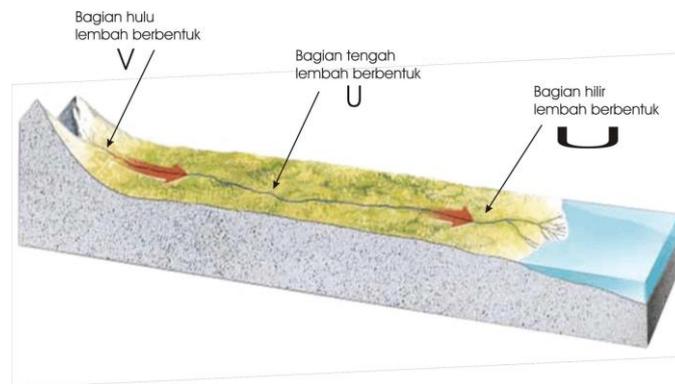


BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Sungai

Sungai merupakan suatu sistem saluran alami yang dibentuk oleh alam untuk mengalirkan air dari daerah hulu ke hilir. Aliran alami sungai merupakan sumber utama untuk memenuhi air bagi manusia. Hutan di pegunungan merupakan daerah tangkapan hujan, dan dari daerah tangkapan hujan ini mengalir pada anak-anak sungai menuju daerah bawah dan laut. Secara alami sungai mengalir dan melakukan aktivitas yang satu sama lain saling berhubungan, yaitu erosi (pengikisan), pengangkutan (transportasi), dan pengendapan (sedimentasi). Ketiga aktivitas tersebut tergantung pada faktor kemiringan daerah aliran sungai, volume air, dan kecepatan aliran. Bahan yang diangkut oleh sungai terdiri atas material halus yang melayang dan material kasar berupa bongkahan batu yang menggelinding di dasar sungai. Sungai mengalir pada tiga tingkatan yaitu atas/hulu, tengah, dan bagian bawah/hilir. Aliran bagian atas atau hulu sungai ditandai dengan lembah berbentuk V yang disebut sungai muda. Banyak mata air yang ditemukan pada daerah ini. Erosi yang intensif menghasilkan lembah curam, jurang, dan air terjun.



Gambar 3.1. Bentuk Lembah Sungai

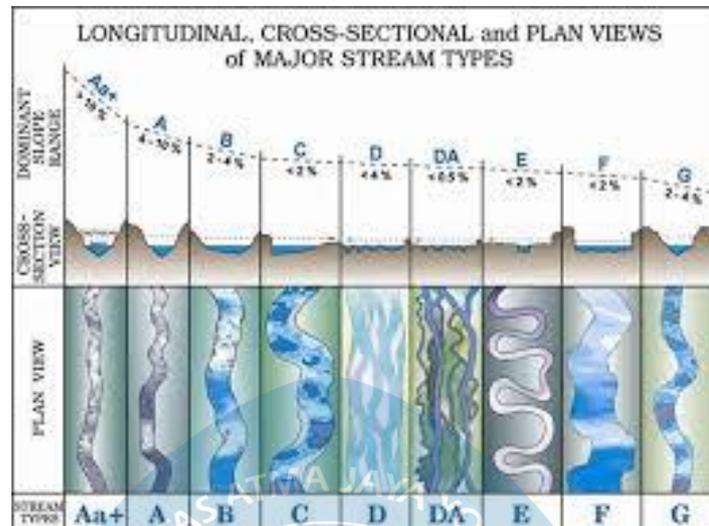
Sumber: www.uwsp.edu, (2019)

Aliran sungai pada bagian tengah ditandai dengan bentuk lembah U disebut sungai dewasa. Banyak terdapat anak-anak sungai yang menambah jumlah material yang harus diangkut ke hilir. Di wilayah ini terdapat banyak daerah sisa erosi dan secara perlahan mengakibatkan sungai mulai berkelok-kelok. Aliran bagian bawah ditandai dengan daerah yang datar dan disebut sungai tua. Terdapat beban yang sangat besar berupa material hasil erosi sangat banyak yang diendapkan pada kiri dan kanan aliran sungai dan kelokan-kelokan sungai membentuk dataran. Aliran sungai sangat perlahan melalui dataran banjir yang diendapkan di muara sungai disebut delta. Material hasil erosi yang lebih halus terbawa sampai laut yang akhirnya mengendap di dasar laut berupa lempeng kearah laut dan akhirnya membentuk delta.

3.2 Morfologi Sungai

Morfologi sungai merupakan sebuah ilmu yang mempelajari geometri (bentuk dan ukuran), sifat, jenis, dan perilaku sungai dengan segala aspek dan perubahan menurut Arsyad (2017). Dengan demikian maka morfologi sungai juga

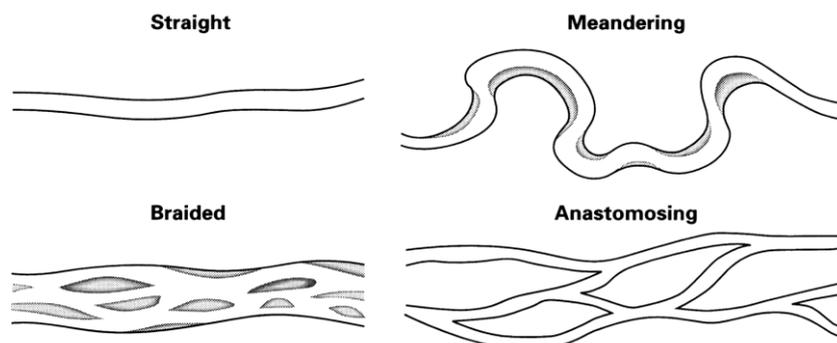
menyangkut sifat sungai yang dinamik dan lingkungannya yang saling berkaitan. Berikut adalah tipe-tipe morfologi sungai menurut Rosgen (1996).



Gambar 3.2. Tipe Morfologi Sungai Menurut Rosgen (1996)

Sumber: *Applied River Morphology* 1996

Secara garis besar sungai dengan tipe A memiliki kemiringan sungai berkisar 4%-10% dan membentuk sungai yang relatif lurus. Lalu pada sungai yang memiliki kemiringan dasar 2%-4% memiliki bentuk yang relatif bercabang-cabang (*anastomosing*) pada tipe D dan pada kemiringan yang sama juga bentuk sungai yang bermeander seperti tipe B, C, E, F, dan G.



Gambar 3.3. Tipe Morfologi Sungai

Sumber: Leopold, 1994

3.2.1. Sungai Lurus (*Straight*)

Sungai lurus merupakan sungai yang memiliki kemiringan dasar sungai yang relatif tajam, mengangkut sedikit sedimen, dan memiliki tampang sungai yang relatif sempit. Pada kondisi nyata dilapangan cukup sulit ditemukan tipe seperti ini, hal ini ditegaskan oleh Leopold *et al.* (1964) yang mengatakan bahwa panjang alur sekitar 10 kali lebar sungai, akan terjadi belokan.

3.2.2. Sungai Bercabang-Cabang (*Braided*)

Sungai bercabang umumnya terdapat pada daerah datar dengan energi arus alirannya lemah dan batuan di sekitarnya lunak. Sungai tipe ini bercirikan debit air dan pengendapan sedimen tinggi. Daerah yang rata menyebabkan aliran dengan mudah belok karena adanya benda yang merintang aliran sungai utama.

3.2.3 Sungai *Anastomosing*

Tipe ini terbentuk karena adanya dua aliran yang bercabang-cabang, dimana cabangnya bertemu kembali pada titik dan kemudian bersatu kembali dan membentuk satu aliran. Energi alir pada tipe ini rendah dan terdapat perbedaan antara sungai *braided*, karena pada aliran sungai *braided* menyebar dan kemudian bersatu kembali dalam lembah sungai yang lebar.

3.2.4 Sungai Berkelok (*Meandering*)

Pada tipe ini ditandai dengan adanya belokan-belokan sehingga alur sungai menyerupai huruf "S". Pada umumnya sungai dengan tipe berkelok memiliki erosi horizontal yang lebih besar dibandingkan erosi vertical, perbedaan ini semakin besar ketika aliran banjir. Hal ini mengakibatkan aliran sungai sering berpidah/bergerak secara mendatar. Sungai dengan tipe ini terbentuk karena

pergerakan menyamping akibat dari arus sungai yang berubah mengikuti bentuk lengkungan. Hasilnya pun akan berakibat pada suatu sisi pada alur sungai akan mengalami pengendapan hasil dari erosi dan kemudian akan membentuk sebuah meander.

3.3. Erosi

Erosi merupakan peristiwa alam yang umum terjadi di banyak tempat di belahan bumi. Istilah erosi digunakan dalam bidang geologi untuk menggambarkan proses pembentukan alur-alur atau parit-parit dan penghanyutan bahan-bahan padat oleh aliran air. Secara umum terdapat lima faktor yang menyebabkan dan mempengaruhi besarnya laju erosi yaitu iklim, karakteristik tanah, topografi, vegetasi, dan kegiatan manusia. Iklim menjadi faktor yang utama dan paling berpengaruh karena besarnya curah hujan yang dinyatakan dalam nilai indeks erosifitas hujan. Selain hujan, karakteristik tanah juga menjadi faktor yang berpengaruh besar pada proses erosi yang dinyatakan sebagai faktor erodibilitas tanah. Pengertian erodibilitas tanah sendiri ialah kepekaan tanah terhadap erosi atau mudah tidaknya tanah tersebut tererosi. Kedua faktor tersebut merupakan faktor yang mengambil peran besar dalam proses erosi dan faktor-faktor lainnya dianggap sebagai erosi potensial.

3.4. Pengendalian Erosi

Secara umum dampak erosi dinilai cukup merugikan bagi sungai dan bagi manusia yang berada disekitar sungai. Oleh karena itu perlu adanya perlakuan untuk mengurangi dampak erosi baik secara struktur maupun secara vegetasi. Pada wilayah yang masih sepi pemukiman, menggunakan cara vegetasi merupakan salah satu hal yang tepat karena cara ini secara alami pun akan terjadi.

Akar pada tanaman besar dapat meningkatkan stabilitas tanah dan kekuatan tanah. Namun bila akan diimplementasikan pada wilayah yang ramai pemukiman, pengendalian dengan cara struktur merupakan cara yang tepat. Karena penggunaan lahan yang relatif kecil daripada acara vegetasi. Berikut beberapa cara struktur untuk mengendalikan erosi.

3.4.1 *Dump Stones*

Batu curah (*dump stones*) merupakan bangunan pelindung tebing sungai yang terdiri dari batu pecah yang disusun sedemikian rupa dengan tebal lapisan batu dan sudut kemiringan tertentu. Keunggulan menggunakan *dump stone*.

- a. Material relatif mudah didapat.
- b. Pengerjaan mudah.
- c. Tidak memerlukan alat berat yang terlalu banyak.

Kelemahan menggunakan *dump stones*.

- a. Tidak efektif untuk mengatasi gerusan pada penampang yang berkelok kelok.
- b. Tidak efektif untuk wilayah dengan lereng kemiringan yang curam, karena diperlukan lapisan yang tebal.

3.4.2 **Dinding Penahan Tanah**

Biasanya terbuat dari beton tak bertulang atau dengan pasangan batu, sedikit tulangan diberikan pada permukaan dinding untuk mencegah retakan permukaan. Berikut keunggulan dinding penahan tanah.

- a. Dapat digunakan untuk mengatasi gerusan pada tampang sungai yang leratif lurus dan belokan ringan.
- b. Lebih kuat, karena terbuat dari material batu dan adukan beton.

Kelemahan menggunakan dinding penahan tanah.

- a. Dapat mempengaruhi ekosistem disekitar.
- b. Memerlukan banyak alat berat untuk pembangunannya.

3.4.3 Krib

Krib merupakan bangunan air yang secara aktif mengatur arah arus sungai dan mempunyai efek positif yang besar jika dibangun secara benar. Krib dibuat secara melintang terhadap arus sungai yang berfungsi untuk melindungi tebing yang tererosi dengan cara membelokkan aliran sungai agar menjauhi tebing sungai dan mengurangi kecepatan arus sungai. Berikut keunggulan menggunakan krib.

- a. Efektif untuk meredam kecepatan pada daerah tikungan sungai.
- b. Efektif digunakan untuk membelokkan aliran arus sungai.
- c. Melindungi tebing dari gerusan pada tikungan luar sungai.
- d. Memungkinkan terjadinya sedimentasi pada tikungan bagian sungai yang dilindungi sehingga dapat memperbaiki atau mengembalikan tebing ke kondisi semula.

Kekurangan krib.

- a. Tidak cocok untuk sungai-sungai yang sempit alurnya atau untuk sungai-sungai kecil.
- b. Dapat mengakibatkan gerusan di daerah hilir bangunan.
- c. Belum sempurnanya penelitian tentang analisis bangunan krib.

3.4.4 Turap

Turap adalah konstruksi yang dapat menahan tekanan tanah di sekelilingnya, mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari dinding

turap dan penyangga. Konstruksi dinding turap terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, serta membentuk formasi dinding menerus vertikal yang berguna untuk menahan timbunan tanah atau tanah yang berlereng. Berikut adalah kelebihan turap.

- a. Konstruksi ringan, kecil/tipis.
- b. Pelaksanaan relatif cepat.
- c. Dapat menyesuaikan pada belokan.

Kekurangan penggunaan turap.

- a. Tidak cocok untuk menahan tanah timbunan yang terlalu tinggi
- b. Tidak cocok untuk digunakan pada tanah berbatu

3.4.5 Bronjong Kawat

Menurut PT.Jongka Indonesia definisi bronjong kawat adalah anyaman kawat baja yang dilapisi seng atau galvanis. Anyaman kawat berbentuk sebuah kotak atau balok dan diisi dengan batu-batu ukuran besar untuk mencegah erosi.

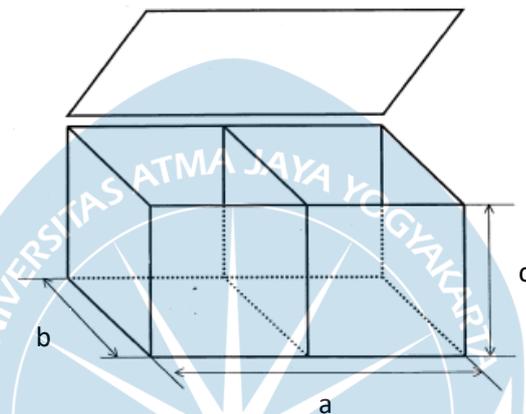
Keunggulan penggunaan bronjong kawat.

- a. Mudah didapat.
- b. Pemasangan tidak perlu menggunakan banyak alat berat.
- c. Lebih fleksibel sehingga dapat diaplikasikan disemua bentuk aliran dan tidak merusak konstruksi dasar.
- d. Ekonomis.

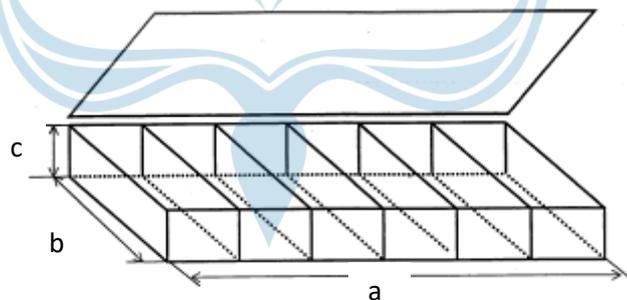
Kelemahan bronjong kawat.

- a. Tidak cocok untuk area dengan kadar garam dan asam tinggi.
- b. Tidak efektif untuk menahan erosi pada lahan yang berukuran kecil.

Bronjong kawat yang digunakan dalam perhitungan merupakan hasil produksi pabrik yang sudah diatur dalam peraturan SNI 03-0090-1999. Dimensi bronjong kawat pun telah diatur agar keseragaman produk di pasaran, namun tidak menutup kemungkinan untuk memproduksi bronjong kawat sesuai dengan permintaan. Dalam SNI 03-0090-1999 terdapat dua buah model bronjong kawat. Dimensi bronjong kawat menurut SNI 03-0090-1999 seperti berikut.



Gambar 3.4. Bronjong Kawat Bentuk I



Gambar 3.5. Bronjong Kawat Bentuk II

Tabel 3.3. Dimensi Bronjong Kawat Bentuk I

Kode	Ukuran (m)			Jumlah Sekat	Kapasitas (m ³)
	A	b	c		
A	2	1	1	1	2
B	3	1	1	2	3
C	4	1	1	3	4
D	2	1	0,5	1	1
E	3	1	0,5	2	1,5
F	4	1	0,5	3	2

Sumber: SNI 03-0090-1999

Tabel 3.4. Dimensi Bronjong Kawat Bentuk II

Kode	Ukuran (m)			Jumlah Sekat	Kapasitas (m ³)
	A	b	c		
G	6	2	0,17	5	2,04
H	6	2	0,23	5	2,76
I	6	2	0,30	5	3,60

Sumber: SNI 03-0090-1999

Dalam penelitian ini digunakan dua buah konfigurasi bronjong kawat yang masing – masing menggunakan bronjong kawat bentuk I tipe D sesuai SNI 03-0090-1999 dengan berat volume yaitu $\gamma_{\text{bronjong}} = 18,5 \text{ KN/m}^3$.

3.4.6 Buis Beton

Buis beton sudah lama dikenal sebagai salah satu item infrastruktur untuk saluran air atau drainase. Seiringnya dengan berjalannya waktu buis beton kini juga digunakan sebagai dinding penahan tanah karena dinilai lebih praktis dan terjamin mutunya mengingat buis beton merupakan salah satu produk *precast* atau biasa dikenal dengan pracetak. Menurut SNI 7832-2012 definisi beton pracetak merupakan konstruksi yang komponen pembentuknya dicetak atau difabrikasi. Pengolahannya baik di lahan produksi ataupun di lapangan yang kemudian dipasang dilapangan, sehingga membentuk sebuah bangunan. Buis beton pun termasuk pada dinding penahan dengan tipe gravitasi yang terbuat dari susunan batu yang dibungkus dengan menggunakan buis beton. Dalam penggunaannya sudah banyak dilakukan di beberapa daerah di Indonesia terutama di Provinsi Yogyakarta. Namun untuk kajian lebih mendalam terkait penggunaan buis beton masih sedikit referensi karena penggunaan yang relatif baru untuk penahan tanah di sungai. Untuk penggunaan buis beton di laut sudah terdapat Surat Edaran

Menteri Pekerjaan Umum No. 07/SE/M/2010 terkait Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai.

3.5 Aliran Pada Belokan

Aliran sungai lurus memiliki beberapa parameter yaitu besarnya koefisien *manning* (n), luas tampang basah (A), keliling basah (P), kemiringan dasar saluran (I), kecepatan aliran (v), dan debit sungai (Q). Dari berbagai parameter tersebut, pada aliran sungai lurus terdapat distribusi kecepatan maupun distribusi tegangan geser didalamnya. Menurut Kinori (1984), besarnya tegangan geser akan bertambah pada belokan sungai. Persamaan tegangan geser dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta = 0,42 \times \alpha \times \frac{d_{max}}{B} \times \frac{\sqrt{g}}{C} \quad (3-1)$$

dimana:

α = sudut kelengkungan saluran aliran sungai.

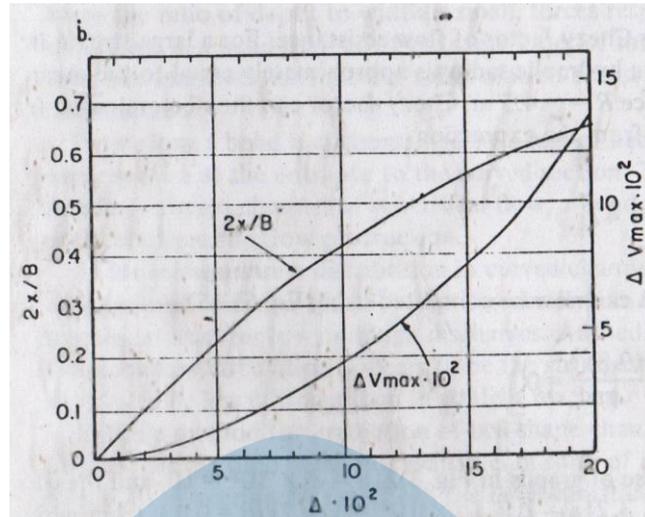
d_{max} = kedalaman maksimal. (m)

B = lebar sungai. (m)

C = koefisien Chezy, $C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$ (3-2)

g = percepatan gravitasi. (m^2/s)

Hasil perhitungan Δ kemudian dikalikan dengan 10^2 untuk mendapatkan nilai $2x/B$ dan nilai $\Delta_{maks} \times 10^2$. Untuk memperoleh besarnya nilai tersebut yaitu dengan cara plot nilai $\Delta \times 10^2$ pada grafik distribusi kecepatan pada belokan (Grafik 3.1.).

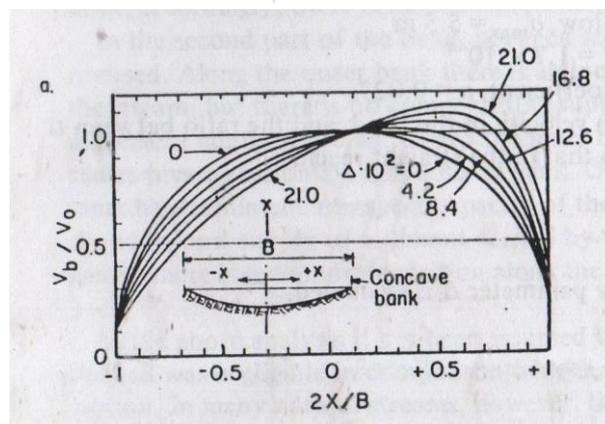


Grafik 3.1. Distribusi Kecepatan Pada Belokan

Sumber : *Manual Of Surface Drainage Engineering Vol.II*

$$x = \frac{(2x/B) \times B}{2} \quad (3-3)$$

Kemudian besarnya nilai $2x/B$ digunakan untuk menentukan nilai V_b/V_0 pada grafik 3.2. dengan memperhatikan besarnya $\Delta \times 10^2$ untuk menentukan kurva yang digunakan. Setelah mendapatkan besarnya nilai V_b/V_0 sehingga diperoleh nilai V_b .



Grafik 3.2. Hubungan nilai V_b/V_0

Sumber : *Manual Of Surface Drainage Engineering Vol.II*

$$V_0 = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad (3-4)$$

Hasil akhir dari perhitungan yang telah dilakukan adalah besarnya tegangan geser yang diakibatkan oleh arus sungai. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan besarnya tegangan geser yang terjadi sesuai persamaan Kinori seperti berikut.

$$\left[\frac{\tau_{belokan}}{\tau_{lurus}} \right]^2 \quad (3-5)$$

3.6 Curah Hujan Rencana

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan analisis terhadap debit banjir yang terjadi. Curah hujan rencana adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan tertentu, atau bagian hujan dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Metode analisis hujan rancangan tersebut pemilihannya sangat bergantung dari kesesuaian parameter statistik dari data yang bersangkutan, atau dipilih berdasarkan pertimbangan teknis lainnya seperti luas daerah tinjauan dan lain sebagainya. Metode perhitungan yang dipakai adalah sebagai berikut.

3.6.1 Metode Gumbel Tipe 1

Menurut Soewarno (1995) tujuan dalam analisa distribusi adalah menentukan periode ulang (*return period*). Distribusi Gumbel umumnya digunakan untuk analisis data maksimum. Gumbel memberikan persamaan untuk menghitung nilai kala ulang yang dinyatakan dalam rumus berikut. (Soewarno, 1995: 116)

$$X = \bar{X} + K.S \quad (3-6)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3-7)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (3-8)$$

$$K = \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \quad (3-9)$$

dimana:

- X = nilai varian curah hujan yang diharapkan terjadi (mm)
- \bar{X} = curah hujan rata-rata yang dalam periode yang diharapkan (mm)
- S = standar deviasi
- K = faktor frekuensi
- X_i = data curah hujan (mm)
- n = jumlah data
- Y_t = nilai reduksi varian
- Y_n = nilai rerata dari reduksi varian tergantung dari jumlah data
- S_n = standar deviasi dari reduksi varian tergantung dari jumlah data

3.6.2 Uji Kecocokan

Pengujian validasi data dimaksudkan untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi dan dari sampel data terhadap fungsi teoritis yang digunakan untuk menggambarkan atau mewakili hasil hipotesa. Dalam penulisan ini digunakan metode Chi-Kuadrat dan metode Smirnov-Kolmogorof.

a. Uji Chi Kuadrat

Menurut Soewarno (1995) Uji kecocokan Chi-Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi data yang dianalisis.

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Menurut Soewarno (1995) Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut uji kecocokan parametik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

3.7 Menghitung Stabilitas Bangunan Penahan

Gaya aktif tanah (P_a) selain menimbulkan terjadinya momen juga dapat menimbulkan gaya dorong sehingga dinding akan bergeser. Bila dinding penahan tanah dalam keadaan stabil, maka gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang. Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara tanah dasar dinding penahan tanah dengan tanah dasar fondasi (Suryolelono, 1994).

$$SF = \frac{f \cdot \Sigma(V)}{\Sigma(H)} \quad (3-10)$$

dimana.

$\Sigma(V)$ = keseluruhan gaya vertikal (kN)

$\Sigma(H)$ = keseluruhan gaya horizontal yang bekerja (kN)

f = koefisien gesekan

SF = faktor keamanan ($\geq 1,5$)

Tabel 3.1. Harga-Harga Perkiraan untuk Koefisien Gesekan

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60-0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Sumber: KP-02 Perencanaan Bendung, 1986

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultan semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horizontal. Khususnya pada konstruksi jembatan, pilar jembatan, dinding saluran dan lain-lain perlu diperhatikan terhadap gerusan yang diakibatkan oleh aliran air sehingga mengurangi besarnya tekanan pasif. Untuk ini tekanan tanah pasif dapat diabaikan dalam perhitungan (Suryolelono, 1994).

$$SF = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} \geq 2 \quad (3-11)$$

dimana:

$\sum Mt$ = momen tahanan terhadap guling (kNm)

$\sum Mg$ = momen total sesungguhnya yang menyebabkan guling (kNm)

Tekanan tanah pasif oleh tanah yang berada di depan kaki dinding depan sering diabaikan dalam hitungan stabilitas. Jika tahanan pasif yang ditimbulkan oleh pengunci dasar fondasi diperhitungkan, maka nilainya harus direduksi untuk mengantisipasi pengaruh-pengaruh erosi, iklim, dan tekanan akibat tegangan-tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

Selain menghitung faktor guling dan geser diperlukan juga analisis terhadap longsor dengan menggunakan metode potongan. Pada prinsipnya penghitungan metode potongan adalah menghitung berat terhadap sudut longsor dari tanah dengan membaginya menjadi pias-pias untuk mendapatkan angka amannya (SF) yang harus lebih besar dari 1,5.

$$\frac{C \times L + \sum W \cos \alpha \times \tan \theta}{\sum W \sin \alpha} \geq SF \quad (3-12)$$

dimana:

C = nilai kohesi tanah

L = total panjang irisan

$\sum W \cos \alpha$ = jumlah besarnya $W \cos \alpha$

$\sum W \sin \alpha$ = jumlah besarnya $W \sin \alpha$

