

## ANALISIS ANGKUTAN SEDIMEN DARI TANAH LONGSORAN TEBING AKIBAT PERUBAHAN DEBIT YANG TERJADI PADA SALURAN *TILTING FLUME*

**Farid Dzaky Izzah Putra**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: [faridzaki276@gmail.com](mailto:faridzaki276@gmail.com)

**Djoni Irianto**

Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: [djoniirianto@unesa.ac.id](mailto:djoniirianto@unesa.ac.id)

### Abstrak

Letak geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng dunia menyebabkan berbagai permasalahan yang cukup membahayakan. Salah satu permasalahan yang terjadi yaitu adanya pergeseran tanah yang menjadi faktor utama terjadinya tanah longsor. Longsor tanah yang berada pada daerah aliran sungai menimbulkan terhambatnya proses pengaliran secara alamiah karena hal ini terganggu sebab adanya butir tanah longsor yang menghambat. Terhambatnya aliran ini menimbulkan permasalahan baru yaitu terjadinya luapan pada saluran dan varietas tanaman yang tumbuh di bantaran aliran akan rusak dengan adanya luapan tersebut. Dampak lain yang ditimbulkan akibat gumpalan sedimen ini yaitu berkurangnya daya tampung kapasitas sungai, menyebabkan terjadinya banjir pada musim penghujan, dan tidak terpenuhinya kebutuhan air bersih sebab reservoir telah terjadi pendangkalan. Maka pada penelitian ini dilakukan percobaan penelitian pada skala saluran yang lebih kecil dan dilakukan pemodelan pada tanah longsor yang berada pada tebing saluran. Selanjutnya setelah dilakukan percobaan didapatkan perkiraan data perpindahan tanah akibat adanya kecepatan aliran yang menghantam. Selain itu, dilakukan perhitungan pada pemodelan angkutan sedimen tersebut. Komponen data yang digunakan yaitu data primer yang meliputi lebar penampang saluran, kedalaman saluran, kecepatan aliran, dan sampel sedimen melayang serta sampel sedimen dasar. Perhitungan ini didasarkan pada Metode Peter-Meyer-Muller dan juga Metode L.C. Van Rijn. Perhitungan transpor sedimen dengan metode Peter-Meyer-Muller memiliki nilai  $0,0248 \text{ m}^3/\text{hari}$  yang mana lebih besar dari metode L.C. Van Rijn yang memiliki nilai  $0,0156 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Jarak pergerakan sedimen terbesar didapat pada sedimen dengan perlakuan bukaan penuh yaitu dengan nilai perpindahan  $0,66 \text{ m}$ , sedangkan bukaan  $\frac{3}{4}$  senilai  $0,59 \text{ m}$  dan bukaan  $\frac{1}{2}$  senilai  $0,49 \text{ m}$ .

**Kata kunci:** Tanah longsor, Metode Peter-Meyer-Muller, Metode L.C. Van Rijn.

### Abstract

*The geographical location of Indonesia, which is at the confluence of three world plates, causes various problems that are quite dangerous. One of the problems that occur is a shift in the soil which is the main factor in the occurrence of landslides. Landslides located in watersheds cause obstruction of the natural flow process because this is disturbed due to the presence of obstructing landslide grains. The obstruction of this flow creates a new problem, namely the occurrence of overflow in the channel and the varieties of plants that grow on the banks of the flow will be damaged by the overflow. Another impact caused by this sediment lump is the reduced capacity of the river, causing flooding in the rainy season, and not meeting the need for clean water because the reservoir has become silted. So in this study, research experiments were carried out on a smaller channel scale and modeling was carried out on landslides located on the channel cliffs. Furthermore, after the experiment was carried out, it was obtained estimates of soil displacement data due to the flow velocity that hit. In addition, calculations are also carried out on the sediment transport modeling. The data components used are primary data which includes channel cross-sectional width, channel depth, flow velocity, and floating sediment samples and bottom sediment samples. This calculation is based on the Peter-Meyer-Muller Method as well as the L.C. Van Rijn. Calculation of sediment transport using the Peter-Meyer-Muller method has a value of  $0.0248 \text{ m}^3/\text{day}$  which is bigger than the L.C. method. Van Rijn which has a value of  $0.0156 \text{ m}^3/\text{day}$ . The largest sediment movement distance was found in sediments with full opening, with a displacement value of  $0.66 \text{ m}$ , while  $\frac{3}{4}$  openings were  $0.59 \text{ m}$  and  $\frac{1}{2}$  openings were  $0.49 \text{ m}$ .*

**Keywords:** *Landslide, Peter-Meyer-Muller method, L.C. Van Rijn method.*

## PENDAHULUAN

Indonesia terletak di antara persimpangan tiga lempeng dunia, khususnya lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia yang terus bergerak dan memukul satu sama lain. Hasil dampak ini adalah susunan jalur vulkanik di Indonesia. Bentuk lahan di Indonesia menjadi bermacam-macam dari pegunungan, bukit, hingga pantai. Selain itu juga terdapat dampak egatif dengan adanya keadaan tersebut, yaitu seringnya terjadi bencana alam seperti gempa, tsunami, gunung meletus, dan tanah longsor. Dewasa ini, fenomena bencana longsor memiliki intensitas yang lebih tinggi pada persebaran wilayah di Indonesia.

Longsor ialah suatu kejadian alam dimana alam secara alami mencari keseimbangan baru akibat adanya perubahan pada lahan (Widodo, dkk. 2011:11). Faktor-faktor tersebut meliputi kondisi geologis, hidrografi, topografi, iklim dan perubahan cuaca. Sebenarnya tanah longsor dapat terjadi apabila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Faktor lain terjadinya longsor terutama pada daerah aliran sungai adalah idengan adanya perubahan debit.

Pada perubahan debit air atau penambahan debit dapat menjadi titik awal mula dari pergeseran tanah tepi sungai yang terjal. Semakin lama tanah tersebut akan tergerus dan arus sungai tersebut akan menyesuaikan dengan debit air yang akan di alirkan.

Fenomena ini perlu dikaji dengan melakukan simulasi pemodelan pola penyebaran longsor dan hal-hal yang mempengaruhi pada pergerakan serta perpindahan tanah longsor. Uji pemodelan saluran di laboratorium merupakan upaya yang mudah dan efektif guna mendapatkan informasi dan hasil data yang mendekati kebenaran teoritis. Pemodelan dilakukan dengan simulasi pintu air dan beberapa sampel tanah longsor yang dialirkan pada *tilting flume* dengan beberapa variasi bukaan. Hal ini akan mempengaruhi pada pola pergerakan tanah longsor dan akan menjadi pertimbangan untuk informasi pembangunan pada daerah tebing tersebut.

Bahan percobaan yang digunakan ialah terdiri dari beberapa jenis tanah di tepi daerah longsor tebing sungai. Komposisi lain dalam pemodelan aliran ini adalah dengan dialiri 2 macam bukaan yaitu bukaan 1 dan  $\frac{3}{4}$  yang akan menghasilkan debit aliran, kecepatan, dan bilangan Froude yang berbeda. Pintu air dibuka dengan 3 perbedaan tinggi yaitu dibuka setinggi 3 cm, 5 cm, dan 7 cm. Setelah dilakukan pemodelan serta penerapan teori hidrolika pada aliran, akan didapat beberapa kesimpulan mengenai pergerakan tanah longsor terhadap pola aliran. Setelah didapatkan data jarak perpindahan serta pengaruh tanah longsor pada

aliran, maka pihak Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) akan bisa memperkirakan titik atau lokasi rawan longsor yang bahaya untuk didirikan bangunan atau dilakukan kegiatan di atasnya.

Permasalahan di atas menjadi landasan dalam rumusan masalah pada penelitian ini yaitu: (1) Berapa besar nilai angkutan sedimen pada saat pengujian di laboratorium? (2) Berapakah jarak pergeseran tanah longsor terhadap masing-masing bukaan pintu? (3) Bagaimana pola persebaran tanah longsor akibat perubahan debit?

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dalam penelitian ini adalah: (1) Mengukur dan mengetahui besar nilai angkutan tanah tersebut; (2) Menetapkan jarak perpindahan tanah longsor dengan berat jenis pasir dan perlakuan bukaan aliran yang berbeda-beda; (3) Mengetahui pola persebaran tanah longsor akibat perbedaan debit dan bukaan pintu.

Manfaat dari artikel ilmiah ini adalah sebagai berikut: (1) Bagi mahasiswa diharapkan dapat memberikan ilmu dan kreasi tentang kajian tanah longsor pada saluran; (2) Bagi akademisi diharapkan dapat digunakan sebagai referensi tentang perpindahan dan kajian tanah longsor pada daerah aliran sungai; (3) Bagi pihak Penanggulangan Bencana Daerah serta Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat sebagai informasi tentang memperkirakan titik atau lokasi rawan longsor yang bahaya untuk didirikan bangunan atau dilakukan kegiatan di atasnya pun juga dengan penanganannya.

Batasan masalah pada penelitian ini hal-hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Keairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya dengan menggunakan *Tilting Flume* sebagai model saluran yang memiliki ukuran panjang 7 m, tinggi 0.45 m, dan lebar 0.3 m; (2) Dasar saluran diasumsikan kedap air serta pengaruh rembesan air diabaikan; (3) Penelitian hanya dilakukan dengan tanah longsor yang lolos uji ayakan 16 dan 20 ; (4) Penelitian hanya dilakukan dengan kemiringan saluran dasar -50 cm dari bagian hulu. (5) Sampel tanah longsor yang diambil hanya di DAS Desa Kemiri, Kec. Pacet, Jawa Timur.

## KAJIAN PUSTAKA

### Saluran Terbuka

Saluran terbuka memiliki 2 komponen yang berinteraksi dengan dinding dan dasar saluran. Saluran terbuka juga memiliki jenis saluran alamiah atau buatan, komponen galian tanah dengan atau tanpa lapisan penahan. Sifat aliran terbuka yaitu memiliki sifat permukaan yang bebas (*free surface*).

Saluran terbuka memiliki parameter yang didasarkan pada berubahnya kedalaman air, dan juga berdasarkan ruang dan waktu. Aliran dibedakan menjadi aliran

konstan (*steady*) dan tak konstan (*unsteady*). Berdasarkan fungsi ruang, aliran diklasifikasikan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*). Pengklasifikasian aliran berdasarkan gaya kekentalan (*viscous forces*) dikemukakan oleh Reynolds (*Re*).

$$Re = \frac{\rho \cdot U^2}{\frac{\mu \cdot U}{L^2}} = \frac{U \cdot L}{\nu} \quad (1)$$

dengan

$$\frac{\rho \cdot U^2}{L} = \text{Gaya inersia}$$

$$\frac{\mu \cdot U}{L^2} = \text{Gaya geser terhadap dasar}$$

Pengelompokan aliran berdasarkan gaya gravitasi dijabarkan Froude (*Fr*) dengan suatu bilangan tak berdimensi.

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (2)$$

Dengan

*u* = kecepatan rata-rata aliran

*g* = gaya gravitasi

*D* = kedalaman maksimum aliran

Bila  $Fr < 1$ , artinya  $u < \sqrt{gD}$  = aliran subkritis

Bila  $Fr > 1$ , artinya  $u > \sqrt{gD}$  = aliran superkritis

Bila  $Fr = 1$ , artinya  $u = \sqrt{gD}$  = aliran kritis

### Sedimentasi

Bagian awal dari saluran induk irigasi adalah saluran penangkap pasir yang berfungsi untuk mencegah masuknya sedimen ke dalam jaringan saluran irigasi. Namun pada kenyataannya banyak saluran penangkap pasir daerah irigasi saat ini tidak berfungsi dengan baik. Salah satunya penyebab adalah meningkatnya jumlah dan ukuran butiran yang terangkut air sungai akibat kerusakan DAS. Sedimen terendap di saluran penangkap pasir dan dengan cepat saluran tersebut dipenuhi endapan.

Sedimentasi merupakan proses lanjutan dari adanya erosi tanah. Hal ini menjadi hasil dari adanya erosi tanah, angin, gletser, dan gelombang air laut. Dengan didasarkan pada tempat pengendapannya, proses sedimentasi juga bisa dibedakan menjadi sedimentasi fluvial dan sedimentasi dipercepat.

#### 1. Sedimentasi Fluvial

Sungai menjadi tokoh utama dalam proses terjadinya sedimentasi. Pengendapan pasir atau sedimen yang dibawa oleh aliran sungai lalu diendapkan di sepanjang aliran sungai, waduk, dan danau inilah yang disebut dengan sedimentasi fluvial. Sedangkan sedimen yang terjadi pada danau biasanya disebut dengan sedimen lakustrin.

#### 2. Sedimentasi dipercepat

Sedimentasi dipercepat ialah proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari proses secara geologis dan berlangsung dalam waktu singkat,

bersifat destruktif atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup. Faktor yang menyebabkan biasanya karena ulah manusia yang kurang baik terhadap alamnya.

### Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen di sungai atau saluran terbuka merupakan suatu proses alami yang terjadi secara berkelanjutan. Kapasitas angkutan sedimen pada penampang memanjang sungai. Pada penampang memanjang sungai adalah besaran sedimen yang lewat penampang tersebut dalam satuan waktu tertentu (Saud, 2008:21).

Menurut Mardjiko (1988:110), angkutan sedimen diklasifikasikan menjadi sedimen loncat (*saltation load*), sedimen layang (*suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*).

#### 1. Saltation Load Movement (Sedimen Loncat)

Pergerakan butir tanah yang bergerak dalam aliran air antara pergerakan *suspended load* dan *bed load* disebut *Saltation Load*.

#### 2. Suspended Load Movement (Sedimen Layang)

Butir-butir tanah bergerak melayang dalam aliran air. Gerakan butir-butir tanah ini terus menerus dikompresi oleh gerak turbulensi aliran sehingga butir-butir tanah bergerak melayang diatas saluran.

#### 3. Bed Load Movement (Sedimen Dasar)

Sedimen dasar ini butir-butir sedimen kasar yang berjalan secara menggelinding, mendorong dan bergeser secara terus-menerus pada dasar aliran yang pergerakannya dipengaruhi dengan adanya gaya seret (*drag force*) aliran yang bekerja di atas butir-butir tanah yang bergerak.

### Berat Spesifik Partikel Sedimen

Definisi Berat Spesifik (*Specific Weight*) adalah berat persatuan volume dari bahan angkutan sedimen.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3)$$

Dengan:

$\gamma$  = berat spesifik sedimen (gr/cm<sup>3</sup>)

*W* = berat sedimen (gr)

*V* = volume sedimen (cm<sup>3</sup>)

### Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Yang dimaksud dengan berat jenis tanah (*specific gravity*) dari suatu tanah adalah *specific gravity* dari butir-butir tanah yang terkandung di dalam tanah tersebut. *Specific gravity* ( $G_s$ ) didefinisikan sebagai berikut:

$$G_s = \frac{W_{tanah}}{\gamma_{air}} \quad (4)$$

Dengan:

$\gamma_{tanah}$  = berat volume butir-butir tanah (gr/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{air}$  = berat volume air (gr/ cm<sup>3</sup>)

Untuk mendapatkan nilai berat jenis partikel tanah, maka menggunakan rumus:

$$G_s \left( \frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4) + (W_2 - W_1) - (W_3)} \text{ (pada } T_1 \text{ } ^\circ C) \quad (5)$$

Specific gravity umumnya ditentukan atas dasar berat volume air suling pada temperatur 20 °C, sehingga:

$$G_s \text{ (pada } T_1 \text{ } ^\circ C) = G_s \text{ (pada } T_1 \text{ } ^\circ C) \frac{\gamma_w \text{ (pada } T_1 \text{ } ^\circ C)}{\gamma_w \text{ (pada } T_2 \text{ } ^\circ C)} \quad (6)$$

$$G_s \text{ (pada } T_2 \text{ } ^\circ C) = G_s \text{ (pada } T_1 \text{ } ^\circ C) \times K \quad (7)$$

Dengan:

$W_1$  = Berat Piknometer Kosong (gr)

$W_2$  = Berat Piknometer + Tanah Kering (gr)

$W_3$  = Berat Piknometer + Tanah Kering + Air (gr)

$W_4$  = Berat Piknometer + Air (gr)

$T_1$  = Temperatur  $W_3$  (°C)

$T_2$  = Temperatur  $W_4$  (°C)

K = Fator Koreksi

### Hitungan Angkutan Sedimen

Percobaan penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu Metode Peter-Meyer-Muller dan Metode L.C. Van Rijn.

#### 1. Metode Peter-Meyer-Muller

Persamaan ini dapat dilakkan setelah melakukan percobaan dan analisis sedimen di laboratorium mekanika tanah, lalu langkah selanjutnya adalah:

Koefisien-koefisien de Chezy:

$$C = \frac{\bar{U}}{\sqrt{hl}} \quad (8)$$

$$C' = 18 \log \frac{12h}{D_{90}} \quad (9)$$

$\mu$  = ripple factor

$$\mu = \left[ \frac{c}{C'} \right]^{1,5}$$

$$\mu = \left[ \frac{\frac{\bar{U}}{\sqrt{hl}}}{18 \log \frac{12h}{D_{90}}} \right]^{1,5} \quad (10)$$

$$\Psi' = \frac{\mu hl}{\Delta D_{50}} \quad (11)$$

$$\Psi' = \frac{\left[ \frac{\frac{\bar{U}}{\sqrt{hl}}}{18 \log \frac{12h}{D_{90}}} \right]^{1,5}}{\Delta D_{50}} \quad (12)$$

$$\Delta = \rho_s - \rho_{air}$$

$$S_b = \frac{8\sqrt{\Delta g D_{50}^3}}{1 - \varepsilon} (\Psi' - 0,047)^{3/2} \quad (13)$$

$\varepsilon$  = void ratio = 0,4

$$T = \frac{S_b A}{h} \cdot \left( 24 \cdot \frac{3600 \text{ m}^3}{\text{hari}} \right) \quad (14)$$

Dimana:

T = transport sedimen (m<sup>3</sup>/hari)

$\rho_s$  = rapat massa sedimen (kg/ m<sup>3</sup>)

$\rho_{air}$  = rapat air (kg/ m<sup>3</sup>)

g = percepatan gravitasi bumi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)

$D_{50}$  = diameter partkel sedimen yang tertahan (mm)

$\bar{U}$  = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)

l = pelandaian memanjang

A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

h = kedalaman air (m)

#### 2. Metode L.C. Van Rijn

Untuk menghitung dengan metode ini, maka perludiketahu parameter-parameter berikut:

Menghitung F-faktor

$$F = \frac{\left[ \frac{a}{d} \right]^{z'} - \left[ \frac{a}{d} \right]^{1,2}}{\left[ 1 - \frac{a}{d} \right]^{z'} (1,2 - z')} \quad (15)$$

Total sedimen layang (*suspended load*) per meter lebar:

$$q_s = F \cdot U \cdot d \cdot C_a \quad (\text{m}^3/\text{dt per m lebar})$$

dimana:

F = faktor koreksi

U = kecepatan aliran rata-rata (m<sup>2</sup>/dt)

d = kedalaman aliran (m)

$C_a$  = konsentrasi (mg/ltr)

$$q_b = C_b \cdot U_b \cdot \delta_b \quad (16)$$

dimana:

$q_b$  = *Bed load transport*

$C_b$  = konsentrasi dari *bed load*

$U_b$  = kecepatan partikel

$\delta_b$  = tinggi loncatan

didapat dari:

$$C_b = c_o \cdot 0,18 \cdot (T/D^*)$$

$$c_o = 0,65$$

$$U_o = 1,5(\Delta g d_{50})^{0,5} T^{0,6}$$

$$\delta_b = 0,117D *^{-1} T$$

Hitungan angkutan sedimen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q_s = \frac{0,0537 T^{2,1} [(s - 1)g]^{0,5} \cdot d_{50}^{1,5}}{d_*^{0,3}} \quad (17)$$

Dimana:

$$D * = d_{50} \left( \frac{\Delta g}{U^2} \right)^{\frac{1}{3}} = \text{parameter partikel}$$

$$T = \frac{(u^{*1})^2 - (u^{*}_{>cr})^2}{(u^{*}_{>cr})^2} = \text{transport stage parameter}$$

$U^*$  =  $(g^{0,5}/C^*)u$  = kecepatan geser dasar efektif

$\Delta$  =  $(\rho_s - \rho)/\rho$  = berat relatif

$C^*$  =  $18 \log (12h / 3d_{90})$  = koefisien Chezy

$\bar{U}$  = kecepatan aliran pada kedalaman rata-rata (m/s)

$d_{50}, d_{90}$  = diameter partikel dari material dasar (m)

v = koefisien viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

g = percepatan gravitasi

(m<sup>2</sup>/s)

$q_s$  = *bed load transport* pada satuan lebar (m<sup>3</sup>/s)

$$\frac{q_s}{\rho_s \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \sqrt{gh^3}}} = \left\{ \begin{array}{l} \left[ 0,667 \left( \frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,14 \right] V \\ \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \sqrt{gh^3}} \\ - 0,778 \left( \frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}} \end{array} \right\}^3 \quad (18)$$

Dengan:

- $\rho_s$  = Massa jenis sedimen ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\rho_w$  = Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  = gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )
- $V$  = kecepatan aliran ( $\text{m/dt}$ )
- $h$  = kedalaman aliran ( $\text{m}$ )
- $d$  = diameter butiran ( $\text{mm}$ )

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang termasuk dalam jenis metode kuantitatif, yaitu dengan melakukan kontrol pada obyek yang sedang diteliti. Pengumpulan data menggunakan alat ukur (instrumen) penelitian, analisa data bersifat kuantitatif atau statistik, dengan tujuan untuk menguji dan membuktikan hipotesis yang telah dibuat dan ditetapkan.

### Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Keairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Laboratorium Mekanika Tanah sebagai tempat pengujian partikel pasir yang akan digunakan sebagai model sedimen. Pengujian tersebut meliputi analisis saringan, berat spesifik partikel sedimen, dan uji berat jenis (*specific gravity*) sedimen. Laboratorium Keairan sebagai lokasi utama dilakukannya pengujian dan pemodelan sedimen yang dilakukan pada saluran *Tilting Flume*.

### Alat dan Bahan

Bahan yang diujikan dalam penelitian ini adalah tanah longsor yang berada pada bantaran sungai bekas longsor sebagai objek dalam pemodelan sedimen. Tanah yang akan digunakan pada pemodelan ini menggunakan jenis tanah yang diambil dari Desa Kemiri, Kec. Pacet, Jawa Timur.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. *Tilting Flume*

*Tilting flume* merupakan model dari saluran air yang digunakan untuk melakukan percobaan secara empirik di laboratorium. Berukuran panjang 7 meter, tinggi 0,45 meter, tinggi bukaan pintu air setinggi

0,05 m, dan lebar saluran 0,3 m. Sisi samping terbuat dari kaca untuk memudahkan pengamatan dan pengambilan data.

#### 2. Bukaan Kran

Kran ini berfungsi untuk mengatur besarnya debit yang akan dialirkan ke penampang saluran, dalam penelitian ini digunakan bukaan penuh (1).

#### 3. Bak Tampungan Air

Bak penampung ini berfungsi sebagai penampung air yang masuk dari saluran. Alat ini juga sebagai pemasok air yang akan dikeluarkan menuju saluran.

#### 4. Lilin atau Malam

Lilin digunakan untuk memampatkan air yang bocor/keluar melalui lubang dan celah sempit di sekitar bukaan pintu.

#### 5. Pompa Air

Alat ini digunakan untuk memompa air yang akan dialirkan ke dalam penampang saluran.

#### 6. *Sluice Gate*

Bukaan pintu air ini digunakan sebagai media yang ini digunakan untuk mengatur besaran debit yang akan dialirkan di bagian hilir.

#### 7. Jaring Penangkap Sedimen

Jaring penangkap ini digunakan untuk menjaring sedimen yang bergerak terbawa aliran. Sedimen ditangkap agar tidak masuk ke dalam bak penampung/ *hydraulic bench* yang dapat menyebabkan penyumbatan saat proses pengaliran ulang air ke penampang saluran.

#### 8. Mistar

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur besarnya nilai panjang dan tinggi loncatan, serta jarak perpindahan sedimen dari bukaan pintu air

#### 9. *Current Meter*

Alat ini digunakan sebagai alat yang bisa menghasilkan data kecepatan aliran yang nantinya akan dipergunakan dalam menghitung nilai debit.

Alat dan bahan yang digunakan pada Laboratorium Mekanika tanah sebagai percobaan melakukan analisis partikel sedimen yaitu sebagai berikut.

#### 1. Ayakan pasir

Ayakan yang digunakkan ialah satu set ayakan dengan nomor ayakan 8, 10, 12, 16, 18, 30, 40, 50, 80, 100 dan 200.

#### 2. Neraca/timbangan

Neraca digunakan untuk menimbang berat sampel pasir dan butir pasir yang tertahan pada masing-masing ayakan.

#### 3. Kotak/wadah pasir

Kotak/wadah merupakan alat yang digunakan untuk mewadahi sedimen saat ditimbang dan dikelompokkan.

4. Loyang aluminium

Loyang digunakan untuk mempermudah proses pengovenan butir pasir yang hanya diambil sebagian kecil untuk dioven. Selain itu loyang ini juga digunakan untuk melapisi atau mewadahi picnometer saat ditaruh di atas kompor elektrik pada saat proses menghilangkan gelembung udara dari dalam air dan partikel pasir. Hal ini bertujuan agar picnometer tidak pecah saat mengalami kontak langsung dengan panasnya kompor elektrik.

5. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan sedimen dan menghilangkan butir air yang masih bercampur dengan pasir, sehingga didapatkan bahan uji yang valid dan relevan..

6. Piknometer

Piknometer ialah semacam gelas ukur dengan bagian leher sempit dan berlubang kapiler dengan kapasitas 100 ml. Alat ini sebagai wadah percobaan untuk menghitung berat jenis pasir.

7. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat picnometer yang memiliki skala kecil.

8. Kompor elektrik

Kompor digunakan untuk merebus rendaman pasir dan air agar gelembung udara keluar dari partikel pasir dan air. Hal ini menjadi bagian penting dalam menentukan volume tanah pada tes *specific gravity*.

9. Pipet

Pipet digunakan untuk mengambil kelebihan air pada saat menuangkan air ke dalam picnometer.

10. Termometer

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu air di dalam picnometer setelah diberikan air.

11. Sarung tangan

Sarung tangan digunakan untuk mengambil loyang berisikan butir pasir dari dalam oven.

Setelah semua alat dan bahan siap, maka dilakukan setting alat beserta sampel pada saluran untuk mendapatkan hasil uji percobaan yang tergambar pada gambar berikut.

**Teknik Pengumpulan Data**

Perbedaan artikel ini dengan artikel yang lainnya yaitu variabel percobaan menggunakan sedimen tanah longsor, yang kemudian pada percobaan lain menggunakan agregat pasir, dan batu/kerikil. Artikel lama hanya membahas mengenai pengaruh debit pada agregat dan pengaruh besaran atau berat jenis sedimen itu sendiri terhadap aliran. Namun pada penelitian ini dilakukan perhitungan dan analisis pada gerak transpor sedimen yang mana hal ini dihitung dengan 2 metode/rumus, yaitu menggunakan rumus Peter-Meyer-Muller dan L.C. Van Rijn.

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Keairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan berbagai percobaan-percobaan dan perlakuan pada alat sehingga mendapatkan data di bawah ini:



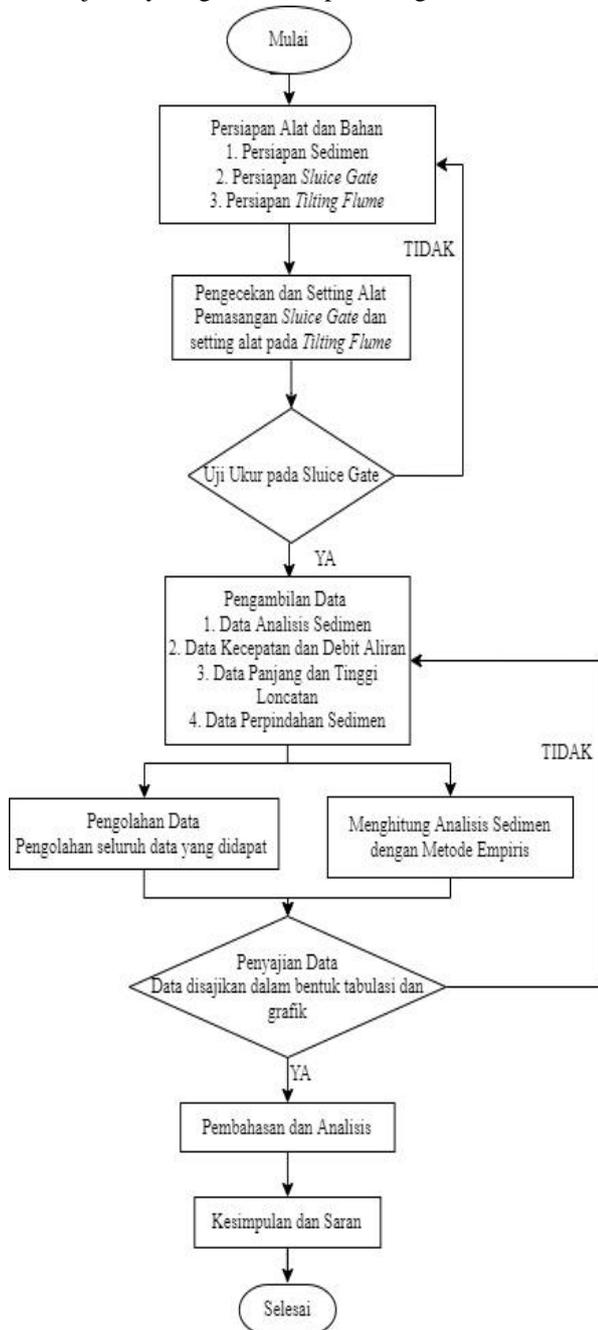
Gambar 1 Setting alat dan sampel pada saluran tilting flume

1. Analisis transpor sedimen dengan metode Meyer Per Muller dan L.C. Van Rijn.
2. Ketinggian dan Panjang loncatan hidrolis pada percobaan sedimen.
3. Jarak perpindahan sedimen tanah dengan bukaan 1, 3/4, dan 1/2..

**Teknik Pengolahan Data**

Tahap pengolahan data dilakukan dengan menganalisis data yang telah didapatkan dengan cara menghitung besarnya nilai transpor sedimen pada variabel percobaan menggunakan 2 metode yaitu metode Meyer-Peter-Muller dan L.C. Van Rijn. Tahap ini data yang sudah diolah, selanjutnya dibahas dengan penggambaran melalui grafik dari Microsoft Excel dan ditarik beberapa kesimpulan tentang berbagai hal yang berhubungan dengan penelitian.

Lebih jelasnya digambarkan pada diagram alir berikut.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Ukuran Partikel Sedimen**

Penelitian ini menggunakan tanah yang diambil dari daerah bekas longoran tanah. Proses analisis ukuran sedimen dilakukan dengan menata saringan/ayakan dengan urutan ayakan nomor 8, 14, 16, 30, 50, dan pan sebagai penampung paling bawah. Masing-masing ayakan memiliki diameter lubang sebesar 2,38 mm, 1,410 mm, 1,190 mm, 0,595 mm, dan 0,297 mm.

Tanah memiliki ukuran butiran yang seragam yaitu lolos ayakan nomor 30 dengan diameter 0,595 mm. Karakteristik butiran sedimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah non-kohesif sehingga partikel

mudah terangkat oleh arus aliran dan mudah untuk diamati. Berikut hasil analisa saringan.

Sedangkan volume sedimen dari sampel penelitian yang akan digunakan sebagai bahan percobaan yang dimasukkan pada saluran *tilting flume* ini sebesar  $12440 \text{ cm}^3 = 0,0124 \text{ m}^3$ ;  $19620 \text{ cm}^3 = 0,0196 \text{ m}^3$ , dan  $26418 \text{ cm}^3 = 0,0264 \text{ m}^3$ , yang mana nilai ini didapat dengan mengukur volume sedimen dengan menggunakan wadah yang kemudian diukur besaran volumenya melalui panjang x tinggi x lebar wadah penampung.

Pada kegiatan analisis transpor sedimen digunakan satu jenis pasir/ sedimen sebagai variabelnya. Selanjutnya dilakukan analisa diameter partikel sedimen pada laboratorium mekanika tanah dan menghasilkan sebaran besar sedimen yang ditampilkan pada tabel 1. Pada tabel 1 ditunjukkan hasil uji saringan pada tanah.

Tabel 1. Hasil Distribusi Ukuran Butir pada Sedimen (yang akan dilakukan analisis)

No. Saringan	Uk. Saringan (mm)	Berat Saringan	Berat saringan+tertahan	Tertahan		Lolos	
				gram	%	gram	%
4	4.760	480,70	482,13	2,03	1,56	115,98	99,06
8	2,380	474,68	476,40	1,72	1,43	113,36	98,57
10	2,000	461,43	462,18	0,75	0,76	112,49	97,82
12	1,680	460,17	462,00	1,83	0,75	11,63	97,07
16	1,190	441,87	444,89	3,02	2,77	108,45	84,30
18	1,000	435,49	440,20	4,71	3,59	84,32	70,71
30	0,595	411,17	431,81	20,64	18,73	53,78	31,98
40	0,420	397,43	400,26	2,83	37,36	29,82	14,63
50	0,297	389,67	395,07	5,40	6,14	22,76	8,49
80	0,177	347,16	378,54	31,38	25,63	3,28	2,85
100	0,149	350,55	350,88	0,05	0,04	3,25	2,81
200	0,075	386,60	394,18	7,58	1,50	1,50	1,30
Pan		331,51	333,06	1,15	1,15	0,00	0,00

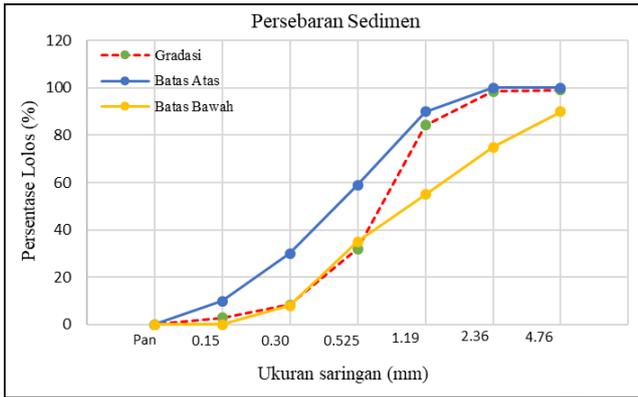
Sumber: Hasil Percobaan dan Analisis

Setelah didapatkan hasil distribusi ukuran butir di atas, maka selanjutnya dibuat tabel gradasi berdasarkan zona menurut SNI 03-2834-2000 guna mendapatkan grafik persebaran gradasi agregat/sedimen. Disajikan pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Zona gradasi butir tanah

Zona Gradasi III (Pasir Agak Halus)				
Nomor saringan	(mm)	batas atas	batas bawah	Gradasi
4	4.76	100	90	99.06
8	2.36	100	75	98.57
16	1.19	90	55	84.3
30	0.525	59	35	31.98
50	0.3	30	8	8.49
100	0.15	10	0	2.81
>200	Pan	0	0	0

Berdasarkan tabel 2, maka dibuat grafik persebaran agregat dengan zona III pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Persebaran Sedimen

Selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan *Current Meter* dan menghasilkan besaran nilai kecepatan pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Data kecepatan aliran

Bukaan 1 (Penuh)		
T (detik)	S	V (m/dtk)
10	18	0.13476
20	33	0.12633
30	45	0.11715
40	74	0.13757
50	95	0.14038
60	131	0.15630
V rata-rata		0.13541

**Angkutan Sedimen Metode Meyer-Peter-Muller**

Data hasil penelitian:

- Lebar saluran (B) = 0,3 m
- Kedalaman air (h) = 0,45 m
- Kemiringan saluran (I) = 0,04
- Presentase diameter sedimen lolos 90% ( $D_{90}$ ) = 3,25 mm
- Diameter partikel sedimen = 1,46 mm
- Koefisien manning seluruh bagian saluran ( $n$ ) = 0,010 (kaca)
- Kecepatan rata-rata aliran ( $\bar{U}$ ) = 0.135 m/dt
- Debit aliran ( $Q$ ) = 0,0024 m<sup>3</sup>/dt

Menghitung luas penampang basah:

$$A = B \times h = 0,3 \times 0,45 = 0,135 \text{ m}^2$$

$$\Psi' = \frac{\left[ \frac{\bar{U}}{\sqrt{hl}} \right]^{1,5}}{18 \log \frac{12h}{D_{50}}}$$

$$\Psi' = \frac{\left[ \frac{0,135}{\sqrt{0,45 \cdot 0,04}} \right]^{1,5}}{18 \log \frac{12 \cdot 0,45}{3,25}} = 0,874$$

$$S_b = \frac{8 \sqrt{\Delta g D_{90}^3}}{1 - \epsilon} (\Psi' - 0,047)^{3/2}$$

$$S_b = \frac{8 \sqrt{9,81 \cdot 1,46^2}}{1 - 0,4} (0,874 - 0,047)^{3/2} = 7,826$$

$$T = \frac{S_b A}{h} \cdot \frac{24}{3600}$$

$$T = \frac{7,826 \cdot 0,135}{0,45} \cdot \frac{24}{3600} = 0,0156 \text{ m}^3/\text{hari}$$

**Angkutan Sedimen Metode L.C. Van Rijn**

Sebelum dilakukan perhitungan, melakukan percobaan dengan *current meter* guna mengetahui hasil data kecepatan aliran, data kecepatan aliran dengan menggunakan bukaan penuh disajikan pada tabel 3 di atas. Selanjutnya untuk nilai massa jenis, dihitung dari berat jenis sedimen dikalikan dengan gravitasi. Nilai berat jenis sedimen yang akan dilakuakn analisis, ditentukan dengan percobaan di laboratorium tanah dengan hasil sebagai berikut:

- Berat Piknometer Kosong ( $W_1$ ) = 5,095 gram
- Berat Piknometer + Tanah ( $W_2$ ) = 6,182 gram
- Berat Piknometer + Tanah + Air ( $W_3$ ) = 15,725 gram
- Berat Piknometer + Air ( $W_4$ ) = 15,015 gram
- Temperatur  $W_3$  ( $T_1$ ) = 31,00 °C
- Temperatur  $W_4$  ( $T_2$ ) = 31,00 °C
- Faktor Koreksi (K) = 0,997

Selanjutnya, nilai  $G_s$  dihitung sebagai berikut:

$$G_s (T_1^\circ) = \frac{(6,182 - 5,095)}{(15,015) + (6,182 - 5,095) - (15,725)}$$

$$G_s (T_2^\circ) = G_s T_1^\circ C \times K = 0,288 \times 0,997 = 0,2875$$

Untuk mendapatkan nilai massa jenis sedimen, maka nilai berat jenis dikalikan dengan nilai gravitasi.

$$\text{Massa jenis sedimen} = 0,2875 \times 9,8 = 2,8175 \text{ gram/cm}^3$$

Perhitungan di bawah ini menggunakan data sebagai berikut:

- Lebar saluran (b) = 0,3 m
- Kedalaman air (h) = 0,45 m
- Kedalaman saluran = 0,70 m
- Kemiringan saluran (S) = 0,04
- Massa jenis air ( $\rho_w$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup> = 1 gram/cm<sup>3</sup>

Massa jenis sedimen ( $\rho_s$ ) = 2,8175 gram/cm<sup>3</sup>  
 Gravitasi (g) = 9,81 m/s<sup>2</sup>  
 Presentase diameter sedimen = 3,25 mm  
 lolos 90% ( $D_{90}$ )  
 Diameter efektif (d) = 1,46 mm  
 Koefisien manning seluruh bagian saluran (n) = 0,010 (kaca)  
 Debit aliran (Q) = A x V  
 = (b+2H) x V  
 =  
 (0,3+2.0,70)0,1354  
 = 0,2302 m<sup>3</sup>/dt

Perhitungan angkutan sedimen dengan persamaan berikut:

$$\frac{q_s}{\rho_s} = \left\{ \frac{\left[ 0,667 \left( \frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,14 \right] V}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w \sqrt{gh^3}}}} - 0,778 \left( \frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^3$$

$$\frac{q_s}{2,8175} = \left\{ \frac{\left[ 0,667 \left( \frac{1,46}{0,45} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,14 \right] 0,1354}{\sqrt{\frac{2,64 - 1}{1 \sqrt{9,81 \cdot 0,45^3}}}} - 0,778 \left( \frac{1,46}{0,45} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^3$$

$$\frac{q_s}{2,8175 \times 1,32} = \left\{ \frac{1,602 \times 0,1354}{0,317} - 1,705 \right\}^3$$

$$\frac{q_s}{3,498} = 1,0635$$

$$q_s = 3,720 \cdot \frac{24}{3600} = 0,0248 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dari kedua metode di atas, menunjukkan bahwa perhitungan dengan metode Peter-Meyer-Muller memiliki nilai yang lebih besar yaitu 0,0248 m<sup>3</sup>/hari daripada Metode L.C. Van Rijn dengan nilai 0,0156 m<sup>3</sup>/hari.

**Jarak Pergeseran Sedimen Tanah**

Nilai jarak pergeseran sedimen diukur dari pintu air dengan masing-masing ketinggian bukaan pintu dan besaran debit diukur untuk mendapatkan nilai-nilai yang akan digrafikkan. Perpindahan sedimen diukur mulai dari *sluice gate* dan diukur secara lanjutan pada setiap ketinggian bukaan pintu. Data hasil perpindahan sedimen dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

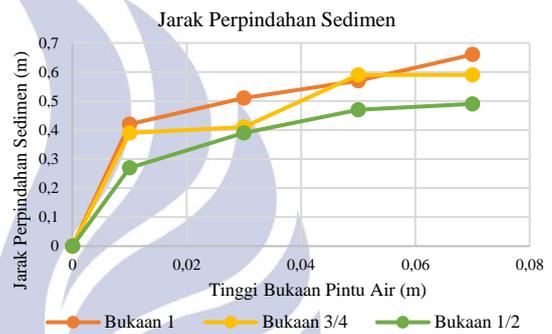
Tabel 4. Jarak Pergerakan Sedimen Tanah

Sedimen Tanah			
Bukaan Air	Debit (m <sup>3</sup> /detik)	Tinggi Bukaan <i>Sluice Gate</i> (m)	Jarak Pergerakan Sedimen (m)
1	0,1432	0,01	0,42

	0,1432	0,03	0,51
	0,1432	0,05	0,57
	0,1432	0,07	0,66
	0,053653	0,01	0,39
3/4	0,053653	0,03	0,41
	0,053653	0,05	0,59
	0,053653	0,07	0,59
1/2	0,04794	0,01	0,27
	0,04794	0,03	0,39
	0,04794	0,05	0,47
	0,04794	0,07	0,49

Sumber: Hasil Percobaan Laboratorium

Berdasarkan data percobaan dengan sedimen di atas, maka akan tergambar pola persebaran dan perpindahan sedimen yang dipengaruhi oleh bukaan pintu air dan debit sebagaimana Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Jarak Pergerakan Sedimen

Gambar 4 diatas menunjukkan bahwa jarak perpindahan paling jauh dari *sluice gate* adalah sedimen dengan bukaan aliran 1 atau dengan debit aliran 0,05365 m<sup>3</sup>/detik.

**PENUTUP Kesimpulan**

Berdasarkan percobaan dengan berbagai perlakuan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada percobaan yang dilakukan di laboratorium keairan Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, didapatkan nilai pergerakan sedimen dengan 3 perlakuan besaran bukaan yaitu bukaan 1, ¾, dan ½. Yang mana dari ketiga perlakuan tersebut didapatkan jarak perpindahan terjauh yaitu sedimen dengan bukaan penuh yaitu sejauh 0,66 m.
2. Perhitungan angkutan sedimen dengan metode metode Peter-Meyer-Muller memiliki nilai yang lebih besar yaitu 0,0248 m<sup>3</sup>/hari daripada Metode L.C. Van Rijn dengan nilai 0,0156 m<sup>3</sup>/hari.
3. Perbandingan hasil perhitungan dari kedua metode, didapatkan nilai dari metode L.C. Van Rijn memiliki besaran yang lebih mendekati pada percobaan di laboratorium.

## Saran

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan pemahaman yang lebih lanjut dari berbagai metode analisis angkutan sedimen guna mendapatkan kekayaan data dan perbandingan sehingga didapat hasil yang lebih spesifik dan mendekati realita.
2. Digunakan penampang dan alur sungai atau saluran yang asli agar hasil yang didapat bisa lebih akurat.
3. Sampel sedimen bisa digunakan dengan berbagai macam variasi dan beragam agar mendapatkan kekayaan data yang maksimal, karena berbeda titik dimungkinkan memiliki jenis sedimen yang berbeda dan tentunya memiliki nilai berat jenis, kerapatan, tingkat kejenuhan yang berbeda.

Sood, Muhammad Furqan. 2018. Analisa Angkutan Sedimen Sungai Jawi Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura.

Sudira, I Wayan., Tiny Mananoma., H.Manalip. 2013. Analisis Angkutan Sedimen Pada Sungai Mansahan. Publikasi. Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol.3, No.1, Hal. 54-57.

Triatmodjo, B., 2009. Hidrologi Terapan. Cetakan kedua. Beta Offset. Yogyakarta.

Widodo, Amien, dkk. 2011. Studi Investigasi Longsor di Desa Kalikuning, Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan. Jurnal Aplikasi ISSN:1907-753X. Surabaya.

Yuliana, Silvya., 2008. Kajian Ulang Hidrologi. Buku Ajar Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press

Fauziah, Risky., 2018. *Study of Sediment Transport At Pabelan River, Magelang Regency, Central Java*. Tesis. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Mardjikoeno, Prangyono. 1988. *Angkutan Sedimen*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Pratama, Iqbal, dkk. 2019. *Analisis Transport Sedimen serta Pengaruh Aktivitas Penambangan pada Sungai Sombe, Kota Palu, Sulawesi Tengah*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada..

Ridwan, Machfud, dan Nur Andajani, 2003. *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah 1*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya

Rijn, L. C. V., 1984. *Sediment Transport Part I: Bed Load Transport, Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 110, No. 10.

Saud, Ismail. 2008. *Prediksi Sedimentasi Kali Mas Surabaya : FTSP-ITS*.

Sidabutar, Hanny M. M., 2002. *Transport Sedimen Material Bed Load Pada Alur Hilir Sungai (Studi Kasus : Transport Sedimen Material Bed Load Pada Alur Hilir Sungai Tondano Yang Belokasi di Kelurahan Kairagi)*. Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Soewarno. 1991. *Pengukuran dan Pengelolaan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*, Nova, Bandung, hal, 644- 655, 699-702.