Hasil Uji Aliran

Pada Saluran, lebar 20 cm, dilakukan pengamatan seperti dalam Tabel 4.2 untuk material dasar Pasir dan tabel 4.3 untuk material dasar Kerikil.

Tabel 4.2 Pengamatan Saluran 20 cm untuk material dasar Pasir

Debit	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	Waktu
Q ₁₁	12	12,3	12,4	9	10"
Q ₁₂	12,5	12,4	11,9	8,8	15"
Q ₁₃	12,5	12,6	12	8,8	20"
Q ₂₁	13	12,7	12,2	9	10"
Q ₂₂	13,2	12,8	12,3	9,1	15"
Q ₂₃	13,3	13	12,3	9	20"
Q ₃₁	13,5	13,1	12,3	9,2	10"
Q ₃₂	13,4	13,2	12,4	9,1	15"
Q ₃₃	13,8	13,4	12,4	9,3	20"

Tabel 4.3 Pengamatan Saluran 20 cm untuk material dasar Kerikil

Debit	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	Waktu
Q ₁₁	12,8	12,3	10,4	6,1	25"
Q ₁₂	12,3	11,8	10,3	6,5	20,4"
Q ₁₃	12,4	12,6	12	8,8	18"
Q ₂₁	tidak	ada	Angkutan	sedimen	00"
Q ₂₂	tidak	ada	Angkutan	sedimen	00"
Q ₂₃	tidak	ada	Angkutan	sedimen	00"

Perhitungan Debit Aliran Rata-rata setelah dilakukan pengamatan adalah sebagaimana tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Debit Aliran Rata-rata di Saluran lebar 20 cm

Debit Aliran Rata-rata			
Dalam m ³ /dt			Untuk Material
Q1	Q2	Q3	Dasar
0,00414	0,00460	0,00512	Pasir
0,00205	0,00230	0,00256	Kerikil

Pada Saluran, lebar 10 cm, dilakukan pengamatan seperti dalam Tabel 4.5 untuk material dasar Pasir dan tabel 4.6 untuk material dasar Kerikil.

Tabel 4.5 Pengamatan Saluran 10 cm untuk material dasar Pasir

Debit	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	Waktu
q ₁₁	4,5	4,6	1,5		10"
q ₁₂	4,6	4,7	1,6		15"
q ₁₃	4,6	4,8	1,5		20"
q ₂₁	5,6	5,7	2,5		10"
q ₂₂	5,7	5,6	2,5		15"
q ₂₃	5,7	5,8	2,6		20"

Debit	h_1	h_2	h_3	h_4	Waktu
q_{31}	6,3	6,3	3		10"
q_{32}	6,5	6,2	3,1		15"
q_{33}	6,3	6,1	3		20"

Tabel 4.6 Pengamatan Saluran 10 cm untuk material dasar Kerikil

Debit	h_1	h_2	h_3	h_4	Waktu
q_{11}	5,1	4,8	1,0	0	26"
q_{12}	6,3	5,8	1,7	0	19,2"
q_{13}	7,2	6,9	2,8	0	10"
q_{21}	tidak	ada	Angkutan	sedimen	00"
q_{22}	tidak	ada	Angkutan	sedimen	00"
q_{23}	tidak	ada	Angkutan	sedimen	00"

Perhitungan Debit Aliran Rata-rata setelah dilakukan pengamatan adalah sebagaimana tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Debit Aliran Rata-rata di Saluran lebar 10 cm

Debit Aliran Rata-rata				
Dalam m^3/dt			Diperoleh	Untuk Material
q_1	q_2	q_3	Dari	Dasar
0,000359	0,000505	0,000607	Aliran Permukaan	Pasir
0,000360	0,000698	0,000861	Alat Ukur Franchis	Pasir
0,000337	0,000503	0,000652	Aliran Permukaan	Kerikil
0,000193	0,000432	0,000785	Alat Ukur Franchis	Kerikil

- d. Angkutan Sedimen, dari debit aliran diperoleh berat hasil angkutan sedimen-nya setelah dikeringkan, merupakan hasil perhitungan sebagaimana Tabel 4.8 untuk saluran 20 cm dan Tabel 4.9 untuk saluran 10 cm

Tabel 4.8 Hasil Angkutan Sedimen di Saluran lebar 20 cm

Debit Aliran m^3/dt	Waktu			Material Dasar
	10"	15"	20"	
0,00414	145 gr	338 gr	367 gr	Pasir
0,00460	487,6 gr	503,3 gr	842,4 gr	Pasir
0,00512	430,5 gr	663,3 gr	1530 gr	Pasir
0,00205	tidak	ada	angkutan	Kerikil
0,00230	tidak	ada	angkutan	Kerikil
0,00256	tidak	ada	angkutan	Kerikil

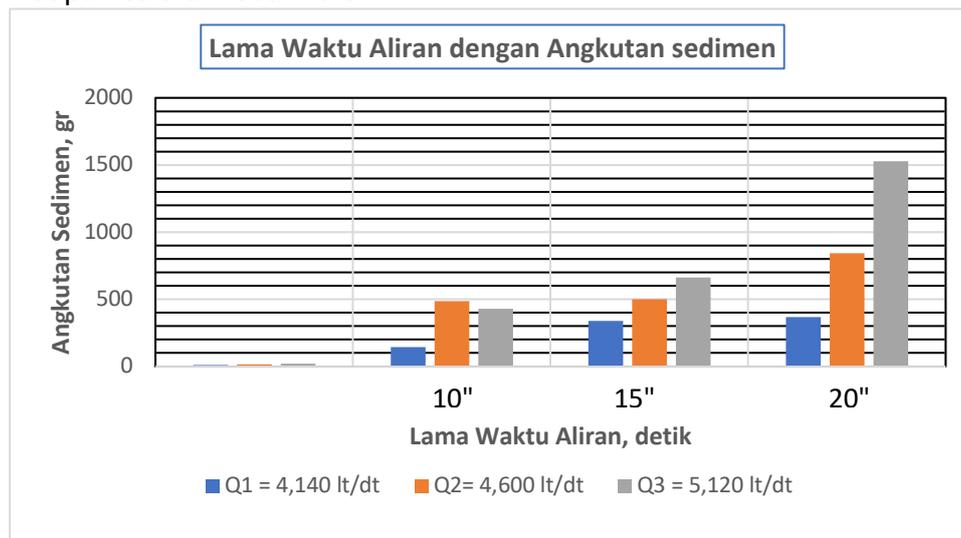
Tabel 4.9 Hasil Angkutan Sedimen di Saluran lebar 10 cm

Debit Aliran m^3/dt	Waktu			Material Dasar
	10"	15"	20"	
0,000360	0,70 gr	55,60 gr	167,00 gr	Pasir
0,000601	1,90 gr	83,40 gr	425,20 gr	Pasir
0,000734	4,90 gr	117,60 gr	498,20 gr	Pasir
0,000265	tidak	ada	angkutan	Kerikil
0,000467	tidak	ada	angkutan	Kerikil
0,000719	tidak	ada	angkutan	Kerikil

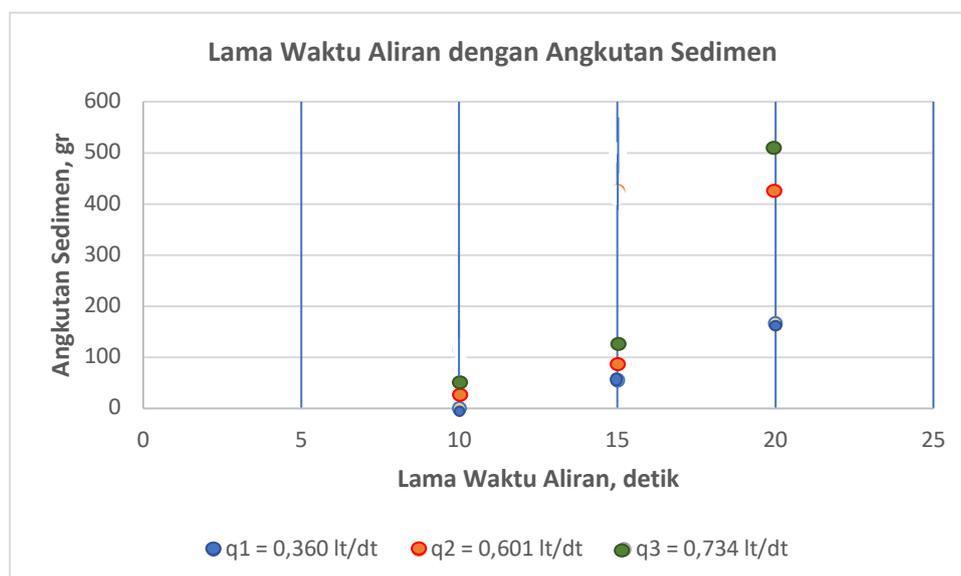
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Kecepatan Aliran

Ada kecenderungan anggapan bahwa terjadinya angkutan sedimen, hanya dikarenakan besarnya debit aliran atau hanya memperhatikan kecepatan aliran. Dalam uji aliran yang telah dilakukan, memang tidak secara langsung diperoleh kecepatan aliran (karena keterbatasan alat), namun dengan mengukur tinggi muka air dan menampung, kemudian di bak penampung dipasang alat ukur sederhana, berupa ambang tajam type Franchis. Hasil pengamatan disajikan dalam Gambar 5.1 untuk saluran lebar 20 cm dan Gambar 5.2 untuk saluran lebar 10 cm. Dari kedua gambar didapat petunjuk bahwa Lama Waktu Aliran sangat berpengaruh terhadap besarnya angkutan, namun juga tidak benar-benar dominan, yang jelas kedua gambar menunjukkan bahwa waktu aliran 20" mestinya dua kali aliran 10" dalam kenyataannya lebih dari dua kalinya. Baik untuk saluran lebar 20 cm maupun saluran lebar 10 cm.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Lama Waktu Aliran dengan Angkutan Sedimen pada Saluran Lebar 20 cm



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Lama Waktu Aliran dengan Angkutan Sedimen pada Saluran Lebar 10 cm.

2. Pengaruh Gesekan

Gesekan yang dimaksud adalah gesekan air dengan media yang dilaluinya, sesuai dengan n Manning, yaitu $n_1 = 0,01$ untuk kaca, $n_2 = 0,018$ untuk pasir dan $n_3 = 0,025$. Hasil perhitungan n_k = kekasaran komposit, seperti tabel 5.1 yang tampak adalah lebar saluran 20 cm tidak nampak perbedaannya dengan lebar saluran 10 cm, untuk kedua material dasar. Hal ini lebih dikuatkan lagi dengan Lama Waktu Tempuh Aliran Permukaannya (t_{TAP}) yang sangat kecil perbedaannya, ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan kekasaran komposit (n_k)

Keterangan	Saluran Lebar 20 cm	Saluran Lebar 10 cm
n_k (pasir kaca pasir)	3,2868 E-05	3,17152 E-05
n_k (pasir kerikil pasir)	4,32622 E-05	4,1158 E-05

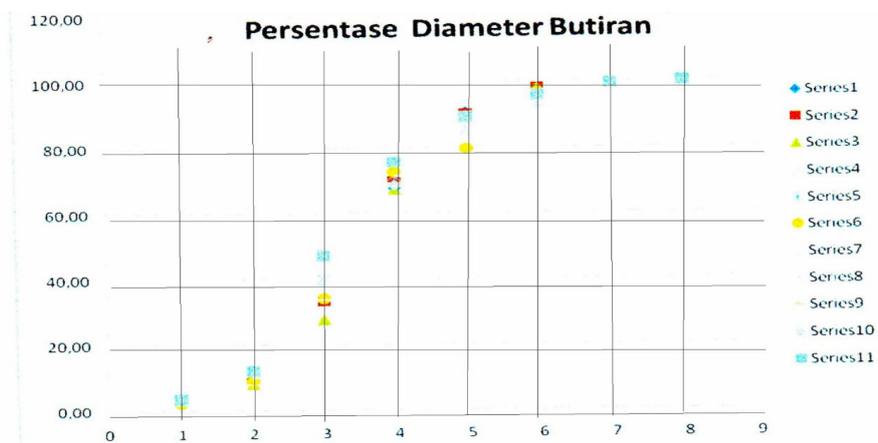
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Lama Waktu Tempuh Aliran Permukaan (t_{TAP})

Keterangan	Saluran Lebar 20 cm	Saluran Lebar 10 cm
t_{TAP} pasir	15 detik	17,6 detik
t_{TAP} Kerikil	25 detik	26 detik

Nampaknya pengaruh dari Gradasi Material Dasar atau lebih tepatnya adalah adanya perbedaan Angka Kekasaran, praktis menyebabkan perbedaan pada alirannya.

3. Distribusi Butiran

Pola sebaran Distribusi Butiran Hasil Angkutan Sedimen, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.3 yang digambarkan mirip bahkan boleh dikata sama dengan pola sebaran butiran pada awalnya, Gambar 4.1. Berarti kemampuan angkut aliran tidak pada gradasi butiran tertentu, tidak memilih akan tetapi apa adanya.



Gambar 5.3 Grafik Distribusi Hasil Angkutan Sedimen

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dari hasil diskusi, kebanyakan meragukan hasil pengamatan laboratorium ini, namun inilah kenyataannya.
2. Debit atau kecepatan aliran memang cukup berpengaruh, namun menjadi sangat berpengaruh ketika lama waktu aliran ditambahkan.

3. Pola sebaran distribusi butiran Hasil Angkutan Sedimen bisa dikatakan tetap atau sama dengan data sebaran distribusi butiran awal
4. Pengaruh lebar saluran dalam hal ini kurang nampak atau dikarenakan peralatan laboratorium yang kurang (tidak ada alat ukur kecepatan).
5. Tidak adanya angkutan sedimen pada Material Dasar Kerikil, kemungkinan disebabkan adanya rigid pavement di bagian ujung saluran. Perlu dilakukan pengamatan lebih lanjut.
6. Sebagai saran lakukan selama masih bisa dengan fasilitas dan sarana yang ada, jangan unsur takut timbul karena khawatir akan hasil dengan demikian kreatifitas akan muncul dengan sendirinya.
7. Keakuratan data memang kemungkinan dapat terjadi, sehingga perlu segera dilakukan koreksi-koreksi agar hasil dapat memuaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini, 2005, **Hidrolika Saluran Terbuka**, Srikandi, Surabaya.
- Asdak, Chay, 2002, **Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai**, Fakultas Pertanian – Lembaga Ekologi Universitas Padjajaran, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Bardan, Mochammad, 2007, **Bahan Kuliah Sedimentasi**, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Bardan, Mochammad, 2007, **Irigasi I**, Abu Haris, Yogyakarta.
- Bardan, Mochammad, 2007, **Irigasi II**, Abu Haris, Yogyakarta.
- Bowles, Joseph E, 1997, **Analisis Dan Desain Pondasi**, Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi Keempat Jilid 1.
- Breusers, H.N.C., 1984, **Lecture notes on sediment transport 1**, International Course in Hydraulic Engineering, Delft Hydraulics, Netherlands.
- Chow, Ven Te dan E. V. Nensi Rosalina, 1992, **Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)**, Erlangga, Jakarta.
- Esposito, Anthony, 1998, **Fluid Mechanics with Applications**, International Edition, Prentice Hall International, Inc. New Jersey, 07458.
- Gandi, Suradji. 2006, **Panduan Praktikum Mekanika Tanah I**, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
- Grav, W.H., 1971, **Hydraulics of Sediment Transport**, Mc Graw Hill, New York.
- Henderson, F.M., 1966, **Open Channel flow**, Mac Millan, New York.
- Jansen, P.Ph., L. van Bendegom, J. Van Berg, M de Vries and A. Zanen, 1979, **Principles of River Engineering**, Pitman Publishing Limited, London WC2B 5PB.
- Kodoatie, Robert J, 2002, **Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa**, Andi Offset, Yogyakarta.
- Kironoto, B. Agus dan B. Yulistiyanto, 2001, **Teknik Sedimen**, QUE Project, Fakultas Teknik, Universtas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Linsley, Ray K. Jr, 1996, **Hidrologi Untuk Insinyur**, Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi Ketiga.
- Linsley, Ray, K dan Joseph B. Franzini, 1991, **Teknik Sumber Daya Air**, jilid 1 dan jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi ketiga.
- Mardjikoen, Pragnyono dan Adam P.R., 1988, **Bahan Kuliah Transportasi Sedimen**, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Mardjikoen, Pragnjono, 1981, **Angkutan Sedimen**, PAU UGM, Yogyakarta.
- Maryono, Agus, 2001, **Hidrolika Terapan**, PT. Pradyna Paramita, Jakarta.
- Raju, K. G. Ranga, 1986, **Aliran Melalui Saluran Terbuka**, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Soemarto, C. D., 1995, **Hidrologi Teknik**, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Simons, Daryl B and Fuat Senturk, 1992, **Sediment Transport Technology Water and Sediment Dynamics**, Water Resources Publications, Colorado, 80161, USA.

- Sosrodarsono, Suyono, 1977, **Hidrologi Untuk Pengairan**, PT. Pradyana Paramita, Jakarta.
- Subarkah, Iman. 1984, **Vademekum Lengkap Teknik Sipil**, Idea Dharma, Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang, 1996, **Hidraulika I**, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang, (1993), **Hidraulika II**, Beta Offset, Yogyakarta.
- Vanoni, Vito A, (1977), **Sedimentation Engineering**, Headquarters of The Society, New York.
- Vanoni, V.A., 1976, **Sedimentation Engineering**, ASCE, New York.
- Wesley, L. D, (1977), **Mekanika Tanah**, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, Cetakan Keenam.
- Yang, Chih Ted, 1996, **Sediment Transport, Theory and practice**, International Editions, McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore.