



ANALISIS KAVITASI PADA BANGUNAN MERCU PELIMPAH BENDUNGAN KRUENG SABEE MENGGUNAKAN MODEL FISIK SKALA 1:30

Cut Dwi Refika*, Ziana Ziana, Ikhlasul Amal

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh, Indonesia

*Corresponding author, e-mail address: cut.dwi.refika@usk.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received 12 January 2023

Accepted 22 March 2023

Online 30 March 2023

Keywords:

Krueng Sabee Dam

physical model

overflow crest

cavitation

ABSTRACT

The spillway as a complementary building for the dam functions to release a volume of water that is not accommodated in the dam during a flood (overtopping). To support the continuity of the function of the dam, a safety factor is needed to avoid the potential failure of the weir construction. One of the safety of dams is safety against hydraulic failure, namely cavitation. This problem is caused by an increase in the water level from the dam which can cause changes in flow characteristics and result in damage to the spillway overpass building. The characteristics of the flow passing through the spillway will depend on the shape and nature of the crest of the overflow itself. The phenomenon of cavitation can be observed from a physical model of the dam. The physical model was designed according to the construction plan for the Krueng Sabee Dam which was carried out at the River and Beach Laboratory of the Faculty of Engineering, Syiah Kuala University with a model scale of 1: 30. The outflow discharge from the crest of the spillway is discharged with return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 1000 years. The Krueng Sabee Dam, which is located in Aceh Jaya Regency, Aceh Province, is a multi-purpose dam. This research aims to study the cavitation that occurs in the spillway crest according to the planning of the Krueng Sabee Dam using a physical model test. The research analysis method used to calculate the cavitation safety value is the calculation of the cavitation index (σ). The cavitation index value is affected by pressure and flow velocity. The results of the analysis show that the cavitation index value at each measurement point is greater than 1 ($\sigma > 1$). Based on the results of the analysis of the cavitation index, it shows that cavitation does not occur in the spillway crest of the Krueng Sabee Dam at all return periods, so there is no need for surface protection of the spillway crest.

©2023 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Bendungan adalah bangunan berupa urukan tanah, batu dan beton yang berfungsi sebagai penahan atau penampung air ketika musim penghujan dan dapat dimanfaatkan ketika musim kemarau (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Bendungan Krueng Sabee yang terletak pada Kabupaten Aceh Jaya Provinsi Aceh, merupakan bendungan yang memiliki multi fungsi (*multipurpose*), dibangun untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, pengendali banjir, air baku, pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan wahana rekreasi. Untuk mendukung keberlangsungan fungsi bendungan diperlukan angka keamanan untuk menghindari potensi kegagalan konstruksi bendung. Salah satu keamanan bendungan adalah aman terhadap kegagalan hidraulis yaitu kavitasi. Kerusakan bendungan akibat kavitasi pernah terjadi pada

beberapa tempat seperti Bendungan Hoover yang terletak di Nevada (Falvey, 1990) dan Bendungan Shahid Abbaspour di Iran (Kermani, 2013).

Mercu pelimpah sebagai salah satu bangunan pelengkap bendungan berfungsi untuk melepaskan sejumlah volume air yang tidak tertampung di bendungan pada saat banjir (*overtopping*). Permasalahan tersebut diakibatkan oleh peningkatan ketinggian air dari pembendungan yang dapat menyebabkan perubahan karakteristik aliran dan mengakibatkan kerusakan pada bangunan pelimpah. Karakteristik aliran yang melewati bangunan pelimpah akan tergantung kepada bentuk dan sifat pelimpah itu sendiri. Kajian mengenai kavitasi dapat dilakukan melalui suatu penelitian seperti pemodelan model fisik bendungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kavitasi yang terjadi pada mercu pelimpah sesuai perencanaan Bendungan Krueng Sabee dengan menggunakan uji model fisik. Dengan adanya dukungan uji model fisik hidrolika ini diharapkan bisa memantapkan hasil perencanaan, sehingga keamanan bendungan tersebut dapat dipenuhi.

Pembuatan uji model fisik Bendungan Krueng Sabee dilakukan sebelum pembangunan bendungan dilaksanakan untuk mengkaji keamanan bendungan salah satunya dari bahaya kavitasi. Pembuatan model fisik dilakukan di Laboratorium Sungai dan Pantai Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Skala model yang digunakan adalah 1:30. Pengujian menggunakan variasi debit kala ulang Q_{2th} s.d Q_{1000th} . Pengujian diawali dengan pemodelan seri awal atau seri 0 untuk mendapatkan hasil model yang optimum (aman dari bahaya kavitasi). Jika hasil pemodelan seri 0 belum memberikan hasil yang optimum maka akan dilakukan pengujian model fisik dengan beberapa modifikasi pada mercu pelimpah bendungan. Diharapkan pengujian model fisik mercu pelimpah seri modifikasi memberikan hasil yaitu berupa keamanan dari bahaya kavitasi.

2. KAJIAN PUSTAKA

Kavitasi adalah proses kerusakan permukaan dinding saluran, pipa, atau kipas pompa yang ditandai oleh suara bising dalam suatu sistem aliran. Di samping itu, kavitasi didefinisikan juga sebagai pembentukan gelembung udara di dalam aliran (Sutopo, 2014). Menurut Patty (1995), kavitasi adalah suatu kejadian yang timbul dalam aliran dengan kecepatan begitu besar, sehingga tekanan air menjadi lebih kecil dari pada tekanan uap air maksimum di temperatur itu. Proses ini menimbulkan gelembung-gelembung uap air yang dapat menimbulkan erosi pada konstruksi.

Kavitasi terjadi pada tekanan lebih kecil dari 1 atm, yang mengakibatkan gelembung-gelembung udara pada permukaan badan bendung, menimbulkan lubang-lubang karena terlepasnya butiran-butiran agregat dari permukaan konstruksi (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013). Katz (1984) telah melakukan pengamatan pada air yang mengalir dan menemukan bahwa gejala kavitasi diawali oleh adanya gelembung uap air yang berukuran kecil, dan berjumlah sedikit yang selanjutnya berkembang menjadi banyak. Suatu bentuk persamaan untuk memperkirakan kavitasi berupa parameter tak berdimensi, merupakan hubungan antara gaya pelindung terhadap kavitasi (*ambient pressure*) dan penyebab kavitasi (*dynamic pressure*) yang disebut indeks kavitasi. Indeks kavitasi diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Falvey, 1990):

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{\rho \frac{v_o^2}{2}} \quad (1)$$

$$P_o = P_a + P_g \quad (2)$$

$$P_g = \rho gh \quad (3)$$

Dimana :

σ = indeks kavitasi;

P_o = *ambient pressure* (Pa);

P_a = tekanan atmosfer (101,325 Pa);

- P_g = tekanan setempat (Pa);
 ρ = massa jenis cairan (kg/m^3);
 g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$);
 h = tinggi tekanan (m);
 P_v = tekanan uap (Pa);
 V_o = kecepatan aliran (m/dt).

Indeks kavitasi menunjukkan tingkat resiko kerusakan akibat terjadinya kavitasi. Tabel 1 menunjukkan nilai interval indeks kavitasi dan kecepatan aliran terhadap kerusakan (Kermani, 2013). Perhitungan angka kavitasi membutuhkan data massa jenis air dan tekanan uap yang dipengaruhi oleh suhu saat dilakukan pengukuran. Tabel 2 memperlihatkan besaran nilai suhu yang mempengaruhi nilai massa jenis dan tekanan uap, (Falvey, 1990).

Tabel 1. Tingkat resiko kerusakan kavitasi

Indeks Kavitasi	Kecepatan Aliran	Resiko Kerusakan	Tingkat
$\sigma > 1$	$V \leq 5$	Tidak terjadi kerusakan kavitasi	1
$0,45 < \sigma \leq 1$	$5 < V \leq 16$	Kemungkinan terjadi kerusakan kavitasi	2
$0,25 < \sigma \leq 0,45$	$16 < V \leq 25$	Terjadi kerusakan kavitasi	3
$0,17 < \sigma \leq 0,25$	$25 < V \leq 40$	Kerusakan serius	4
$\sigma \leq 0,17$	$V > 40$	Kerusakan besar	5

Tabel 2. Sifat fisik air pada tekanan atmosfer

Temperatur	Massa Jenis	Tekanan Uap Air	Kekentalan Kinematis
(t)	(ρ)	(P_v)	(μ)
$^{\circ}\text{C}$	Kg/m^3	kPa	$\text{m}^3/\text{dt} \cdot 10^6$
0	999,868	0,61	1,787
5	999,992	0,87	1,519
10	999,726	1,23	1,307
15	999,125	1,70	1,140
20	998,228	2,33	1,004
25	997,069	3,16	0,893
30	995,671	4,23	0,801
35	994,055	5,62	0,724
40	992,238	7,52	0,658
45	990,233	9,58	0,602
50	998,052	12,30	0,553
60	983,200	19,90	0,475
70	977,770	31,10	0,413
80	971,800	47,30	0,365
90	965,310	70,10	0,326
100	958,360	101,30	0,294

Ada beberapa cara untuk mengurangi gejala kavitas. Menurut Wibowo (2016), gejala kavitas dapat dikurangi dengan cara mendesain daerah batas dimana gejala kavitas muncul, didesain sedemikian sehingga pada daerah tersebut menjadi tekanan tinggi yang dapat mereduksi bahaya kavitas yang terjadi, penggunaan material dasar yang lebih tahan terhadap kavitas seperti *stainless steel* dan beton berlapis fiber, serta penggunaan sistem pengudaraan (aerator) kedalam aliran sehingga dapat mengurangi kemunculan letupan-letupan udara yang dapat menyebabkan kavitas. Kells dan Smith (1991) memberikan solusi untuk bahaya kavitas berdasarkan tingkat resiko yang terjadi yang dicantumkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Solusi berdasarkan tingkat kerusakan kavitas

Tingkat	Resiko Kerusakan	Solusi
1	Tidak terjadi kerusakan kavitas	Tidak diperlukan perlindungan permukaan.
2	Kemungkinan terjadi kerusakan kavitas	Perlu perlakuan pada permukaan, seperti pemberian aci pada permukaan, dll.
3	Terjadi kerusakan kavitas	Modifikasi desain atau pemakaian perangkat aerator.
4	Kerusakan serius	Perlu pemakaian perangkat aerator.
5	Kerusakan besar	Pemilihan desain baru.

3. METODE PENELITIAN

Analisis kavitas pada mercu pelimpah Bendungan Krueng Sabee dengan menggunakan model fisik dilakukan pada Laboratorium Sungai dan Pantai Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Mercu pelimpah yang diterapkan pada pemodelan fisik ini adalah Mercu Ogee tipe I dengan skala bangunan 1: 30. Penentuan skala ini dilakukan setelah melakukan kajian seperti ketersediaan lahan, data teknis bangunan dan nilai *rating curve*. Pengujian model fisik dilakukan dengan beberapa skenario, dimulai dari seri awal (seri 0) dan seri modifikasi (Seri 1;2;...;dst). Seri modifikasi dilakukan jika model fisik seri 0 memberikan hasil yang optimum atau mercu pelimpah aman dari kavitas. Model fisik Bendungan Krueng Sabee seri 0 dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

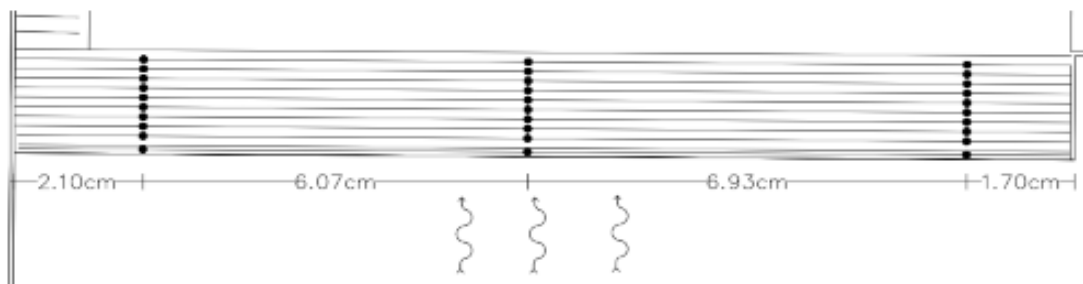


Gambar 1. Model fisik Bendungan Krueng Sabee seri 0



Gambar 2. Mercu pelimpah model fisik seri 0

Pengujian model fisik dimulai dengan mengalirkan debit yang berasal dari bak penampungan yang dipompa ke saluran terbuka yang terletak di atas bak penampungan. Selanjutnya aliran dari saluran terbuka akan melewati *rechbox* (peluap segi empat), dimana *rechbox* adalah alat pengukur debit. Debit yang dialirkan diatur sesuai dengan kala ulang yang diperoleh dari Dinas Pengairan Aceh (2020). Data debit yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pengalir debit dari tubuh bendungan dimulai dari Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} dan Q_{1000} . Data primer yang digunakan untuk menganalisis kavitasasi pada mercu pelimpah bendung yaitu pengukuran tinggi kecepatan dan tinggi tekanan. Pengukuran dilakukan pada sisi kiri, tengah dan kanan mercu pelimpah, seperti yang ditunjuk oleh Gambar 3.



Gambar 3. Titik-titik pengukuran data primer

Data tinggi kecepatan diperoleh dengan menggunakan alat ukur tabung pitot. Pembacaan beda tinggi pada tabung pitot akan memberikan nilai h_v . Data tersebut dianalisis menggunakan persamaan kecepatan aliran untuk mendapatkan kecepatan aliran pada model. Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan aliran pada prototip. Data kecepatan pada prototip dianalisis kembali untuk mendapatkan kecepatan rata-rata pada mercu pelimpah.

Data tinggi tekanan diperoleh dari pengukuran beda tinggi pada alat ukur piezometer. Data ini dianalisis dengan menggunakan persamaan (3) untuk memperoleh nilai besaran tekanan setempat pada model. Selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan besaran tekanan pada prototip.

Setelah diperoleh nilai kecepatan dan tekanan dilanjutkan dengan menghitung nilai indeks kavitasasi seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan 1. Nilai indeks kavitasasi diperoleh dari analisis besaran *ambient pressure* (P_o), tekanan uap (P_v) dan kecepatan aliran (V_0). Nilai P_o didapatkan dari jumlah tekanan atmosfer (P_a) yaitu 101.325 Pa dan tekanan setempat (P_g). Nilai P_g di peroleh dari pembacaan beda tinggi tekanan pada piezometer dan massa jenis zat cair. Nilai P_v dan massa jenis zat cair diperoleh dari Tabel 2 dan menyesuaikan dengan temperatur suhu air ketika dilakukan pengujian. Hasil analisis indeks kavitasasi kemudian dihubungkan dengan nilai tingkat kerusakan kavitasasi sesuai dengan Tabel 3.

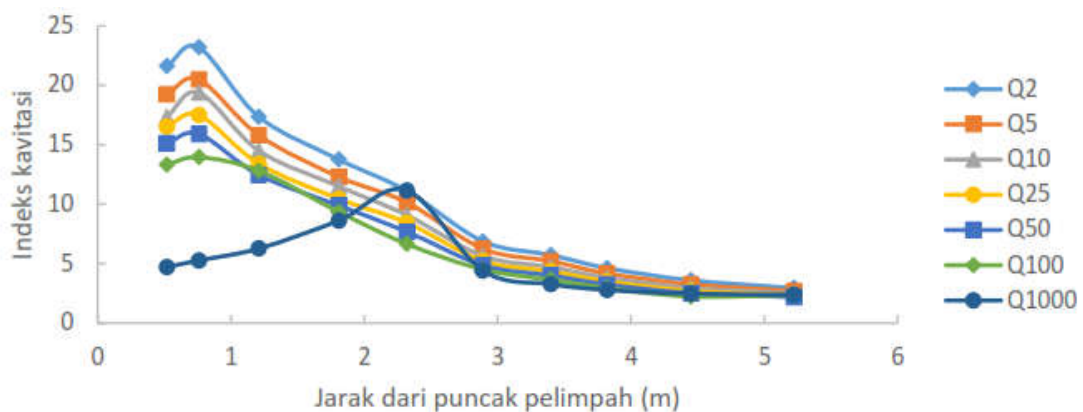
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kavitasasi pada mercu pelimpah Bendungan Krueng Sabee dilakukan dengan menggunakan pengaliran debit periode ulang Q_2 , Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} dan Q_{1000} . Pengujian awal menggunakan uji model fisik seri 0. Pengujian model uji fisik di mulai dengan mengalirkan debit periode ulang Q_2 dan pembacaan alat ukur tinggi kecepatan aliran dan tinggi tekanan. Nilai-nilai tersebut memberikan besaran kecepatan aliran dan indeks kavitasasi. Dimana dua nilai ini berpengaruh terhadap tingkatan kerusakan kavitasasi. Pengukuran dilakukan pada sisi kiri, tengah dan kanan mercu pelimpah. Setiap sisi pengukuran dibagi menjadi 10 titik, dimulai dari puncak mercu pelimpah sampai kaki mercu pelimpah. Dimana jarak antara titik 1 s.d titik 10 adalah 0,52; 0,76; 1,21; 1,81; 2,32; 2,89; 3,40; 3,82; 4,45 dan 5,22.

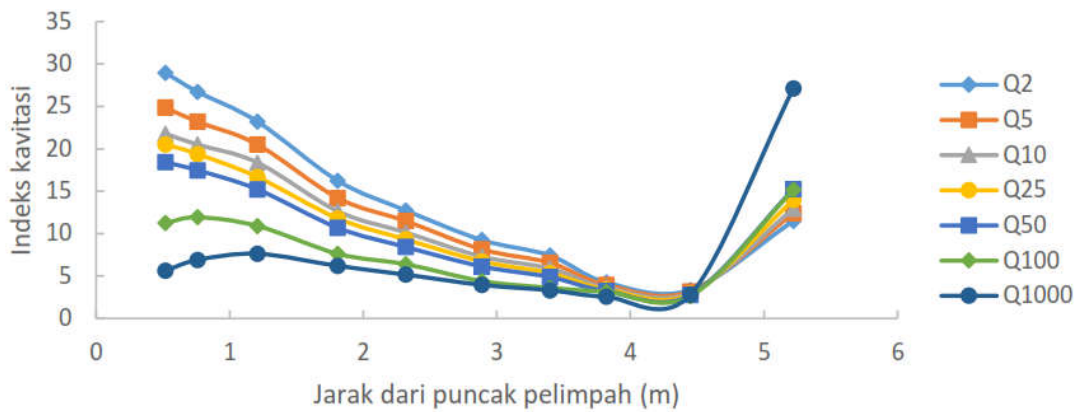
Kecepatan aliran yang diperoleh untuk semua debit periode ulang Q_2 s.d Q_{1000} yaitu berada pada rentang nilai $5 < V \leq 16$. Kecepatan aliran debit periode ulang Q_{1000} pada beberapa titik terjadi penurunan kecepatan. Penurunan tersebut terjadi akibat kesalahan letak posisi tabung pitot yang tidak mengikuti kemiringan mercu pelimpah. Akibat kesalah tersebut air yang masuk ke tabung berkurang dari pengukuran aktual. Berdasarkan Krisnayanti dkk (2017) pengukuran kecepatan aliran menggunakan tabung pitot memiliki tingkat kesalahan yang besar dibandingkan dengan alat *current meter*.

Hasil pengukuran pada sisi kiri mercu pelimpah untuk setiap titik pada periode ulang Q_2 s.d Q_{100} terlihat bahwa nilai indeks kavitasasi tertinggi terjadi pada titik kedua seperti pada Gambar 4. Untuk titik-titik yang lain terlihat terjadi pengurangan nilai indeks kavitasasi pada setiap titik. Nilai indeks kavitasasi terendah berada pada titik 10 yaitu pada jarak 5,22 m. Berbeda dengan nilai indeks kavitasasi pada debit periode ulang Q_{1000} . Dimana nilai tertinggi terjadi pada titik kelima atau pada jarak 2,32 m dari puncak mercu pelimpah. Indeks kavitasasi pada sisi kanan mercu pelimpah pada semua debit periode ulang memiliki trend garis yang sama tetapi pada titik ke 10 nilai indeks kavitasasi pada Q_{1000} terjadi kenaikan nilai yang tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 5. Gambar 6 memperlihatkan sisi tengah mercu pelimpah nilai Q_{1000} memiliki nilai indeks kavitasasi yang sama pada setiap titik.

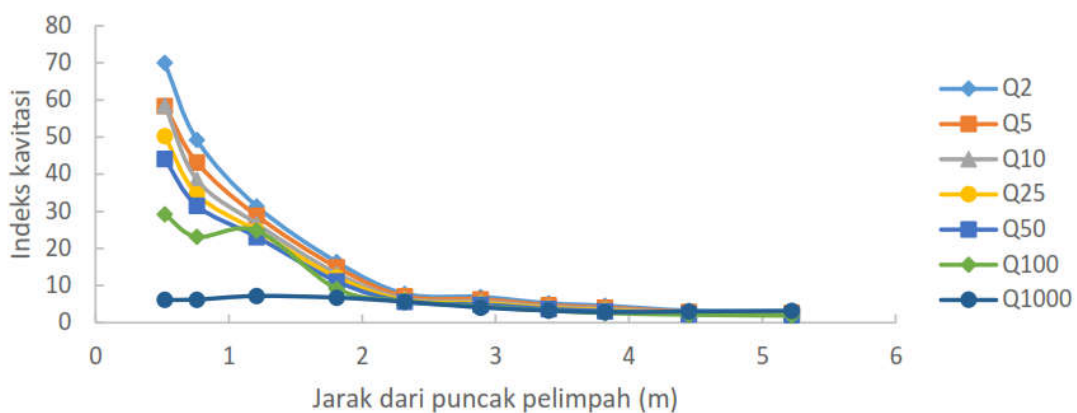
Hal ini terjadi karena ketika pengaliran debit Q_{1000} dimulai ketinggian air pada bangunan *rechbox* belum stabil tetapi pembacaan pada alat ukur tetap dilakukan sehingga pembacaan tinggi kecepatan dan tinggi tekanan tidak akurat.



Gambar 4. Indeks kavitasasi pada ruas kiri mercu pelimpah



Gambar 5. Indeks kavitasi pada ruas kanan mercu pelimpah



Gambar 6. Indeks kavitasi pada ruas tengah mercu pelimpah

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengujian model fisik berupa kajian kavitasi pada mercu pelimpah Bendungan Krueng Sabee dapat disimpulkan bahwa:

- Berdasarkan analisis indeks kavitasi pada mercu pelimpah di sisi kanan, kiri dan tengah untuk semua periode ulang (Q_2 s.d Q_{1000}) diperoleh nilai indeks kavitasi yaitu lebih besar dari 1 ($\sigma > 1$).
- Kecepatan aliran untuk semua periode ulang (Q_2 s.d Q_{1000}) yaitu berada pada rentang nilai $5 < V \leq 16$.
- Hal ini menjelaskan bahwa dari nilai indeks kavitasi yang diperoleh tidak terjadi potensi kerusakan kavitasi pada mercu pelimpah Bendungan Krueng Sabee. Berbeda dengan tingkat resiko kerusakan dari nilai kecepatan aliran dimana ada potensi kemungkinan terjadi kerusakan kavitasi pada bendungan tersebut.
- Mercu pelimpah pada uji model fisik Bendungan Krueng Sabee secara umum tidak membutuhkan modifikasi desain karena tingkat kerusakan yang terjadi rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Dinas Pengairan Aceh, 2020. *Laporan Pendahuluan Model Test dan Penyempurnan Desain Bendungan Krueng Sabee Kab. Aceh Jaya*. Banda Aceh.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013. *Kriteria Perencanaan Irigasi KP-02*. Jakarta.
- Falvey, H. T. 1990. *Cavitation in chutes and Spillways*. United States Departement of The Interior: Bureau of Reclamation.
- Katz, J. 1984. *Cavitation Phenomena within Region of Flow separation*. Cambrigde, University Press: Journal of Fluid Mechanic.

- Kells, J. A., Smith, C. D. 1991. *Reduction of Cavitation on Spillways by Induced Air Entrainment*. Canada, Departement of Civil Engineering University of Saskatchewan.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015. *Peraturan Menteri PUPR No. 27 Tahun 2015 tentang Bendungan*. Jakarta.
- Kermani, E. F. 2013. *Investigation of Cavitation Damage Levels on Spillways*. Iran Departemen of Civil Engineering Shahid Bahonar University.
- Krisnayanti, D. S., Dermawan, V., Solichin, M., Suhardjono, S., Khaerudin, D.N. 2016. Bendung bertangga sebagai alternatif pada perencanaan bangunan irigasi. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 91-102.
- Patty, O. F. 1995. *Tenaga Air*. Erlangga, Surabaya.
- Sutopo, Y. 2014. *Kavitasi di Dasar Saluran Curam*. Andi, Yogyakarta.
- Wibowo, A. C. 2016. Pemodelan Numerik Pelimpah Samping Waduk Telagawaja Bali Kabupaten Karangasem dengan Analisis Komputasi Fluida Dinamis. *Jurnal Teknik Sipil Pengairan*, 7(2), 184-192.