

# Pengaruh Kemiringan Struktur Plat Segitiga Terhadap Kecepatan Gesek Dasar pada Saluran Terbuka

Yunarto Rombebunga<sup>1\*</sup>, Rita Tahir Lopa<sup>1</sup>, Bambang Bakri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

\*Email: yunartorb@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052021.05

## Abstrak

Pada aliran saluran terbuka, distribusi kecepatan seringkali dibedakan sebagai distribusi kecepatan di daerah *inner region*, yang berada di dekat dasar dimana distribusi kecepatan logaritmik berlaku, dan di daerah *outer region*, yang berada jauh dari dasar dimana distribusi kecepatan menyimpang secara jelas dan sistematik terhadap hukum logaritmik. Tujuan penelitian adalah struktur mampu meredam energi aliran dasar sehingga kecepatan yang terjadi dapat diminimalisir. Percobaan dilakukan pada saluran *flume* dengan Panjang 8,00 m, lebar 0,40 m dan tinggi 0,40 m. Untuk kemiringan saluran yang digunakan 0,05% dan 0,10% pada bidang licin. Tipe aliran adalah aliran seragam, menggunakan 3 (tiga) variasi debit inlet ( $Q$ ). Untuk Struktur berupa model plat segitiga, menggunakan variasi stuktur dengan kemiringan 30° ( $M_1$ ), 45° ( $M_2$ ) dan 60° ( $M_3$ ) dengan kemiringan saluran 0.05%. Adapun tinggi plat segitiga ditentukan berdasarkan tinggi rerata kecepatan maksimum sebesar  $0,6D$ . Hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan gesek yang terjadi sebelum melewati plat segitiga akan membesar dengan nilai rerata 53% (kecepatan gesek ( $u_*$ ) menurun) dan sesaat setelah melewati plat segitiga menjadi kecil (kecepatan gesek ( $u_*$ ) meningkat) dengan rerata 26% seiring bertambah besarnya kemiringan plat segitiga dan konstantan integrasi ( $C$ ) berupa perubahan kecepatan aliran semakin meningkat. Namun trend kecepatan gesek yang ditunjukkan untuk setiap model akan terlihat semakin menurun pada saat menjauhi plat segitiga dan hal ini mengindikasikan kecepatan gesek ( $u_*$ ) akan mengalami kondisi rezim aliran yang baru. Selain itu secara kuantitatif terkonfirmasi bahwa dengan adanya struktur plat segitiga maka nilai *Froude* yang terjadi sebelum melewati struktur akan mengalami penurunan kecepatan aliran seiring bertambah besarnya kemiringan struktur dan setelah melewati struktur, kecepatan aliran akan meningkat dan terjadi intensitas turbulen disepanjang saluran.

## Abstract

**The Effect the Triangular Plate Structure Slope on the Frictional Velocity in the Open Channel.** In open channel flow, velocity distribution is often distinguished as velocity distribution in the inner region, which is near the base where the logarithmic velocity distribution applies, and in the outer region, which is far from the bottom where the velocity distribution deviates clearly and systematically from the logarithmic law. The purpose of the research is the structure is able to reduce the base flow energy so that the velocity that occurs can be minimized. The experiment was carried out on a flume channel with a length of 8.00 m, a width of 0.40 m and a height of 0.40 m. For the slope of the channel used 0.05% and 0.10% on a slippery surface. The type of flow is uniform flow, using 3 (three) variations of inlet discharge ( $Q$ ). For the structure in the form of a triangular plate model, using a variation of the structure with a slope of 30° ( $M_1$ ), 45° ( $M_2$ ) and 60° ( $M_3$ ) with a channel slope of 0.05%. The height of the triangular plate is determined based on the average height of the maximum speed of  $0.6D$ . The results of the analysis show that the frictional speed that occurs before passing through the triangular plate will increase with an average value of 53% (friction speed ( $u_*$ ) decreases) and immediately after passing through the triangular plate becomes small (friction speed ( $u_*$ ) increases) with an average of 26% along with As the slope of the triangular plate increases, the integration constant ( $C$ ) in the form of a change in flow velocity increases. However, the frictional velocity trend shown for each model will appear to be decreasing as it moves away from the triangular plate and this indicates that the frictional velocity ( $u_*$ ) will experience a new flow regime. In addition, it is quantitatively confirmed that with the triangular plate structure, the Froude value that occurs before passing through the structure will experience a decrease in flow velocity as the slope of the structure increases and after passing through the structure, the flow velocity will increase and turbulence intensity occurs along the channel.

**Kata Kunci:** Angka *Froude*, kecepatan gesek, konstanta integrasi, struktur plat segitiga

## 1. Pendahuluan

Saluran terbuka adalah dimana air mengalir dengan muka air bebas (*free surface*) [1]. Salah

satu contoh saluran terbuka adalah sungai. Sungai adalah torehan permukaan Bumi yang merupakan penampung dan penyalur alamiah aliran air dan material yang dibawanya dari



bagian hulu ke hilir, atau dari tempat tinggi ke tempat yang rendah kemudian bermuara di laut, menurut Soewarno [2]. Tipe aliran saluran terbuka adalah turbulen [3], karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari titik lainnya yang disebabkan adanya tegangan geser di dasar dan dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas [4]. Menurut ilmu mekanika fluida, aliran diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antara gaya-gaya inersia (*inertial forces*) dan gaya-gaya kekentalan (*viscous forces*) menjadi tiga yaitu aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen [5]. Umumnya aliran pada saluran terbuka mempunyai  $Re > 12.500$  sehingga alirannya termasuk dalam kategori turbulen [6].

Kecepatan aliran sangat penting dari berbagai perspektif karena memainkan peran penting dalam pengangkutan sedimen di dasar saluran, danau, laut dan laut dalam dan dengan demikian kendali kecepatan aliran sangat signifikan terutama yang terjadi didasar saluran berupa kecepatan gesek dasar [7]. Kecepatan gesek yang terjadi di dasar saluran merupakan perlawanan aliran yang dimaksud berupa konfigurasi kekasaran dasar yang mempengaruhi kecepatan gesek di dasar saluran. Menurut Richardson [8], perlawanan terhadap aliran pada sungai-sungai aluvial adalah sangat kompleks karena banyak variabel tidak begitu diketahui secara baik.

Adanya struktur plat segitiga pada dasar saluran dapat mewakili kecepatan aliran di sekitarnya. Perubahan aliran dapat diamati secara visual atau berdasarkan bilangan Froude [9] dan kecepatan aliran pada struktur merupakan pengaruh aliran turbulen yang dipengaruhi oleh gaya hambat gesekan akibat viskositas fluida. Tarikan gesekan bergantung pada bilangan Reynold aliran berdasarkan kecepatan aliran ( $U$ ) dan panjang aliran yang mendekat ( $L$ ) [10]. Oleh karena itu, penting juga untuk mengungkapkan pengaruh struktur tersebut terhadap aliran turbulen karena aliran turbulen dapat mempengaruhi perilaku pengendapan sedimen.

Adapun parameter utama yang perlu diperhatikan adalah besarnya kecepatan gesek dasar akibat adanya struktur plat segitiga. Fokus utama berupa kecepatan aliran dan efek dari

bilangan Froude. Selain itu, akibat adanya struktur, maka terjadi perubahan viskositas aliran. Data pendukung yang dapat digunakan untuk menentukan nilai viskositas aliran adalah debit, tinggi muka air, kualitas air dan temperatur [11].

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Distribusi Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam saluran terbuka biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik yang lain. Kecepatan aliran memiliki tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan [12]. Karakteristik aliran yang melewati hambatan sangat susah dianalisis maka pendekatan empiris perlu diperhitungkan dengan menentukan pembagian kecepatan aliran pada daerah *inner region* dan *outer region*. Pada daerah dasar, kecepatan dikontrol oleh kecepatan gesek dan distribusi kecepatan sesungguhnya dapat dinyatakan dengan persamaan empiris:

$$\frac{u(z)}{U_m} = \left( \frac{z}{D_m} \right)^{\alpha_v} \quad (1)$$

dimana,

$u(z)$  = kecepatan rerata sejauh  $z$  dari dasar (cm/dtk)

$U_m$  = Kecepatan aliran maksimum (cm/dtk)

$D_m$  = Batas tinggi dari kecepatan maksimum ( $z = D_m$ )

$\alpha_v$  = Nilai koefisien energi arah vertikal

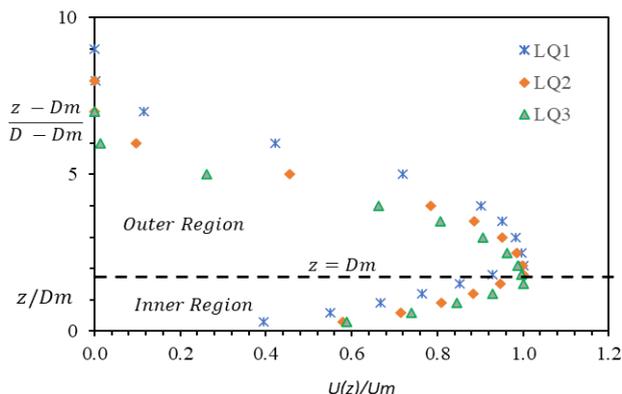
Untuk daerah *outer region*, dikendalikan oleh kecepatan gesek yang terjadi di antara batas muka air. Distribusi kecepatan didefinisikan dengan menggunakan hubungan semi-Gaussian [13].

$$\frac{u(z)}{U_m} = \exp \left[ -\beta_v \left( \frac{z - D_m}{D - D_m} \right)^{\gamma_v} \right] \quad (2)$$

Dalam persamaan ini,  $\beta_v$  adalah koefisien momentum energi dan  $\gamma_v$  merupakan nilai didasarkan pada hasil pengukuran yang mengikuti fungsi eksponensial yang variabelnya merupakan basis logaritma. Juga,  $D$  adalah batas



rata-rata tinggi aliran. Profil kecepatan aliran non- dimensi tanpa struktur plat segitiga yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Profil kecepatan aliran non-dimensi tanpa Struktur plat segitiga**

2.2. Kecepatan Gesek ( $u_*$ ) dan Konstanta Integrasi (C)

Diketahui bahwa

$$S_f = \frac{\tau_0}{\gamma R} = \frac{u_*^2}{gR} = \frac{u^2}{C_*^2 gR} \tag{3}$$

dimana,

- $\tau_0$  = tegangan geser
- $u_*$  = kecepatan geser
- $\gamma$  = berat jenis fluida (air)
- $\rho$  = kerapatan fluida (air)
- $C_*$  = koefisien Chezy tak berdimensi
- $g$  = gravitasi
- $R$  = radius hidrolis

maka besarnya kecepatan geser dan tegangan geser dapat diketahui :

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \tag{4}$$

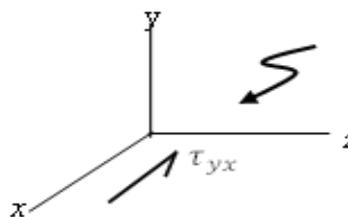
Karakteristik aliran saluran terbuka akan mengalami tahanan geser dan hampir selalu turbulen sehingga unsur laminar dapat diabaikan. Hanya sebagian kecil di dekat batas-batasnya (dasar saluran dan tebing) aliran bisa bersifat laminar. Dengan prinsip tegangan Reynolds dari hasil perataan waktu (*time averaging*) Persamaan Navier-Stoke, diketahui bahwa besarnya tegangan :

$$\tau_{yx} = \underbrace{\mu \frac{dv_x}{dy}}_{\text{laminar}} + \underbrace{\rho l^2 \left( \frac{dv_x}{dy} \right)^2}_{\text{turbulen}} \tag{5}$$

laminar turbulen

dimana,

- $\tau_{yx}$  = tegangan dasar saluran
- $u$  = kecepatan kearah x
- $\mu$  = kekentalan dinamik fluida (air)
- $l$  = Panjang campur Prandtl (*Prandtl mixing length*)



**Gambar 2. Tegangan geser aliran kearah sumbu x menurut Kodoatie [8]**

Menurut Von-Karman [8] pada Gambar 2, besarnya  $l$  adalah proposional dengan jarak  $y$  dari batas (dasar saluran), yaitu :  $l = \kappa y$ , dimana  $\kappa$  = konstanta Von Karman ( $\kappa=0,4$ ). Dengan  $\tau_0 \approx \tau_{yx}$ , maka didapat hubungan (4) dan (5) adalah:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \kappa y \frac{dv_x}{dy} \tag{6}$$

Hubungan kecepatan  $U$  dan  $u_*$  dengan mengacu pada Persamaan (6) adalah:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln y + c \tag{7}$$

Harga  $c$  dapat dievaluasi pada jarak  $y_0$ , sehingga

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y}{y_0} \tag{8}$$

dimana  $y_0$  = konstanta dari integrasi persamaan (5) atau ketinggian dari dasar saluran yang secara hipotesis kecepatan alirannya adalah nol. Konstanta integrasi  $y_0$  mempunyai urutan besaran yang sama dengan tebal lapisan laminar ( $\delta$ ) yang merupakan fungsi yang tergantung dari kondisi batas halus sampai kasar [5].

Pada kondisi halus (*smooth*), maka  $y_0 = \frac{m\nu}{u_*}$ , dimana  $m = 10^{-0,96} = 1/9$ ,  $\nu$  = viskositas kinematik,  $u_*$  = kecepatan geser. Pada kondisi kasar (*rough*),  $y_0$  tergantung dari ketinggian kekasaran pada dasar saluran  $k_s$  maka  $y_0 = mk_s$  [8].



### 3. Metode Penelitian

Percobaan dilakukan pada saluran flume dengan Panjang 8,00 m, lebar 0,40 m dan tinggi 0,40 m. Kondisi aliran menggunakan 3 (tiga) variasi debit ( $Q$ ), tanpa struktur dan dengan Struktur berbentuk plat segitiga dengan variasi sudut kemiringan plat  $30^\circ$  ( $M_1$ ),  $45^\circ$  ( $M_2$ ), dan  $60^\circ$  ( $M_3$ ), dapat dilihat pada Gambar 3. Tinggi plat ditentukan berdasarkan besarnya rata-rata kecepatan maksimum yang terjadi yaitu  $0,6D$  dari rata-rata tinggi muka air yang adalah setinggi 0.06 m dari dasar saluran dengan kemiringan dasar saluran 0.05%.

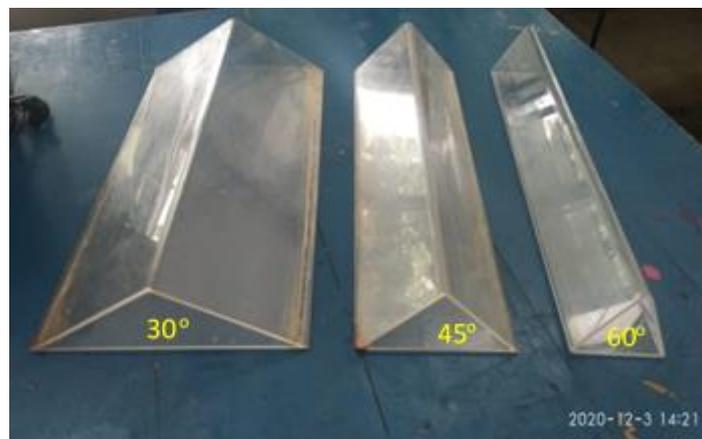
Data pengukuran distribusi kecepatan, yang meliputi distribusi kecepatan pada aliran seragam tanpa struktur (6 distribusi kecepatan), dan dengan struktur (24 distribusi kecepatan). Pada pengukuran distribusi kecepatan dengan struktur, dilakukan pengukuran di daerah hulu dan hilir struktur, dimana struktur diletakkan pada jarak  $x = 4,00$  m. Setiap pengukuran masing-masing dilakukan pada jarak  $x = 3,50$

m;  $x = 4,25$ ;  $x = 4,50$ ;  $x = 5,00$  dan  $x = 5,50$ . Skema pengukuran pada flume/saluran dapat dilihat pada Gambar 4.

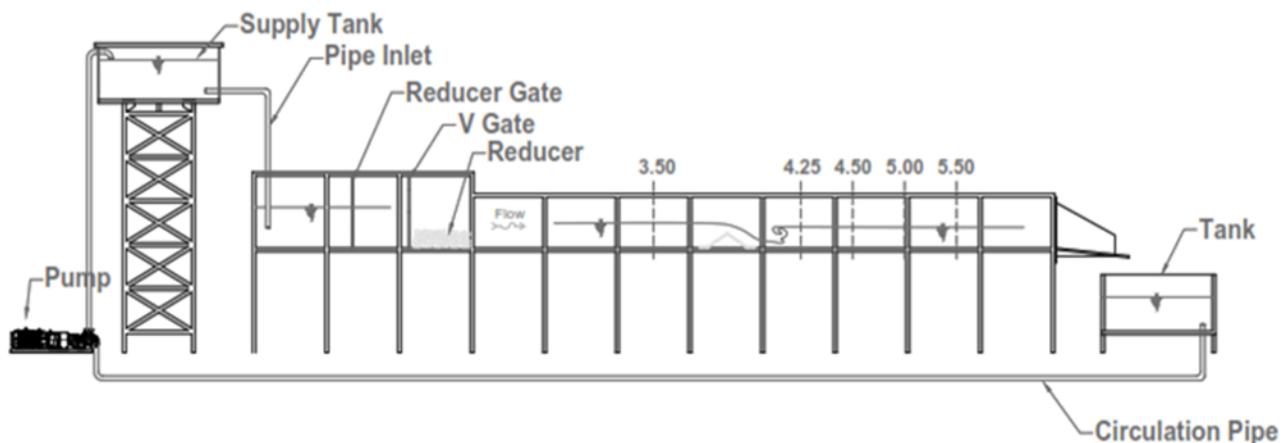
Pengukuran distribusi kecepatan aliran menggunakan alat ukur Pitot Tube Portable Automatic [14], yaitu alat yang mengukur tekana aliran ( $P$ ) pada suatu titik kedalaman dan selanjutnya nilai beda tekanan dikonversi menjadi kecepatan aliran menggunakan persamaan berikut:

$$u = \sqrt{4.24\Delta h} \tag{9}$$

Parameter utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu debit aliran terukur ( $Q$ ), kemiringan dasar saluran ( $S_0$ ), kedalaman aliran ( $D$ ), lebar flume ( $b = 40$  cm), aspek rasio ( $b/D$ ), viskositas kinematis ( $\nu$ ), jari-jari hidraulis ( $R$ ), bilangan Reynolds ( $Re$ ), bilangan Froude ( $Fr$ ), dan kecepatan aliran ( $U$ ). Perhitungan untuk setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Variasi kemiringan struktur plat segitiga



Gambar 4. Skema percobaan pada saluran terbuka

**Tabel 1. Parameter utama aliran tanpa struktur**

Run	Q (ltr/dtk)	S <sub>0</sub> (%)	D (cm)	b (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	b/D (-)	R (cm)	$\vartheta \times 10^{-3}$ (cm <sup>2</sup> /dtk)	U (cm/dtk)	R <sub>e</sub> x 10 <sup>-5</sup> (-)	F <sub>r</sub> (-)
LQ1	6.41		8.70	40	348	4.60	6.06	8.28	18.43	0.540	0.200
LQ2	7.75	0.05	9.30	40	372	4.30	4.30	8.39	20.84	0.631	0.218
LQ3	9.97		11.00	40	440	3.64	3.64	8.39	22.67	0.767	0.218

Untuk setiap *running* aliran, data memiliki nomenklatur yang terdiri atas lima digit berupa huruf dan angka. Kode huruf pertama, **L** dan **M**, menggambarkan bahwa aliran diperoleh pada kondisi tanpa struktur plat segitiga (*Loss*) dan dengan struktur plat segitiga (*Model*) dengan variasi kemiringan plat berupa angka dibelakangnya. Kode digit kedua menunjukkan debit (**Q**), dengan variasi debit diberikan angka dibelakangnya.

**4. Hasil dan Pembahasan**

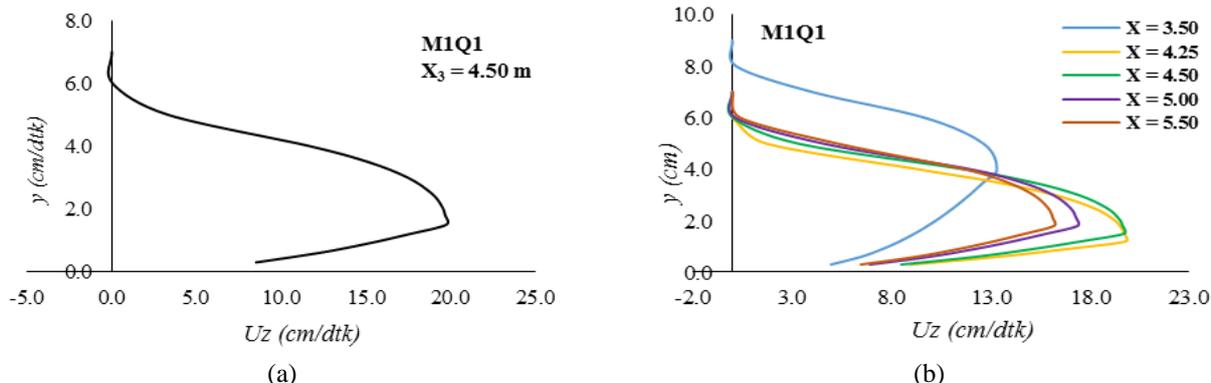
**4.1. Kecepatan Aliran**

Berdasarkan Persamaan (1) dan (2), pembagian rasio kecepatan dan distribusi kecepatan ( $U_z$ ) berdasarkan daerah yang pengukurannya dilakukan di tengah bentang ( $X_3 = 4.50$  m untuk  $M_1$ ) dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 5.

**Tabel 2. Kecepatan aliran berdasarkan pembagian daerah**

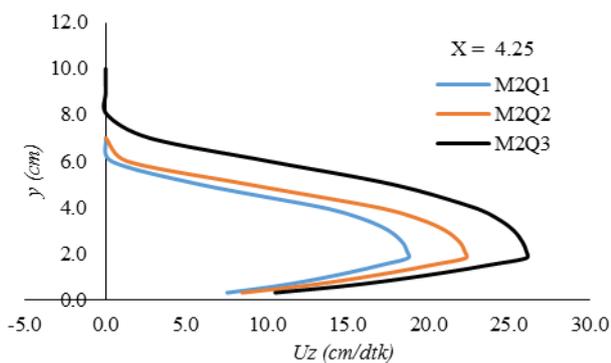
Pembagian Daerah Kecepatan	Data ukur MIQ1S0 $X_3 = 4.50$ m			Rasio kecepatan terhadap muka air yang ditinjau							$V_z$ (Cm/dtk)		
	y (cm)	D (cm)	U (cm/dtk)	$y/H_m$	$\gamma_v$	$\epsilon$	$\beta$	$\alpha$	Inner region	Outer region		$V(z)/V_m$	
y/H <sub>m</sub>	0.30	8.15	17.02	0.200						0.431	0.431	8.508	
	0.60	8.15	18.80	0.400						0.619	0.619	12.223	
	0.90	8.15	19.71	0.600						0.766	0.766	15.108	
	1.20	8.15	20.59	0.800						0.890	0.890	17.560	
H <sub>m</sub>	1.50	8.15	21.76	1.000						1.000	1.000	19.732	
	1.80	8.15	21.43	0.047							0.997	0.997	19.668
(y-H <sub>m</sub> )/(D-H <sub>m</sub> )	2.10	8.15	21.60	0.099	2	1.162	1.450	1.913			0.986	0.986	19.452
	2.50	8.15	21.10	0.177							0.956	0.956	18.856
	3.00	8.15	20.07	0.291							0.884	0.884	17.448
	3.50	8.15	18.98	0.430							0.765	0.765	15.090
	4.00	8.15	18.61	0.602							0.591	0.591	11.659
	5.00	8.15	18.42	1.111							0.167	0.167	3.295
	6.00	8.15	19.17	2.093							0.002	0.002	0.034
	7.00	8.15	18.96	4.783							0.000	0.000	0.000
	Rerata			19.73									





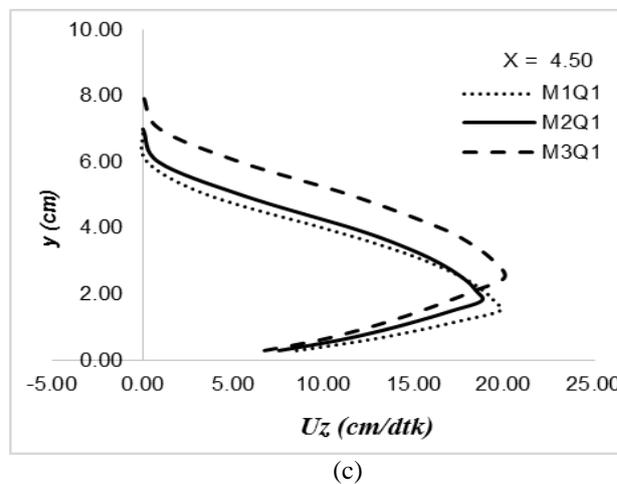
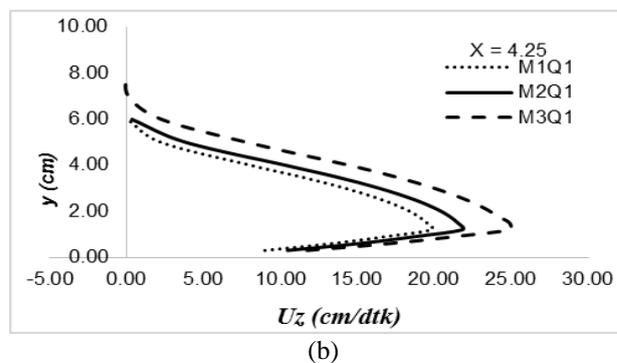
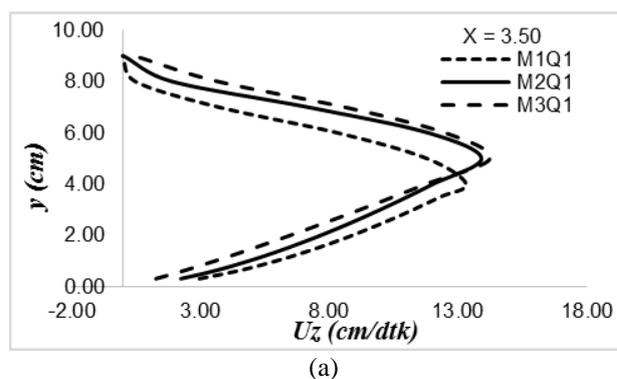
Gambar 5. (a) Distribusi kecepatan aliran pada plat M1,  $X_3 = 4.50$   
 (b) Rekapitulasi distribusi kecepatan untuk model plat M1Q1

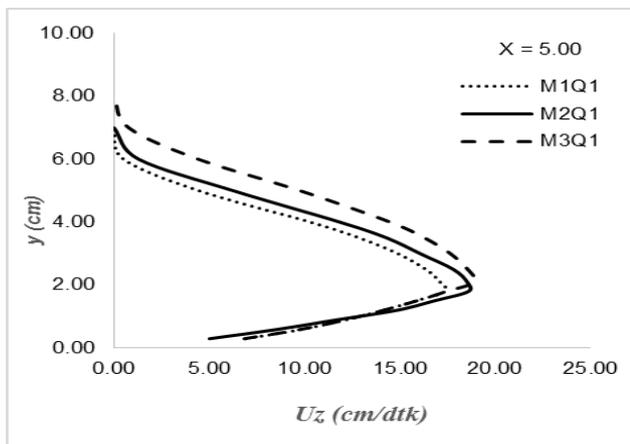
Gambar 5(b) menunjukkan bahwa distribusi kecepatan yang terjadi di dasar saluran (*inner region*) sebelum melewati plat segitiga akan mengalami kenaikan muka dan mengakibatkan kecepatan aliran di daerah dasar saluran akan berkurang. Bentuk lengkung dari grafik pada jarak  $X_1 = 3.50$  m, yang membesar di bagian dasar dan mengindikasikan nilai kecepatan gesek ( $u^*$ ) menjadi besar. Gambar 5 (a), jarak  $X_2 = 4.50$  m (sesaat setelah melewati plat) di titik  $y = 1.80$  cm terjadi momentum balik (*outer region*), dimana kecepatan aliran akan mulai mengalami rata-rata penurunan kecepatan hingga ke permukaan aliran.



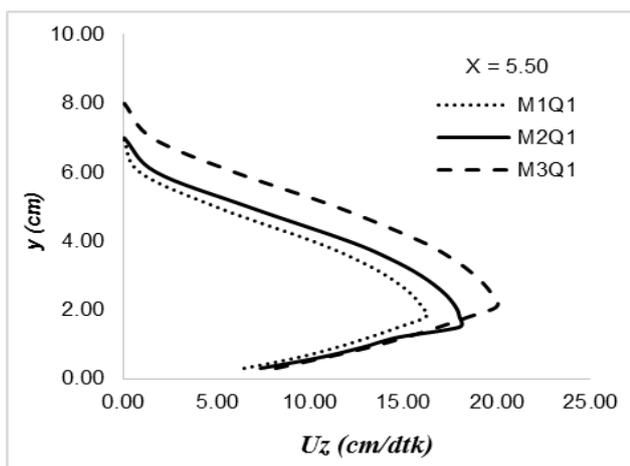
Gambar 6. Pengaruh kecepatan aliran ( $U$ ) terhadap plat segitiga (M2)

Gambar 6 menunjukkan hubungan yang terjadi antara kecepatan terhadap plat segitiga, dimana semakin besar kecepatan aliran yang melewati plat segitiga maka kecepatan di dasar saluran semakin besar sehingga nilai kecepatan gesek yang terjadi mengecil, namun kecepatan rerata ( $U_m$ ) yang terjadi semakin besar hingga ke permukaan aliran.





(d)



(e)

**Gambar 7. Pengaruh plat segitiga (M) Vs kecepatan aliran (U)**

Pada Gambar 7(a), kondisi debit aliran yang sama (Q1) sebelum aliran melewati plat segitiga, terlihat lengkung grafik daerah *inner region* semakin membesar, maka perubahan energi di tiap titik tinjau memiliki selisih nilai kecepatan aliran semakin besar yang mengakibatkan kecepatan yang terjadi didasar saluran semakin kecil/melambat. Hal ini

dikarenakan plat segitiga memiliki kemiringan yang semakin besar namun dari hasil pengukuran, kecepatan aliran akan menjadi cenderung konstan dan cepat setelah aliran berada pada batas tinggi plat 6.00 cm.

Sesaat aliran melewati plat segitiga pada jarak  $x = 4.25$  m (Gambar 7(b)), kecepatan aliran akan besar dan terjadi aliran turbulensi di sekitar plat menunjukkan energi aliran yang melewati plat semakin besar karena tinggi jatuh aliran (muka air) yang semakin meninggi. Kondisi ini membuat kecepatan yang terjadi di daerah *inner region* akan semakin besar sehingga kecepatan gesek ( $u^*$ ) yang terjadi semakin mengecil seiring perubahan kemiringan plat yang semakin besar.

Setelah terjadi turbulensi disekitar plat, maka kecepatan aliran rerata akan menurun setelah menjauhi plat segitiga,  $x = 4.50$  m, namun perubahan kecepatan yang terjadi di daerah *inner region* masih dipengaruhi oleh plat segitiga, dapat di lihat pada Gambar 7(c), dimana semakin besar kemiringan plat maka semakin besar lengkung  $\alpha$  yang dibentuk.

Selanjutnya aliran akan semakin menjauhi plat segitiga dan perlahan akan membentuk regime aliran yang baru (Gambar 7(d)), dimana pada jarak  $x = 5.00$  m, nilai kecepatan rerata hampir sama. Kondisi ini akan terus berlanjut mendekati kecenderungan kondisi normal kembali. Hal ini dapat di lihat Gambar 7 (e).

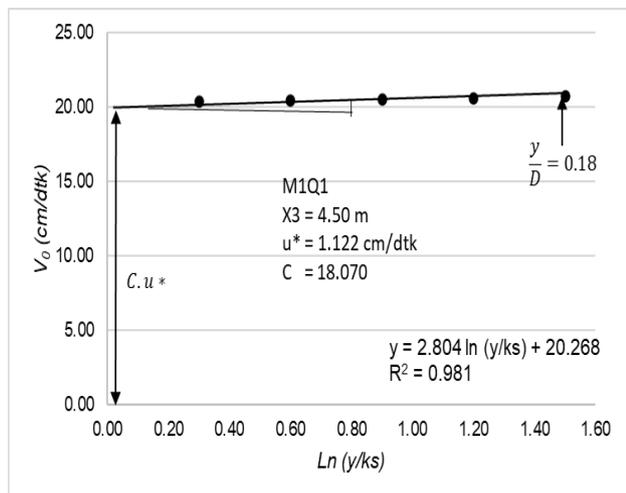
4.2. Kecepatan Gesek dan Konstanta Integrasi

Perhitungan kecepatan gesek ( $u^*$ ) dan konstanta integrasi percobaan M1Q1S0 pada  $x = 4.50$  m dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Perhitungan kecepatan gesek ( $u^*$ ) dan Konstanta Integrasi (C) M1Q1S0,  $x = 4.50$**

Data ukur M1Q1S0				Analisa Metode Logaritmik					
$X_3 = 4.50$ m				$\frac{U_0}{U^*} = \frac{1}{K} \ln\left(\frac{y}{K_s}\right) + C$					
$y$ (cm)	$D$ (cm)	$V$ (cm/dtk)	$y/D$	$ks$	$\ln(y/ks)$	$K$	$\tan \alpha$	$u^*$	$C$
0.30	8.15	17.02	0.04		3.136				
0.60	8.15	18.80	0.07		3.829				
0.90	8.15	19.71	0.11	0.0016	4.234	0.4	2.804	1.122	18.070
1.20	8.15	20.59	0.15		4.522				
1.50	8.15	21.76	0.18		4.754				





Gambar 8. Penentuan kecepatan gesek ( $u^*$ ) dan konstanta integrasi ( $C$ )

Gambar 8 menunjukkan bahwa sudut  $\alpha$  yang dibentuk oleh kecepatan aliran setelah melewati plat segitiga akan mengecil akibat loncatan hidrolis dan mengakibatkan nilai kecepatan gesek akan kecil, hal ini disebabkan karena garis pembentuk logaritmik berkurang yaitu  $y/D = 0.18$ , namun nilai pengukuran kecepatan aliran di setiap titik yang tinjau perubahan kecepataannya lebih rapat dikarenakan kecepatan aliran yang tiba-tiba dan cepatnya laju aliran sehingga konstanta integrasi ( $C$ ) akan menjadi lebih besar.

Adapun rekapitulasi kecepatan gesek dari hasil analisis logaritmik pada setiap kondisi aliran, jarak terhadap variasi kemiringan model plat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan kecepatan gesek ( $u^*$ ) dan konstanta Integrasi ( $C$ )

Run	$u^*$					$C$				
	3.50	4.25	4.50	5.00	5.50	3.50	4.25	4.50	5.00	5.50
M1Q1	2.913	0.813	1.122	1.222	1.238	2.429	28.654	18.070	13.860	12.543
M1Q2	2.814	0.968	1.162	1.326	1.491	1.641	30.070	17.598	13.491	11.859
M1Q3	3.320	1.056	1.645	1.662	1.736	1.633	30.230	17.087	11.719	9.659
M2Q1	2.921	0.832	1.285	1.548	1.473	2.260	29.196	13.987	11.052	10.520
M2Q2	2.940	0.913	1.728	1.823	1.947	2.168	30.872	13.321	10.152	9.144
M2Q3	3.429	0.914	1.943	2.148	2.110	2.191	34.853	12.646	9.291	8.992
M3Q1	3.329	0.871	1.314	1.716	1.722	2.676	33.014	14.356	10.340	9.511
M3Q2	3.334	0.787	1.697	1.939	2.171	2.437	36.442	12.360	8.890	7.639
M3Q3	3.487	0.789	2.413	2.590	2.546	2.646	37.722	11.868	8.683	7.295

Tabel 4, memperlihatkan nilai kecepatan gesek ( $u^*$ ) dan konstanta integrasi ( $C$ ) yang terjadi di sekitar daerah plat ( $x = 4.25$  m), sesaat setelah aliran melewati plat segitiga akan mengalami kecepatan aliran yang sangat besar, yang di sebut loncatan hidraulik namun berbanding terbalik dengan kecepatan gesek ( $u^*$ ) yang terjadi yaitu akan semakin kecil. Hal ini di

karenakan besarnya nilai energi berupa perubahan kecepatan di ditiap titik tinjau memiliki nilai yang besar dan rapat dan selanjutnya secara perlahan aliran akan menjadi normal kembali setelah menjauhi plat segitiga akibat nilai energi pembentuk lengkung ( $\alpha$ ) akan naik/membesar.

Tabel 5. Persentase (%) perubahan kecepatan gesek ( $u^*$ )

Model	Jarak (x)				
	3.50	4.25	4.50	5	5.50
M1	43.510	-55.424	-38.166	-35.676	-31.969
M2	47.313	-58.126	-21.976	-15.542	-15.728
M3	61.306	-61.452	-14.993	-4.821	-2.012
Rerata nilai lokal	53.110	-59.304	-20.672	-13.014	-11.436
Rerata	53.110			-26.106	

Jika  $x < 4.00$  m, mengalami perubahan kecepatan gesek ( $u^*$ ) akan membesar dengan rata-rata 53% (kecepatan gesek ( $u^*$ ) menurun)

dan memilik trend yang sama untuk setiap model. Sedangkan bila  $x > 4.00$  m, setelah aliran melewati plat segitiga untuk kecepatan gesek



akan mengecil (kecepatan gesek ( $u_*$ ) meningkat) dengan rerata 26%, namun trend kecepatan gesek yang ditunjukkan untuk setiap model akan terlihat semakin menjauhi plat maka kecepatan yang terjadi di dasar saluran akan semakin menurun dan hal ini mengindikasikan kecepatan gesek ( $u_*$ ) akan mengalami kondisi rezim aliran yang baru.

### 4.3. Bilangan Froude ( $Fr$ )

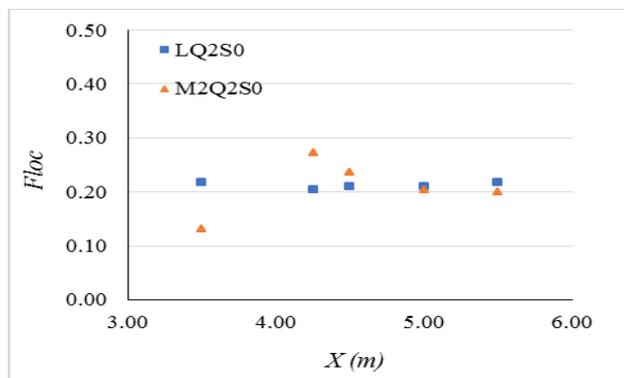
Angka Froude merupakan parameter non-dimensional yang menunjukkan efek relative

dari efek inersia terhadap efek gravitasi. Sebuah kondisi yang mengukur resistensi dari sebuah benda yang bergerak melalui air dan membandingkan benda-benda dengan ukuran berbeda berdasarkan pada kecepatan atau beda jarak [15].

Berikut adalah contoh grafik yang menggambarkan karakteristik aliran bilangan Froude pada kondisi sebelum ada plat segitiga dan setelah ada plat segitiga dengan masing-masing jarak tinjau.

**Tabel 6. Perhitungan bilangan Froude lokal**

LQ <sub>2</sub> S0 (tanpa struktur)				M <sub>2</sub> Q <sub>2</sub> (dengan struktur)			
X	U	D	F	X	U	D	F
3.50	20.41	8.90	0.218	3.50	14.08	11.70	0.131
4.25	19.36	9.10	0.205	4.25	25.08	8.65	0.272
4.50	19.88	9.20	0.209	4.50	22.30	9.05	0.237
5.00	20.17	9.40	0.210	5.00	19.55	9.30	0.205
5.50	21.05	9.60	0.217	5.50	19.42	9.50	0.201



**Gambar 9. Profil distribusi lokal bilangan Froude**

Kondisi aliran yang terbentuk disemua percobaan berada pada rezim subkritis dan bergerak menuju plat segitiga. Sesaat aliran melewati plat segitiga terjadi aliran turbulente di sekitar plat dan densitas bilangan Froude meningkat.

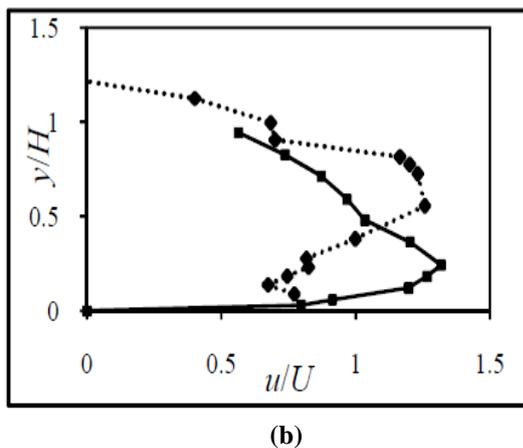
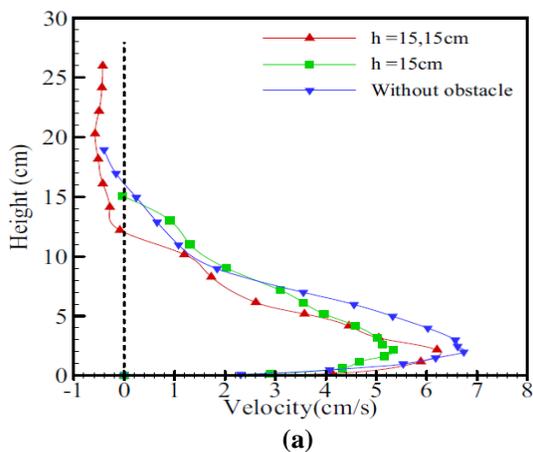
Gambar 9 menunjukkan perubahan angka Froude setelah melewati plat segitiga. Perilaku ini terjadi hampir sama ketika aliran melewati struktur bahwa aliran cenderung mengalami kenaikan berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan aliran.

### 4.4. Validasi Distribusi Kecepatan Aliran pada Plat Segitiga

Kecepatan aliran yang diukur pada titik tinjau dan berada pada tengah saluran arah longitudinal telah digambarkan pada analisis sebelumnya. Hasil perhitungan pada penelitian ini dapat dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu oleh Sina Yaghoubi, dkk [15] serta E. Khavasi, dkk [7]. Berikut adalah perbandingan grafik yang dihasilkan oleh masing-masing peneliti dapat dilihat pada Gambar 10.

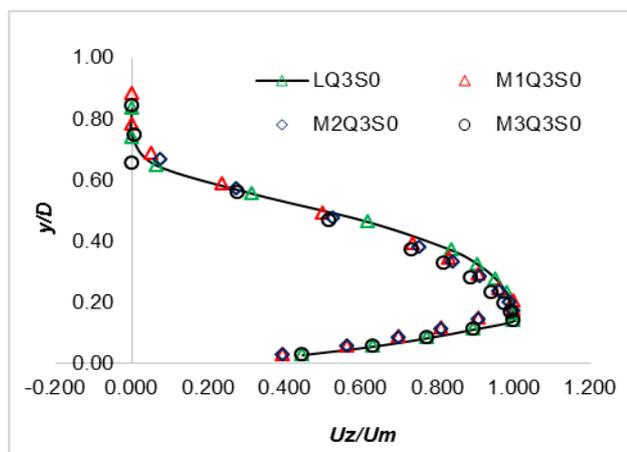
Gambar 10 menunjukkan hasil pembagian distribusi kecepatan pada penelitian terdahulu [15]. Perhitungan distribusi kecepatan didasarkan pada daerah *inner region* dan *outer region*. Terlihat pada gambar 10 (a), lengkung logaritmik yang terjadi setelah melewati plat segitiga pada daerah *inner region* dekat/rapat dengan dasar saluran, hal ini dikarenakan tinggi muka air yang terjadi jauh dari dasar saluran. Untuk gambar 10 (b), grafik penelitian [7] menunjukkan hubungan tak berdimensi antara perbandingan kecepatan di titik tinjau ( $u/U$ ) Vs ( $y/H$ ), dimana grafik yang dibentuk adalah distribusi kecepatan sebelum ada plat dan sesudah ada plat pada titik yang sama.





Gambar 10. (a) Distribusi kecepatan pada plat segitiga oleh Yaghoubi, dkk [15]. (b) Distribusi kecepatan pada plat segitiga oleh Khavasi, dkk [7]

Pada penelitian eksperimental ini, hasil perhitungan distribusi kecepatan mengikuti pembagian daerah *inner region* dan *outer region*.



Gambar 11. Distribusi kecepatan aliran pada jarak  $X = 4.25$

Terlihat pada Gambar 11, grafik yang dibentuk menggunakan metode pembagian daerah *inner region* dan *outer region*, sama

halnya dengan penelitian [15]. Namun grafik penelitian ini memiliki lengkung di daerah *inner region* yang kecenderungan garis lengkungnya tidak rapat di dasar saluran. Hal ini mengindikasikan bahwa tinggi muka air tidak terlalu jauh dari dasar saluran dan memiliki kecepatan merata yang tinggi.

### 5. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan gesek ( $u^*$ ) yang terjadi sebelum melewati plat segitiga akan mengalami rata-rata penurunan kecepatan aliran, dimana semakin kecil sudut kemiringan plat segitiga maka kecepatan yang tereduksi akan semakin besar dengan nilai rerata  $\pm 53\%$ . Namun apabila sesaat aliran melewati plat segitiga maka terjadi intensitas aliran yang meningkat seiring besarnya sudut kemiringan sebesar yaitu dengan nilai rerata  $\pm 26\%$  dan aliran akan terus menurun pada saat menjauhi plat segitiga dan selanjutnya akan mengalami rezim kecepatan yang baru. Kondisi perubahan aliran sangat mirip dengan perubahan lokal bilangan Froude dan dapat diprediksi secara proporsi bahwa Angka Froude dengan kekuatan inersia membuat aliran lebih banyak tidak stabil. Dalam aliran yang tidak ada struktur, perubahan di Froude lokal jumlahnya tampak tidak terlalu banyak tetapi untuk percobaan dengan adanya struktur plat segitiga, variasi bilangan Froude lokal tampaknya mengalami kenaikan.

### Referensi

- [1] B. Triatmojo, *Soal dan Penyelesaian Hidraulika I*, Cetakan ke. Yogyakarta: BETA OFFSET Perum. FT-UGM No. 3, 2017.
- [2] E. Prasetyo, "Pengendalian Gerusan Local di Pilar dengan Chasing Pengaman," UNNES, 2006.
- [3] B. Triatmojo, *Hidraulika II*, Cetakan ke. Yogyakarta: BETA OFSET Perum. FT-UGM No. 3, 2017.
- [4] Suripin, *Mekanika Fluida dan Hidrolika Saluran Terbuka Untuk Teknik Sipil*. Yogyakarta: Andi, 2019.
- [5] R. H. French, *Open Chanel Hydraulics*. New York: McGraw Hill Book Company, 1985.
- [6] N. Ratjaratman, *Engineering Fluid Mechanics*. Civil Eng. Dept Faculty of Engineering: Alberta Edmonton Canada, 1987.
- [7] E. Khavasi, H. Jamshidnia, B. Firoozabadi, and H. Afshin, "Experimental investigation of flow structure of a density current encountering a basal obstacle Experimental investigation of flow structure of a density current encountering a basal obstacle," in *ISUD8*, 2012, pp. 2–6.



- [8] Kodoatie. J. R, *Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*, Revisi, 20. Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2001.
- [9] A. A. Latif, M. S. Pallu, F. Maricar, and M. P. Hatta, "Study of the scour model around the sluice gate of open channel," *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 6, pp. 239–247, 2020.
- [10] V. T. Chow, *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*, 1985th ed. Jakarta: Erlangga, 1997.
- [11] M. Hasbi, M. S. Pallu, R. Lopa, M. P. Hatta, and Z. Zetiawan, "Effect of velocity flow patterns on viscosity in Saddang River," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, p. 419.
- [12] Rinaldi and B. Yulistiyanto, "Model Fisik Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan." *Forum Teknik Sipil* No. X, pp. 139–149, 2001.
- [13] S. Altinakar, W. H. Graf, and E. Hopfinger, "Weakly depositing turbidity current on a small slope," *J Hydraul. Res.*, vol. 28, no. 1, pp. 55–80, 1996.
- [14] Armfield Engineering Teaching & Research Equipment, "Pitot Tubes Portable Operating Instruction and Experiment." *Instruction Manual Book*, 2002.
- [15] S. Yaghoubi, H. Afshin, and A. Farizan, "Experimental Investigation of the Effect of Inlet Concentration on the Behavior of Turbidity Currents in the Presence of Two Consecutive Obstacles," *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*, vol. 143, no. 2, 2017.

