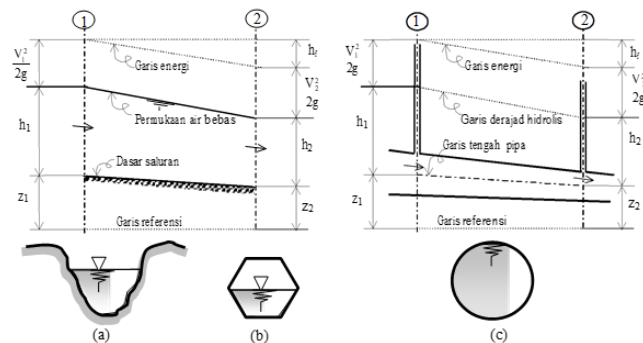


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran saluran tertutup (*pipe flow*). Pada aliran saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (*free surface*). Keduanya mempunyai arti yang sama atau sinonim. Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer. Jika pada aliran tidak terdapat permukaan bebas dan aliran dalam saluran penuh, aliran yang terjadi disebut aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*) (Kodoatie & Robert, 2002). Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam) variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan debit aliran dan sebagainya. Sedangkan Aliran pada pipa tidak dipengaruhi oleh tekanan udara secara langsung kecuali oleh tekanan hidraulik (Triatmodjo, 2015).

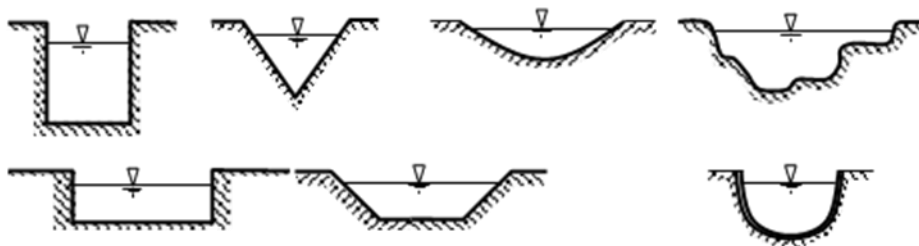


Gambar 2.1 Aliran permukaan bebas pada saluran terbuka (a), aliran permukaan bebas pada saluran tertutup (b), dan saluran tertekan atau dalam pipa (c) (Kodoatie & Robert, 2002)

Zat cair yang mengalir pada saluran terbuka mempunyai bidang kontak hanya pada dinding dan dasar saluran. Saluran terbuka dapat berupa:

- a. Saluran alamiah atau buatan,
- b. Galian tanah dengan atau tanpa lapisan penahan,
- c. Terbuat dari pipa, beton, batu, bata, atau material lain,
- d. Dapat berbentuk persegi, segitiga, trapesium, lingkaran, tapal kuda, atau tidak beraturan.

Bentuk-bentuk saluran terbuka, baik saluran buatan maupun alamiah, yang dapat dijumpai diperlihatkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Bentuk-bentuk potongan melintang saluran terbuka (Kodoatie & Robert, 2002)

2.2 Klasifikasi Aliran

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*) (Triatmodjo, 2015).

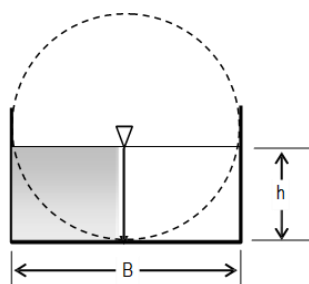
1. Aliran ditinjau dari sisi waktu
 - a. Aliran permanen yaitu aliran yang sepanjang waktu variabel-variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) konstan atau tidak mengalami perubahan.
 - b. Aliran tidak permanen yaitu aliran yang sepanjang waktu variabel-variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) tidak konstan atau mengalami perubahan.
2. Aliran ditinjau dari sisi arah aliran
 - a. Aliran seragam yaitu aliran yang sepanjang arah memanjang variabel-variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) konstan atau tidak mengalami perubahan.
 - b. Aliran tidak seragam yaitu aliran yang sepanjang arah memanjang variabel-variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) tidak konstan atau mengalami perubahan.

Klasifikasi aliran pada saluran terbuka dapat dibedakan dengan bilangan *Froude* dan dipengaruhi gaya tarik bumi. Adapun klasifikasi aliran berdasarkan fungsi bilangan *Froude* dan dipengaruhi gaya tarik bumi, yaitu sebagai berikut:

1. Aliran kritis, jika bilangan *Froude* sama dengan satu ($Fr = 1$) dan gangguan permukaan, misalnya akibat riak yang terjadi karena batu yang dilempar kedalam sungai tidak akan bergerak menyebar melawan arah arus.
2. Aliran sub kritis, jika bilangan *Froude* lebih kecil dari satu ($Fr < 1$), untuk aliran sub kritis kedalaman biasanya lebih besar dan kecepatan aliran rendah (semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus).
3. Aliran super kritis, jika bilangan *Froude* lebih besar dari satu ($Fr > 1$), untuk aliran super kritis kedalaman aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi. Segala riak timbul dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus aliran

2.3 Penampang Saluran Berbentuk Persegi

Penampang saluran merupakan penampang melintang yang diambil tegak lurus terhadap arah aliran (Chow, 1989). Bentuk penampang persegi ini merupakan penyederhanaan dari bentuk penampang trapesium yang biasanya digunakan untuk saluran-saluran drainase yang melalui lahan-lahan yang sempit. Untuk penampang melintang saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar (B), kedalaman air (h), luas penampang basah (A) dan keliling basah (P), seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Penampang saluran persegi panjang (Chow, 1989)

2.4 Debit Aliran

Debit aliran (Q) adalah laju aliran air dalam bentuk volume air yang melewati suatu penampang melintang saluran per satuan waktu. Dalam sistem satuan internasional (SI) besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik

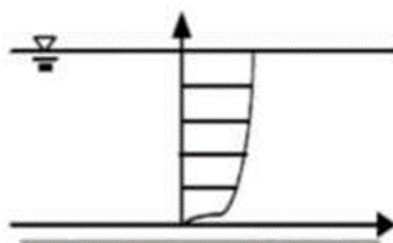
(m^3/det). Dalam laporan teknis, debit dinyatakan dalam aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran (Yudah, 2014).

Pengukuran debit dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, yaitu:

1. Pengukuran volume air sungai.
2. Pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang.
3. Pengukuran dengan menggunakan bahan kimia yang dialirkan dalam sungai.
4. Pengukuran debit dengan membuat bangunan pengukur debit.

2.5 Distribusi Kecepatan

Hasil pengamatan terhadap saluran yang lebar menunjukkan bahwa distribusi kecepatan pada daerah pusat dari penampang adalah persis sama dengan pada saluran persegi panjang yang lebarnya tak terhingga. Dengan kata lain, berdasarkan keadaan tersebut, tepi saluran praktis tidak mempengaruhi distribusi kecepatan di daerah pusat, dan aliran di daerah pusat penampang dapat dianggap bersifat dua dimensi dalam analisa hidroliknya.



Gambar 2.4 Distribusi kecepatan pada saluran terbuka (Liu, 2001)

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan sepanjang dinding saluran, maka kecepatan aliran dalam saluran tidak terbagi merata dalam menampang saluran. Distribusi kecepatan aliran juga tergantung pada bentuk saluran, kekasaran dan kondisi kelurusan saluran. Kecepatan maksimum dalam saluran biasanya umumnya terjadi dibawah permukaan bebas sedalam 0,05 sampai 0,25 kedalamannya (Karnisah, 2010).

Distribusi kecepatan pada penampang saluran tergantung pada beberapa faktor antara lain :

1. Bentuk penampang.
2. Kekasaran saluran.
3. Adanya tekukan-tekukan.

2.6 Jenis-jenis Ambang

Secara teoritis, ambang merupakan salah satu jenis bangunan air yang dapat digunakan untuk menaikkan tinggi muka air dan untuk menentukan debit aliran (Triatmodjo, 1996). Ada dua macam jenis ambang yang sering digunakan dalam pengukuran karakteristik aliran, yaitu :

1. Ambang Lebar

Alat ukur ambang lebar merupakan salah satu bangunan aliran atas atau biasa disebut *over flow*. Pada model ambang lebar ini, tinggi energi yang terdapat pada hulu aliran lebih kecil daripada panjang mercu itu sendiri. Syarat peluap dapat dikatakan sebagai ambang lebar apabila: $t > 0,66 H$.

2. Ambang Tajam

Alat ukur ambang tajam merupakan salah satu bangunan pengukur debit yang sering sekali ditemukan di saluran-saluran irigasi ataupun di laboratorium hidraulika. Syarat peluap dapat dikatakan sebagai ambang tajam apabila: $t < 0,5 H$.

Namun, jika dalam penerapannya ditemukan persamaan dari tebal peluap sebesar: $0,5 H < t < 0,66 H$.

dengan :

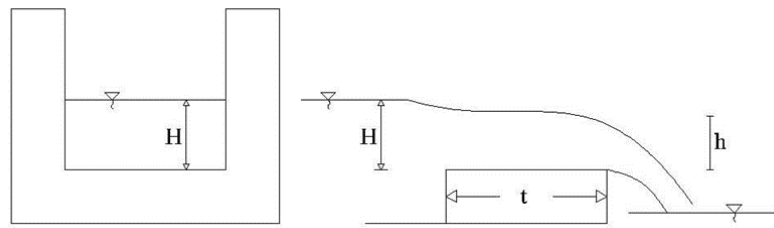
t = Tebal ambang

H = Tinggi muka air terhadap ambang

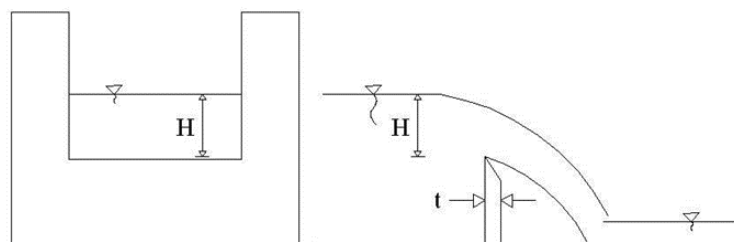
Maka aliran tersebut dapat dikategorikan sebagai aliran yang tidak stabil, sehingga dapat terjadi kondisi aliran melalui peluap ambang tipis ataupun ambang lebar (Triatmodjo, 1996).

Secara garis besar, fungsi dari kedua ambang tersebut kurang lebih sama mengingat ambang dapat digunakan sebagai model untuk aplikasi dalam perancangan bangunan pelimpah di suatu waduk dan bendungan. Selain itu, bentuk ambang dari kedua model ini termasuk bentuk yang sederhana untuk meninggikan muka air.

Perbedaan bentuk fisik dari ambang lebar dan ambang tajam dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan 2.6 dibawah ini :



Gambar 2.5 Aliran melalui ambang lebar (Triatmodjo, 1996)



Gambar 2.6 Aliran melalui ambang tajam (Triatmodjo, 1996)

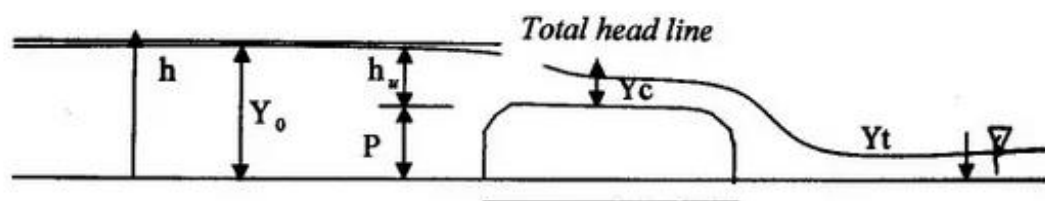
2.7 Ambang Lebar

Ambang lebar merupakan sarana pengukur aliran saluran terbuka. Juga merupakan bentuk pelimpah paling sederhana. Ambang lebar biasanya dibuat dari suatu plat tipis dengan ujung lebar. Dengan demikian gesekan pada bidang dapat diabaikan sehingga aliran akan terbebas dari pengaruh kekentalan zat cair dan kehilangan energi.

Dengan adanya ambang, akan terjadi efek pembendungan di sebelah hulu ambang. Efek ini dapat dilihat dari naiknya permukaan air bila dibandingkan dengan sebelum dipasang ambang (Triatmodjo, 1996). Secara teori, naiknya permukaan air ini merupakan gejala alam dari aliran dimana untuk memperoleh aliran yang stabil, maka air akan mengalir dengan aliran sub kritis, karena aliran jenis ini tidak akan menimbulkan gerusan (erosi) pada permukaan saluran.

Pada saat melewati ambang biasanya aliran akan berperilaku sebagai aliran kritis, selanjutnya aliran akan mencari posisi stabil. Pada kondisi tertentu misalkan dengan adanya terjunan atau kemiringan saluran yang cukup besar, setelah melewati ambang aliran dapat pula berlaku sebagai aliran kritis. Pada penerapan di lapangan apabila kondisi super kritis ini terjadi maka akan sangat membahayakan,

dimana dasar tebing saluran akan tergerus. Strategi penanganan tersebut diantaranya dengan membuat peredam energi aliran, misalnya dengan memasang rantai beton atau batu-batu cukup besar di hilir ambang (Anderson, 2014).



Gambar 2.7 Pola aliran diatas ambang lebar (Anderson, 2014)

Keterangan :

Q	= Debit aliran	(m^3/det)
Y_0	= Kedalaman aliran di hulu ambang	(m)
Y_c	= Kedalaman kritis aliran	(m)
Y_t	= Kedalaman aliran di hilir ambang	(m)
P	= Tinggi Ambang	(m)
h	= Tinggi tekanan total hulu ambang	$= Y_0 + (v^2/2g)$ (m)
h_u	= Tinggi muka air di atas hulu ambang	$= Y_0 - P$ (m)

2.8 Energi Spesifik (*Specific Energy*)

Energi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Prinsip energi yang diturunkan untuk aliran melalui pipa dapat juga digunakan untuk aliran melalui saluran terbuka. Energi yang terkandung dalam satu satuan berat air yang mengalir di dalam saluran terbuka terdiri dari tiga bentuk yaitu energi kinetik, energi tekanan dan energi elevasi di atas garis referensi (Sunniati & Malkab, 2014).

Energi kinetik pada suatu tampang di saluran terbuka diberikan oleh bentuk $v^2/2g$, dengan v adalah kecepatan rerata aliran di tampang tersebut. Apabila koefisien koreksi energi α diperhitungkan maka energi kinetik mempunyai bentuk $\alpha v^2/2g$. Nilai α adalah antara 1,05 dan 1,2 yang tergantung pada bentuk distribusi kecepatan. Oleh karena aliran melalui saluran terbuka mempunyai permukaan air bebas yang terbuka ke atmosfer, maka tekanan pada permukaan air adalah konstan dan diambil $p = 0$ (sebagai tekanan referensi).

2.9 Penelitian Terdahulu

Tabel berikut merupakan hasil dari penelitian terdahulu yang berhubungan dengan karakteristik aliran terhadap bangunan ambang pada saluran terbuka uji model laboratorium.

Tabel 2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul (Tahun)	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
1	Syam Sunniati Saleh, Ratna Musa, dan Hanafi As'ad (Jurnal Teknik Hidro Volume 12 Nomor 2, Agustus 2019)	Kajian Karakteristik Aliran Terhadap Bangunan Pelimpah Pada Saluran Terbuka (2019)	Untuk mengetahui karakteristik aliran, pola aliran dan energi spesifik yang terjadi pada bangunan pelimpah pada saluran terbuka.	Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen laboratorium yang meliputi pengamatan atau pengukuran terhadap parameter aliran pada saluran terbuka yang menggunakan bangunan pelimpah tipe ogee dengan memperhitungkan parameter hidrolis.	Dimana semakin tinggi muka air maka semakin besar kecepatan yang terjadi. Pola aliran pada daerah hulu merupakan aliran sub kritis ($FR < 1$) kemudian menjadi kritis ($FR = 1$) pada saat melewati bangunan pelimpah. Setelah melewati bangunan pelimpah maka aliran menjadi super kritis ($FR > 1$) dan berangsur-angsur menjadi normal kembali pada saat berada di daerah hilir. Energi spesifik yang dihasilkan pada bangunan pelimpah tipe Ogee juga bergantung pada jenis pelimpah yang diberikan.
2	Muhammad Yunu Ali et. al. (Jurnal Teknik Hidro, Vol. 11. No. 1, Februari 2018)	Karakteristik Aliran Pada Bangunan Pelimpah Tipe Ogee (2018)	Untuk mengetahui bagaimana pengaruh bangunan pelimpah ogee 1:1 terhadap karakteristik aliran pada saluran terbuka dan mengetahui energi spesifik yang terjadi pada pelimpah tersebut.	Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengamatan dan penngukuran terhadap parameter aliran pada saluran terbuka yang menggunakan bangunan pelimpah tipe ogee dengan memperhitungkan patrameter hidrolis.	Bangunan pelimpah ogee 1:1 dapat mengubah aliran super kritis menjadi aliran kritis dan sub kritis pada bagian hilir serta energi spesifik bergantung pada tinggi muka air dimana semakin tinggi muka air maka semakin rendah energi spesifik yang terjadi.

Tabel 2.1 (Lanjutan) Kajian Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul (Tahun)	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
3	Hamzah dan Abd Kadir Jaelani (Skripsi)	Pengaruh Bangunan Pelimpah Tipe Ogee Terhadap Perubahan Karakteristik Aliran (Uji Model Laboratorium) (2018)	Untuk mengetahui pengaruh karakteristik aliran terhadap bangunan pelimpah tipe ogee dan untuk mengetahui perubahan energi spesifik pada bangunan pelimpah tipe ogee.	Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian laboratorium yang meliputi pengamatan/pengukuran terhadap parameter aliran pada saluran terbuka berbentuk segi empat yang menggunakan bangunan pelimpah tipe ogee dengan memperhitungkan parameter hidrolis	Berdasarkan pada pengukuran dan perhitungan menggunakan tiga variasi debit yaitu 0.0015 m ³ /det, 0.0020 m ³ /det, dan 0.0025 m ³ /det, pada bagian hulu alirannya merupakan aliran sub kritis ($Fr < 1$), pada saat diatas bangunan pelimpah alirannya berubah menjadi aliran kritis ($Fr = 1$), dan pada saat melewati bangunan pelimpah alirannya merupakan aliran super kritis ($Fr > 1$). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa energi spesifik sangat berpengaruh terhadap besarnya kecepatan dan tinggi muka air yang terjadi.

Tabel 2.1 (Lanjutan) Kajian Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul (Tahun)	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
4	Abd Rahman Wahab dan Adrian (Skripsi)	Analisis Pengaruh Tinggi Hambatan Plat Segitiga Terhadap Distribusi Kecepatan Aliran Disaluran Terbuka (Studi Eksperimental) (2020)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat kondisi hidrolis yaitu melihat perubahan pola aliran sebelum dan setelah adanya hambatan plat segitiga yang memiliki variasi tinggi 6 cm dan 9 cm. Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk melihat karakteristik aliran yang terjadi.	Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen laboratorium.	Hasil percobaan menunjukkan bahwa pola distribusi kecepatan aliran sebelum ada hambatan kecepatan rata-rata $LQ1S0 = 23,338$ cm/dtk, $LQ2S0 = 26,048$ cm/dtk, $LQ3S0 = 28,905$ cm/dtk, kecepatan minimum terjadi didasar saluran atau kedalaman 0,2 d dan kondisi tersebut sama pada setiap jarak pengukuran. Pada hambatan plat segitiga tinggi 6 cm kecepatan aliran menurun pada kedalaman 0,2 d dan kecepatan aliran pada hambatan palat segitiga tinggi 9 cm menurun pada kedalaman $\leq 0,2$ d. karakteristik aliran sebelum dan setelah adanya hambatan tidak berubah yaitu menunjukkan jenis aliran subkritis.

Tabel 2.1 (Lanjutan) Kajian Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul (Tahun)	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
5	Ehsan Goodarzi et. al.	Karakteristik Aliran Bendung Jambul Lebar Segi Empat Dengan Muka Hulu Miring (Flow Characteristics Of Rectangular Broad-Crested Weirs With Sloped Upstream Face) (2012)	Untuk mengetahui pengaruh perubahan kemiringan hulu bendung jambul lebar persegi panjang terhadap koefisien debit, mengubah profil kecepatan di atas puncak bendungan dengan kemiringan yang berbeda di sepanjang arah aliran dan pengaruh zona pemisahan pada karakteristik aliran.	Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen laboratorium.	Hasil penelitian menunjukkan penurunan lereng hulu dari 90 derajat menjadi 10 derajat menyebabkan peningkatan nilai koefisien debit dan disipasi zona separasi.

Tabel 2.1 (Lanjutan) Kajian Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul (Tahun)	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
6	Suhudi dan Arga Pandawa (Jurnal Qua Teknika Vol.12 No.1 Maret 2022)	Analisis Energi Spesifik Pada Saluran Terbuka Dengan Penambahan Variasi Panjang Ambang Lebar (2022)	Untuk mengetahui kondisi dari pengaruh panjang ambang lebar terhadap energi spesifik yang dihasilkan.	Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen laboratorium.	Hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa bentuk penampang ambang lebar yang menghasilkan aliran yang efisiensi yaitu ambang lebar dengan panjang 10 cm pada aliran Q3 ditinjau dari bilangan <i>Froude</i> < 1 yaitu : 0,210 dan kehilangan energi lebih kecil yaitu : 0,068 dan termasuk kategori aliran subkritis.

Dari penelitian yang telah dilakukan seperti di dalam tabel kajian penelitian terdahulu di atas, dapat diketahui adanya persamaan dan perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Dari tujuan analisis yang dilakukan Saleh et. al (2019), Ali et. al (2018), Hamzah dan Abd Kadir Jaelani (2018), Abd Rahman Wahab dan Adrian (2020), dan Goodarzi et. al (2012) diketahui bahwa penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran yang dapat dipengaruhi oleh salah satunya bangunan atau bendungan pada saluran terbuka. Hanya saja Saleh et. al (2019), Ali et. al (2018), Hamzah dan Abd Kadir Jaelani (2018), Abd Rahman Wahab dan Adrian (2020), dan juga dari Suhudi dan Arga Pandawa (2022) memiliki tujuan penelitian yang tidak hanya untuk mengetahui karakteristik aliran tetapi memiliki tujuan lain yaitu untuk mengetahui energi spesifik yang terjadi pada bangunan pada saluran terbuka. Hal ini serupa dengan tujuan penelitian yang akan dilakukan yaitu untuk mengetahui karakteristik aliran dan energi spesifik yang terjadi pada bangunan ambang.
2. Dari metode analisis yang dilakukan Saleh et. al (2019), Ali et. al (2018), Hamzah dan Abd Kadir Jaelani (2018), Goodarzi et. al (2012), Abd Rahman Wahab dan Adrian (2020), dan Suhudi dan Arga Pandawa (2022) diketahui bahwa metode penelitian yang digunakan yaitu metode penelitian eksperimen laboratorium. Hal ini serupa dengan metode penelitian yang akan dilakukan yaitu metode penelitian eksperimen laboratorium.
3. Dilihat dari penelitian yang dilakukan Saleh et. al (2019), Ali et. al (2018), Hamzah dan Abd Kadir Jaelani (2018), diketahui pada penelitiannya menggunakan bangunan pelimpah tipe ogee. Goodarzi et. al (2012) diketahui pada penelitiannya menggunakan bendung jambul lebar segi empat. Hal ini tidak serupa dengan bangunan yang akan digunakan pada penelitian yang akan dilakukan. Sedangkan penelitian yang dilakukan Suhudi dan Arga Pandawa (2022) diketahui pada penelitiannya menggunakan ambang lebar. Hal ini serupa dengan bangunan yang akan digunakan pada penelitian yang akan dilakukan yaitu bangunan ambang lebar.