

## STUDI KECEPATAN ALIRAN PADA SALURAN TERBUKA DENGAN DINDING GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)

Suryadarma Hasyim<sup>1</sup>, Nasaruddin Salam<sup>2</sup>, Muhammad Saleh Pallu<sup>3</sup> dan Farouk Maricar<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa S3, Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin,  
Makassar Email: [suryadhs@yahoo.com](mailto:suryadhs@yahoo.com)

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Makassar  
Email: [nassalam.unhas@yahoo.co.id](mailto:nassalam.unhas@yahoo.co.id)

<sup>3</sup>Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar  
Email: [salehpallu@gmail.com](mailto:salehpallu@gmail.com)

<sup>4</sup>Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar  
Email: [fkmaricar@yahoo.com](mailto:fkmaricar@yahoo.com)

### Abstrak

Studi ini menjelaskan inovasi dalam mengurangi eksploitasi material Galian C dan memberikan solusi permasalahan pelaksanaan konstruksi seperti sulitnya mendapatkan sumber material galian C, akses yang sulit ke lokasi pekerjaan, kurangnya air tawar untuk campuran material, kendala cuaca, dan sulitnya menjaga mutu konstruksi. Material Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) diajukan sebagai alternatif untuk pengganti pasangan (lining) di saluran irigasi. Pengujian eksperimental dilakukan di laboratorium dengan menganalisis karakteristik kecepatan aliran akibat perubahan lima kemiringan berbeda. Pengambilan data menggunakan point gauge dan currentmeter. Verifikasi dan validasi data dengan membandingkan antara debit takar dan debit teoritis. Kecepatan rata-rata pada kondisi aliran Q1S0 adalah 46,74 cm/s, Q1S1 sebesar 58,93 cm/s, Q1S2 sebesar 69,52 cm/s, Q1S3 sebesar 81,72 cm/s, dan pada kondisi Q1S4 sebesar 92,60 cm/s. Distribusi kecepatan aliran pada setiap kemiringan memiliki hasil yang berbeda. Distribusi kecepatan di bagian tengah lebih cepat dibandingkan pada bagian tepi saluran flum Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). Bilangan Froude pada setiap jarak horizontal flum berbanding lurus dengan besarnya nilai kecepatan. Kondisi aliran pada Q1S0 menunjukkan aliran subkritis, kondisi aliran pada Q1S1 menunjukkan peralihan aliran dari subkritis menjadi superkritis. Kondisi aliran pada Q1S2, Q1S3, dan Q1S4 menunjukkan kondisi aliran superkritis.

**Kata Kunci** : Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), kecepatan aliran, saluran terbuka, dan uji eksperimental

### Abstract

This study presents an innovation to reduce the exploitation of C-type excavation materials and provides solutions to construction implementation problems such as difficulty in obtaining C-type excavation materials, limited access to work sites, lack of freshwater for material mixing, weather constraints, and difficulty in maintaining construction quality. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) material is proposed as an alternative to lining in irrigation channels. Experimental testing was conducted in the laboratory by analyzing the characteristics of flow velocity resulting from changes in five different slopes. Data collection was done using point gauges and current meters. Data verification and validation were carried out by comparing measured discharge and theoretical discharge. The average velocity at Q1S0 flow condition was 46.74 cm/s, Q1S1 was 58.93 cm/s, Q1S2 was 69.52 cm/s, Q1S3 was 81.72 cm/s, and at Q1S4 condition was 92.60 cm/s. The velocity distribution at each slope has different results. The velocity distribution in the middle is faster compared to the edges of the Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) channel. The Froude number at each horizontal distance of the channel is directly proportional to the velocity value. The flow condition at Q1S0 indicates subcritical flow, the flow condition at Q1S1 indicates a transition from subcritical to supercritical flow. The flow condition at Q1S2, Q1S3, and Q1S4 indicates supercritical flow.

**Keywords**: Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), flow velocity, open channel, and experimental test.

## 1. PENDAHULUAN

Sistem irigasi di Indonesia secara umum menerapkan saluran irigasi tanpa pasangan sejauh

secara teknis bisa dipertanggungjawabkan. Pada ruas tertentu jika keadaan tidak memungkinkan dapat digunakan saluran pasangan (*lined channel*).

Dalam modernisasi irigasi di Indonesia, upaya rehabilitasi saluran irigasi yang mengalami kerusakan direkomendasikan melalui kegiatan normalisasi saluran dan sekaligus juga dengan kegiatan pemberian pasangan (*lining*) di saluran irigasi. Selain itu juga perlu diterapkan penggunaan jenis material *lining* yang baru yaitu berupa lapisan kedap air dari material *geotextile* atau plastik (polimer) (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2011). Banyak bahan yang dapat dipakai untuk pasangan saluran, tetapi di Indonesia hanya ada empat bahan yang dianjurkan yaitu pasangan batu, pasangan beton, pasangan tanah dan pasangan ferosemen. Komposisi penggunaan material galian C pada jenis saluran seperti ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1**  
**Jenis Pasangan Saluran di Indonesia**

No.	Jenis Pasangan	A	S	P	K	B	T	BKA
						B		
1	Pasangan Batu	√	√	√	-	√	-	-
2	Pasangan Beton	√	√	√	√	-	-	-/√
3	Pasangan Tanah	√	√	-	-	-	√	-
4	Pasangan Ferosemen	√	√	√	-	-	-	√

Ket: A = Air, S=Semen, P=Pasir, K=Kerikil, BB = Batu Belah, T = Tanah & BKA=Besi Kawat Anyaman.

Menurut Jirana dkk. (2016), pasir, kerikil, batu kali, dan tanah timbunan merupakan beberapa jenis material yang termasuk kategori golongan C yang lebih banyak dilakukan. Hal tersebut harus mendapatkan perhatian yang serius karena seringkali tidak memperhatikan dampak terhadap kerusakan lingkungan hidup. Penggunaan atau eksploitasi material galian Golongan C yang berlebihan memberikan dampak kerusakan pada lingkungan, baik lingkungan di sungai maupun lingkungan di darat (Jirana dkk., 2016, Hasibuan, P.M., 2006, dan Mattamana, B.A., et al., 2013).

Dalam rangka mengurangi eksploitasi material Galian Golongan C, penelitian ini mengkaji material alternatif yaitu material GFRP yang tidak menggunakan unsur semen dan unsur material galian Golongan C, dimana material jenis baru tersebut nantinya dapat digunakan sebagai material alternatif untuk pasangan (*lining*) di saluran irigasi. Pada prakteknya juga di lapangan, pembuatan campuran untuk lining saluran dari pasangan batu dan pasangan beton mempunyai beberapa kendala, yaitu antara lain sebagai berikut:

- kendala sulitnya mendapatkan sumber material galian golongan C;
- kendala akses yang sulit untuk membawa unsur campuran material (semen, agregat, dan batu kali) ke lokasi pekerjaan;
- kendala sulitnya mendapatkan air tawar yang dibutuhkan untuk proses pencampuran material di lapangan;
- kendala cuaca (kondisi hujan) yang sering mengganggu/menghambat proses pencampuran material tersebut di lokasi pekerjaan;
- kendala sulitnya menjaga mutu konstruksi pekerjaan karena umumnya pekerjaan saluran irigasi berada pada lokasi yang luas dan tersebar yang mengakibatkan sulitnya para pengawas pekerjaan untuk melakukan pengawasan konstruksi.

Penggunaan material Polimer sudah dilakukan di berbagai negara seperti Amerika Serikat dan Portugal. Penggunaan material pasangan tradisional di saluran irigasi di AS tidak hanya berupa pasangan batu, beton, dan tanah namun juga menggunakan material aspal (bitumen), membran karet, dan bentonite (USBR, 1976). Penelitian lain, berdasarkan Morgado, F. et al. (2016), penggunaan membran prafabrikasi untuk saluran pasangan semakin meningkat di Portugal selama 20 tahun terakhir, terutama sebagai solusi rehabilitasi saluran beton lama. Dua jenis membran utama yang digunakan di Portugal adalah membran bitumen (modifikasi polimer aspal) dan membran sintesis (PVC). Penggunaan material berbahan GFRP sebagai material

pasangan telah pernah diuji coba di Malaysia. Pang, L. H. (1978) melakukan penelitian dalam bentuk proyek percontohan (*pilot project*) penggunaan material GFRP pada pembangunan saluran irigasi tersier yang baru yang dilaksanakan di Proyek Irigasi Tanjung Karang di Malaysia. Konstruksi saluran irigasi tersier tersebut berbentuk flum dan material pasangannya diberi nama *Fiberglass-Reinforced Polyester (FRP)*.

Material GFRP saat ini sudah mulai banyak digunakan sebagai material bangunan dalam industri konstruksi. Secara umum material GFRP ini mempunyai karakteristik yang kuat, ringan, tahan cuaca, dan kedap air. Penggunaan material jenis GFRP di Indonesia saat ini juga sudah mulai banyak diproduksi dan digunakan utamanya untuk material konstruksi bangunan seperti talang air, tandon air, atap rumah, dan lain lain.

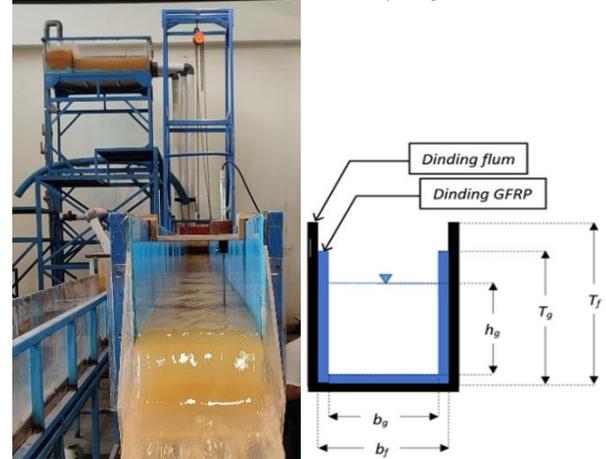
Berdasarkan uraian tersebut di atas, penggunaan material alternatif GFRP diharapkan mampu memberikan solusi terhadap dampak kerusakan lingkungan dan juga kendala-kendala yang terjadi dalam pelaksanaan konstruksi seperti yang telah diuraikan tersebut di atas. Dengan adanya inovasi baru material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* ini akan digunakan sebagai alternatif pengganti material *lining* pada saluran irigasi di Indonesia maka perlu dikaji terhadap karakteristik hidrolis aliran untuk perencanaan alternatif saluran pasangan berbahan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* tersebut. Tentunya dengan material yang berbeda akan memberikan karakteristik hidrolis/aliran yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik terutama kecepatan aliran pada saluran terbuka untuk dinding saluran dengan material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Set-Up Data Eksperimen Model Fisik

Pelaksanaan pengambilan data eksperimen dilakukan di Laboratorium Universitas Hasanuddin. Panjang Flum yang ada di laboratorium sepanjang 960 cm, dengan lebar luar sebesar 40 cm, dan lebar untuk material GFRP

sebesar 28,9 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pengujian dilakukan dengan mengukur kedalaman air atau tinggi muka air dan kecepatan air pada lima kemiringan yang berbeda. Dalam pengujian, kondisi aliran air harus konstan dan stabil sehingga mendapatkan hasil pengukuran yang akurat.



**Gambar 1. Flum dengan dinding Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)**

### 2.2. Bahan dan Alat

Material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* yang akan dipesan tipikalnya berbentuk segi empat dan mempunyai karakteristik yang kaku (*rigid*). Teknik Manufaktur material GFRP pada penelitian ini adalah kombinasi antara metode *Hand Lay-Up* dan metode *Spray-Up*. Untuk memudahkan proses pengiriman ke lokasi penelitian, maka material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* dipesan dalam bentuk potongan-potongan berupa segmen berbentuk segi empat dengan panjang setiap segmen ( $L_g$ ) adalah tiga meter. Lebar ( $b_g$ ) dan tinggi ( $T_g$ ) segmen material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* direncanakan akan disesuaikan dengan lebar dan tinggi flum yang akan digunakan dalam rencana penelitian. Alat uji flum tersebut terdiri dari beberapa komponen yaitu antara lain berupa pompa air, perangkat pengukur debit, pipa dan bak sirkulasi aliran air, bak penenang aliran air di bagian hulu dan bak penampung aliran air di bagian hilir, perangkat pengatur kemiringan dasar flum, dan lain-lain. Selain itu dalam pelaksanaan penelitian digunakan juga beberapa alat bantu lainnya yaitu antara lain berupa alat pengukur

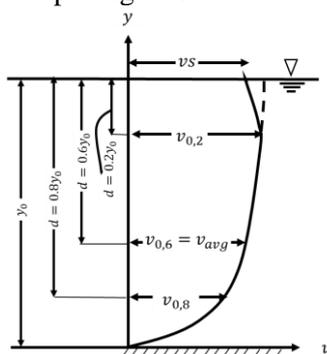
kecepatan aliran (*current meter*), alat pengukur kedalaman aliran (*point gauge*), alat pengukur waktu (*stop watch*), dan lain-lain.

### 2.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer berupa kecepatan dan kedalaman aliran dilakukan secara experimental di lab. Data karakteristik material *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) yang dikumpulkan tersebut antara lain meliputi jenis resin dan tipe serat kaca yang digunakan, tipe produk fiberglass yang digunakan, dan proses manufaktur material *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) tersebut. Data variabel tetap akan terlebih dahulu dicatat sebelum pelaksanaan uji pengaliran dilakukan. Beberapa data variabel tetap tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

- Lebar dasar penampang aliran (bg);
- Panjang segmen material GFRP (Lg);
- Tinggi segmen material GFRP (Tg);
- Panjang flum (Lf);
- Konstanta gravitasi (g) diambil sebesar 9,81 m/detik<sup>2</sup>.

Data variabel tetap lainnya dicatat pada saat akan dimulainya pelaksanaan penelitian, yaitu antara lain dapat berupa konstanta-konstanta yang diberikan dalam manual untuk digunakan dalam perhitungan kecepatan aliran dengan menggunakan perangkat *current meter*.



Gambar 2. Distribusi kecepatan (K.

Subramanya,2008)

Data kemiringan dasar saluran/flum ( $S_g$ ) akan dicari dengan cara menghitung langsung terhadap hasil pengaturan kemiringan dasar flum. Kedalaman aliran (hg) yang terjadi di dalam flum

*Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) diperoleh dengan cara pengukuran langsung dari setiap hasil uji pengaliran air yang dilakukan. Kedalaman aliran air rata-rata (hr) di dalam flum *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) adalah kedalaman aliran yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air rata-rata dengan menggunakan perangkat *currentmeter* yang diukur dari 0,6 hg permukaan aliran, dimana nilai hr adalah 0,6 hg (Subramanya, K., 2008; Putro, H. dan Hadihardaja, J., 2013) seperti pada Gambar 2.

### 2.4. Persamaan Matematis

Untuk menghitung debit (Q), air yang keluar di ujung talang bagian hilir ditampung dengan menggunakan sebuah wadah/ember. Selanjutnya dilakukan pengukuran volume air yang tertampung di ember (V) dan juga waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi ember tersebut ( $\Delta t$ ). Hal ini dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap kemiringan saluran (S), dan debit rata-rata dihitung dengan rumus (Mera, M. dan Robi, R., 2013):

$$Q = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{V_i}{\Delta t_i} \quad (1)$$

Tinggi aliran air (y) di dalam talang/flum diukur dengan sebuah mistar ukur. Pengukuran dilakukan saat keadaan aliran sudah tunak (*steady state*) dan tinggi muka air adalah sama pada beberapa titik di pertengahan ruas talang/flum. Selanjutnya variabel hidrolik lainnya seperti luas penampang basah A, keliling basah P, dan jari-jari hidrolik R dari penampang melintang talang dapat ditentukan dengan rumus:

$$A = by \quad (2)$$

$$P = b + 2y \quad (3)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{by}{b+2y} \quad (4)$$

Untuk perencanaan hidrolis pada suatu ruas saluran, aliran di saluran diatur tetap (*steady state*), dan untuk itu kecepatan aliran dan debit dihitung dengan Rumus Strickler dan Rumus Manning (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013b):

$$v = k R^{2/3} I^{1/2} \quad (5)$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (6)$$

$$Q = vxA \quad (7)$$

dengan:

$v$  = kecepatan aliran air di saluran (m/detik)

$k$  = koefisien kekasaran Stickler ( $m^{1/3}$ /detik)

$R$  = jari-jari hidrolis aliran air di saluran (m)

$I$  = kemiringan dasar saluran.

$n$  = koefisien kekasaran Manning.

$Q$  = debit ( $m^3$ /detik)

$A$  = luas penampang basah ( $m^2$ )

Kecepatan rata-rata (K. Subramanya, 2008) pada aliran dituliskan sebagai berikut :

$$\bar{V} = V_{0,6Hg} \quad (8)$$

dengan :

$\bar{V}$  = kecepatan rata-rata (m/s)

$V_{0,6Hg}$  = kecepatan pada kedalaman 0,6Hg.

Untuk menentukan tipe aliran digunakan Bilangan Froude, dimana dituliskan sebagai berikut:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g.H}} \quad (9)$$

dengan :

$V$  = kecepatan (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$H$  = kedalaman aliran (m)

Kondisi aliran pada setiap kemiringan dapat ditentukan dengan menghitung Bilangan Froude ( $Fr$ ). Kondisi aliran untuk Bilangan Froude kurang dari satu ( $Fr < 1$ ) adalah aliran subkritis, kondisi aliran untuk bilangan froude sama dengan satu ( $Fr = 1$ ) adalah aliran kritis, dan kondisi aliran dengan bilangan froude lebih dari satu ( $Fr > 1$ ) adalah aliran superkritis.

## 2.5. Verifikasi dan Validasi Hasil

Verifikasi data adalah proses memastikan bahwa data yang digunakan untuk memodelkan aliran pada flum telah diperiksa dan diverifikasi keabsahannya. Hal ini dilakukan dengan pengecekan konsistensi dan keakuratan. Validasi data adalah proses memastikan bahwa model yang dibuat dengan menggunakan data tersebut dapat menghasilkan hasil yang akurat. Ini melibatkan perbandingan antara data pengukuran lapangan

dengan data yang dihasilkan dari hasil pemodelan, serta memastikan bahwa hasil model konsisten dengan pengamatan lapangan. Verifikasi dan validasi data yang akan dilakukan adalah dengan membandingkan debit aktual dengan debit teoritis berdasarkan formula Manning.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Ketinggian, Kecepatan Air, dan Debit Hasil Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan pada flum dengan mengukur kedalaman air pada lima kemiringan yang berbeda, yaitu S0, S1, S2, S3, dan S4. Debit input pada flum diukur sebesar 0,00783  $m^3$ /detik atau 7,83 liter/detik dan dinyatakan sebagai Q1. Kedalaman air rata-rata diukur pada jarak 100 cm hingga 700 cm dengan panjang flum sebesar 960 cm. Pengukuran kedalaman air dilakukan dengan menggunakan *point gauge* pada kondisi aliran yang stabil. Hasil pengukuran menunjukkan kedalaman air rata-rata pada kemiringan S0 sebesar 5,24 cm, S1 sebesar 4,29 cm, S2 sebesar 3,53 cm, S3 sebesar 3,04 cm, dan S4 sebesar 2,85 cm. Dari hasil pengujian di atas, diketahui bahwa semakin curam kemiringan flume *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GRFP), maka muka air semakin rendah, sedangkan semakin landai kemiringan flume, muka air semakin tinggi.

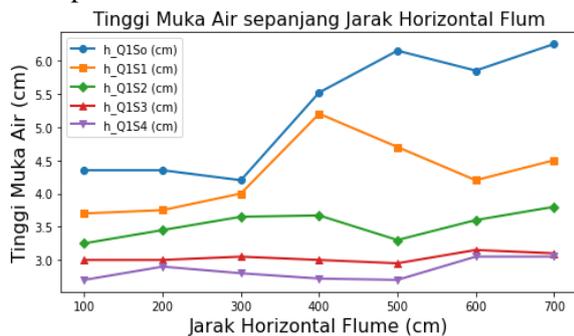
**Tabel 2**

**Kedalaman Air (Hg) dan Kondisi Aliran S1 s.d S4**

Slope ke-	Slope (m/m)	Kedalaman air Hg (cm)	Kondisi Aliran
S0	0.00001	5.24	Subkritis
S1	0.00208	4.29	Subkritis-Superkritis
S2	0.004167	3.53	Superkritis
S3	0.00625	3.04	Superkritis
S4	0.00833	2.85	Superkritis

Pada kemiringan S0, kondisi aliran adalah subkritis, sedangkan pada kemiringan S1, peralihan dari subkritis menuju ke superkritis terjadi. Sementara itu, pada kemiringan S2, S3, dan S4, kondisi aliran sudah mencapai superkritis.

Rekapitulasi kedalaman air rata-rata dan kondisi aliran dapat dilihat pada Tabel 2. Perubahan kemiringan flum memiliki pengaruh langsung pada kecepatan aliran dan tinggi muka air. Semakin besar kemiringan atau elevasi dasar saluran, maka kecepatan aliran semakin meningkat dan tinggi muka air semakin rendah. Sebaliknya, semakin kecil kemiringan atau elevasi dasar flum, maka kecepatan aliran semakin menurun dan tinggi muka air semakin tinggi. Hasil rekapitulasi pengukuran tinggi muka air/kedalaman aliran secara horizontal ditampilkan Gambar 3.

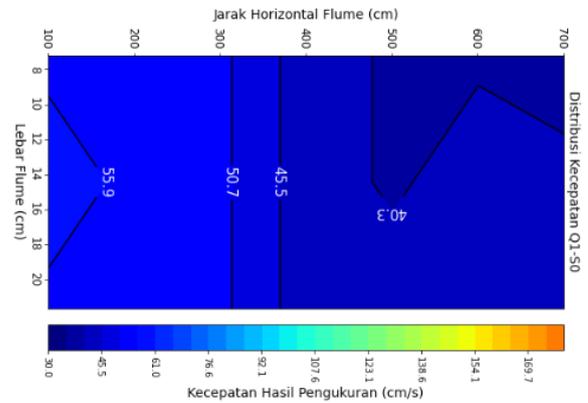


**Gambar 3. Rekap kedalaman aliran pada kemiringan S0 s.d S4**

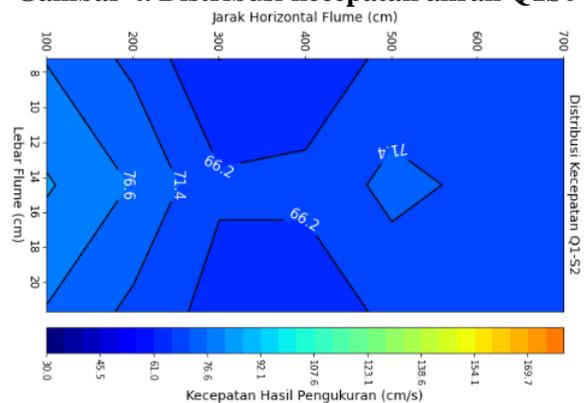
Setelah melakukan pengukuran tinggi muka air, selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan air. Pengukuran kecepatan air dilakukan pada kedalaman 0,6H dan diambil tiga titik yaitu pada posisi b/4 (kanan), posisi b/2 (tengah), dan posisi 3/4b (kiri). Berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium kecepatan di tengah Flum *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) cenderung lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan di bagian tepi kanan atau tepi kiri flum.

Hasil pengukuran kecepatan rata-rata pada flum pada kondisi aliran Q1S0 adalah sebesar 46,74 cm/s. Kecepatan rata-rata pada kondisi Q1S1 sebesar 58,93 cm/s, kecepatan rata-rata pada kondisi Q1S2 sebesar 69,52 cm/s, kecepatan rata-rata pada kondisi Q1S3 sebesar 81,72 cm/s dan kecepatan rata-rata pada kondisi Q1S4 sebesar 92,60 cm/s. Kecepatan dari arah hulu cenderung lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan di arah hilir, hal ini karena di arah hilir tinggi muka air cenderung lebih rendah karena ada sedikit efek terjunan. Kecepatan air pada Flum *Glass Fiber*

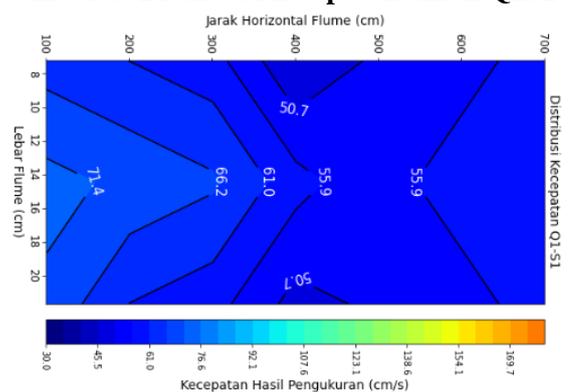
*Reinforced Polymer* (GFRP) sangat dipengaruhi kemiringan yang diberikan. Semakin curam kemiringan flum, maka kecepatan alirannya semakin besar atau cepat. Hasil pengukuran kecepatan flum dari debit Q1S0 sampai dengan debit Q1S4 seperti pada Gambar 4 sampai Gambar 8.



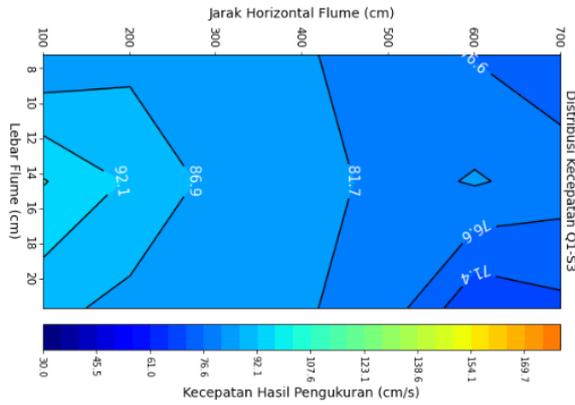
**Gambar 4. Distribusi kecepatan aliran Q1S0**



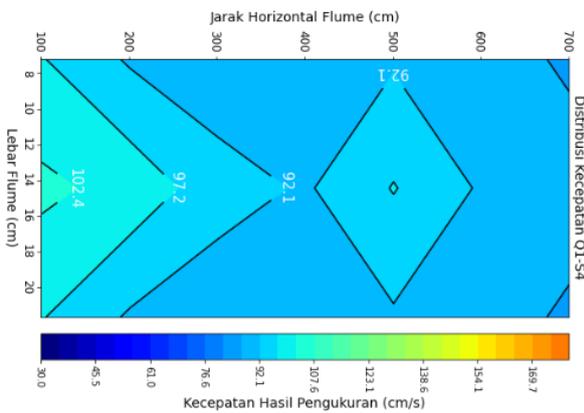
**Gambar 5. Distribusi kecepatan aliran Q1S1**



**Gambar 6. Distribusi kecepatan aliran Q1S2**

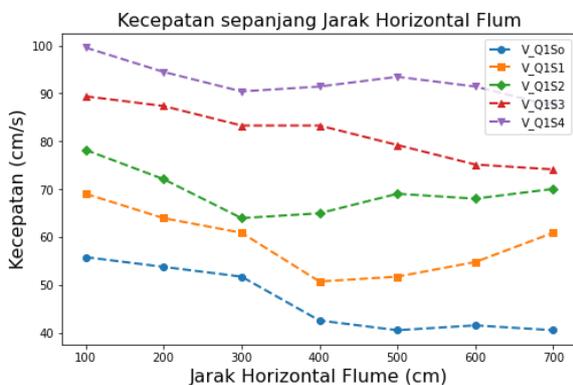


**Gambar 7. Distribusi kecepatan aliran Q1S3**



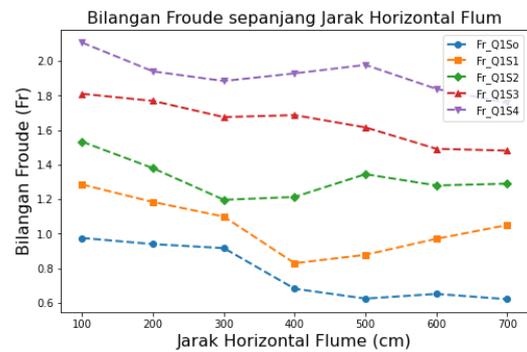
**Gambar 8. Distribusi kecepatan aliran Q1S4**

Ketika kemiringan semakin kecil, bilangan Froude akan semakin rendah, dan aliran air akan menjadi lambat (subkritis). Sebaliknya, jika kemiringan flum semakin curam, Bilangan Froude akan semakin tinggi, dan aliran akan menjadi cepat dan aliran superkritis. Perubahan kemiringan yang signifikan dapat mempengaruhi stabilitas dan efisiensi saluran terbuka termasuk pada material saluran dari material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GRFP)*.



**Gambar 9. Distribusi kecepatan Q1S0 s.d Q1S4**

Untuk mengetahui karakteristik aliran pada material tersebut, sebaiknya dilakukan analisis lebih lanjut terhadap variasi perubahan debit dan ditambahkan dengan nilai kemiringan yang lebih besar. Perbandingan kecepatan aliran pada satu debit dengan lima variasi kemiringan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 9. Bilangan Froude pada setiap jarak horizontal flum berbanding lurus dengan besarnya nilai kecepatan. Kondisi aliran sepanjang flum pada Q1S0 merupakan aliran subkritis, kondisi aliran sepanjang flum pada Q1S1 mengalami peralihan aliran dari subkritis menjadi superkritis. Variasi bilangan Froude dapat dilihat pada Gambar 10.

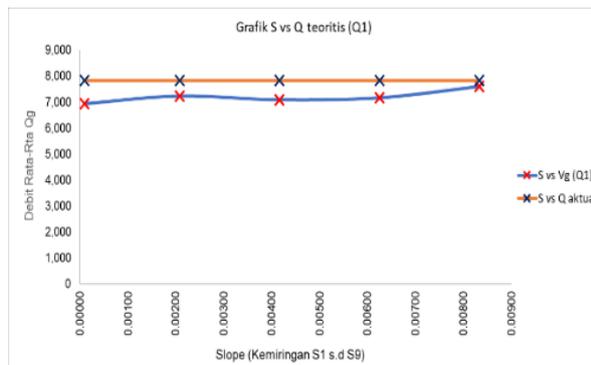


**Gambar 10. Bilangan Froude Q1S0 s.d Q1S4**

Nilai Bilangan Froude pada kemiringan S0 berkisar antara 0,6 sampai dengan 0,9 (tipe aliran subkritis). Nilai bilangan Froude pada kemiringan S1 berkisar antara 0,8 sampai dengan 1,3 (tipe aliran subkritis menuju superkritis). Nilai bilangan Froude pada kemiringan S2 berkisar antara 1,2 sampai dengan 1,5 (tipe aliran superkritis). Nilai bilangan Froude pada kemiringan S3 berkisar antara 1,5 sampai dengan 1,8 (tipe aliran superkritis). Nilai bilangan Froude pada kemiringan S4 berkisar antara 1,8 sampai dengan 2,2 (tipe aliran superkritis).

**3.2. Verifikasi dan Validasi Data**

Verifikasi dan validasi data dilakukan dengan membandingkan debit takar menggunakan wadah/ember dan debit pengukuran di laboratorium dengan menggunakan formula matematis berdasarkan tinggi muka air dan kecepatan air yang didapatkan.



**Gambar 11. Perbandingan Q aktual dengan Q teoritis**

Dari hasil pengukuran antara debit aktual dengan debit teoritis, nilai debit teoritis mendekati hasil dengan nilai debit aktual yang ditakar dengan ember seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian di laboratorium pada Flum dengan material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil verifikasi dan validasi terhadap pengukuran antara debit aktual dengan debit teoritis menunjukkan bahwa nilai debit teoritis mendekati hasil dengan nilai debit aktual yang ditakar dengan wadah/ember.
2. Perubahan kemiringan yang signifikan dapat mempengaruhi stabilitas dan efisiensi saluran terbuka termasuk pada material saluran dari material *GFRP*.
3. Ketika kemiringan semakin kecil, bilangan Froude akan semakin kecil, dan aliran air akan menjadi lambat (subkritis). Sebaliknya, jika kemiringan flum semakin curam, Bilangan Froude akan semakin besar, dan aliran akan menjadi cepat (superkritis).
4. Material *GFRP* dapat menjadi alternatif material yang tidak menggunakan unsur semen dan unsur material galian Golongan C yang dapat digunakan sebagai material alternatif untuk pasangan (lining) di saluran irigasi. Material alternatif tersebut diharapkan mampu memberikan solusi terhadap dampak

kerusakan lingkungan dan solusi terhadap kendala pelaksanaan konstruksi seperti sulitnya mendapatkan sumber material galian C, akses yang sulit ke lokasi pekerjaan, kendala cuaca, dan sulitnya menjaga mutu konstruksi.

5. Pabrik *GFRP* di Indonesia sudah memiliki kemampuan untuk membuat segmen material *GFRP* (berdasarkan order) untuk nantinya digunakan sebagai material pasangan alternatif di Saluran Irigasi di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Irigasi I. 1986. Standar Perencanaan Irigasi. Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. 2011. Pedoman Umum Modernisasi Irigasi. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. 2013 a. Standar Perencanaan Irigasi, KP-01 Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. 2013 b. Standar Perencanaan Irigasi, KP-03 Bagian Saluran. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. 2013 c. Standar Perencanaan Irigasi, KP-05 Bagian Petak Tersier. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. 2018. Irigasi Indonesia dari Masa ke Masa. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- P.M. 2006. Dampak Penambangan Bahan Galian Golongan C Terhadap Lingkungan Sekitarnya di Kabupaten Deli Serdang. Jurnal Equality, Vol. 11 No. 1 Februari 2006.

- Jirana, Irawati, M.H., Rochman, F., dan Syamsuri, I. 2016. Kerusakan Lingkungan Akibat Penambangan Galian Golongan C di Polewali Mandar (Studi Kasus Sungai Mandar di Polewali Mandar). Prosiding Seminar Nasional Biologi 2016\_ISBN: 978-602-0951-11-9.
- Mattamana, B.A., Varghese, S., and Paul, K. 2013. River Sand Inflow Assessment and Optimal Sand Mining Policy Development, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3).
- Mera, M. dan Robi, R., 2013. Technical Notes: Determination of Manning Roughness Coefficient for PVC Gutters. Jurnal Teknik Sipil - Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil. ISSN 0853-2982. Vol. 20 No. 2 Agustus 2013.
- Morgado, F., Lopes, G.J., Brito, J., and Feiteira, J. 2012. Portuguese Irrigation Canals: Lining Solutions, Anomalies, and Rehabilitation. Journal of Performance of Constructed.
- Pang, L. H., 1978. Fiberglass-reinforced polyester flumes as tertiary channels in Malaysian irrigation development. The International Seminar on Irrigation policy and management in Southeast Asia - International Rice Research Institute (IRRI), Manila.
- Putro, H. dan Hadihardaja, J., 2013. Variasi Koefisien Kekasaran Manning (n) pada Flume Akrilik pada Variasi Kemiringan Saluran dan Debit Aliran. Jurnal MKTS (Media Komunikasi Teknik Sipil). ISSN 0854 – 1809. Volume 19, No. 2, Desember 2013.
- Subramanya, K. 2008. Flow in Open Channels (Second Edition). Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- USBR. 1976. Linings for Irrigation Canals. United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, United States Government Printing Office.