

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Sungai

Sungai adalah suatu saluran drainase yang terbentuk secara alamiah. Akan tetapi disamping fungsinya sebagai saluran drainase dan dengan adanya air yang mengalir di dalamnya, sungai menggerus tanah dasarnya secara terus-menerus sepanjang masa existensinya dan terbentuklah lembah-lembah sungai. Volume sedimen yang sangat besar yang dihasilkan dari keruntuhan tebing-tebing sungai di daerah pegunungan dan tertimbun di dasar sungai tersebut, terangkut ke hilir oleh aliran sungai. Hal ini diakibatkan karena pada daerah pegunungan kemiringan sungainya curam dan gaya tarik aliran airnya cukup besar, setelah itu gaya tariknya menjadi sangat menurun ketika mencapai dataran. Dengan demikian beban yang terdapat dalam arus sungai berangsur-angsur diendapkan (Sosrodarsono,1984:4) dalam Elshinta, (2017).

Menurut Triatmodjo, (2008:103) sungai adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan dipermukaan air adalah sama, yang biasanya adalah tekanan atmosfir. Variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

Menurut Wardani, (2018) proses terjadinya sungai adalah air yang berada di permukaan daratan, baik air hujan, mata air, maupun cairan gletser, akan menglir melalui sebuah saluran menuju tempat yang lebih rendah. Namun, secara proses

alamiah aliran ini mengikis daerah-daerah yang dilaluinya. Akibatnya, saluran ini semakin lama semakin lebar dan panjang, dan terbentuklah sungai. Perkembangan suatu lembah sungai menunjukkan umur dari sungai tersebut. Umur disini merupakan umur relatif berdasarkan ketampakan bentuk lembah tersebut yang terjadi dalam beberapa tingkat (stadium).

Menurut Yulianto (2013) dalam Pradipta, (2018), tahapan perkembangan suatu sungai dapat dibagi menjadi 5 (lima) stadia, yaitu stadia sungai awal, stadia muda, stadia dewasa, stadia tua, dan stadia remaja kembali *rejuvenation*. Adapun ciri-ciri dari tahapan sungai adalah sebagai berikut:

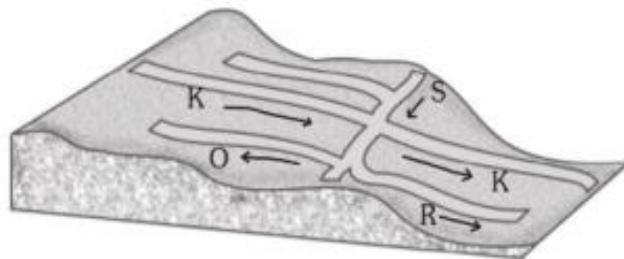
- a. Tahapan Awal *Initial Stage*: Tahap awal suatu sungai sering dicirikan oleh sungai yang belum memiliki orde dan belum teratur seperti lazimnya suatu sungai. Air terjun, danau, arus yang cepat dan gradien sungai yang bervariasi merupakan ciri-ciri sungai pada tahap awal. Bentang alam aslinya, seringkali memperlihatkan ketidakakuratan, beberapa diantaranya berbeda tingkatannya, arus alirannya berasal dari air *runoff* ke arah suatu area yang membentuk suatu depresi (cekungan) atau belum membentuk lembah. Sungai pada tahap awal umumnya berkembang di daerah dataran pantai *coastal plain* yang mengalami pengangkatan atau di atas permukaan lava yang masih baru/muda dan gunung api, atau di atas permukaan dimana sungai mengalami peremajaan.
- b. Tahapan Muda: Sungai yang termasuk dalam tahapan muda adalah sungai yang aktifitas aliran sungainya mengerosi ke arah vertikal. Aliran sungai yang menempati seluruh lantai dasar suatu lembah. Umumnya profil lembahnya membentuk huruf V, air terjun dan arus yang cepat mendominasi.

- c. Tahapan Dewasa: Tahapan awal dari sungai dewasa dicirikan oleh mulai adanya pembentukan dataran banjir secara setempat-setempat dan semakin lama semakin lebar dan akhirnya terisi oleh aliran sungai yang berbentuk *meander*, sedangkan pada sungai yang sudah masuk dalam tahapan dewasa, arus sungai sudah membentuk aliran yang berbentuk *meander*, penyisiran ke arah depan dan belakang memotong suatu dataran banjir *flood plain* yang cukup luas sehingga secara keseluruhan ditempati oleh jalur-jalur *meander*. Pada tahapan ini aliran arus sungai sudah memperhatikan keseimbangan antara laju erosi vertikal dan erosi lateral.
- d. Tahapan Tua: Pada tahapan ini dataran banjir diisi sepenuhnya oleh *meander* dan lebar dari dataran banjir akan beberapa kali lipat dari luas *meander belt*. Pada umumnya dicirikan oleh danau tapal kuda *oxbow lake* dan rawa *swampy area*.
- e. Peremajaan Sungai: Setiap saat dari perkembangan suatu sungai dari satu tahap ke tahap lainnya, perubahan mungkin terjadi dimana kembalinya dominasi erosi vertikal sehingga sungai dapat diklasifikasi menjadi sungai dalam tahapan muda. Sungai dewasa dapat mengalami pengikisan kembali ke arah vertikal untuk kedua kalinya karena adanya pengangkatan dan proses terjadinya erosi ke arah vertikal pada sungai berstadia dewasa akibat pengangkatan dan stadia sungai kembali menjadi stadia muda.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 35 Tahun 1991 Tentang Sungai. Ada bermacam-macam jenis sungai yang ada di Indonesia sungai tersebut dapat dibedakan berdasarkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan sumber air sungai dibedakan menjadi beberapa macam yaitu:
 - a. Sungai yang bersumber dari air hujan atau dari mata air. Sungai jenis ini terdapat di Indonesia. Dikarenakan Indonesia yang beriklim tropis dengan curah hujan tinggi dan banyak sumber mata air.
 - b. Sungai gletser sungai yang sumber airnya bersumber dari lelehan gletser yang mencair dari pegunungan. Sungai jenis ini terdapat di pegunungan.
 - c. Sungai campuran sungai yang sumber airnya dari lelehan gletser, air hujan dan dari sumber mata air yang mengalir dan menjadi satu. Contoh sungai campuran yang ada di Indonesia adalah sungai Digul dan sungai Mamberamo yang berada di Irian Jaya.
2. Alur Sungai dikategorikan menjadi tiga, sebagai berikut:
 - a. Bagian hulu sungai memiliki ciri arus deras, erosi yang besar pada bagian bawah sungai. Dengan demikian hasil erosi tidak hanya sedimen pasir,krikil, atau batu dapat terbawa ke arah hilir.
 - b. Bagian tengah yang merupakan bagian perpindahan dari hulu sungai ke bagian hilir dan memiliki kemiringan dasar sungai yang relatif lebih landai sehingga kekuatan erosinya tidak terlalu besar dan arah erosinya mengarah ke bagian dasar dan samping serta terjadinya pengendapan.
 - c. Bagian hilir yang memiliki bagian kemiringan dasar sungai yang landai sehingga kecepatan alirannya lambat, sehingga arusnya tenang, daya erosi akibat aliran kecil dengan arah ke samping dan akan banyak endapan.

3. Berdasarkan arah aliran sungai dibedakan menjadi beberapa macam yaitu:



R = Sungai *Resequent* K = Sungai *Consequent*
O = Sungai *Obsequent* S = Sungai *Subsequent*

Gambar 2. Macam-macam sungai yang dilihat dari arah aliran dari kemiringan perlapisannya.

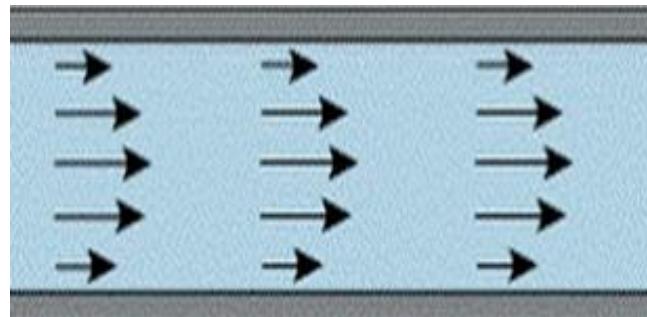
(Sumber: Pradipta, 2018)

- a. Sungai *konsekuuen* adalah sungai yang arah alirannya mengikuti arah kemiringan lereng.
- b. Sungai *subsekuen* adalah sungai yang arah alirannya tegak lurus dengan sungai *konsekuuen*.
- c. Sungai *obesekuen* adalah sungai yang arah alirannya berlawanan dengan sungai *konsekuuen* atau dengan arah berlawanan dari lereng dengan muara sungai berada di sungai *subsekuen*.
- d. Sungai *resekuen* adalah sungai yang arah alirannya sama sejajar dengan arah aliran dari sungai *konsekuuen*.

2. Pola aliran pada saluran terbuka

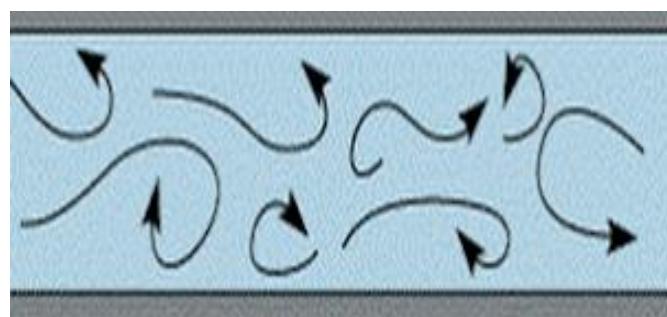
Bilangan *Reynold* adalah bilangan yang menyatakan perbandingan antara kecepatan rerata dengan kekentalan kinematik. aliran dibagi menjadi beberapa macam yaitu:

- a. Aliran laminer, yaitu apabila bilangan $Reynold < 500$, secara fizik suatu aliran dikatakan laminer bila setiap partikel yang melalui titik tertentu selalu mempunyai lintasan (garis arus) yang tertentu pula.



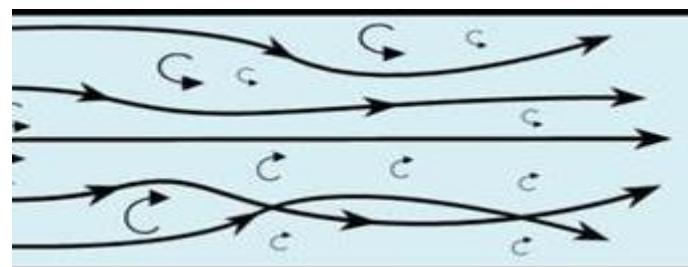
Gambar 3. Aliran laminer

- b. Aliran turbulen yaitu apabila bilangan $Reynold > 25000$, sutau aliran dikatakan turbulen apabila setiap pertikel yang melalui titik tertentu selalu mempunyai lintasan (garis arus) yang tidak berupa garis lurus, tetapi berupa garis berkelak-kelok (acak).



Gambar 4. Aliran turbulen

- c. Aliran transisi yaitu apabila bilangan $Reynold$ antara 500 dan 2500



Gambar 5. Aliran transisi

3. Berdasarkan bilangan *Froude*

Bilangan *Froude* adalah bilangan yang menyatakan perbandingan antara kecepatan aliran dengan kecepatan gelombang pada air dangkal berdasarkan bilangan *Froude* maka aliran dapat dibagi menjadi

- a. Aliran subkritik apabila $Fr < 1$, pada aliran ini kecepatan rerata dibanding dengan kecepatan gelombang adalah lebih kecil, sehingga gelombang masih terjadi ke segala arah.
 - b. Aliran kritik apabila $Fr = 1$, pada aliran ini kecepatan rerata dibanding dengan kecepatan gelombang adalah sama, sehingga gelombang hanya terjadi ke arah aliran hilir dan kiri-kanan.
 - c. Aliran superkritik apabila $Fr > 1$, pada aliran ini kecepatan rerata dibanding dengan kecepatan gelombang adalah lebih besar, sehingga geomang hanya terjadi ke arah aliran hilir dan kiri-kanan, sedangkan gerakan gelombang disertai dengan pergeseran pusat terjadinya gelombang kearah aliran.

4. Debit aliran

Menurut Triatmodjo (2016) debit *fluida* adalah volume *fluida* yang mengalir persatuhan waktu.

Dengan:

Q = Debit aliran, m³/detik

V = Kecepatan rata-rata, m/detik

A = Luas penampang melintang tegak lurus terhadap arah aliran, m².

5. Pengukuran kecepatan aliran

Menurut *Chow* (1989) dalam *Hayyi*, (2015), kecepatan aliran rata-rata merupakan perbandingan antara debit aliran yang melewati saluran (Q) dengan luas tampang basah saluran (A) seperti persamaan berikut:

Dengan:

V = Kecepatan Aliran rata-rata, (m/detik)

B = Lebar Saluran (m)

Q = Debit Aliran (l/detik)

A = Luas Penampang (m^2)

- a) Berikut faktor yang dapat mempengaruhi aliran pada saluran terbuka, yaitu:

 1. Kedalaman aliran (y) yaitu jarak dari dasar dari saluran yang tegak lurus dengan saluran sampai ke permukaan sebuah saluran.
 2. Lebar puncak (T atau b) yaitu lebar atas dari penampang saluran.
 3. Luas basah (A) yaitu dari luas penampang aliran dengan arah melintang aliran yang tegak lurus dengan arah aliran.
 4. Keliling basah (P) yaitu dari garis perpotongan permukaan basah saluran dengan bidang penampang yang melintang secara tegak lurus sebuah saluran.
 5. Jari-jari hidraulik (R) yaitu dari rasio luas saluran basah dengan keliling saluran basah $R = \frac{A}{P}$
 6. Kedalaman hidraulik (D) yaitu dari rasio luas saluran basah dengan lebar puncak saluran $D = \frac{A}{b}$

7. Kemiringan saluran pada dasar saluran yang diatur dengan keadaan topografi yang diperlukan untuk aliran air. Untuk kemiringan dinding saluran tergantung dari jenis bahan yang digunakan.

Table 1. Kemiringan dinding saluran yang berdasarkan bahan

No	Bahan	Kemiringan Dinding Saluran
1	Batu	Hampir Tegak Lurus / Vertikal
2	Tanah Gambut	$\frac{1}{4} : 4$
3	Lempung Teguh	$\frac{1}{2} : 4$ atau $1 : 1$
4	Tanah Berpasir Batu	$1 : 1$
5	Lempung Kaku	$1 : 5 : 1$
6	Tanah Berpasir Lepas	$2 : 1$
7	Lempung Berpasir	$3 : 1$

(Sumber: Wardani, 2018)

8. Koefisien kekasaran dasar saluran

Menurut Triatmodjo, (2008:112) beberapa ahli telah mengusulkan beberapa bentuk koefisien *Chezy* (C) dari rumus umum:

Dimana:

V = Kecepatan aliran

R = Jari-jari hidrolis saluran

I = Kemiringian saluran

C = Koefisien *Chezy*

Rumus *Bazin*:

Dimana γB adalah koefisien yang tergantung pada faktor kekerasan pada dinding. Nilai γB untuk beberapa jenis dinding saluran seperti pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Koefisien Kekerasan *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, 2008:113).

Rumus Manning:

Dengan menggunakan koefisien tersebut maka didapat rumus kecepatan aliran sebagai berikut:

$$C = \frac{1}{n} R^2 /_3 I^1 /_2$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran

R = Jari-jari hidrolis saluran

I = Kemiringian saluran

n = Koefisien Manning

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	0,020
Saluran pada Galian Batu Padas	0,040

(Sumber: Triatmodjo, 2008:113)

3. Pengertian Gerusan

Pemanfaatan lahan di bantaran aliran sungai sulit dihindari, mengingat perkembangan peradaban manusia dimulai dari daerah yang memudahkan sarana transportasi seperti sungai dan pantai, dan untuk kondisi saat ini kebutuhan lahan untuk permukiman dan pembangunan prasarana umum semakin meningkat. Gerusan terjadi di sepanjang aliran sungai dan umumnya mengalami peningkatan pada daerah belokan yang akan mengacam kestabilan bangunan dan fasilitas yang dibangun di sekitar lokasi tersebut. Gerusan di tikungan sungai akan terjadi di daerah awal masuk tikungan, sedangkan pengendapan dimulai dari bagian tengah tikungan hingga akhir tikungan. Gerusan adalah transport sedimen, yaitu perpindahan tempat bahan sedimen oleh air yang sedang mengalir dengan pergerakan searah aliran air. Perbedaan morfologi dan sudut belokan sungai

mempengaruhi bentuk pola aliran dan selanjutnya berpengaruh terhadap perbedaan besarnya gerusan yang terjadi (Djufri, 2017).

Gerusan adalah fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang biasanya terjadi pada dasar sungai yang terdiri dari material *alluvial* namun terkadang dapat juga terjadi pada dasar sungai yang keras. Pengalaman menunjukkan bahwa gerusan dapat menyebabkan terkikisnya tanah di sekitar fondasi sebuah bangunan pada aliran air. Gerusan biasanya terjadi sebagai bagian dari perubahan morfologi dari sungai dan perubahan akibat bangunan buatan (Ariyanto, 2009).

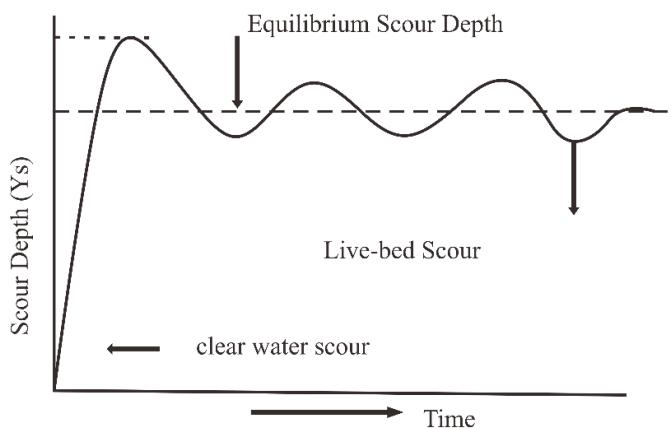
Gerusan merupakan suatu proses yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sebuah bangunan yang terdapat pada aliran sungai. Semakin banyak gerusan yang terjadi dapat merubah bentuk dari aliran sungai, perubahan seperti bentuk dasar dari sungai serta adanya halangan seperti banguanan yang menghalangi aliran sungai. Bangunan yang menghalangi aliran air sungai menyebabkan berubahnya pola aliran air sungai yang dapat terjadinya gerusan lokal pada sekitar bangunan. Dengan berubahnya pola aliran air sungai tersebut yang disebabkan adanya bangunan seperti abutmen jembatan, krib sungai, pintu air dan sebagainya, bangunan seperti ini dianggap dapat merubah dari pola aliran air sungai di sekitar bangunan tersebut Legono, (1990) dalam Wardani, (2018).

Peristiwa gerusan lokal selalu akan berkaitan erat dengan fenomena perilaku aliran sungai, yaitu hidraulika aliran sungai dalam interaksinya dengan geometri sungai, geometri dan tata letak pilar jembatan, serta karakteristik tanah dasar di mana pilar tersebut dibangun Istiarto, (2002) dalam Ariyanto, (2009).

Menurut Ettema dan Raudkivi (1982) dalam Istiarto (2002) dalam Ariyanto (2009), perbedaan gerusan dapat dibagi menjadi:

- a. Gerusan umum *general scour*. Gerusan yang terjadi akibat dari proses alam dan tidak berkaitan sama sekali dengan ada tidaknya bangunan sungai.
- b. Gerusan dilokalisir *constriction scour*. Gerusan yang diakibatkan penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi terpusat.

Peristiwa ketiga jenis gerusan tersebut dapat terjadi bersamaan namun pada tempat yang berbeda. Gerusan dilokalisir di alur sungai dan gerusan lokal di sekitar bangunan. Selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih *clear water scour* maupun gerusan dengan air bersedimen *live-bed scour*. Gerusan dengan air bersih berkaitan dengan suatu keadaan dimana dasar sungai di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut), atau secara teoritik ($t_0 < t_c$) dimana t_0 adalah tegangan geser yang terjadi, sedangkan t_c adalah tegangan geser kritis dari butiran dasar sungai. Perbedaan prinsip antara gerusan oleh air bersih dibandingkan dengan air bersedimen adalah mengikuti skema seperti disajikan pada Gambar 3.



Gambar 6. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu
(Sumber: Istiarto, 2002 dalam Ariyanto, 2009)

Gerusan lokal *local scouring* ini menurut Yulistiyanto dkk (1998) dalam Wardani, (2018), merupakan gerusan yang terjadi disekitar abutmen jembatan atau pilar, disebabkan oleh pusaran air *vortex system*, karena adanya gangguan pada pola aliran akibat rintangan. Aliran yang mendekati pilar dan tekanan stagnasi akan menurun dan menyebabkan aliran ke bawah *down flow* yaitu aliran dari kecepatan tinggi menjadi rendah. Kekuatan *down flow* akan mencapai maksimum ketika berada tepat pada dasar saluran.

Penggerusan lokal Garde dan Raju, (1977) dalam Rahmadani, (2014) dalam Wardani, (2018), terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan terganggunya aliran, baik besar maupun arahnya, sehingga menyebabkan berubahnya material dasar atau tebing sungai. Turbulensi disebabkan oleh berubahnya kecepatan terhadap waktu, dan keduanya. Penggerusan lokal pada material dasar dapat terjadi secara langsung oleh kecepatan aliran sehingga daya tahan material terlampaui. Secara teori tegangan geser yang terjadi lebih besar dari tegangan geser kritis dari butiran dasar.

Menurut Melville, (1975) dalam Miller, (2003:10) dalam Prasetyo, (2006). Menjelaskan tahap-tahap gerusan yang terjadi antara lain sebagai berikut:

- a. Peningkatan aliran yang terjadi pada saat perubahan garis aliran di sekeliling pilar.
- b. Pemisahan aliran dan peningkatan pusaran tapal kuda yang lebih intensif sehingga menyebabkan pembesaran lubang gerusan.

- c. Longsor/turunnya material di sekitar lubang gerusan pada saat lubang cukup besar setelah terkena pusaran tapal kuda.

4. Pengertian *Check Dam Stones*

Check dam stones adalah bangunan yang berfungsi menampung atau menahan sedimen dalam jangka waktu sementara maupun tetap dan harus tetap melewatkannya air baik melalui mercu maupun tubuh bangunan. *Check dam stones* juga digunakan untuk mengatur kemiringan dasar sungai sehingga mencegah terjadinya penggerusan yang membahayakan stabilitas bangunan di sepanjang sungai, Michalec, (2014) dalam Rahayu, dkk (2017).

Check dam stones atau tanggul penghambat adalah bangunan kecil yang memiliki konstruksi sederhana yang dibuat pada alur jurang atau aliran sungai kecil. *Check dam stones* berfungsi sebagai pengendali sedimen dan aliran air yang berasal dari hulu sungai. *Check dam stones* memiliki dimensi (tinggi x panjang) maksimal kurang lebih 10 m yang tergantung pada kondisi lapangan pada penggunaan *check dam stones*.

Pemilihan dari lokasi bangunan *check dam stones* harus pada lokasi yang tepat dapat menguntungkan dari berbagai aspek seperti perencanaan, pengoperasian, dampak bangunan, dan lain sebagainya. Pemilihan lokasi *check dam stones* ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain:

- a. Kondisi topografi di lokasi *check dam stones* yang sebaiknya ditempatkan di daerah yang relatif datar dan luas agar volume tampungan sedimen menjadi lebih besar. Memiliki keuntungan menghindari pendangkalan sungai yang ada di hilir,

mengendalikan aliran air permukaan di daerah hilir, dan meningkatkan muka air tanah sekitar.

- b. Kondisi aliran sungai yang meliputi seperti aliran sungai, dengan kecepatan aliran sungai pada saat keadaan banjir, besar, sedang, kecil, kedalaman dan lebar permukaan aliran air pada saat banjir, dan ketinggian permukaan air pada waktu debit banjir.
- c. Kondisi tanah untuk pondasi yang sebaiknya pemasangan *check dam stones* di tempatkan pada lokasi tanah yang cukup kuat untuk menahan pondasi *check dam stones* agar kokoh dan stabil.
- d. Biaya pelaksanaan pembangunan *check dam stones* harus sangat mempertimbangkan besarnya biaya untuk pembangunan bangunan tersebut, teknis pengerjaan *check dam stones* dan tenaga yang harus dibutuhkan untuk membangun *check dam stones*.
- e. Faktor-faktor lain yang harus juga dipertimbangkan untuk pemabangunan *check dam stones* penggunaan lahan di sekitar bangunan, perkembangan di sekitar bangunan *check dam stones*, serta perubahan morfologi aliran sungai.

1) Jenis-Jenis *Check Dam Stones*

Menurut Nainggolan, (2016) jenis-jenis *check dam stones* dapat di bagi menjadi dua serta perencanaan pemasangan konstruksi *check dam stones*, letak dari bangunan *check dam stones* tersebut dan fungsi dari penggunaan *check dam stones* dalam aliran sungai.

- a) *Check dam stones* tertutup dibangun dengan menggunakan material bahan beton. *Check dam stones* tipe tertutup dapat berfungsi secara efektif untuk

mengendalikan aliran. Sedimen di daerah tampungannya dalam keadaan belum terisi sedimen (Mizuyama dkk, 1995; Mizuyama dkk, 2000; Shrestha dkk, 2007) dalam Nainggolan, (2016). Namun seringkali *check dam stones* tipe ini kurang efektif menahan sedimen karena keterbatasan permeabilitas dan ruang tampungan yang sempit. Mempertahankan kapasitas tampungan yang efektif akan membutuhkan upaya penggerukan dan penggalian dasar sungai di ruang tampungan sedimen sehingga menurunkan nilai kelayakan teknis dan ekonomis (Mizuyama, 2008; Osti dkk, 2007; Osti dan Egashira, 2008) dalam Nainggolan, (2016).



Gambar 7. *Check dam* tipe terbuka
(Sumber: Nainggolan, 2016)

- b) *Check dam stones* tipe terbuka dapat dibedakan dalam beberapa bentuk, seperti tipe *beam*, tipe *slit* dan tipe *grid* (Armanini dan Lacher, 2001; Lien, 2003; Wu dan Chan, 2003) dalam Nainggolan, (2016). *Check dam* tipe ini dapat berfungsi untuk menahan aliran debit. Namun sedimen akan melimpas bila aliran sudah mulai mengecil.



Gambar 8. *Check dam tipe beam*
(Sumber: Nainggolan, 2016)



Gambar 6. *Check dam tipe split*
(Sumber: Nainggolan, 2016)



Gambar 7. *Check dam tipe grid*
(Sumber: Nainggolan, 2016)

- 2) Perencanaan konstruksi persyaratan dan informasi dalam perencanaan teknis bangunan penahan sedimen *check dam stones*, sebagai berikut:
 - a) Parameter desain, meliputi parameter desain topografi, hidrologi, dan geoteknik yang merupakan analisis data.

- b) Data lain yang diperlukan seperti bahan bangunan tersedia, sarana prasarana, serta tenaga kerja tersedia.
- c) Hasil desain *check dam stones* harus menghasilkan bangunan yang memenuhi syarat sebagai berikut :
- i. Bangunan tidak boleh mengguling.
 - ii. Bangunan tidak boleh menggeser.
 - iii. Tekanan tanah pondasi tidak boleh > dari pada daya dukung tanah
 - iv. Tidak boleh terjadi tegangan tarik pada tanah dan tubuh bangunan.
 - v. Peluap *check dam stones* harus mampu melewatkhan debit desain.
 - vi. Mercu dan tubuh *check dam stones* harus aman terhadap abrasi dan benturan.
 - vii. Sayap *check dam stones* harus aman terhadap gerusan dan benturan.
 - viii. Lantai kolam olak harus aman terhadap terjunan dan benturan.
 - ix. *Check dam stones* harus aman terhadap gerusan lokal dan rembesan.
 - x. Tembok tepi harus terhindar dari terjunan.
- d) Tata letak *check dam stones* harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
- i. Lokasi *check dam stones* harus direncanakan pada tempat yang dasar sungainya dikhawatirkan akan turun.
 - ii. Disekitar titik pertemuan kedua sungai dengan lokasi disebelah hilirnya.
 - iii. Untuk melindungi pondasi dan bentuk konstruksi lainnya, lokasi *check dam stones* harus dibangun disebelah hilirnya.
 - iv. Direncanakan pada alur sungai yang tidak stabil dan diharapkan alur dapat diatur dan stabil oleh konstruksi *check dam stones*.
 - v. Sumbu *check dam* didesain tegak lurus dengan alur sungai disebelah hilirnya.

vi. Peletakan *check dam stones* sepanjang daerah *check dam stones*, diambil berdasarkan panjang tebing yang perlu dilindungi dengan memperhitungkan kemungkinan perubahan arus pada keadaan *check dam stones* terpasang.

Perencanaan bangunan *check dam stones* yang didasarkan pada perumusan yang sudah dirumuskan sehingga dapat mengantisipasi sejumlah sedimen yang dapat merusak dan dapat menimbulkan masalah baik dari alur aliran maupun daerah yang terancam dari aliran sedimen.

3) Berikut fungsi dari penggunaan bangunan penahan sedimen *check dam stones*, sebagai berikut:

- i. Penggunaan *check dam stones* diharapkan mampu untuk menahan sedimen yang mengalir turun.
- ii. *Check dam stones* mampu mengurangi energi dengan mengubah kondisi dari aliran kolektif debit menjadi aliran individu.
- iii. Menyediakan air untuk kebutuhan irigasi *water intake*.
- iv. Menjadi tempat untuk penambangan pasir, krikil dan batu.
- v. Untuk pelindungan jalan dan jembatan.
- vi. Sebagai jembatan pelintasan.

5. Pengertian Bronjong

Bronjong adalah bangunan yang dibuat mulai dari tebing sungai ke arah tengah guna mengatur arah arus sungai dan tujuannya adalah mengurangi kecepatan arus sungai sepanjang tebing sungai, mempercepat sedimentasi, menjamin keamanan tanggul atau tebing terhadap gerusan, mempertahankan lebar

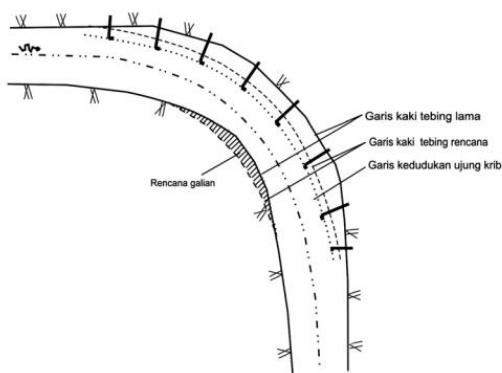
dan kedalaman air pada alur sungai, mengonsentrasi arus sungai (Neswati, 2017).

Bronjong berfungsi mengatur arah aliran, memperlambat aliran pada belokan sungai, serta melindungi tebing sungai dari pukulan air. Perlindungan dengan menggunakan bangunan bronjong, selain dapat dipasang pada belokan sungai juga dapat dipasang sebelum belokan sungai.

Menurut SK-SNI T-01-1990-F fungsi dan jenis bronjong sebagai berikut:

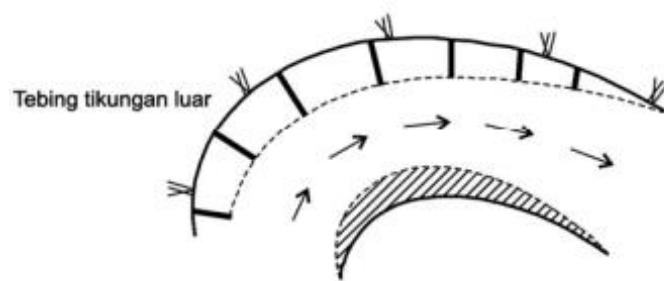
1) Fungsi pemasangan bangunan bronjong

- a) 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. Misanya pada tebing sungai yang dekat daerah potensial, pada belokan sungai. Maka bronjong harus dapat membelokkan arus dan kecepatan diantara 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 11. Sketsa perl letakan bronjong pada tikungan sungai
(Sumber: SNI 2400.1:2006)

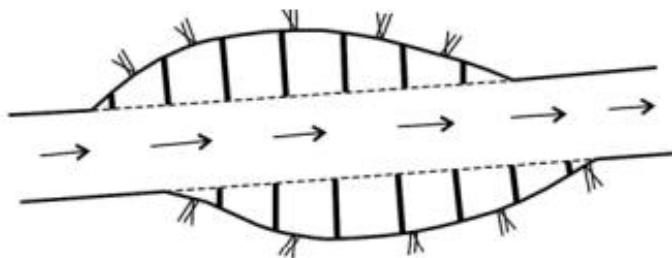
- b) Bronjong sebagai pengatur atau pengarah arus sungai sesuai dengan tujuannya misalnya pada bagian atas bangunan pengambilan terjadi perubahan arah arus. Sebagai pengarah untuk membelokkan aliran sungai agar sesuai dengan tujuannya yaitu:
- Bronjong untuk mengatur debit agar masuk ke percabangan sebagai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



Gambar 12. Sketsa bronjong sebagai pengarah arus
(Sumber: SNI 2400.1:2006)

- c) Bronjong sebagai pengarah untuk memperbaiki alinyemen sungai untuk keperluan tertentu yaitu:
- Untuk mempertahankan lebar dan kedalaman sungai yang dipakai keperluan navigasi maka bronjong dipasang pada tebing kiri dan kanan sungai.

- ii. Untuk memperbaiki alinyemen karena terjadinya longsoran tebing karena arus sungai maka bronjong dipasang secara serial guna memacu terjadinya endapan pada bagian tebing tersebut.



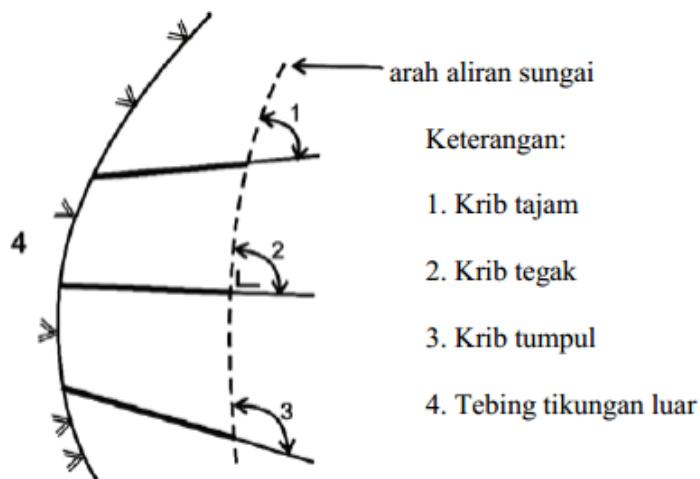
Gambar 13. Sketsa bronjong sebagai perbaikan alinimen sungai
(Sumber: SNI 2400.1:2006)

2) Jenis-jenis bronjong

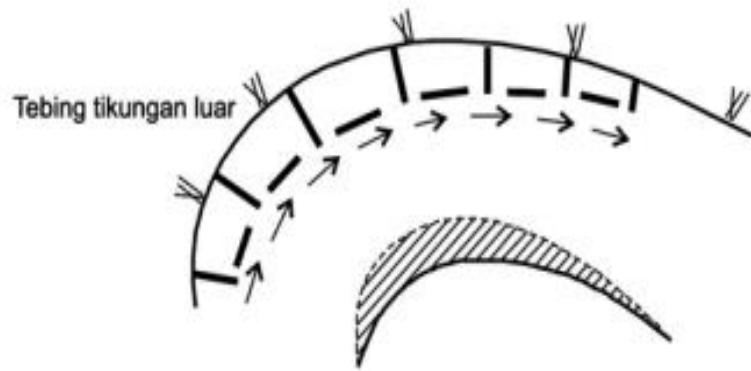
- a) Jenis Krib berdasarkan bahan pembuatannya, sebagai berikut:
 - i. Bronjong tiang panjang yang terbuat dari kayu.
 - ii. Bronjong tiang pancang terbuat dari beton bertulang.
 - iii. Bronjong yang berisikan batu.
 - iv. Bronjong yang terbuat dari beton dan berbentuk balok.
 - v. Bronjong pasangan batu.
- b) Berdasarkan sifat hidrauliknya, sebagai berikut:
 - i. Bronjong lolos air *permeable*, contoh bronjong tiang pancang.
 - ii. Bronjong kedap air *impermeable* contoh bronjong pasangan batu dan beton.
 - iii. Bronjong semi lolos air, semi *permeable* contoh bronjong batu, susunan geotekstil, susunan balok beton dan batu bongkah.

c) Berdasarkan formasi (arah pemasangannya):

- i. Bronjong melintang sungai yaitu bronjong dipasang melintang arah aliran, dibedakan menjadi bronjong tajam atau condong ke hulu sering disebut “*repelling groyne*”, bronjong tegak serta bronjong tumpul atau condong ke hilir sering disebut “*attracting groyne*”.
- ii. Bronjong memanjang yaitu bronjong dipasang sejajar arah aliran, sangat efektif untuk melindungi tebing namun kurang efektif dalam meningkatkan intensitas pengendapan, untuk itu digabung dengan bronjong melintang.
- iii. Gabungan bronjong melintang dengan bronjong memanjang dengan membentuk huruf T atau L dan disebut bronjong T atau bronjong L, peningkatan intensitas pengendapan terjadi karena sedimen yang terbawa dalam aliran sungai dapat terperangkap di antara bronjong melintang.



Gambar 14. Sketsa arah bronjong
(Sumber: SNI 2400.1:2006)



Gambar 15. Sketsa gabungan bronjong memanjang dan melintang
 (Sumber: SNI 2400.1:2006)

- d) Berdasarkan letak pemasangannya terhadap muka air:
 - i. Bronjong yang mercunya setinggi batas bantaran (bronjong tidak tenggelam).
 - ii. Bronjong yang diletakkan di dasar sungai sebagai pengarah arus yang disebut panil dasar (bronjong tenggelam) pada debit kecil dan pengendali gerusan.
- e) Berdasarkan kelenggangan pemasangan:
 - i. Bronjong permanen.
 - ii. Bronjong semi permanen.
 - iii. Bronjong darurat.
- f) Berdasarkan jumlah jenis material penyusun
 - i. Satu macam bahan penyusun, misalnya bronjong tiang pancang, bronjong batu, bronjong pasangan batu.
 - ii. Kombinasi dari beberapa macam bahan penyusun, misalnya bronjong tiang pancang kayu dikombinasikan.

g) Berdasarkan tempat pembuatan bronjong:

- i. Dibuat di lapangan.
- ii. Dibuat di pabrik contoh bronjong tiang pancang.

Penggunaan jenis bronjong yang sesuai untuk suatu lokasi harus ditentukan berdasarkan rezim sungai pada lokasi tersebut dengan memperhatikan tujuan pembuatan, tingkat kesulitan, dan jangka waktu pelaksanaan yang diperlukan untuk pemasangan bronjong.

Tabel 4. Hubungan jenis krib dengan jenis sungai.

Jenis Krib	Bahan Pembuatan	Jenis Sungai	Keterangan
Pasangan Batu	Batu Kali Setempat	Sungai Sedang dan Sungai Kecil	Sesuai untuk lokasi agar mudah didapat batu pecah
Balok Batu	Blok Beton Cetak ditempat Blok beton Pracetak	Bagian Berarus deras	Jika lokasi pekerjaan deras memungkinkan
Tiang Pancang	Kayu/bambu dan beton	Bagian berarus tidak deras	Terbatas pada lokasi yang memungkinkan pemancangan

(Sumber: Sosrodarsono 1990 dalam SNI 2400.1:2016, dalam Pradipta, 2018).

B. Kajian Penelitian Relevan

Tetuko, dan Wibowo (2007) dalam laporan proyek akhir konstruksi penanganan kerusakan tebing dipilih berdasarkan penyebab terjadinya kerusakan. Hasil analisis menyatakan bahwa kerusakan tebing yang terjadi diakibatkan oleh aliran sungai yang tererosi, maka alternatif konstruksi yang dapat digunakan sebagai pelindung tebing sungai adalah *revetment/bronjong* batu, *bronjong* batu atau *shotcrete*. Jika hasil analisis menyatakan bahwa kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh kecilnya stabilitas tebing, maka alternatif konstruksi yang dapat

digunakan adalah konstruksi *grouting*, konstruksi dinding penahan tanah, konstruksi *sheet pile*, atau konstruksi bronjong batu.

Hadipramono (2003) meneliti tentang gerusan lokal di sekitar krib. Penelitian ini simulasi dilakukan pada saluran hipotetik tampang segi empat. Kasus yang ditinjau mencakup gerusan pada krib tunggal dan ganda dengan variasi orientasi jarak krib. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gerusan terkecil terjadi pada krib yang condong ke hilir dan gerusan terbesar terjadi pada krib condong ke hulu. Gerusan di krib hulu berbanding lurus dengan jarak antar krib dan sebaliknya untuk gerusan krib di hilir. Krib tegak lurus aliran dan krib condong ke hilir melindungi tebing yang berada langsung di hilirnya, sedangkan pada krib yang condong ke hulu tebing yang terlindungi terpisah oleh daerah langsung di belakang krib yang mempunyai kecepatan arus lebih besar dari kecepatan batas aman.

Djufri (2017) melaporkan tentang studi pengaruh sudut belokan sungai terhadap volume gerusan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa volume gerusan berbanding lurus dengan sudut belokan sungai. Pengurangan volume gerusan melebihi 20% jika sudut belokan sungai berkurang dari 60° menjadi 30° . Peningkatan debit aliran juga memperbesar volume gerusan sampai mencapai lebih dari 100% pada belokan sungai dengan sudut yang kecil.

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 menunjukkan 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.

C. Kerangka Berpikir

Berdasarkan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan, terdapat beberapa macam tipe *check dam stones* dengan variasi jarak, letak pemasangan di belokan sungai, dan beberapa macam bronjong dengan variasi arah pemasangan. Diantara beberapa penelitian yang sudah dilakukan belum terdapat tipe *check dam stones* dan bronjong yang menggunakan bahan sama seperti kawat bronjong dengan variasi kombinasi pemasangan dari kedua bangunan perkuatan pada belokan sungai tersebut. Sehingga pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dari pengaruh variasi jarak dan kombinasi pemasangan dari kedua bangunan perkuatan tebing sungai tersebut, untuk mengurangi gerusan pada belokan sungai dengan aliran debit konstan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola gerusan yang terjadi pada belokan sungai model laboratorium dan mengetahui keefektifan pemasangan dari setiap perkuatan di belokan tebing sungai pada model laboratorium. Pengujian yang dilakukan dengan metode skala laboratorium dengan menggunakan saluran yang terdapat di Laboratorium Hidrolik JPTSP FT UNY.