

## TIPE LONCATAN AIR PADA AMBANG GERIGI

Winda Harsanti<sup>1)</sup>, Susapto<sup>2)</sup>, Moh. Charits<sup>3)</sup>

Politeknik Negeri Malang  
Jl. Soekarno Hatta 9 Malang  
<sup>1)</sup> *winda.harsanti@polinema.ac.id*  
<sup>2)</sup> *otpasus@yahoo.com*  
<sup>3)</sup> *mohcharits@yahoo.com*

### Abstrak

Loncatan air merupakan keadaan yang terjadi ketika terjadi perubahan tipe aliran dari super kritis menjadi aliran sub kritis. Peristiwa ini umumnya disertai dengan turbulensi yang cukup besar, yang dapat terjadi di hilir pintu air, di hilir pelimpah dan juga di lokasi yang kemiringan dasar salurannya berubah secara mendadak, yaitu dari kemiringan terjal menuju ke kemiringan yang landau. Hal ini yang juga terjadi pada ambang gerigi, yaitu bangunan ambang pada bendung yang merupakan modifikasi dari ambang gergaji. Untuk mengetahui tipe loncatan air yang terjadi maka besarnya angka Froude aliran dihitung pada masing-masing ambang gerigi. Penelitian dilakukan pada model saluran terbuka dan dilakukan pengukuran pada model ini untuk mendapatkan besarnya aliran debit pada ambang gerigi. Simulasi untuk kedalaman lantai ambang dilakukan pada delapan variasi kedalaman. Bentuk ambang yang digunakan adalah ambang gerigi 2, 3 dan 4. Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan angka Froude terkecil terjadi pada ambang gerigi 2 sebesar 10,874 dan angka Froude terbesar pada ambang gerigi 4 sebesar 12,796. Berdasarkan angka Froude untuk ambang gerigi 2, 3 maupun 4, dimana semua nilai di atas 9, maka tipe loncatan air untuk semua ambang adalah loncatan kuat.

**Kata Kunci:** ambang gerigi, Froude, loncatan air.

### 1. PENDAHULUAN

Bendung merupakan bangunan air yang berfungsi untuk menahan aliran air agar didapatkan tinggi muka air yang melebihi kedalaman air awal dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efektif, efisien dan optimal [1]. Ambang yang merupakan bagian dari bangunan bendung memiliki beberapa bentuk yang umum digunakan dan masing-masing bentuk memiliki keunggulan masing-masing. Namun, meskipun memiliki keunggulan, setiap ambang harus dilengkapi dengan pintu pembilas untuk mengurangi tumpukan sedimen pada hulu ambang. Pembilasan ini harus rutin dilakukan untuk mengurangi beban sedimen yang akan mempengaruhi stabilitas tubuh bendung. Salah satu upaya untuk mengurangi beban pintu pembilas ini, terdapat upaya untuk memodifikasi salah satu bentuk ambang yang ditujukan agar sedimen dapat terangkut melewati atas ambang. Modifikasi ini dilakukan pada ambang gergaji yang dilakukan dengan mengubah bentuk gerigi menjadi ke arah vertikal dari yang semula ke arah horizontal yang selanjutnya disebut dengan ambang gerigi [2].

Air yang mengalir dari atas ambang gerigi menuju hilir akan mengakibatkan adanya beda tinggi antara puncak ambang dengan lantai di hilir ambang. Beda tinggi ini akan mengakibatkan adanya energi air yang bertambah besar yang lebih besar dari sebelum ada ambang. Hal ini ditunjukkan dengan adanya loncatan air pada hilir ambang. Ada beberapa klasifikasi loncatan air berdasarkan besaran nilai Froude. Pada penelitian ini akan

meneliti tentang tipe loncatan air yang terjadi pada ambang gerigi untuk delapan variasi berbeda pada beda tinggi antara puncak ambang dengan lantai hilir ambang.

### 2. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian ini memanfaatkan model saluran terbuka di Laboratorium Hidrolika Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang untuk mendapatkan nilai debit aliran. Berdasarkan hasil tersebut akan disimulasikan dalam perhitungan untuk mendapatkan delapan beda tinggi antara puncak ambang dengan lantai sisi hilir ambang. Nilai yang diukur pada penelitian di laboratorium adalah ketinggian air dan kecepatan aliran pada kondisi normal.

Untuk simulasi perhitungan dilakukan dengan menentukan beda tinggi puncak ambang dengan lantai hilir, kemudian menghitung kecepatan aliran dan kedalaman aliran untuk menghitung besarnya angka Froude. Berdasarkan angka Froude maka dapat ditentukan tipe dari loncatan air yang terjadi. Secara ringkas, tahapan penelitian hingga perhitungan diberikan pada uraian berikut ini.

1. Menyiapkan model ambang gerigi, model saluran terbuka, alat ukur *current meter*;



Gambar 2.1. Model ambang gerigi

2. Mengatur kemiringan dasar saluran pada kemiringan 5%;

3. Memasang model ambang pada saluran;
4. Menetapkan putaran aliran pada model saluran;
5. Mengalirkan air sesuai putaran tersebut;
6. Mengukur ketinggian air di muka ambang dan di bagian hulu ambang yang sudah stabil;
7. Mengukur kecepatan aliran
8. Menghitung debit aliran;
9. Menetapkan kedalaman lantai hilir ambang;
10. Menghitung kedalaman aliran dan kecepatan aliran untuk masing-masing simulasi;
11. Menghitung angka Froude;

Setelah angka Froude dapat terhitung maka tipe loncatan air pada masing-masing ambang untuk setiap kedalaman dapat ditentukan.

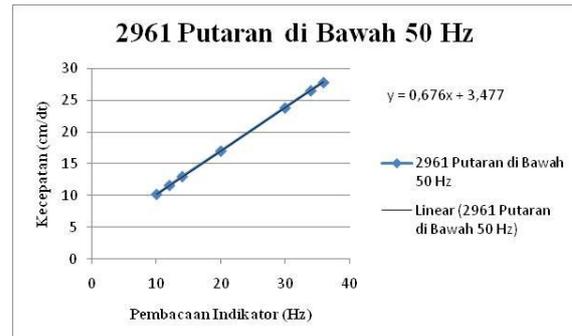
### 2.1. Kecepatan Aliran pada Model Saluran

Besarnya kecepatan aliran pada model saluran terbuka dapat diukur menggunakan alat *current meter* yang berupa propeller yang dihubungkan dengan kotak pencatat (monitor yang akan mencatat jumlah putaran selama propeller tersebut berada dalam air) kemudian dimasukkan ke dalam saluran yang akan diukur kecepatannya. Banyaknya titik pengukuran kecepatan aliran disesuaikan dengan lebar (arah horisontal) dan kedalaman (arah vertikal) penampang aliran yang akan diukur. Apabila penampang aliran yang diukur lebar, maka pengukuran dapat dilakukan dengan membagi lebar penampang menjadi beberapa pias. Apabila kedalaman aliran cukup dalam, maka pengukuran juga dilakukan di beberapa titik yang dapat mengacu pada tabel berikut ini [2].

TABEL 2.1. PENGUKURAN KECEPATAN ALIRAN ARAH VERTIKAL

Titik Pengukuran dari Permukaan	Aplikasi	Kecepatan Rata-Rata
0,6 h	Dilakukan apabila kedalaman aliran kurang dari 0,5 m atau pengukuran yang membutuhkan kecepatan	$V = V_{0,6}$
0,2 h dan 0,8 h	Umumnya dilakukan pada kedalaman aliran lebih dari 0,5 m	$V = 0,5 (V_{0,2} + V_{0,8})$
0,2 h, 0,6 h, dan 0,8 h	Dilakukan apabila profil kedalaman dan kecepatan aliran berubah-ubah tidak teratur	$V = 0,25 (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})$
Pada banyak titik	Apabila pengukuran membutuhkan ketelitian yang tinggi	$V =$ rerata dari V pengukuran di titik yang dilakukan

Untuk *current meter* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *current meter* tipe 2961 yang nantinya hasil bacaan putaran pada propeller akan dikonversikan menggunakan grafik sehingga didapatkan besarnya kecepatan aliran pada satuan cm/dt.



Gambar 2.2. Konversi bacaan indikator dengan kecepatan aliran untuk putaran di bawah 50 Hz

### 2.2. Debit Aliran

Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir pada suatu penampang melintang saluran setiap satu satuan waktu [3]. Debit umumnya diukur dalam satuan  $m^3/dt$  atau bisa juga dalam  $lt/dt$ . Persamaan umum dari debit pada bendung ambang pendek dengan pengontrol berbentuk segi empat adalah [4]:

$$Q = 2/3 C_d b H^{1,5} \quad (2-1)$$

$$H = h + \frac{v^2}{2g} \quad (2-2)$$

Dengan:

Q : debit aliran ( $m^3/dt$ )

$C_d$  : koefisien debit

b : lebar saluran (m)

g : percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ )

h : tinggi air di atas ambang (m)

V : kecepatan aliran (m/dt)

### 2.3. Angka Froude

Angka Froude berfungsi untuk mengetahui tipe aliran pada suatu saluran. Pembagian tipe aliran dibagi menjadi tiga, yaitu sub kritis, kritis dan super kritis. Aliran disebut sub kritis apabila pada aliran tersebut dilempar batu dan menimbulkan gelombang yang terjadi di suatu titik dan kemudian menjalar ke arah hulu. Kondisi aliran di bagian hilir akan mempengaruhi kondisi di bagian hulu apabila aliran yang terjadi adalah sub kritis. Sebaliknya, apabila kondisi di hilir tidak mempengaruhi kondisi di hulu maka aliran yang terjadi adalah super kritis. Di antara kedua jenis aliran tersebut ada kondisi aliran kritis. Persamaan matematis angka Froude seperti yang ditunjukkan berikut ini.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad (2-3)$$

Dengan:

Fr : angka Froude

V : kecepatan aliran (m/dt)

g : percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ )

D : kedalaman hidrolis (m)

Apabila dari hasil perhitungan didapatkan nilai  $Fr > 1$ , maka aliran tersebut adalah super kritis. Sebaliknya, apabila nilai  $Fr < 1$  maka aliran yang terjadi adalah sub kritis. Pada saat  $Fr = 1$  maka aliran yang terjadi adalah kritis.

#### 2.4. Kecepatan Aliran pada Awal Loncatan Air

Kecepatan awal loncatan air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [5]:

$$V = \sqrt{2g \left( \frac{1}{2}H + Z \right)} \quad (2-4)$$

Dengan:

V : kecepatan aliran (m/dt)

g : percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

H : tinggi energi di atas ambang (m)

Z : tinggi jatuh (m)

#### 2.5. Loncatan Air

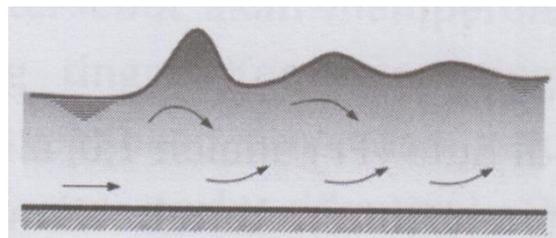
Loncatan air atau loncatan hidrolis merupakan suatu kondisi yang terjadi ketika adanya perubahan aliran dari super kritis menuju ke sub kritis [6]. Peristiwa ini umumnya disertai dengan turbulensi yang cukup besar, yang dapat terjadi di hilir pintu air, di hilir pelimpah dan juga di lokasi yang kemiringan dasar salurannya berubah secara mendadak, yaitu dari kemiringan terjal menuju ke kemiringan yang landai. Pada saat air meluncur pada bagian hilir bangunan tersebut, air memperoleh momentum serta kecepatan yang tinggi yang apabila dibiarkan terus-menerus maka akan mengakibatkan erosi dan gerusan tanah di bagian hilir.

Pada peristiwa loncatan yang rendah yaitu dimana perubahan kedalaman air yang terjadi cukup kecil maka permukaan air tidak mengalami perubahan secara tiba-tiba. Di sisi lain, fenomena ini dapat menimbulkan sejumlah gelombang yang sering disebut dengan loncatan air berombak (*undular jump*). Sebaliknya, apabila loncatan air yang terjadi tinggi dimana terjadi perubahan kedalaman air yang cukup besar secara mendadak dapat disebut dengan loncatan air kuat (*strong jump*).

Jenis loncatan air dapat digolongkan menjadi 5 kategori berdasarkan angka Froude. Klasifikasi ini diberikan oleh Biro Reklamasi (USBR) pada tahun 1987. Kelima tipe tersebut seperti diuraikan berikut ini [6]:

##### 1. Loncatan berombak (*undular jump*)

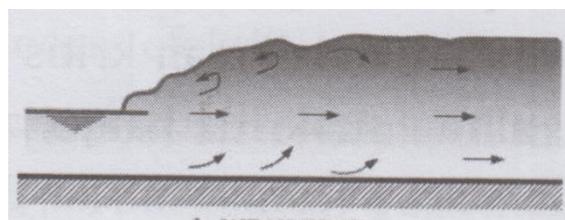
Loncatan ini terjadi pada saat  $Fr$  bernilai 1,0 sampai 1,7, dimana kondisi ini ditunjukkan permukaan airnya yang berombak.



Gambar 2.3. Loncatan berombak

##### 2. Loncatan lemah (*weak jump*)

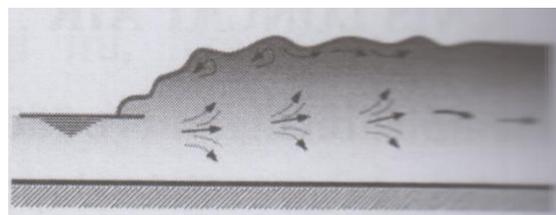
Loncatan ini dicirikan dengan kecepatan yang relatif seragam dan kehilangan energi yang kecil dengan angka  $Fr$  antara 1,7 sampai 2,5. Gelombang kecil terjadi pada permukaan loncatan air namun di bagian permukaan air tetap halus.



Gambar 2.4. Loncatan lemah

##### 3. Loncatan berisolasi (*oscillating jump*)

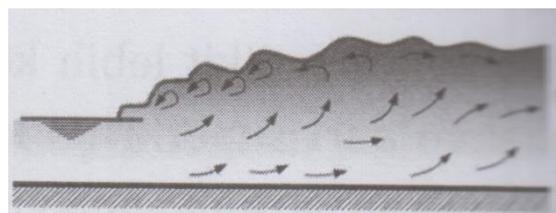
Pada angka  $Fr$  2,5 sampai 4,5, loncatan jenis ini dapat terjadi, dimana pancaran air yang masuk mengalir bergetar bolak-balik dari dasar ke permukaan dan sebaliknya.



Gambar 2.5. Loncatan berisolasi

##### 4. Loncatan mantap (*steady jump*)

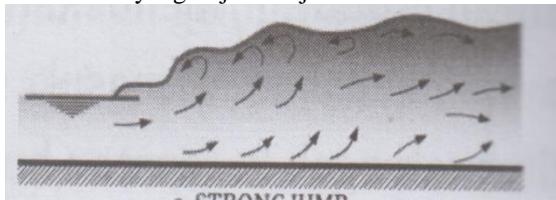
Loncatan air jenis ini terjadi pada saat nilai  $Fr$  4,5 sampai 9,0 dimana loncatan air yang terbentuk dalam kondisi yang stabil. Kehilangan energi yang terjadi pada kondisi ini berkisar antara 45% sampai 70%.



Gambar 2.6. Loncatan mantap

### 5. Loncatan kuat (*strong jump*)

Timbulnya permukaan air yang kasar dan menerus sampai pada jarak yang cukup panjang sampai ke arah hilir dengan kehilangan mencapai 85% dan angka Fr lebih dari 9,0 menunjukkan loncatan air yang terjadi berjenis loncatan kuat.



Gambar 2.7. Loncatan kuat

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Kecepatan Aliran pada Model Saluran

Penelitian ini dilakukan pada ambang gerigi dengan variasi gerigi 2, 3 dan 4. Analisis debit aliran dengan memanfaatkan model aliran terbuka berbentuk persegi dengan lebar 7,5 cm dan menggunakan kemiringan lantai dasar sebesar 5%. Pada penelitian tersebut, dilakukan pengukuran terhadap kecepatan aliran dan ketinggian air pada model saluran. Kecepatan aliran diukur menggunakan alat *current meter*, dan dengan menggunakan gambar 2.2, maka dapat diketahui besarnya kecepatan aliran pada model saluran tersebut. Untuk tabel 2.1 merupakan acuan dalam melakukan pengukuran kecepatan aliran. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan banyaknya putaran baling-baling pada *current meter* sebanyak 19. Dengan mengonversikan banyaknya putaran ini, didapatkan besarnya kecepatan aliran sebesar 16,321 cm/dt.

### 3.2. Debit Aliran Normal

Berdasarkan kecepatan aliran dan ketinggian air terukur pada model ambang, yaitu sebesar 6,7 mm, dan dengan menggunakan persamaan umum debit aliran, maka didapatkan besarnya debit aliran yang mengalir pada model saluran terbuka sebesar 82,01 cm<sup>3</sup>/dt.

Untuk besarnya koefisien debit (Cd) aliran pada ambang gerigi yaitu sebesar 1,108 untuk ambang gerigi 2, dan pada ambang gerigi 3 dan 4 masing-masing sebesar 1,091 dan 1,119. Koefisien ini merupakan angka kalibrasi yang didapatkan dari perbandingan antara debit terukur dengan debit hasil analisis perhitungan.

### 3.3. Kecepatan Aliran di Atas Ambang

Kecepatan aliran pada ambang dapat dihitung setelah diketahui besarnya tingginya energi di ambang yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Dengan menggunakan nilai Q dan Cd yang sudah didapatkan sebelumnya, maka

dilakukan perhitungan nilai H untuk masing-masing jenis ambang. Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa nilai H untuk ambang gerigi 2, 3 dan 4 masing-masing sebesar 0,695 cm; 0,702 cm; dan 0,690 cm.

Setelah nilai H di masing-masing jenis ambang diketahui, untuk selanjutnya adalah menentukan beda tinggi antara puncak ambang dengan lantai dasar ambang bagian hilir. Beda tinggi ini selanjutnya dinotasikan dengan Z. Selisih kedalaman lantai dasar ambang bagian hilir dengan ujung hilir bagian kaki ambang disimulasikan memiliki kedalaman 0 sampai 0,7 cm. Dengan tinggi ambang yang sudah direncanakan maka memberikan nilai Z yang berbeda antar jenis ambang. Tinggi ambang untuk gerigi 2 sebesar 5,625 cm. Sedangkan untuk gerigi 3 dan 4 masing-masing sebesar 6 cm dan 6,375 cm. Dengan variasi tersebut, maka memberikan nilai Z untuk masing-masing ambang gerigi seperti disajikan pada tabel berikut ini.

TABEL 3.1. NILAI Z PADA AMBANG GERIGI

Percobaan Ke	Nilai Z (cm)		
	Gerigi 2	Gerigi 3	Gerigi 4
1	5,625	6,000	6,375
2	5,725	6,100	6,475
3	5,825	6,200	6,575
4	5,925	6,300	6,675
5	6,025	6,400	6,775
6	6,125	6,500	6,875
7	6,225	6,600	6,975
8	6,325	6,700	7,075

Berdasarkan persamaan 2-4, dengan menggunakan nilai Z dan H untuk masing-masing ambang gerigi, maka nilai V dapat dihitung. Hasil dari perhitungan tersebut disajikan pada tabel berikut.

TABEL 3.2. KECEPATAN ALIRAN (V) PADA AMBANG GERIGI

Percobaan Ke	Nilai V (cm/dt)		
	Gerigi 2	Gerigi 3	Gerigi 4
1	108,248	111,628	114,824
2	109,150	112,503	115,675
3	110,045	113,372	116,520
4	110,933	114,234	117,359
5	111,814	115,089	118,192
6	112,688	115,938	119,019
7	113,555	116,781	119,841
8	114,416	117,619	120,657

### 3.4. Angka Froude pada Ambang Gerigi

Perhitungan angka Froude sebelum loncatan dapat dilakukan dengan menggunakan nilai V dan kedalaman air sebelum loncatan yang selanjutnya dinotasikan dengan y. Nilai y dapat dihitung dengan menggunakan persamaan umum debit, dimana  $Q = A \times V$ , dan dengan menurunkan persamaan luas penampang menjadi luas penampang persegi sesuai

dengan model saluran terbuka yang digunakan. Sebagai contoh perhitungan y pada ambang gerigi 2 pada percobaan pertama, dengan lebar model saluran terbuka sebesar 7,5 cm, maka perhitungan nilai y diberikan berikut ini.

$$Q = A \times V$$

$$Q = b \times y \times V$$

$$82,01 = 7,5 \times y \times 108,248$$

$$y = 0,101 \text{ cm}$$

Dikarenakan model ambang berbentuk segi empat, maka besarnya kedalaman hidrolis (D) sama dengan ketinggian air (y). Setelah nilai y didapatkan, maka dengan menggunakan persamaan 3, nilai Fr dapat dihitung. Hasil dari perhitungan y dan Fr untuk masing-masing ambang diberikan pada tabel berikut ini.

TABEL 3.3. ANGKA FROUDE PADA AMBANG GERIGI 2

Percobaan Ke	Tinggi Air (cm)	Angka Froude
1	0,101	10,874
2	0,100	11,010
3	0,099	11,146
4	0,099	11,281
5	0,098	11,416
6	0,097	11,550
7	0,096	11,683
8	0,096	11,816

TABEL 3.4. NILAI FROUDE PADA AMBANG GERIGI 3

Percobaan Ke	Tinggi Air (cm)	Angka Froude
1	0,098	11,387
2	0,097	11,521
3	0,096	11,655
4	0,096	11,788
5	0,095	11,921
6	0,094	12,053
7	0,094	12,185
8	0,093	12,316

TABEL 3.5. NILAI FROUDE PADA AMBANG GERIGI 4

Percobaan Ke	Tinggi Air (cm)	Angka Froude
1	0,095	11,880
2	0,095	12,012
3	0,094	12,144
4	0,093	12,276
5	0,093	12,406
6	0,092	12,537
7	0,091	12,667
8	0,091	12,796

### 3.5. Tipe Loncatan Air

Berdasarkan angka Froude yang sudah dihitung untuk masing-masing jenis ambang, dapat diketahui bahwa untuk semua jenis ambang, angka ini bernilai di atas 9. Nilai terkecil terjadi pada ambang gerigi 2 pada percobaan pertama, yaitu sebesar 10,874. Sebaliknya, angka Froude terbesar terjadi pada

ambang gerigi 4 pada percobaan kedelapan, yaitu sebesar 12,796. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semua ambang gerigi untuk semua variasi kedalaman menghasilkan loncatan air yang bertipe loncatan kuat.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan perhitungan, angka Froude pada ambang gerigi, baik pada ambang gerigi 2, 3 maupun 4 bernilai di atas 9. Berdasarkan nilai ini maka tipe loncatan air yang terjadi pada ambang gerigi adalah loncatan kuat.

### 5. Daftar Pustaka

- [1] Mawardi, E., & Memed, M. "Desain Hidraulik Bendung Tetap untuk Irigasi Teknis". Bandung: Alfabeta, 2010.
- [2] Harsanti, W., Zenurianto, Moh., Khamim, Moch., "Analisis Koefisien Debit Aliran pada Ambang Gerigi", dalam Seminar Nasional Teknik Sipil Terapan, vol 2, pp. 22-28, September 2021
- [3] Triatmodjo, B., "Hidrologi Terapan", Yogyakarta: Beta Offset, 2010.
- [4] Wigati, "Pengaruh Penggunaan Kolam Olak sebagai Peredam Energi Loncat Air terhadap Kedalaman Muka Air Hilir", dalam Fondasi, pp. 1-11, 2014.
- [5] Sabihi, S., Fauzi, M., Siswanto, "Analisis Perencanaan Bendung (Studi Kasus Bendung Botung)", dalam JomFTeknik, pp. 1-17, 2017.
- [6] Suripin, "Mekanika Fluida dan Hidraulika Saluran Terbuka untuk Teknik Sipil", Semarang: Andi, 2018.