

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. 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 (Triatmodjo, 2015).

Menurut Maryono (2007) dalam Wardani (2018), kerumitan sistem sungai dapat dilihat dari berbagai komponen penyusun sungai, misalnya bentuk alur dan percabangan sungai, formasi dasar sungai (*river bed form*), morfologi sungai (*river morphology*), dan ekosistem sungai (*river ecosystem*). Percabangan sungai akan menyerupai pohon sungai mulai dari sungai orde pertama sampai orde ke-n. Formasi dasar sungai jika diperiksa sekilas sangat sulit untuk diadakan identifikasi dan karakteristik. Bentuk alur meander dipengaruhi oleh kemiringan memanjang bentang alam, jenis material dasar sungai, dan vegetasi di daerah bersangkutan.

Sungai sebagai saluran terbuka akan sangat leluasa dalam menyesuaikan bentuk morfologi, sebagai reaksi oleh adanya perubahan kondisi hidrolik dari aliran. Morfologi sungai adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang geometri, jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu, dengan

demikian menyangkut sifat dinamik sungai dan lingkungannya yang sering berkaitan (SNI 2400.1:2016).

a. Proses Terjadinya Sungai

Sosrodarsono (1994) dalam Wardani (2018) mengungkapkan bahwa air yang berada di permukaan daratan, baik air hujan, mata air, maupun cairan gletser, akan mengalir melalui sebuah cekungan menuju tempat yang lebih rendah. Mula-mula cekungan yang dilalui ini relatif sempit dan pendek. Secara alamiah aliran ini mengikis daerah-daerah yang dilalui, akibatnya saluran ini semakin lama semakin lebar dan panjang dan terbentuklah sungai.

b. Proses Perkembangan Sungai

Endarto (2007) mengungkapkan bahwa terdapat empat tahapan/stadium dalam pembentukan lembah sungai, yaitu stadium permulaan, stadium muda, stadium dewasa, dan stadium tua.

1) Stadium permulaan: pada stadium awal, terbentuknya alur sungai akibat pengangkatan dasar laut ke atas permukaan laut atau karena erupsi gunung api yang menghasilkan sedimentasi yang banyak. Proses yang terjadi menyebabkan terbentuknya morfologi baru dengan lembah-lembah sungai yang kecil.

2) Stadium muda: pada stadium muda pembentukan lembah yang sebenarnya sudah mulai terbentuk. Umumnya, dicirikan oleh penampang melintang dari lembah yang berbentuk seperti huruf V disebabkan daya kikis vertikalnya kuat karena gradien masih besar

dan gerak massa masih terjadi. Daya angkut aliran pada stadium muda sangat besar, sehingga banyak dijumpai transport batu besar terutama jika terjadi hujan.

- 3) Stadium dewasa: pada stadium dewasa, lembah sungai stadium dewasa berbentuk seperti huruf U. Gradien sungai menjadi lebih kecil, sehingga tidak terjadi erosi vertikal. Proses yang mempunyai peranan penting adalah erosi lateral dan terbentuk meander
- 4) Stadium tua: pada stadium tua, sudah membentuk *braided river* (sungai teranyam). Arah aliran yang ada sudah tidak menentu dan berpindah pada muara sungainya. Akhirnya, seluruh daerah aliran sudah mengalami erosi secara sempurna.

c. Profil Memanjang dan melintang sungai

Profil memanjang sungai adalah penampang sungai dari hulu hingga muara sungai. Melalui profil memanjangnya, sungai dapat dibagi dalam tiga zona yaitu hulu, tengah, dan hilir. Ketiga zonasi memiliki kondisi fisik yang berbeda. Perbedaan ketinggian setiap jarak satu kilometer dari profil memanjang disebut dengan verhang sungai (Endarto, 2007).

Endarto (2007) mengungkapkan perbedaan kondisi dan proses yang terjadi pada ketiga bagian sungai.

- 1) Sungai Bagian Atas (Hulu). Sungai bagian hulu memiliki karakteristik arus yang deras dengan daya erosi yang besar. Arah erosi pada bagian hulu ke bagian dasar sungai (erosi vertikal). Erosi

vertikal dapat terjadi bila arus cukup deras mampu membawa lebih jauh hasil pengikisan yang mengendap di dasar sungai. Proses yang terjadi menyebabkan palung sungai berbentuk “V” dan lereng sungai yang berbentuk cembung

2) Sungai Bagian Tengah. Sungai bagian tengah memiliki karakteristik arus yang tidak begitu deras. Daya erosi sudah mulai berkurang tetapi masih termasuk kuat dengan arah ke dasar dan samping (vertikal dan horizontal). Erosi secara horizontal mampu membuat palung sungai berbentuk “U”. Sungai bagian tengah telah mulai terjadi pengendapan dan terdapat kelokan sungai yang termasuk bermeander

3) Sungai Bagian Bawah (Hilir). Sungai bagian bawah memiliki karakteristik verhang yang kecil. Proses erosi sudah tidak ada, sedang proses yang terjadi adalah proses pengendapan dan kondisi air yang keruh. Beberapa kenampakan yang umumnya terjadi pada sungai bagian bawah adalah pembelokan sungai, endapan berupa tanggul sungai ataupun delta, endapan di tengah sungai yang dapat digunakan sebagai lahan pertanian, memiliki penampang sungai berbentuk “U”, dan pergeseran arah muara.

\

d. Klasifikasi aliran

Menurut Triatmodjo (2015) aliran air dapat dibedakan menjadi beberapa jenis aliran menurut beberapa tinjauan.

- 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.
- 3) Aliran ditinjau dari nilai bilangan Reynold (Re)

Bilangan Reynold adalah bilangan yang menyatakan perbandingan antara kecepatan rerata dengan kekentalan kinematik. aliran dibagi menjadi beberapa macam seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi aliran berdasar Reynold

No	Jenis Aliran	Bil. Reynold	Sketsa
1	Laminer	<500	
2	Turbulen	>1000	
3	Transisi	$500 < \text{Re} < 1000$	

2. Koefisien Kekasaran Dasar

Menurut Triatmodjo (2008) zat cair yang memlalui saluran terbuka akan menimbulkan tegangan geser (tahanan) pada dinding saluran. Tahanan ini akan diimbangi oleh komponen gaya berat yang bekerja pada zat cair dalam arah aliran.

Dalam aliran seragam, komponen gaya berat dalam arah aliran adalah seimbang dengan tahan geser. Tahanan geser ini tergantung pada kecepatan aliran. Beberapa ahli telah mengusulkan beberapa bentuk koefisien *Chezy* (*C*) dari rumus umum:

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (1)$$

Dengan:

V : Kecepatan Aliran

R : Jari-jari hidrolis saluran

I : Kemiringan dasar saluran

C : Koefisien chezy

Rumus-rumus empiris dengan rumus Chezy yang banyak digunakan:

a. Rumus Bazin

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma B}{\sqrt{R}}} \quad (2)$$

Dengan γB adalah koefisien yang tergantung pada kekasaran dinding.

Nilai γB untuk beberapa jenis dinding saluran adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Koefisien kekasaran Bazin

Jenis Dinding	γB
Dinding sangat halus (semen)	0,06
Dinding halus (papan, batu, bata)	0,16
Dinding batu pecah	0,46
Dinding tanah sangat teratur	0,85
Dinding tanah dengan kondisi biasa	1,30
Saluran tanah dengan batu pecah dan tebing rumput	1,75

(Sumber: Triatmodjo, 2008)

b. Rumus Manning

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

Koefisien n merupakan fungsi dari bahan dinding saluran, rumus manning ini banyak digunakan karena mudah pemakaianya.

Tabel 3. Harga koefisien manning

Bahan	<i>N</i>
Besi tulang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapisi mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

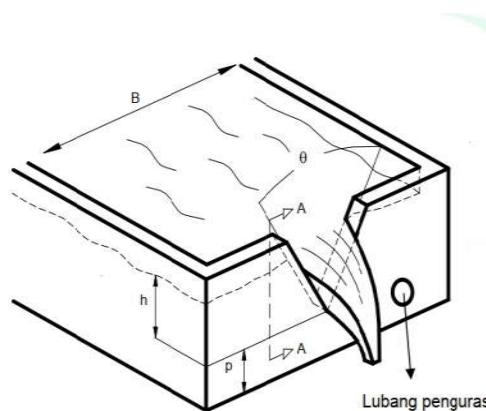
(Sumber: Triatmodjo, 2008)

3. Pengukuran debit aliran dengan alat ukur ambang tajam

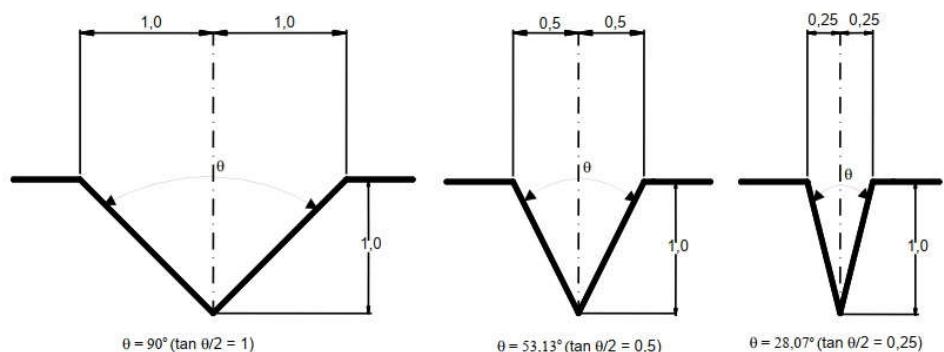
- Menurut SNI 8137:2015 pengukuran debit merupakan proses mengukur dan menghitung untuk mengetahui besar debit di saluran terbuka.
- Menurut SNI 8137:2015 bentuk penampang ambang tajam yaitu pelimpah berbentuk segitiga. Ambang tajam segitiga merupakan bangunan ukur sederhana yang dapat digunakan untuk mengukur debit aliran di saluran terbuka dengan mudah dan cukup teliti. Dengan menerapkan desain bentuk bagian limpasan yang tepat, berdasarkan hasil percobaan dapat ditentukan rentang besar debit pengukuran, yaitu sebagai berikut:
 - Bentuk ambang dengan sudut celah $\theta = 90^\circ$ atau $\tan \theta/2 = 1$, Mempunyai rentang debit pengukuran dari 0,802 l/s sampai dengan 122,940 l/s.

2) Bentuk ambang dengan sudut celah $\theta = 52,12^\circ$ atau $\tan \theta/2 = 0,5$. Rentang debit pengukur dari $0,406 \text{ l/s} \leq Q \leq 62,150 \text{ l/s}$.

3) Bentuk ambang dengan sudut celah $\theta = 28,07^\circ$ atau $\tan \theta/2 = 0,25$. mempunyai rentang debit pengukur dari $0,215 \text{ l/s} \leq Q \leq 21,477 \text{ l/s}$.



Gambar 2. Penampang ambang tajam segitiga
(SNI 8137:2015)



Gambar 3. Sudut celah ambang tajam segitiga
(SNI 8137:2015)

c. Debit Aliran.

Debit aliran yang melimpas di atas mercu ambang tajam segitiga yang didesain dengan memenuhi persyaratan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$Q = \left(\frac{8}{15}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H_{ef}^{5/2} \quad (4)$$

Keterangan:

Q : debit (m^2/s)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

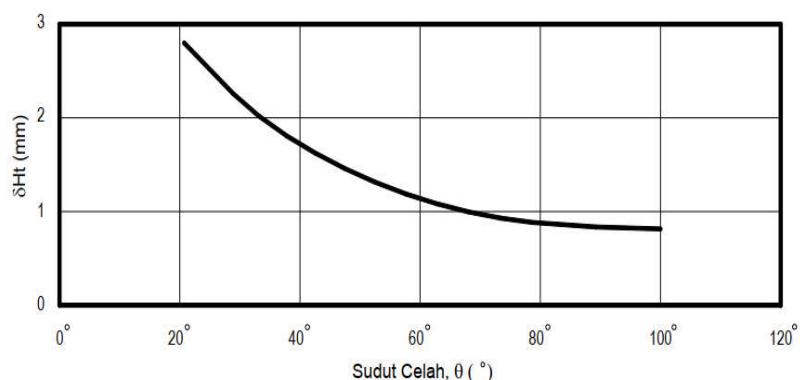
H_{ef} : tinggi energi efektif (m)

C_d : koefisien debit

Tinggi energi efektif, H_{ef} diberikan oleh persamaan:

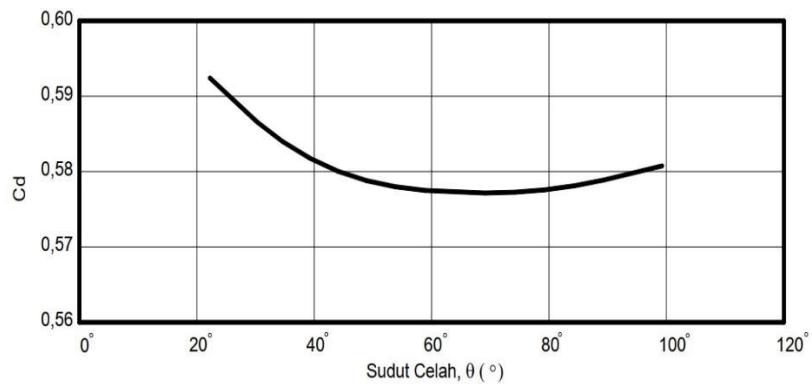
$$H_{ef} = h + \delta H_t \quad (5)$$

δH_t adalah koreksi pengaruh efek kombinasi dari viskositas dan tegangan permukaan untuk temperatur air $4^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$, besar nilai δH_t untuk berbagai sudut celah diberikan pada Gambar 4.



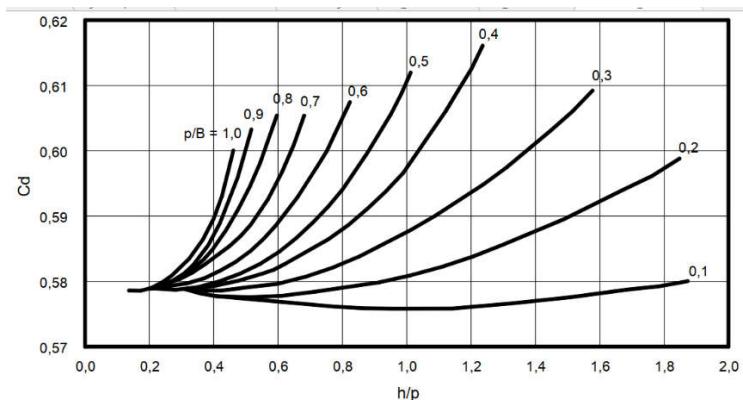
Gambar 4. Koreksi tinggi energi δH_t , untuk ambang tajam segitiga dengan berbagai keadaan sudut celah θ (SNI 8137:2015)

Bila kondisi aliran yang terjadi adalah kontraksi penuh, nilai koefisien debit efektif, C_d hanya bergantung pada besar sudut celah ambang segitiga saja, θ , sehingga nilai koefisien debit, C_d , untuk keadaan kontraksi penuh pada ambang tajam segitiga, ditentukan berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Koefisien debit, C_d ambang tajam segitiga untuk kondisi kontraksi penuh (SNI 8137:2015)

Untuk kondisi aliran terkontraksi sebagian, nilai koefisien debit, C_d dapat ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 5. Grafik pada Gambar 6 hanya berlaku untuk $\theta = 90^\circ$



Gambar 6. Grafik koefisien debit, C_d sebagai fungsi dari h/p dan p/B untuk ambang tajam segitiga dengan sudut tekukan 90 (SNI 8137:2015)

Menurut Triatmodjo (1993) dalam Hayyi (2015) untuk debit aliran yang keluar dari peluap segitiga dapat dihitung menggunakan rumus peluap segitiga

$$Q = \left(\frac{8}{15}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_d \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot H^{5/2} \quad (6)$$

Apabila sudut $\alpha = 90^\circ$, $C_d = 0,6$ dan percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m}^2/\text{d}$ maka debitnya:

$$Q = 1,417 H^{5/2} \quad (7)$$

Dengan:

Q : Debit (m^2/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

H : Tinggi muka air diatas ambang (m)

C_d : Koefisien debit

α : Sudut peluap

4. Gerusan

Gerusan merupakan fenomena alam yang akibat erosi terhadap aliran air pada dasar dan tebing saluran *alluvial*. Juga merupakan proses menurunnya atau semakin dalamnya dasar sungai di bawah elevasi permukaan alami (datum) karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Gerusan yang terjadi disekitar pilar adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi pilar tersebut. Aliran mendekati pilar dan tekanan stagnasi akan menurun dan menyebabkan aliran ke bawah (*down flow*) yaitu aliran dari kecepatan tinggi menjadi kecepatan

rendah. Kekuatan *down flow* akan mencapai maksimum ketika berada tepat pada dasar saluran (Rahmadani, 2014).

Gerusan merupakan proses alam yang mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan di daerah aliran air. Penambahan gerusan akan terjadi ketika ada perubahan setempat dari geometri sungai seperti karakteristik tanah dasar setempat dan adanya halangan pada alir sungai berupa bangunan sungai. Adanya halangan tersebut akan menyebabkan perubahan pola aliran yang mengakibatkan terjadinya gerusan lokal disekitar bangunan tersebut. Perubahan pola aliran terjadi karena adanya halangan pada aliran sungai tersebut berupa bangunan sungai seperti pilar dan *abutmen* jembatan, krib sungai, pintu air dan sebagainya. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal di sekitar bangunan (Legono, 1990 dalam Wardani, 2018).

a. Jenis Gerusan

Menurut Legono (1990) dalam Wardani (2018), gerusan dibedakan menjadi:

- 1) Gerusan umum di alur sungai, gerusan ini tidak berkaitan sama sekali dengan terdapat atau tidaknya bangunan sungai. Gerusan ini disebabkan oleh energi dari aliran sungai.
- 2) Gerusan terlokalisir di alur sungai, terjadi karena penyempitan alur sungai, sehingga aliran menjadi lebih terpusat.
- 3) Gerusan lokal disekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal disekitar bangunan sungai. Garde dan Raju (1977) dalam Nasution

(2017) memaparkan bahwa gerusan lokal terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan terganggunya aliran baik besar maupun arahnya, sehingga menyebabkan hanyutnya material-material dasar atau tebing sungai. Turbulensi disebabkan oleh berubahnya kecepatan terhadap tempat, waktu dan keduanya. Gerusan lokal pada material dasar dapat terjadi secara langsung oleh kecepatan aliran sedemikian rupa sehingga daya tahan material terlampaui. Secara teoritik tegangan geser yang terjadi lebih besar dari tegangan geser kritis dari butiran dasar.

5. Upaya Perlindungan Tebing Sungai

Menurut Hayyi (2015) dalam merencanakan suatu struktur pengaman tebing sungai, yang pertama harus diketahui adalah kondisi tebing sungai terutama pada tikungan luar yang sering tergerus akibat turbulensi air terlebih pada saat terjadi debit banjir yang besar. Dengan demikian, data debit banjir yang terjadi juga mempengaruhi besarnya energi yang ditahan oleh struktur nantinya.

Hal lain yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan struktur pengamanan tebing sungai adalah mengetahui karakteristik tanah di lokasi. Perletakan struktur pengaman juga harus diperhatikan yaitu searah aliran air di sepanjang tebing yang akan dilindungi. Struktur pengaman juga harus berada diatas muka air banjir, di samping juga harus stabil saat dalam kondisi air kering.

a. Bangunan Krib

Menurut Hayyi (2018) krib adalah bangunan yang dibuat mulai dari tebing sungai ke arah tengah guna mengatur arus sungai. Menurut SNI 2400-1 2016 krib adalah bangunan menyilang atau sejajar arah aliran yang ditujukan guna mengubah pola aliran, sifat aliran untuk suatu tujuan tertentu

b. Fungsi dan jenis krib

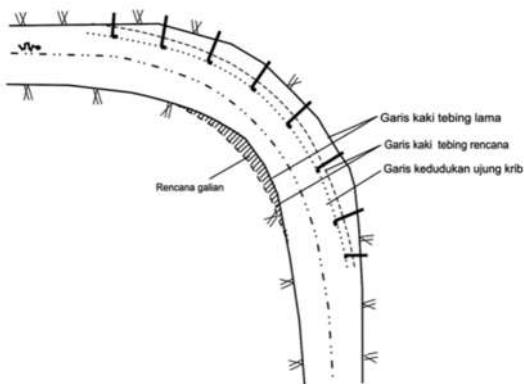
Menurut SK-SNI T- 01 -1990-F fungsi adalah sebagai berikut:

- 1) Krib sebagai perlindungan tebing sungai secara tidak langsung dari gerusan lokal atau bahaya gejala meander.
- 2) Krib sebagai pengatur/pengarah arus sungai sesuai dengan tujuannya misalnya pada bagian atas bangunan pengambilan terjadi perubahan arah arus
- 3) Krib sebagai perbaikan tebing sungai untuk keperluan tertentu. Krib dipasang pada kiri dan kanan tebing sungai untuk mempertahankan lebar dan kedalaman sungai yang dipakai untuk navigasi.

6. Bronjong

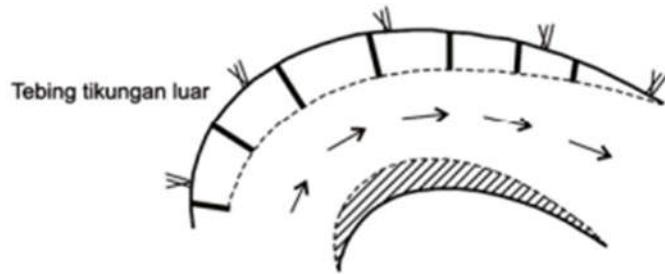
Menurut Nursanti (2017) bronjong kawat merupakan bangunan yang terdiri dari batu pecah yang disusun dan diikat dengan kawat anyaman dengan ukuran tertentu sesuai dengan SNI-03-0090-1999. Krib/bronjong sebagai perlindungan tebing sungai secara tidak langsung dari gerusan lokal atau bahaya gejala *meander*. *Meander* adalah bentuk yang lazim dari sungai yang berkelok-kelok, misalnya pada tebing sungai yang dekat daerah potensial,

pada belokan sungai. Krib/bronjong harus dapat membelokkan arus dan kecepatan diantara krib/bronjong akan tereduksi sehingga *suspended load* akan mengendap dan akan membentuk garis tebing yang baru, sedangkan untuk pelindung tebing sungai langsung terhadap longsoran, akan ditanggulangi dengan konstruksi tersendiri.



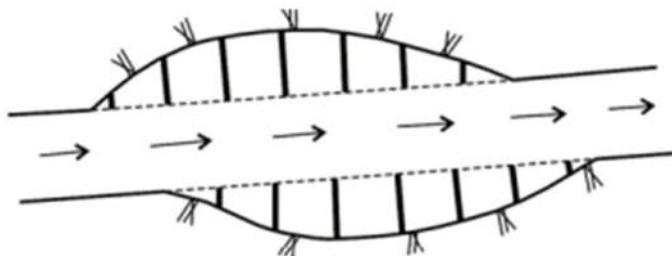
Gambar 7. Sketsa Perletakan Krib/Bronjong pada Tikungan Sungai
(Sumber: SNI 2400.1:2006)

1. Krib/bronjong sebagai pengatur atau pengarah arus sungai sesuai dengan tujuannya misalnya pada bagian atas bangunan pengambilan terjadi perubahan arah arus. Sebagai pengarah untuk membelokkan aliran sungai agar sesuai dengan tujuannya yaitu:
 - a. Krib/bronjong untuk mengatur debit agar masuk ke percabangan sebagai suplesi, agar aliran masuk ke bangunan pengambilan.
 - b. Krib/bronjong untuk memperbaiki arah arus apabila di udik bangunan pengambilan (bendung, pompa air, pintu air) terjadi perubahan arus.
 - c. Krib/bronjong untuk memperbaiki pola dan arah aliran pada alur sungai tidak menentu misalnya pada sungai di dataran rendah.



Gambar 8. Sketsa krib/bronjong sebagai pengarah arus
(Sumber: SNI 2400.1:2006)

2. Krib/bronjong sebagai pengarah untuk memperbaiki alinyemen sungai untuk keperluan tertentu yaitu:
 - a. Untuk mempertahankan lebar dan kedalaman sungai yang dipakai keperluan navigasi maka krib dipasang pada tebing kiri dan kanan sungai.
 - b. Untuk memperbaiki alinemen karena terjadinya longsoran tebing karena arus sungai maka krib dipasang secara serial guna memacu terjadinya endapan pada bagian tebing tersebut.



Gambar 9. Sketsa krib sebagai perbaikan alinimen sungai
(Sumber: SNI 2400.1:2006)

7. Tetrapod

Menurut James (2014) tetrapod adalah sebuah struktur beton berkaki empat yang berfungsi sebagai unit pelindung pada pemecah arus air. Tetrapod pada awalnya dikembangkan oleh Laboratoire Dauphionis d'Hidraulique di

Grenoble, Prancis. Saat ini tetrapod sudah tidak dilindungi hak paten lagi, dan digunakan secara luas di seluruh dunia dan diproduksi banyak kontraktor.

Pada umumnya tetrapod dikenal dengan istilah *breakwater* atau pemecah gelombang. Menurut James (2014) *breakwater* atau pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Pada hakekatnya fungsi pemecah gelombang, sesuai namanya, yaitu memecah energi potensial gelombang air laut berkecepatan tertentu dengan korelasi tinggi gelombang tertentu sehingga gelombang yang ditransmisikan berenergi lemah. Kelemahan ini direkayasa dengan maksud tertentu, misalnya agar arus air tidak erosif (abrasi) akibat daratan tidak “termakan” gerusan air, atau untuk maksud tertentu seperti untuk mendirikan bangunan.

James (2014) memaparkan secara umum *breakwater* pada pelabuhan memiliki beberapa fungsi pokok yaitu:

1. Berfungsi sebagai pelindung kolam perairan pelabuhan yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan terganggunya aktivitas di perairan pelabuhan baik pada saat pasang, badai maupun peristiwa lainnya di laut.
2. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebahian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lainnya.

3. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, dan kedalaman air) tipe bangunan peredam gelombang dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan punck bangunan).
4. Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung akan mengurangi pengiriman sedimen di daerah tersebut. Maka pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan di belakang bangunan. Pantai di belakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endaman sedimen tersebut.

B. Kajian Penelitian Relevan

Hayyi (2018) melakukan pengujian berupa uji model hidrolik menggunakan flume sungai dengan panjang belokan 5 m, lebar dalam 0,8 m, dan tinggi 0,5 m. Saluran berbentuk trapesium dengan sudut belokan 90° , terdapat tetrapod impermeabel pada belokan dengan variasi jarak antar tetrapod 34 cm, 51 cm, dan 68 cm dan air tidak bersedimen. penelitian ini menghasilkan pemasangan tetrapod untuk menanggulangi bencana longsor pada tebing sungaibogowonto dinilai dapat mengurangi gerusan. Gerusan maksimum terdapat pada model sungai yang dipasangi tetrapod jarak 51 cm yaitu sebesar -9,9cm, sedangkan gerusan minimum terdapat pada model sungai yang dipasangi tetrapod jarak 68 cm yaitu sebesar -3,4 cm

Wardani (2018) melaporkan tentang studi pengaruh pemasangan *check dam stones* dengan variasi jarak pada belokan sungai menggunakan uji model laboratorium. Variasi jarak yang dilakukan adalah jarak 68 cm, 85 cm, dan

102 cm. Hasil penelitian ini menunjukan bahwa berdasarkan grafik profil penampang melintang perbandingan tiga jarak pemasangan *check dam stones* didapat bahwa *check dam stones* dengan jarak 85 cm efektif mengurangi kedalaman gerusan di awal belokan sungai model laboratorium sebesar 0,20 cm dan di akhir belokan sungai model laboratorium sebesar -3,69 cm. *Check dam stones* dengan jarak 102 cm efektif untuk mengurangi gerusan pada bagian tengah dengan kedalaman gerusan sebesar -0,38. Sedangkan *check dam stones* dengan jarak 68 cm tidak efektif untuk mengurangi kedalaman gerusan pada awal, tengah, maupun akhir belokan sungai model laboratorium.

Daties (2012) dalam penelitiannya membahas pola gerusan pada tikungan sungai akibat penambahan debit dengan model saluran berbentuk trapesium dengan lebar dasar saluran 50 cm serta tinggi saluran 20 cm berbahan pasir halus dengan air tanpa sedimen yang menghasilkan kesimpulan Kecepatan aliran di tikungan akan bergerak ke arah luar belokan, hal ini yang mengakibatkan terjadinya gerusan pada saluran lebih cenderung di sisi luar belokan saluran arah horisontal. Aliran pada tebing mengakibatkan keruntuhan tebing dan angkutan material. Semakin tinggi debit aliran yang diberikan, semakin besar kerusakan dinding yang terjadi. Hal ini menimbulkan gerusan dan endapan yang cukup besar dan Semakin besar penampang basah, perubahan dasar saluran yang terjadi kecil dan cenderung menimbulkan endapan.

C. Kerangka Berfikir

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, terdapat beberapa macam tipe struktur perkuatan tebing berupa krib dengan variasi jarak dan sudut dalam sistem letak pemasangan. Dengan maksud mengembangkan penelitian yang sudah dilakukan, yaitu belum adanya tipe krib dengan model kombinasi, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh kombinasi antara bangunan penahan beronjong dengan *tetrapod* untuk mengurangi gerusan di belokan sungai dengan debit pengaliran konstan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi gerusan yang terjadi di belokan sungai sehingga dapat melindungi tebing belokan dari kemungkinan gerusan yang mengakibatkan kelongsoran.

Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan sungai di laboratorium hidrolik. Dilakukan tiga kali *running* pengaliran selama 180 menit untuk setiap pengaliran. Ditetapkan lama *running* 180 menit karena pada durasi 180 menit aliran dan gerusan dianggap sudah stabil.