BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Sungai

Menurut Ven te chow dalam buku terjemahan *Saluran Hirdolika Saluran Terbuka* oleh E.V Nensi Rosalina (1997:17) sungai atau saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka (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.

Pada suatu saluran, aliran air yang ada di dalamnya bisa berupa aliran saluran terbuka *(open channel flow)* maupun aliran tertutup atau biasa disebut aliran pipa *(pipe-flow)*. Kedua jenis aliran tersebut berbeda dalam satu hal penting. Aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas *(free surface)*, sedangkan aliran pipa tidak demikian karena ia harus mengisi seluruh saluran. Sungai merupakan jenis saluran terbuka. Menurut asalnya saluran dapat digolongkan menjadi dua yaitu :

a. Saluran alam *(natural)*

   Saluran ini merupakan saluran yang terbentuk secara alamiah dibumi mengikuti semua alur air mulai dari anak selokan dipegunungan,selokan kecil,kali,sungai kecil,sungai besar sampai ke muara sungai. Aliran dibawah tanah dengan permukaan bebas juga dianggap sebagai saluran terbuka

alamiah. Dalam sungai ini sifat-sifat hidrolik saluran biasanya sangat tidak menentu.

b. Saluran Buatan *(artificial).*

Saluran buatan merupakan saluran yang dibentuk oleh manusia seperti saluran pelayran, saluran pembangkit listrik, saluran irigasi dan talang, parit pembuangan, pelimpah tekanan, saluran banjir, saluran pengangkutan kayu, selokan,dan sebagainya. Sifat-sifat hidrolik dari saluran ini dapat diatur menurut keinginan atau dirancang untuk memenuhi persayaratan tersebut.

2.2 Jenis jenis aliran

Aliran saluran terbuka dapat digolongkan menjadi berbagai jenis dan diuraikan dengan berbagai cara. Penggolongan berikut ini dibuat berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan waktu dan ruang. (Ven Te Chow terjemahan E.V. Nensi Rosalina 1997).

2.2.1 Aliran Tunak *(steady flow)*

Aliran dalam saluran dikatakan tunak *(steady)* bila kedalam aliran tidak berubah atau dapat dianggap konstan selama satu selang waktu tertentu.

Dalam aliran tunak terdapat dua macam aliran yaitu

- Aliran seragam *(uniform flow)*

  Dikatakan aliran seragam bila kedalam aliran sama pada setiap penampang saluran. Satu aliran seragam dapat bersifat tunak atau tidak tunak semuanya bergantung pada kedalamannya apakah kedalamannya berubah sesuai dengan perubahan waktu. Aliran seragam tunak *(steady uniform flow)*

merupakan aliran yang kedalamannya tidak berubah selama waktu tertentu yang telah diperhitungkan.

- Aliran berubah *(Varied flow)*

  Yang dimaksud dengan aliran berubah yaitu kedalam air yang berubah di sepanjang saluran dimana sifatnya bisa tunak maupun tak tunak. Aliran berubah terbagi lagi menjadi dua bagian yaitu aliran berubah tiba-tiba *(rapidlyvaried)* dan berubah lamban laun *(gradually varied).* Yang dimaksud dengan aliran berubah tiba tiba yaitu bila kedalamannnya mendadak berubah pada jarak yang cukup pendek begitupun sebaliknya berubah lambat laun. Aliran berubah tiba-tiba disebut juga sebagai gejala setempat (local phenomenom) misalnya seperti loncatan hidrolik dan penurunan hidrolik.

2.2.2 Aliran tak tunak *(unsteady flow)*

Aliran dikatakan taktunak *(unsteady)* bila kedalamannya berubah sesuai dengan waktu. Dalam hal ini ada juga terdapat Aliran seragam taktunak *(unsteady uniform flow*). Dikatakan aliran seragam taktunak *(unsteady uniform flow)* harus dengan syarat bahwa permukaan air berfluktuasi sepanjang waktu dan tetap sejajar dasar saluran.

2.3 Analisis Hidrologi

Analisis hirdrologi sangat diperlukan untuk mengetahui karakteristik hidrologi di daerah sungai Salolo.

Dalam analisis hidrologi salah satu aspek yang diharapkan untuk menunjang perancangan bangunan-bangunan hidrolik adalah penetapan banjir rencana pada suatu tahun periode ulang tertentu.

Analisis hidrologi mencakup :

1. Analisa Daerah Tangkapan Saluran *(Catchment Area)*

   Untuk penentuan luas *Catchments area* berdasarkan peta topografi hasil pengukuran lapangan

2. Analisa Data Hujan dan Penentuan Curah Hujan Rencana

   Lingkup kegiatan yang dilaksanakan dalam penentuan curah hujan rencana antara lain penentuan stasiun curah hujan yang berpengaruh untuk lokasi pekerjaan, analisa distribusi frekuensi dengan berbagai metode, pengujian dan pemilihan hasil analisis distribusi frekuensi curah hujan serta penentuan intensitas curah hujan rencana.

3. Analisa Debit Banjir Rencana

   Perhitungan debit banjir rencana untuk masing-masing lokasi dilakukan dengan cara Hidrograf Sintetis Nakayasu yang sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI.

2.3.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan kawasan yang dibatasi oleh titik-titik yang tinggi dan diairi oleh hujan yang jatuh kemudian berkumpul pada kawasan

daerah salolo. Daerah aliran sungai berfungsi untuk menerima, menyimpan, bahkan mengalirkan air hujan yang jatuh diatasnya melalui sungai.

Dalam daerah aliran sungai air mengalami siklus hidrologi secara alamiah. Air hujan yang jatuh di atas permukaan tanah sebagain akan terserap ke dalam tanah *(infiltrasi)*, sakan tetapi air yang tidak terserap tersebut akan tertampung sementara dalam cekungan-cekungan permukaan tanah *(surface detention)* dan kemudian akan mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah *(runoff)* untuk kemudian masuk ke sungai.

Batas wilayah daerah aliran sungai (DAS) dapat di ukur dengan cara menghubungkan titik-titik tertinggi di antara wilayah aliran sungai yang satu dengan yang lain. Dalam bahasa inggris daerah aliran sungai (DAS) kadang-kadang disebut *catchment area, river basin* ataupun *watershed.* Setiap daerah aliran sungai (DAS) dibatasi oleh punggung dan disebelah dalamnya terdapat sistem jaringan sungai, mulai dari sungai induk sampai dengan anak sungai. Maka karena itu daerah aliran sungai (DAS) tidak terlepas dari adanya pola aliran.

Ada dua daerah aliran sungai (DAS) bila ditinjau dari luasnya :

- Daerah aliran sungai (DAS). Maksudnya adalah daerah aliran sungai yang memiliki daerah tangkapan hujan yang luas.
- Daerah aliran sungai (DAS) sempit. Maksdudnya adalah daerah aliran sungai yang memiliki daerah tangkapan hujan sempit.

Ada tiga cara atau metode untuk menghitung rata-rata curah hujan di suatu daerah aliran sungai (DAS) yaitu :

1. Metode aritmatik dengan menjumlahkan rata-rata curah hujan harian setiap stasiun, kemudian dibagi dengan jumlah stasiun yang ada di daerah aliran sungai (DAS)
2. Metode *poligon thiessen* yang digunakan pada daerah yang stasiun hujannya tidak merata.
3. Metode *isohyet* yang merupakan metode dalam menghitung rata-rata curah hujan dengan membuat garis yang menghubungkan tempat-tempat yang memiliki curah hujan yang sama. Metode ini baik digunakan pada daerah aliran sungai (DAS) yang memanjang dan juga metode ini yang paling teliti jika dibandingkan dengan metode diatas.

Berikut ini merupakan masalah pada daerah aliran sungai (DAS) :

a. untuk kuantitas air :
   - Banjir
   - Kekeringan
   - Menurunnya muka air tanah
   - tingginya fluktuasi debit puncak dengan debit dasar.

b. Untuk kualitas air
   - Tingginya sedimentasi dan pengendapan lumpur didasar sungai
   - Tersemarnya air sungai dan air tanah
   - Peningkatan konsentrasi hara di dalam badan air

2.3.2 Penentuan Stasiun Hujan

Dalam menganalisa gerusan *(scouring)* diperlukan data curah hujan yang mengalir pada daerah aliran sungai yang akan ditinjau sehingga dengan demikian kita dapat menganalisa debit air yang mengalir pada sungai tersebut. Dalam analisa ini digunakan data curah hujan harian maksimum untuk tiap-tiap stasiun pengamat yang akan digunakan dalam analisa hidrologi dengan data minimal 10 tahun untuk masing-masing lokasi stasiun pengamat curah hujan. Dalam hal ini juga data yang digunakan adalah data hujan 24 jam.

Tidak dipungkiri dalam data stasiun hujan yang tercatat seringkali terjadi kesalahan misalnya datanya tidak lengkap atau terdapat data yang tidak konsisten. Hal-hal tersebut diakibatkan oleh kerusakan atau pemindahan alat penakar atau bisa juga kesalaha dari pencatat data. Oleh karena dalam pengolahan data hujan membutuhkan data yang kontinyu dan akurat, maka ada beberapa cara yang sering dilakukan untuk mentaksir data yang tidak lengkap tersebut dengan cara antara lain sepeti berikut (*Diktat Buku Hidrologi* Sipil ITB M.Syahril B.K):

1. Rata-Rata Aritmatik

   Syarat yang perlu diperhatikan dalam metode ini yaitu perbedaan curah hujan normal tahunan dari pos x yang hilang datanya dengan pos yang ada disekelilingnya > 10% dimana formulasinya :

$$Hx = \frac{1}{n}(Ha + Hb + Hc + \cdots + Hn) \qquad (2.1)$$

Dimana :

Hx : Curah hujan normal yang hilang

n : Jumlah Pos Hujan

Ha, Hb, Hc : Curah hujan bulanan di pos A, pos B, pos C

2. Perbandingan Normal

Syarat yang perlu diperhatikan dalam metode ini yaitu perbedaan curah hujan normal tahunan dari pos x yang hilang datanya dengan pos yang ada disekelilingnya > 10% dimana formulasinya :

$$Hx = \frac{1}{n}\left(\frac{Nx}{Na}Ha + \frac{Nx}{Nb}Hb + \frac{Nx}{Nc}Hc\right) \quad (2.2)$$

Dimana :

Na, Nb, Nc : curah hujan normal tahunan dari pos A, B, C

Hx, Ha, Hb, Hc : Curah hujan bulanan di pos X, A, B, C

2.3.3 Analisis Data Hujan

Dalam menentukan curah hujan rencana dapat ditentukan dengan terlebih dahulu melakukan beberapa analisis yaitu analisis frekuensi curah hujan rencana, analisis uji kecocokan sebaran kemudian analisis penentuan curah hujan wilayah rencana. Curah hujan ini diperlukan untuk menentukan debit banjir rencana pada daerah tinjauan.

Tujuan dari analisis frekuensi curah hujan adalah untuk memperoleh curah hujan dengan beberapa perioda ulang. Pada analisis ini digunakan beberapa metoda untuk memperkirakan curah hujan dengan periode ulang tertentu, yaitu:

a. Metoda Distribusi Normal

b. Metoda Distribusi Log Normal 2 Parameter

c. Metoda Distribusi Log Normal 3 Parameter

d. Metoda Distribusi Pearson Type III

e. Metoda Distribusi Log Pearson Type III

f. Metoda Distribusi Gumbel.

Metoda yang dipakai nantinya harus ditentukan dengan melihat karakteristik distribusi hujan daerah setempat. Periode ulang yang akan dihitung pada masing-masing metode adalah untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Uraian masing-masing dari metoda yang dipakai adalah sebagai berikut :

a. Metoda Distribusi Normal

Merupakan fungsi distribusi kumulatif (CDF) Normal atau dikenal dengan distribusi Gauss (*Gaussian Distribution*). Distribusi normal memiliki fungsi kerapatan probabilitas yang dirumuskan :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma.\sqrt{2.\pi}}.\exp\left[-\frac{1}{2}.\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < x < \infty \qquad (2.3)$$

Dimana :

μ dan σ adalah parameter statistik, yang masing-masing adalah nilai rata-rata dan standar deviasi dari varian.

b. Metoda Distribusi Log Normal 2 Parameter

Distibusi log normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah nilai variat X menjadi nilai logaritmik variat X.

Untuk distribusi log normal dua parameter mempunyai persamaan transformasi:

$$\text{Log } X_t = \overline{\text{Log}X} + K.\, S_{\text{log}X} \qquad (2.4)$$

dimana:

$\text{Log } X_t$ = Nilai logaritmik curah hujan untuk periode ulang T tahun (mm)

$\overline{\text{Log}X}$ = Nilai logaritmik curah hujan maksimum rata-rata

$S_{\text{log}X}$ = Standar deviasi logaritmik nilai X

K = Faktor variabel reduksi Gauss untuk distribusi Log Normal 2 prameter

Apabila perhitungan tanpa nilai logaritmik, dapat digunakan persamaan berikut:

$$X_t = \overline{X} + k.\, S_X \qquad (2.5)$$

dimana:

X_t = Nilai curah hujan untuk periode ulang T tahun (mm)

$\overline{X}$ = Nilai curah hujan maksimum rata-rata

S_X = Standar deviasi nilai X

k = Nilai karakteristik distibusi Log Normal 2 Parameter yang nilainya bergantung dari koefisien variasi (C_V)

$C_V = \frac{S_X}{\overline{X}}$

c. Metoda Distribusi Log Normal 3 Parameter

Distribusi Log Normal 3 Parameter dapat dituliskan sebagai:

$$X_t = \overline{X} + K.S_X \qquad (2.6)$$

dimana:

Xt = Nilai curah hujan untuk periode ulang T tahun (mm)

$\overline{X}$ = Nilai curah hujan maksimum rata-rata

S_X =Standar deviasi nilai X

K = Nilai karakteristik distibusi Log Normal 3 Parameter yang nilainya bergantung dari koefisien kemencengan (C_S)

d. Metoda Distribusi Pearson Type III

Secara sederhana fungsi kerapatan distribusi Pearson Type III adalah sebagai berikut:

$$Xt = Xi + KT.Si \quad (2.7)$$

Dimana:

Xi = Data ke-i

Si = Standar deviasi

Cs = Koefisien skewness

KT = Faktor sifat distribusi Pearson Type III, yang merupakan fungsi daribesarnya Cs yang ditunjukan pada tabel.

e. Log Pearson Type III

Secara sederhana fungsi kerapatan peluang distribusi Pearson Type III ini mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$\log Xt = \overline{\log} Xi + KT.Si \quad (2.8)$$

$$\overline{\log} X = \frac{\sum \log Xi}{N} \quad (2.9)$$

Si = standar deviasi

$$= \sqrt{\frac{(\log Xi - \log X)^2}{N-1}} \quad (2.10)$$

Cs = Koefisien skewness

$$= \frac{\sum(\log Xi - \log X)^2}{(N-1).(N-2)Si^3} \quad (2.11)$$

Dimana

KT = Koefisien frekuensi didapat dari tabel.

f. Metoda Distribusi Gumbel Type I Ektremal

Metoda distribusi Gumbel banyak digunakan dalam Analisis frekuensi hujan yang mempunyai rumus :

$$Rt = R + K. Sx \quad (2.12)$$

$$K = (yt - yn)/Sn. \quad (2.13)$$

$$Yt = - (0{,}834 + 2{,}303 \log T/T\text{-}1) \quad (2.14)$$

Dimana:

Rt = Curah hujan untuk periode ulang T tahun (mm).

R = Curah hujan maksimum rata-rata

Sx = Standar deviasi

K = Faktor frekuensi

Sn, Yn = Faktor pengurangan deviasi standar rata-rata sebagai fungsi dari jumlah data

Tujuan dari analisa frekuensi curah hujan ini adalah untuk memperoleh curah hujan dengan beberapa perioda ulang. Pada analisa ini digunakan beberapa

metoda untuk memperkirakan curah hujan dengan periode ulang dalam tahun tertentu.

Untuk Mengetahui distribusi frekuensi yang memenuhi kriteria perencanaan digunakan uji kecocokan. Pengujian kecocokan sebaran dengan metode Smirnov-Kolmogorov adalah untuk menguji apakah sebaran yang dipilih dalam pembuatan duration curve cocok dengan sebaran empirisnya. Prosedur dasarnya mencakup perbandingan antara probabilitas kumulatif lapangan dan distribusi kumulat teori. Secara lengkap urutan pengerjaan uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov yang dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Data curah hujan harian diurutkan dari kecil ke besar.
- Menghitung besarnya harga probabilitas dengan persamaan Weibull.
- Dari grafik pengeplotan data curah hujan di kertas probabilitas akan didapat perbedaan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris yang disebut dengan Δhit. Harga Δhit tersebut kemudian dibandingkan dengan Δcr yang didapat dari tabel Smirnov-Kolmogorov untuk suatu derajat tertentu (α), di mana untuk bangunan-bangunan air harga α diambil 5 %.
- Bila harga Δhit $<\Delta$cr, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan.

2.3.4 Analisis Debit Banjir Rencana

Penentuan debit banjir rencana, dilakukan menurut ketentuan Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, SNI. Penentuan debit banjir yang dilakukan

adalah dengan Metode Unit Hidrograf (*Hidrograf Sintetik*) Nakayasu dengan rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{C\,A\,R_o}{3{,}6(0{,}3T_p + T_{0,3})} \qquad (2.15)$$

dimana:

Q_p = debit banjir (m^3 / detik)

R_o = Unit curah hujan (mm)

T_p = Waktu konsentrasi (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan dari kulminasi sampai 30 % banjir (jam).

1. Rumus Kurva Menaik pada hidrograf

$$Q_a = Q_p\left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \qquad (2.16)$$

dimana:

Q_a = debit banjir sebelum debit puncak

t = waktu (jam)

2. Kurva menurun :

a. $Q_d > 0{,}3\,Q_p$: $Q_d = Q_p * 0.3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}}$ (2.17)

b. $0{,}3\,Q_p > Q_d > 0{,}32\,Q_p$: $Q_d = Q_p * 0{,}3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}}$ (2.18)

c. $0{,}32\,Q_p > Q_d$: $Q_d = Q_p * 0.3^{\frac{t-T_p+1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}}$ (2.19)

3. $T_p = t_g + 0{,}8\,t_r$ (2.20)

Untuk :

L < 15 km $t_g = 0{,}21\,L0{,}7$

L > 15 km $t_g = 0,4 + 0,058\ L$

Dimana:

L = panjang sungai/aliran (km)

t_g = waktu konsentrasi (jam)

t_r = 0,5 tg sampai tg (jam)

$T_{0,3}$ = αtg(hour)

4. Dengan besarnya α =
    a. daerah pengaliran biasa α = 2
    b. bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat α = 1
    c. bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat α = 3
5. Asumsi yang dipergunakan dalam perhitungan ini adalah :
    a. Panjang sungai
    b. Luas *catchment area* dan koefisien pengaliran

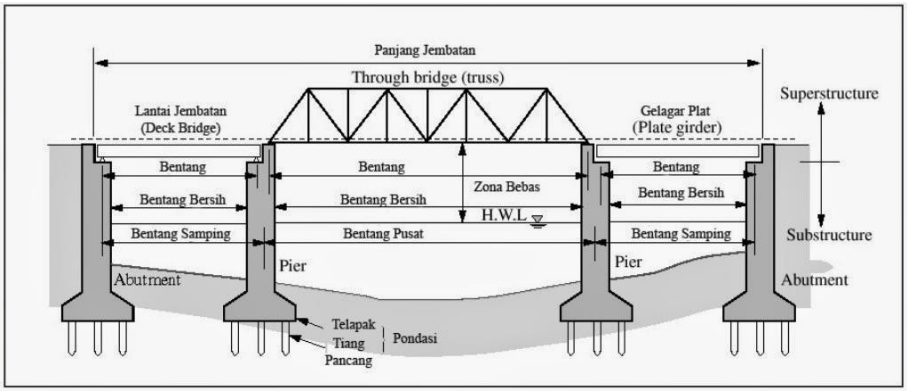
Koefisien pengaliran yaitu perbandingan tinggi limpasan air hujan maksimum dengan tinggi hujan rata-rata yang jatuh dipermukaan. Koefisien pengaliran dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi / hutan, lapisan penutup permukaan tanah, banyaknya cekungan rendah penahan air dan jenis material permukaan tanah.

2.4 Jembatan

Jembatan adalah bagian kontruksi jalan raya yang menghubungkan jalur jalan yang terputus karna adanya halangan seperti danau, rawa, lembah yang dalam, dan lainnya. Ada beberapa macam jembatan yaitu :

a. Jembatan berdasarkan fungsinya :
   - Jembatan jalan raya *(highway bridge),*
   - Jembatan Jalan Kereta Api *(railway bridge),*
   - Jembatan pejalan kaki atau penyeberangan *(pedestrian bridge).*
b. Jembatan berdasarkan bahan konstruksinya dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain :
   - Jembatan kayu *(log bridge),*
   - Jembatan beton *(concrete bridge),*
   - Jembatan beton prategang *(prestressed concrete bridge),*
   - Jembatan baja *(steel bridge),*
   - Jembatan komposit *(compossite bridge).*

2.5 Bagian-Bagian Jembatan



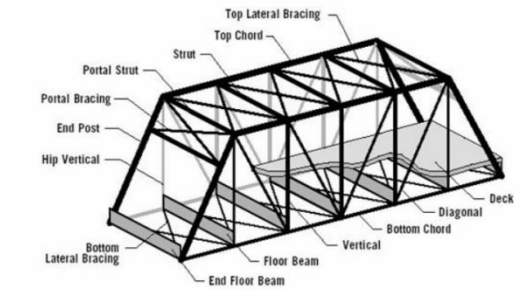
Gambar 2. 1 Bagian-bagian jembatan
(Sumber : www.google.com)

Pada jembatan terdapat bagian-bagian kontruksinya yaitu :

a. Struktur Atas *(superstructures)*

Bagian struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalulintas kendaraan, gaya rem,beban pejalan kaki, dan lainnya yang meliputu :

- Trotoar
- Slab lantai kendaraan
- Gelagar *(grider)*
- Balok diafragma
- Ikatan pengaku
- Tumpuan *(bearing)*

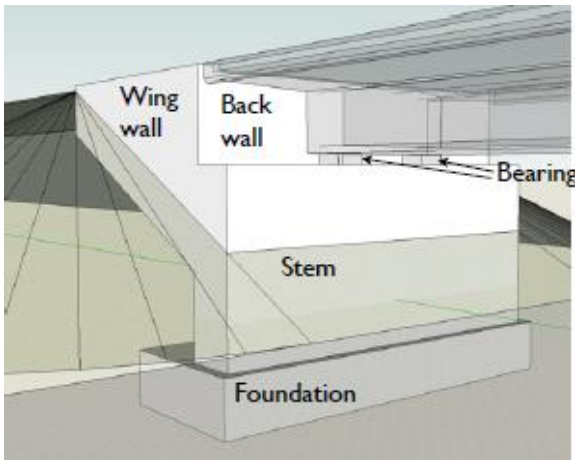


Gambar 2. 2 Struktur Atas Jembatan
(Sumber : https://fadlyfauzie.wordpress.com/2012/12/02/jembatan-box-girder/)

b. Struktur bawah *(substructures)*

Fungsi dari struktur bawah yaitu memikul beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan dan lainnya lagi yang kemudian disalurkan ke fondasi dan kemudian fondasi akan menyalurkan beban tersebut ke tanah dasar. Stuktur bawah daripada jembatan meliputi :

c. **Bagian-bagian abutmen**

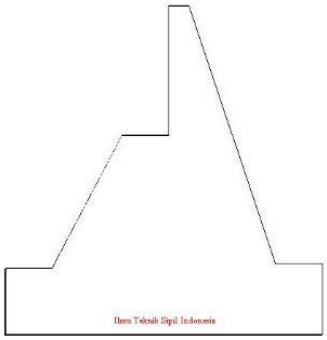


Gambar 2. 3Bagian-bagian abutmen
(Sumber : https://fadlyfauzie.wordpress.com/2012/12/02/jembatan-box-girder/)

Pada kontruksi bagian bawah jembatan dan lebih spesifiknya pada abutmen jembatan memiliki beberapa jenis model atau tipenya. Yaitu :

a. Tipe gravitasi

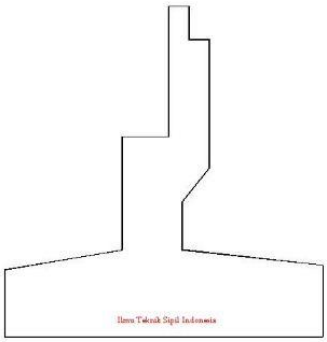
   Tipe abutmen ini sering digunakan pada konstruksi yang tidak terlalu tinggi dan bentang yang tidak terlalu panjan serta material yang digunakan pasangan batu kali atau beton tumbuk.



Gambar 2. 4 Abutmen tipe gravitasi
(Sumber : http://www.ilmutekniksipilindonesia.com/2015/04/artikel-jembatan-abutment-teknik-sipil.html)

b. Tipe T terbalik

Tipe T terbalik ini sering digunakan pada kontruksi yang tinggi dan material yang digunakan beton bertulang. Tipe T ini merupakan tembok penahan yang tersusun dari kantilever tersusun dari suatu tembok memanjang dan sebagian suatu plat kekakuan tembok

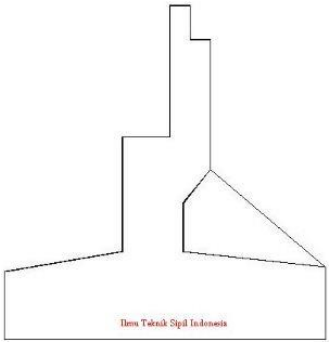


Gambar 2. 5 Abutmen tipe T terbalik

(Sumber : http://www.ilmutekniksipilindonesia.com/2015/04/artikel-jembatan-abutment-teknik-sipil.html)

c. Tipe dengan penopang

Tipe ini hampir mirip dengan tipe T terbalik. Hanya saja diberi penopang pada sisi belakang *(counterfort)* yang tujuannya memperkecil gaya yang bekerja pada tembok memanjang dan pada tumpuan. Kegunaannya juga sama dengan tipe T terbaik digunakan pada konstruksi jembatan tinggi dan material dari beton bertulang.

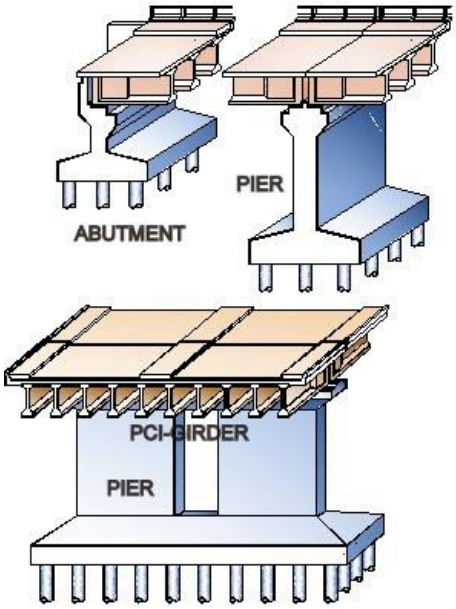


Gambar 2. 6 Abutmen tipe T terbalik dengan penopang
(Sumber : http://www.ilmutekniksipilindonesia.com/2015/04/artikel-jembatan-abutment-teknik-sipil.html)

- Dinding belakang *(back wall)*
- Dinding penahan*(breast wall)*
- Dinding sayap*(wing wall)*
- Oprit, plat injak*(approach slab)*
- Konsol pendek untuk *Jacking (corbel)*
- Tumpuan *(bearing)*

Pilar jembatan *(pier)*

- Kepala pilar *(pier head)*
- Pilar *(pier),*yang berupa dinding,kolom, atau portal
- Konsol pendek untuk jacking *(corbel)*
- Tumpuan *(bearing)*



Gambar 2. 7 Pilar Jembatan

Sumber :

(http://2.bp.blogspot.com/_mxDRpzqGAuQ/TIk2NIJyWiI/AAAAAAAAAKM/wRWQ82BiYIU/S460/abutment-pier.bmp.jpg)

d. Fondasi

Fondasi jembatan memiliki fungsi yaitu meneruskan seluruh beban jembatan ke tanah dasar. Berdasarkan sistemnya, fondasi *abutment* atau *pilar* jembatan dapat dibedakan menjadi :

- Fondasi telapak *(spread footing)*
- Fondasi sumuran *(caisson)*
- Fondasi Tiang *(pile foundation)*

Dalam kontruksi jembatan tidak dipungkiri ada banyaknya kegagaln yang terjadi antara lain :

2.6 Kegagal Umum konstruksi jembatan

Tidak dipungkiri di setiap konstruksi pasti akan ada faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan dari konstruksi tersebut. Begitu juga pada konstruksi jembatan. Ada banyak kegagalan pada konstruksi jembatan yang mengakitkan struktur tersebut hancur. Berikut merupakan kegagalan struktur pada jembatan secara umum berdasarkan bagian-bagian konstruksinya :

a. Bangunan bawah jembatan (pondasi) :
   - Amblas yang berarti elevasi pondasi berada pada level rendah daripada rencana
   - Pondasi miring
   - Gerusan di sekitar abutmen

b. Bangunan atas Jembatan
   - Keretakan pada struktur
   - Lendutan yang berlebihan
   - Getaran atau goyangan yang melebihi rencana
   - Rusaknya lantai kendaraan
   - Kerusakan pada tumpuan
   - Kerusakan expansion joint

Dari faktor kegagalan pada konstruksi jembatan diatas, maka perlu sekali juga diperhatikan konstruksi bawahnya seperti pada abutmen atau pondasinya. Berikut ini contoh yang merupakan kegagalan konstruksi jembatan pada abutmennya adalah :

1. Jembatan yang menghubungkan Kabupaten Tulungagung dengan Kabupaten Kediri ambruk karena abutmennya tergerus secara cepat oleh banjir.



Gambar 2. 8 jembatan Kabupaten Tulungagung Jawa Timur
(Sumber : https://www.jengpatrol.com/wp-content/uploads/2017/02/Pemkab-Kediri-dan-Tulungagung-Tunggu-Petunjuk-Pemprov-untuk-Perbaiki-Jembatan-Ambruk.jpg)

2. Ambruknya jembatan Ufalen yang terletak di Desa Ngodimeda, Kecamatan Rote Tengah juga karena gerusan akibat banjir yang dengan cepat menghancurkan pondasi jembatan dengan gerusan.



Gambar 2. 9 jembatan Kabupaten Tulungagung Jawa Timur
(Sumber : http://www.expontt.com/wp-content/uploads/2017/01/jembatan-ufalen1.jpg)

2.7 Gerusan

Gerusan *(scouring)* merupakan proses alamiah yang terjadi disungai karena perngaruh dari morfolgi sungai seperti tikungan, loncatan air karena kondisi sungai, penyempitan aliran bahkan karena adanya bangunan air yang menghalangi jalur air tersebut. Karena hal-hal tersebut akan menimbulkan suatu jenis aliran sehingga mengakibatkan perubahan kecepatan dan turbulensi yang merubah transport sedimen hingga mengakibatkan gerusan. Menurut Legono (1990) dalam skripsi herry (2006) bangunan yang mengahalangi jalur air dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal disekitar bangunan tersebut.

Laursen(1952) dalam skripsi herry (2006) mendefenisikan gerusan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material atau butiran dasara disekitar abutmen jembatan melalaui gerakan aksi fluida. Gerusan lokal *(local scouring)* terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen di transport lebih besar dari sedimen yang disuplai.

Didalam buka *Hydraulic Engineering Circular No.18* oleh *U.S Department of Transportation Federal Highway Administration* menjelaskan bahwa sebuah konstruksi jembatan yang akan dibangun harus memperhatikan dan menghitung desain besar gerusan lebih besar dari gerusan yang di akibatkan oleh besarnya benjir rencana. Dibawah ini merupakan penyajian rekomendasi dasar desain gerusan per frekuensi banjir dimana desain gerusan frekuensi banjir harus lebih besar dari desain hidrolik frekuensi banjir.

Tabel 2. 1 Desain Hidrolik, Desain Gerusan dan Gerusan Dengan Frekuensi Banjir

Desain Hidrolik Frekuensi Banjir, Q_d	Desain Gerusan Frekuensi Banjir, Q_s	Desain Gerusan untuk Pengecekan, Qc
Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}
Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}

(Sumber : Department of Transport and Main Roads, maret 2003)

Desain gerusan frekuensi banjir disajikan lebih besar dari desain hidrolik frekuensi banjir karena ada kemungkinan besar bahwa frekuensi debit banjir yang terjadi selama masa layan jembatan akan melebihi nilai debit banjir rencana.

Berikut ini merupakan langkah dalam desain gerusan yang jembatan baru :

1. Pilih debit banjir (s) yang diharapkan akan menghasilkan kondisi gerusan terparah. Misalkan, jika jembatan ini dirancang untuk kapasitas hidrolik Q_{25}, maka desain gerusan Frekuensi Banjir adalah Q_{50} dan desain gerusan Frekuensi Banjir untuk pengecekan adalah Q_{100}.
2. Menentukan parameter Hidrolik untuk mengestimasi gerusan pada langkah awal.
3. Memperkirakan gerusan total (*total scour*) untuk kondisi hidrolik diidentifikasi dari langkah 1 dan 2 di atas. gerusan yang dihasilkan dihitung dari peristiwa banjir yang dipilih harus dipertimbangkan dalam desain

pondasi. Untuk kondisi ini, faktor keamanan geoteknik minimum secara umum yang diterima oleh FHWA, AASHTO, dan titik-titik harus diterapkan. Misalnya, untuk kapasitas dukung rencana melalui gesekan, faktor umum diterapkan keselamatan berkisar dari dua hingga tiga

4. Plot kedalaman gerusan total yang diperoleh pada Langkah 3 pada penampang saluran sungai dan dataran banjir di lokasi jembatan.
5. Mengevaluasi hasil yang diperoleh pada Langkah 3 dan 4 untuk menjadi bahan pertimbangan. Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi besarnya estimasi gerusan keseluruhan yang mencakup durasi ekstrim cuaca, erodibilitas dari bahan saluran, kondisi aliran, es dan puing-puing, dan lainnya. Untuk memastikan perkiraan yang paling diandalkan dari gerusan, kita juga harus memiliki pemahaman tentang teori dan pengembangan prosedur yang digunakan untuk menentukan gerusan. Berdasarkan faktor-faktor tersebut di atas, kedalaman gerusan (s) diadopsi untuk digunakan dalam desain mungkin berbeda dari nilai yang dihitung (s)
6. Mengevaluasi ukuran jembatan diusulkan, konfigurasi, dan elemen dasar berdasarkan analisis penggerusan yang dilakukan di langkah 3 sampai 5.
7. Melakukan analisis pondasi jembatan. Semua pondasi harus dirancang sesuai dengan Spesifikasi AASHTO Standar untuk *Highway Bridges* (AASHTO 1992a). Dalam kasus pondasi tiang pancang, tiang pancang harus dirancang untuk tambahan lateral yang menahan beban sendiri dan kolom karena peningkatan panjang tiang yang tidak didukung selama dan setelah gerusan.

Dalam ilmu gerusan ada dua kategori gerusan yang terjadi pada struktur (Ichsanul,2014:176) yaitu :

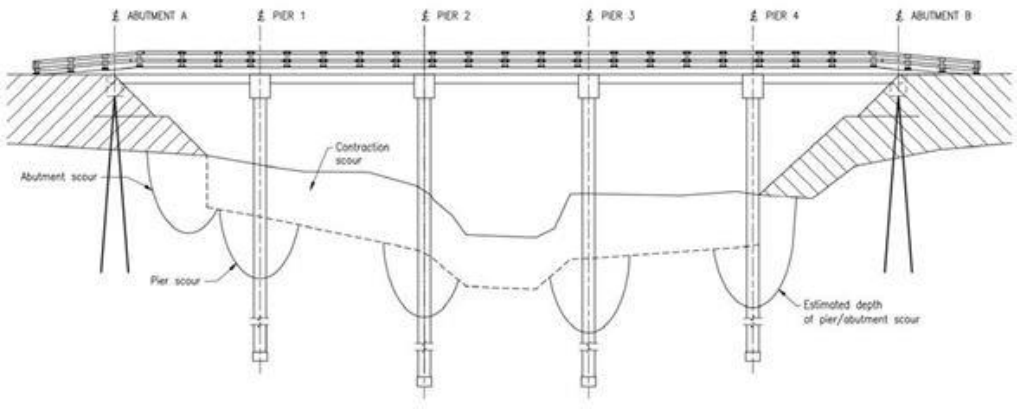
Berdasarkan tipe gerusan

Tipe gerusan dalam hal ini ada 3 tipe :

1. *Total scour* yaitu gerusan yang terjadi pada sebuah sungai atau saluran yang dihasilkan oleh proses alami tanpa adanya pengaruh atau gangguan dari sebuah struktur bangunan. Tiga komponen utama yang diperhatikan dalam gerusan pada *total scour* yaitu :
   - Degradasi jangka panjang pada sungai.

     Degradasi pada suatu sungai terjadi apabila debit yang dating lebih kecil daripada kemampuan transport sedimen. Dalam hal ini yang terjadi adalah tererosinya dasar sungai sehingga dasar sungai tersebut menjadi turun.
   - *Contraction scour* pada jembatan tersebut
   - *Local scour* yang terjadi pada abutmen maupun pilar jembatan
2. *local scour* yaitu gerusan yang terjadi akibat langsung dari bangunan pada aliran sungai.
3. *Contraction Scour* yaitu gerusan yang terjadi akibat penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat.

Gambar dibawah ini menunjukkan komponen gerusan yang terjadi pada jembatan.



Gambar 2. 10 Komponen gerusan yang terjadi pada jembatan
(Sumber : Department of Transport and Main Roads, maret 2003)

Secara umum ada 3 sifat alami daripada gerusan yaitu :

1. Besarnya gerusan akan sama dengan jumlah material yang diangkut keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang diangkut masuk ke dalam daerah gerusan.
2. Besarnya gerusan akan berkurang apabila tampang basah di daerah gerusan bertambah (misalnya karena erosi)
3. Untuk satu kondisi aliran akan ada suatu keadaan gerusan yang disebut gerusan batas, besarnya akan asimtotik terhadapat waktu.

Dalam gerusan adanya terdapat beberapa faktor yang dapat mengakibatkan gerusan tersebut (ichsanul 2014:177) :

- Kecepatan aliran dan intensitas turbulen sangat berpengaruh terhadap proses perkembangan gerusan pada transisi antara *fixed* dan *erodible bed.*

- Kedalaman aliran. Gerusan yang terjadi dipengaruhi oleh kedalaman dasar sugai dari muka air (tinggi aliran zat air), maka kecepatan relatif dan kedalaman relatif merupakan faktor penting untuk mengestimasi kedalama gerusan lokal.
- Jenis abutmen dan pilar jembatan yang menghalangi saluran sungai dimana gerusan yang terjadi disekitar pilar jembatan disebabkan oleh adanya perubahan pola aliran. Perubahan ini terjadi akibat adanya aliran air yang ditahan oleh pilar jembatan sehingga selama hal ini berlangsung sehingga aliran yang ke arah hilir berbelok ke samping dan jika tekanan semakin cukup kuat akan membuat pusaran air pada dasar pilar sehingga sedimen akan terangkat dan menimbulkan gerusan pada pilar tersebut. Bergitu juga pada abutmen jembatan.

Berdasarkan kecepatan aliran dan kedalaman aliran laursen (1960) dalam (ichsanul 2014:177) HEC-RAS menemukan bahwa pada gerusan dengan angkutan sediment *live bed scour* pengaruh kecepatan aliran terhadap gerusan sangat kecil tetapi yang mempengaruhi kedalaman gerusan adalah kedalaman airnya. Pada *clear water scour*, kecepatan aliran sangat berpengaruh terhadap kedalaman gerusan.

2.7.1 Total *Scour*

Gerusan total adalah gerusan yang terjadi pada abutmen atau pilar jembatan dengan kombinasi gerusan lokal *(local scour)* dan gerusan umum *(general scour)*. Selain daripada itu bisa terjadi kombinasi gerusan lokal *(local scour)*,gerusan

umum *(general scour)* dan gerusan terlokalisir atau penyempitan *(localized scor / constriction scour).*

General Scour

general scour merupakan suatu proses alami yang terjadi pada sungai sehingga akan menimbulkan degradasi dasar. Yang dimaksud dengan gerusan umum yaitu penambahan kedalam dasar saluran akibat adanya interaksi antara aliran yang terjadi pada sungai dengan material dasar sungai. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya angkutan sedimen pada sungai (ekarismaza 2008), yang terbagi atas :

1. Angkutan sediman dasar yang artinya adalah pergerakan material lepas dasar sungai yang bergerak mengelinding, bergeser atau melompat akibat gaya seret aliran didasar sungai.
2. Angkutan sedimen layang yang berarti adanya pergerakan material lepas dari dasar sungai atau hali kikisan dari daerah tangkapan hujan serta bergerak melayang bersama aliran dan dapat mengendap jika berat material tersebut lebih besar dari kombinasi gaya angkat air dan gaya akibat turbulensi aliran.
3. Angkutan sedimen adalah pergerakan material lepas yang berasal dari hasil kikisan daerah tangkapan hujan yang bergerak melayang bersama aliran, sukar mengendap kecuali ditampungan waduk atau muara sungai.

2.7.1 *Contraction Scour*

Departemen Transportasi and Jalan USA(Maret 2003), *Contraction Scour* disebabkan oleh penyempitan di dataran banjir yang secara alami terjadi akibat

singkapan batu yang menghalangi aliran. *Contraction scour* pada infrastruktur terjadi bila luas saluran sungai berkurang baik oleh bangunan air seperti jembatan ataupun arus *overbank* yang dibatasi oleh tanggul jalan raya sehingga menghasilkan peningkatan kenaikan kecepatan rata-rata dan tegangan geser dasar. Hal tersebut akan mengakibatkan peningkatan kekuatan erosif dalam kontraksi dan lebih banyak material dasar yang diangkut dari sekitar kontraksi daripada yang masuk ke daerah kontraksinya sehingga terjadi penurunan ketinggian dasar. Beriringan dengan penurunan tersebut maka terjadi penurunan kecepatan dan tegangan geser .

Contraction Scour terbagi atas, yaitu :

1. *clear water scour*

clear water scour yaitu gerusan yang terjadi bila tidak ada material dasar yang di angkut dari hulu ke hilir. Maksudnya adalah kecepatan aliran sungai kurang dari kecepatan kritis material dasar (V/Vc<1). Suatu kedalam maksimum *local scour* akan tercapai bila aliran tidak bisa lagi mengangkut material di daerah gerusan. Contoh kasus ini yaitu pada suatu sungai yang pada bagian hulu terdapat bendungan sehingga memungkinkan sedimen tertahan.

Rumus :

Kecepatan kritis :

$$V_c = 6.19 {y_{ms}}^{1/6} {D_{50}}^{1/3} \quad (2.21)$$

Clear water contraction scour merekomendasikan persamaan :

$$(y_{ms})_c = \left[\frac{0.025Q^2}{{D_m}^{2/3}W^2}\right]^{3/7} \quad (2.22)$$

Persamaan *clear water* HEC-RAS :

(V/Vc<1) $$y_s = (y_{ms})_c - y_0 \quad (2.23)$$

$$D_m = 1.25\, D_{50} \quad (2.24)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran

τo = c = Tegangan geser pada dasar

Vc = Kecepatan kritis

τc = D = Tegangan geser dari partikel tertentu

2.live bed scour

Live bed scour yaitu gerusan yang terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak atau secara teoritik ($v/_{vc}$ > 1). tegangan geser pada saluran lebih besar dari nilai kritiknya. Sebagai contohnya adalah ketika terjadi proses limpasan air dari hulu ke hilir maka gerusan dasar akan terjadi dan terjadi penurunan dasar. Karena sifat dasar siklik dari *contraction scour* sehingga mengakibatkan kesulitan dalam menentukan kedalam *contraction scour* setelah terjadinya banjir. Oleh sebab itu, hal tersebut menjadi suatu alasan

pentingnya menghitung kedalaman gerusan dan perlunya pemeriksaan pasca banjir.

Pada gambar 2.15 sebagai contoh perkembangan gerusan pada pondasi atau abutmen selama tiga kejadian banjir. Pada gambar tersebut jelas terlihat bahwa gerusan terjadi karena peletakkan abutmen yang memotong aliran sungai. Dalam hal ini material dasar hanyut atau tergerus dan material tersebut tidak akan tergantikan kembali . hal ini dapat menyebabkan terjadinya *clear water scour* pada kemorosotan atau kemunduran bagian jembatan karena diakibatkan aliran air yang keluar dari *bank* sungai yang biasanya tidak mengangkut material dasar yang signifikan. Selain itu, gerusan lokal pada abutmen kemungkinan akan menjadi besar karena aliran *clear water* kembali pada saluran utama setalah abutmen dihilir yang membuat aliran vortex terjadi akibat terhalangnya saluran sungai tersebut. Untuk memastikan terjadinya pengangkutan material dasar, maka perlu menghitung kecepatan kritis dengan pendekatan unutk material dasar D50 dan dibandingkan dengan kecepatan rata-rata. Selain dari itu, unutk memastikan material dasar akan hanyut melalui kontraksi dengan menentukan rasio kecepatan geser (v*) dengan kecepatan jatuh (ω) dari D50 material dasar yang diangkut dari sekitar hulu.

Faktor lain yang bisa menyebabkan terjadinya *contaction scour* yaitu :

a. Adanya penyempitan saluran alami
b. Jalan dekat jembatan diatas dataran banjir
c. robohnya timbunan

d. tanggul alami disepanjang tepi akibat endapan

e. tumbuhan vegetative di saluran

f. tekanan aliran.

Air yang dibendung dalam kasus ekstrim dapat menurunkan kecepatan, tegangan geser dan pengangkutan sedimen dibagian hulu. Hal ini akan memperbesar gerusan dibagian *contration*. Persamaan ini mengasumsikan bahwa material dasar diangkut dari bagian hulu.

Untuk persamaan *live-bed scour* ada persamaan laursen tahun 1960 yang dimodifikasi pada kontraksi yang panjang yang dianjurkan unutk memprediksi kedalaman gerusan dibagian yang terkena (laursen 1960). Persamaan tersebut mengasumsikan bahwa material dasar diangkut dari bagian hulu.

Kondisi *live-bed* $0{,}59 < k1 > 0{,}69$ (2.25)

V/Vc ≥ 1 $$\frac{(y_{ms})_c}{y_{ms}} = \left(\frac{Q_2}{Q_{1m}}\right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k1}$$ (2.26)

$$d_s = y_o - (y_{ms})_c$$ (2.27)

Dimana :

y_{ms} = kedalama rata-rata disaluran utama, m

V = kecepatan rata-rata (hulu), m/s

Q_{1m} = aliran arus kea rah saluran utama yang mengangkut sedimen, m3/s

Q_2 = Laju aliran total melalui bagian *(contracted)*

Q_2 = Q1m x % *area open through bridge*

W_1 = area terbuka sepanjang jembatan, m

W_2 = lebar bawah saluran yang terkena, m

W = lebar bawah dari lebar pondasi yang terkena (s), m

k1 *Exponent* = 0,59 jika V*/W < 0,5 *(mostly contact-bed transport to mostly suspended-bed material transport)*

Exponent = 0,6 jika V*/W =0,5 – 2,0 *(some suspended-bed material transport)*

Exponent = 0,69 jika V*/W > 2, *(mostly suspended-bed material transport)*

$(y_{ms})_c$ = *Average equilibrium depth in the contracted section after contraction scour,* m

y_0= *Average existing depth in contracted section,* (m)

Ys = Kedalaman gerusan,m

2.7.2 *Local Scour*

Gerusan lokal adalah penggerusan yang terjadi pada dasar atau tebing sungai yang terjadi pada daerah setempat disekitar bangunan karena adanya pengingkatan energy dan turbulensi aliran akibat adanya gangguan bangunan atau gangguan lainnya (ekarismaza 2008). Gerusan ini terbagi atas :

- Kondisi saat tidak ada angkutan sedimen *(clear water scour)*

  Dalam hal ini pengingkatan sedimen hanya terjadi pada sekitar abutmen yang timbul akibat tegangan geser yang terjadi lebih besar daripada tegangan geser kritis, yang dapat dibedakan menjadi :

  a. Untuk kondisi gerusan lokal tidak terjadi dan proses transportasi sedimen tidak terjadi juga.

$$\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 0.5 \qquad (2.28)$$

  b. Kondisi dimana gerusan lokal terjadi dan proses transportasi sedimen tidak terjadi.

$$0.5 \leq \left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 1.0 \qquad (2.29)$$

2. Kondisi ada angkutan sedimen *(live bed scour)*

   Kondisi ini terjadi karena adanya perpindahan sedimen jika :

$$\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) > 1.0 \qquad (2.30)$$

Local Scour –bridge abutmen

Departemen Transportasi dan Jalan USA(Maret 2003), Gerusan terjadi pada abutmen ketika posisinya mengahalangi saluran sungai. Dimana suatu autmen yang berada di atau dekat tepi aliran sangat rentan terhadap kerusakan. Gambar dibawah ini merupakan dokumentasi kegagalan abutmen selama pemeriksaan lapangan pasca banjir.

Kegagalan tersebut disebabkan oleh :

1. limpasan abutment atau dekat tanggul;
2. perpindahan saluran lateral atau proses pelebaran arus;
3. *contraction scour*; Dan / atau,
4. gerusan lokal pada satu atau kedua abutment

akibat dari penyempitan suatu aliran dapat menyebabkan bentuk *macro-turbulence* yang mengubah bentuk aliran sehingga mempercepat dan mementuk pusaran dari akhir hulu abutmen dan mengalir disepanjang ujung abutmen. Dalam hal ini sedimen aluvial non-kohesif (pasir-kerikil) paling sering membentuk saluran utama sedangkan saluran *floodplain* terbentuk dari sedimen yang sangat halus (lumur dan tanah liat) yang mengkibatkan *floodplain* menjadi lebih kohesif daripada sedimen dasar dan saluran utama.

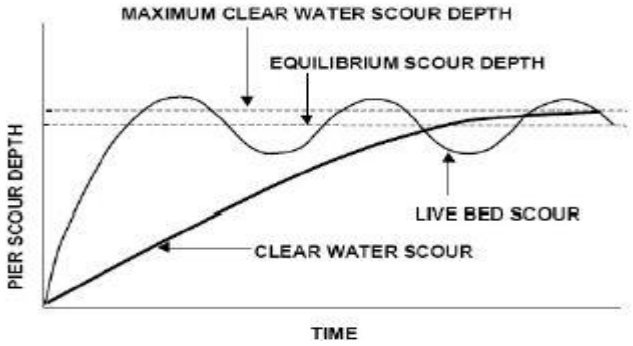
Gerusan pada abutmen tergantung pada interaksi dekat aliran yang terhalang dan aliran disaluran utama. Sedangkan kedalaman gerusannya tergantung pada keadaan abutmen, karakteristik sedimen, bentuk *cross-section* saluran (terutama kedalaman aliran disaluran utama dan kedalaman arus melebihi tepi abutmen). Selain itu juga mungkin saja tepi aliran yang dikelilingi oleh pohon-pohon atau tumbuh-tumbuhan, kecepatan rendah, kedalaman dangkal, dibagin hulu dari abutmen.

Dibawah ini merupakan gambaran karakteristik aliran dan kaitan antara *contraction* dan pembentukan aliran komplek disekitar dasar abutmen

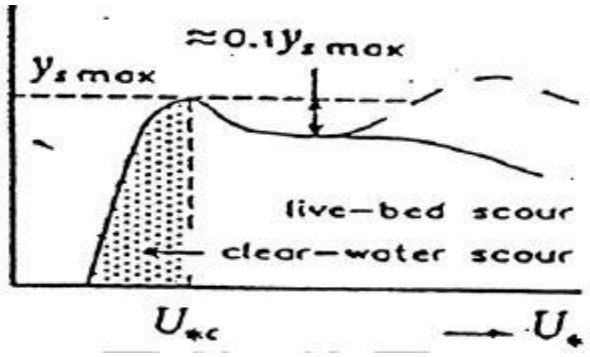
2.7.1 Mekanisme Gerusan

Gerusan yang terjadi pada abutmen jembatan diakibatkan oleh sistem pusaran *(vortex system)* yang timbul akibat bangunan tersebut menghalangi aliran air tersebut (yulistianto dkk.1998 dalam jurnal ilimiah media engingeering). Dalam hal ini saluran yang terhalang oleh abutmen akan membuat pola aliran ke bawah ke arah dasar saluran karena aliran air yang dari hulu sehingga membentuk pusaran hingga menuju kearah depan abutmen lalu tertuju pada hilir. Hal tersebut akan diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Maka dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada abutmen terjadi gerusan lokal *(local scouring).*

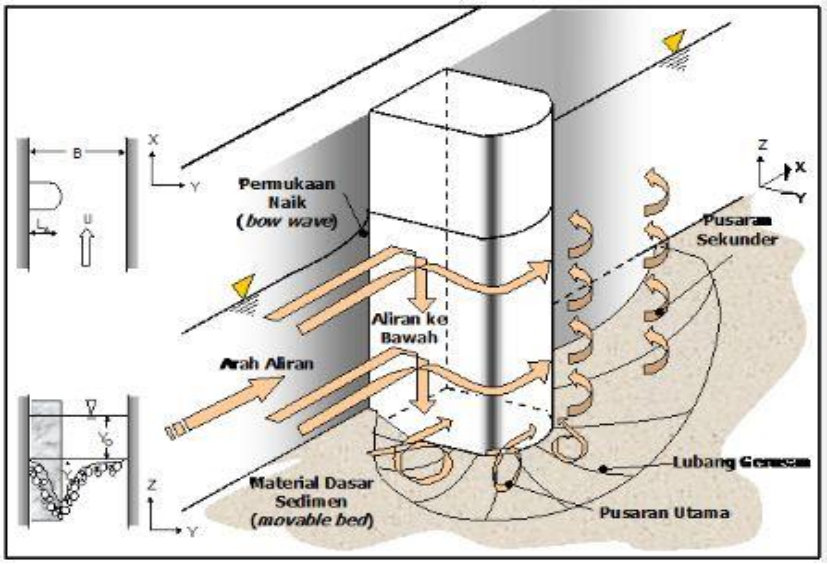
Chabert dan Engeldinger (1956) dalam Breuser dan Raudkivi (1991:61) dalam skripsi mukhammad (2007), menyatakan lubang gerusan yang terjadi pada alur sungai umumnya merupakan korelasi antara kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran sehingga lubang gerusan tersebut merupakan fungsi waktu Gambar 2.11. Sedangkan Breusers dan Raudkivi (1991:61) menyatakan bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser Gambar 2.12



Gambar 2. 11 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:62)



Gambar 2. 12 Hubungan kedalaman gerusan (ys) dengan kecepatan geser (u*)
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991:62)



Gambar 2. 13 Pola aliran gerusan pada abutmen jembatan
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, 1991)

Suatu kesetimbangan gerusan tergantung pada keadaan yang ditinjau yaitu gerusan dengan air tanpa sedimen *(clear-water scour)* atau gerusan dengan air bersedimen *(live-bed scour).* Untuk aliran *clear-water scour*, diasumsikan bahwa gerakan dasar sungai hanya terjadi disekitar pilar. Kesetimbangan akan tercapai bila tegangan geser yang terjadi di dekat permukaan lubang gerusan tersebut tidak mampu lagi untuk mengangkut material karena aliran *clear water scour* cenderung terjadi pada material dasar yang kasar. Sedangkan pada keadaan aliran *live-bed scour*, gerakan dasar sungai terjadi pada hampir sepanjang dasar sungai.

2.7.2 Faktor-Faktor Penyebab Gerusan

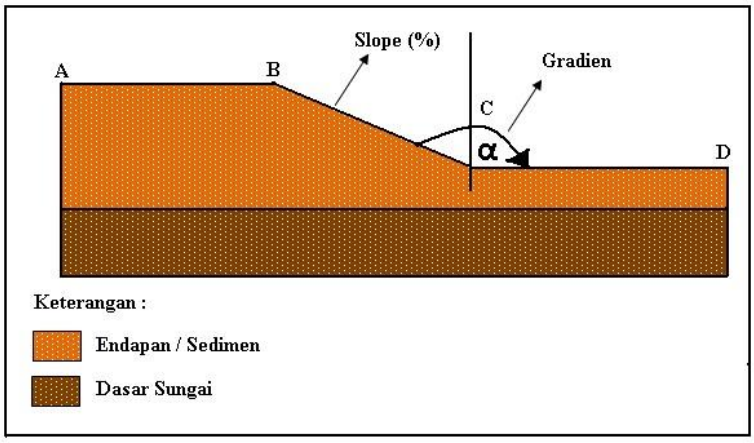
Seperti diketahui bahwa gerusan akan mengakibatkan banyak hal misalnya seperti pengaruhnya pada sebuah jembatan yang membuat sebuah jembatan tidak dapat berfungsi dengan baik. Hal ini dapat ditunjukkan pada kasus jembatan salolo yang dibahas dalam penelitian ini. Secara umum, suatu kejadian terjadinya tentu karena adanya pemicu dan begitupula pada gerusan. Gerusan terjadi tentu karena ada sebuah pemicu pula.

1. Agradasi dan Degradasi

Department of Transport and Main Roads(maret 2003), gerusan terjadi bisa diakibatkan juga oleh agradasi dan degradasi jangka panjang yang terjadi pada sungai dimana ketika terjadi perubahan karakteristik sungai msailnya saja penggerukan dekat suatu bangunan air bisa mengakibatkan kegagalan struktur pada bangunan air tersebut dan begitu pula yang akan terjadi pada jembatan. Selain dari itu perubahan atau pemindahan tumbuhan pelindung yang berada

disepanjang dataran banjir sungai dan didalam daerah tangkapan juga dapat mempengaruhi potensi terjadinya gerusan.

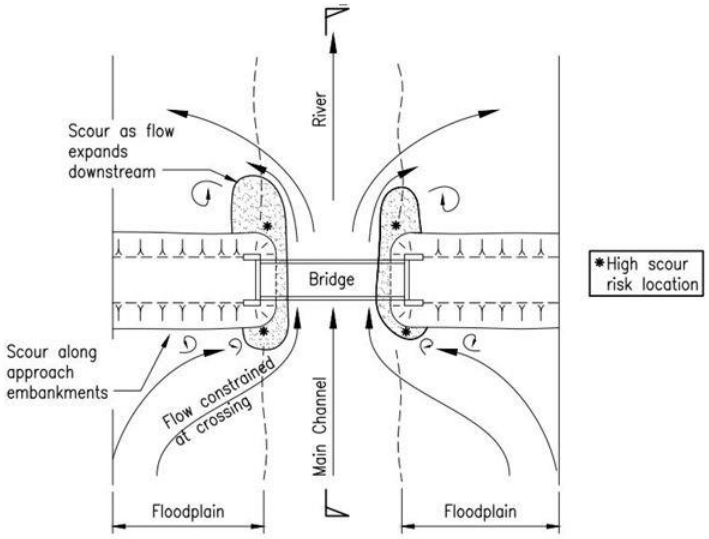
Agradasi adalah terjadinya pandangkalan dasar yang sungai akibat adanya sedimentasi sedangkan degradasi adalah penurunan dasar sungai dalam arah memanjang pada suatu bagian sungai. Hal ini saling berkaitan antara agradasi dan degradasi. Ketika dibagian hulu terjadi agradasi maka bagian hilir akan tergerus atau terjadi degradasi karena adanya perbedaan elevasi yang mengakibatkan terjadinya kemiringan*(slope)* pada dasar sungai dan gradient sungai pun akan semakin besar. Hal tersebut akan mengakibatkan kecepatan aliran pada sungai bertambah besar. Jadi bisa dikatakan jika suplai sedimen besar dari kemampuan transport maka akan terjadi agradasi sedangkan kalau kecil akan terjadi degradasi dimana kemampuan transport tersebut dipengaruhi oleh debit, kecepatan aliran rata-rata,kemiringan *(slope)*, tegangan geser dan karakteristik sedimen.



Gambar 2. 14 proses terjadinya agradasi dan degradasi
(Sumber : http://lorenskambuaya.blogspot.co.id/2012/11)

2. Penyempitan saluran

Department of Transport and Main Roads(maret 2003), Penyempitan aliran yang terjadi pada dasar sungai akan mengakibatkan terjadinya gerusan diantara batuan yang menjadi penghalang saluran terseebut. Begitu pula yang terjadi pada suatu sungai jika infrastuktur bangunan air menghalangi jalur saluran sungai seperti penyempitan saluran sungai akibat pembangunan jembatan yang pilar atau abutmennya menghalangi saluran sungai tersebut. Bila pada suatu sungai terjadi penyempitan baik oleh jembatan ataupun arus *overbank* yang dibatasi oleh tanggung jalanraya dimana dalam penurunan luasan aliran saluran akan mengakibatkan kenaikan kecepatan rata-rata dan tegangan geser pada pondasi. Hal itu bisa memberi potensi membesarnya kekuatan erosive dalam kontraksi dan lebih banyak penggerusan material dasar. Dari penyempitan ini juga akan mengakibatkan system aliran yang bersifat mengikis permukaan baik secara vertical maupun horizontal disekitar abutmen atau pilar jembatan yang dibangun pada saluran singai.



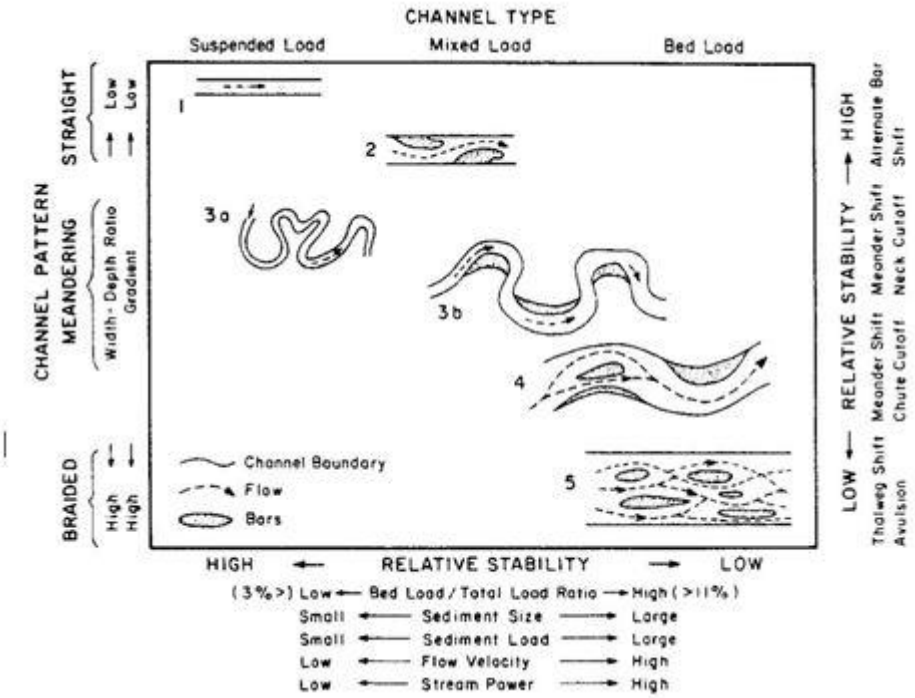
Gambar 2. 15 Skema aliran karena penyempitan
(Sumber : Department of Transport and Main Roads, maret 2003)

3. Bentuk Saluran

Secara umum ada bermacam-macam tipe sungai mulai dari yang teratur hingga sungai yang tak beraturan akan tetapi tentunya sungai tidak serta merta memiliki saluran yang lurus namun terbentuk dengan banyak tikungan pada sungai tersebut yang merupakan pengaruh akibat proses dari geomorfologi bumi dan struktur geologi tertentu. Tikungan pada sungai tersebut bisa menjadi potensi terjadinya gerusan. Department of Transport and Main Roads(maret 2003), suatu aliran berkelok kelok yang secara lateral bergerak akan mengikis daerah dekat jembatan yang akan mempengaruhi kontraksi dan gerusan akibat adanya perubahan arah aliran.

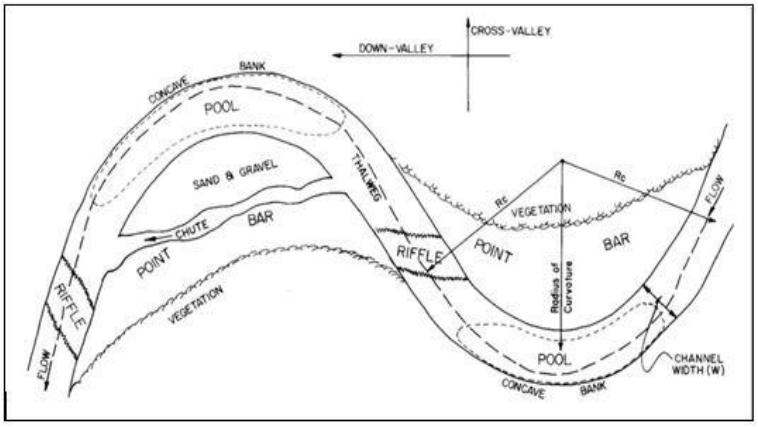
Gerusan yang terjadi pada jembatan bisa terjadi secara bertahap akan tetapi bisa juga hasil dari suatu peristiwa banjir besar dan hal itu tidak mudah diprediksi.

Selain daripada itu, gerusan juga biasanya terjadi pada pertemuan dua saluran dimana kedalamannya dalam hal ini bisa mencapai 1 sampai 2 kali rat-rata kedalaman aliran.



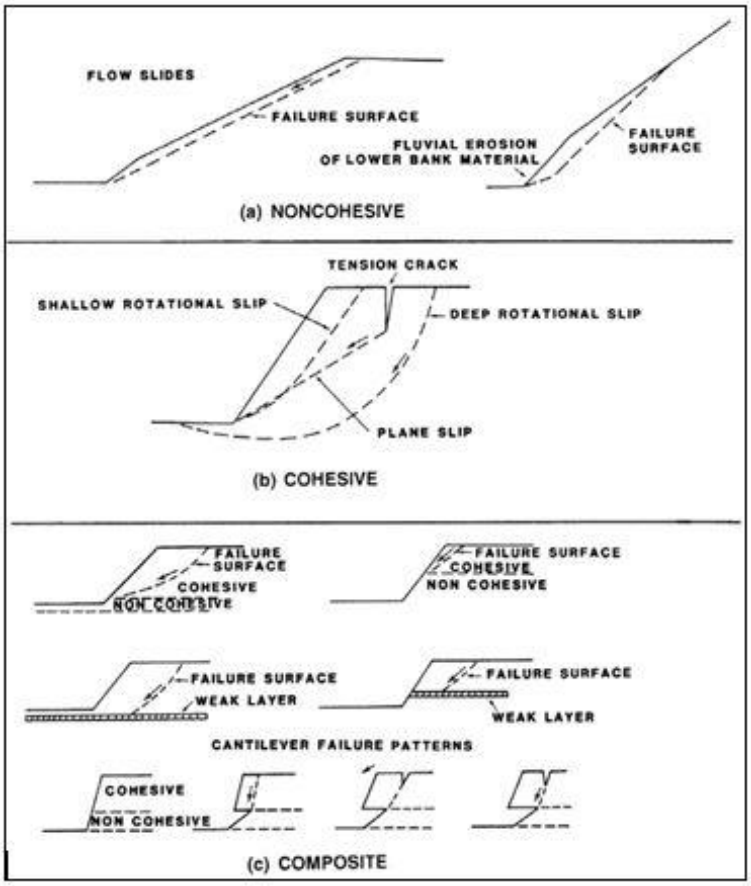
Gambar 2. 16 Pola saluran dan stabilitas relatif (Shen et al, 1981)
(Sumber : Department of Transport and Main Roads, Maret 2003)

Gambar tersebut menunjukkan perbandingan klasifikasi saluran alami dengan stabilitas relatifnya yang dipengaruhi oleh jenis saluran, ukuran dan bentuk, serta pemuatan sedimen pada saluran. Seiring dengan perubahan arah arus pada tikungan, limpasan atau kekuatan serta kecepatan air bisa menjadi pengaruh terjadinya gerusan yang menyebabkan saluran keluar dan membentuk arah aliran baru atau model aliran baru pada sungai. Maka daripada itu untuk setiap pembuatan jembatan baru penempatan posisi jembatan perlu diperhatikan.



Gambar 2. 17 sistem aliran berkelok-kelok yang terkait dengan tikungan di saluran
(Sumber : Department of Transport and Main Roads, maret 2003).

Hal ini bisa berdampak pada kegagalan *riverbank.* Akibat dari besarnya kecepatan atau limpasan aliran maka akan mempengaruhi material pada *riverbank* sehingga kestabilan *bank* tidak dapat dipertahankan. Tanah *non kohesif* pada proses ini akan cenderung mudah untuk hanyut akan tetap berbeda dengan tanah kohesif. Tanah kohesif dalam hal ini tidak berpengaruh oleh kecepatan permukaan akan cenderung terjadi kegagalan karena berkurangnya kekuatan lekatan butiran karena sifat tanah lempung yang banyak terdapat didalamnya. Erosi yang terjadi dipinggir sungai pada tanah kohesif berkaitan dengan ukuran partikel, kemiringan tepi sungai, arah dan besarnya kecepatan yang berdekatan dengan tepi sungai, aliran turbulen, tegangan ges er yang terjadi pada tepi sungai. Gambar dibawah ini menunjukkan kerusakan permukaan khas untuk tanah kohesif dan tidak kohesif.



Gambar 2. 18 Kerusakan tepi permukaan: (a) kohesif, (b) kohesif, dan (c) komposit (Brown, 1985)
(Sumber : Department of Transport and Main Roads, maret 2003).

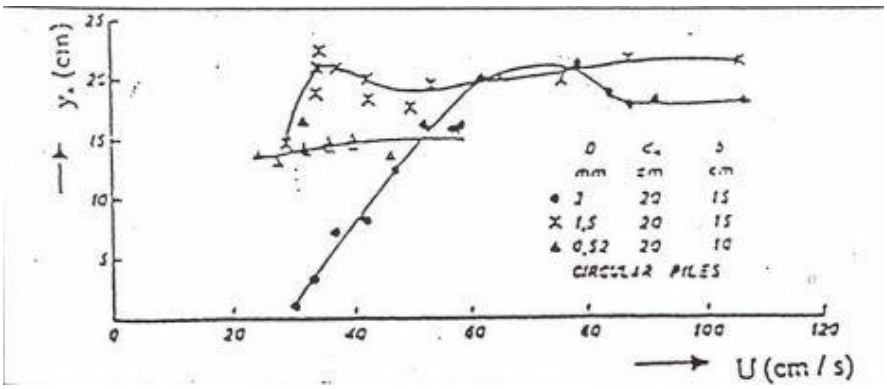
2.7.3 Faktor Yang Mempengaruhi Besar Gerusan

Suatu yang terjadi dalam sebuah kasus tidak mungkin terjadi tanpa ada penyebabnya. Begitu juga dengan besar gerusan yang terjadi. Besar gerusan yang terjadi pada abutmen jembatan di pengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

2.7.3.1 Kecepatan Aliran

Didalam gerusan kecepatan suatu aliran dan intensitas turbulen pada transisi di antara *fixed* dan *erodible bed* merupakan pengaruh besarnya gerusan pada abutmen tersebut (Breusers 1977 dalam mukhammad 2007).

Dari berbagai penelitian Chabert dan Engeldinger (1956) dalam skripsi mukhammad (2007) menyimpulkan bahwa kedalama gerusan maksimum diperoleh dari kecepatan yang mendekati kecepatan aliran kritik, sedangkan gerusan diperkirakan akan mulai terjadi pada setengah kecepatan aliran kritik . hal tersebut diutarakan pada gambar di bawah ini.



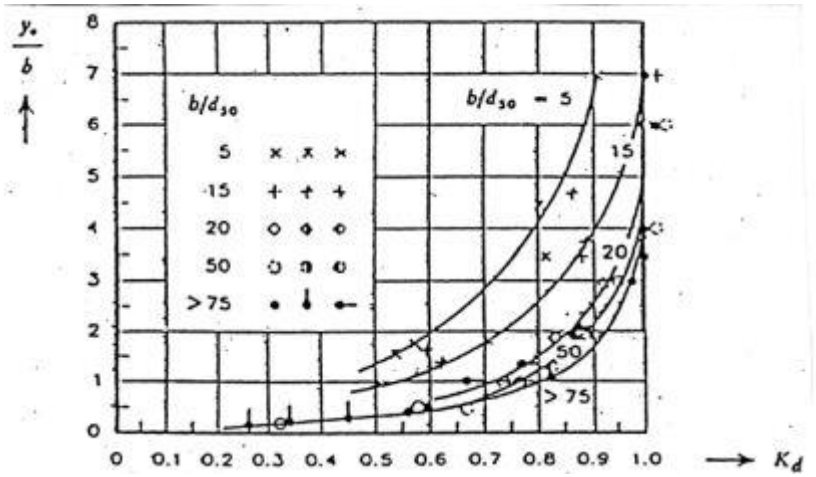
Gambar 2. 19 hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran
(Sumber : Breusers, 1977)

2.7.3.2 Kedalaman Aliran

Kedalaman dasar sungai dari muka air kecepatannya relatif U_*/U_{*C} dan kedalam relatifnya (yo/b) adalah faktor penting yang mempengaruhi gerusan lokal yang terjadi pada abutmen jembatan ketika menghalangi saluran sungai.

Pada suatu aliran rendah keseimbangan tercapai jika nilainya sama serta Yo/b dimana pengaruh Yo/b tidak dapat dibedakan antara kondisi *clear water scour*

dan *live bed scour* merupakan syarat tercapainya keseimbangan gerusan lokal. Ketika nilai U_*/U_{*C} konstan maka faktor pengaruh dar kedalaman dapat di abaikan dalam hal ini untuk $Yo/b \geq 2$. Pada gambar di bawah ini merupakan korelasi antara kedalaman relatif (yo/b) dan koefisien kedalaman air (Kda).



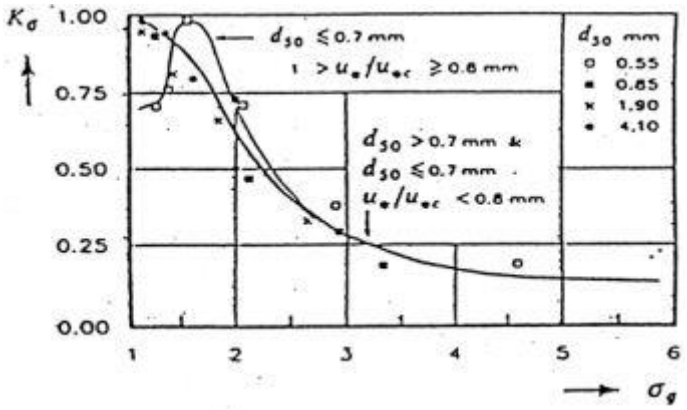
Gambar 2. 20 Hubungan (Kda), (Yo/b) dengan (b/d50)

(Sumber : Breuser dan Raudkivi,1991)

2.7.3.3 Ukuran Butiran

Salah satu faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan pada kondisi air bersih *(clear water scour)* yaitu ukuran butiran transport daris sedimen. Kedalaman gerusan gerusan yS/b tak berdimensi merupaka fungsi dari karakteristik ukuran butiran dasar yaitu (σ/d50) dengan σ merupakan standar deviasi pada butiran dan d50 merupakan ukuran partikel rata-ratanya. Dalam faktor keamanannya nilai σ/d50 hanya dicapai dengan bidang dasar akan tetapi nilai kritikal ini tidak termasuk dengan lubang gerusan yang kekuatan lokal pada butirannya tingga dimana penyebabnya yaitu meningkatnya pusaran air yang tinggi.

Oleh karena itu, nilai koefisien simpangan baku geometrik (σg) dari distribusi ukuran butiran material dasar akan berpengaruh pada kedalaman gerusan air bersih dan dapat ditentukan dari nilai grafik koefisien simpangan baku (σg) fungsi standart deviasi geometri ukuran butiran pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 21 Koefisien simpangan baku (Kσ) fungsi standar deviasi ukuran butir
(Sumber: Breusers dan Raudkivi,1991:67)

Menurut Breuser dan Raudviki 1991 dalam skirpsi Mukhammad 2007 , Adanya pengaruh distribusi material dasar yang mempunyai nilai maksimum dalam kondisi setimbang pada aliran air bersih *(clear water)* dapat dipakai untuk memperkirakan kedalaman gerusan dengan :

$$Yse(\sigma)/b = Kd.Yse/b$$

2.7.3.4 Bentuk Abutmen

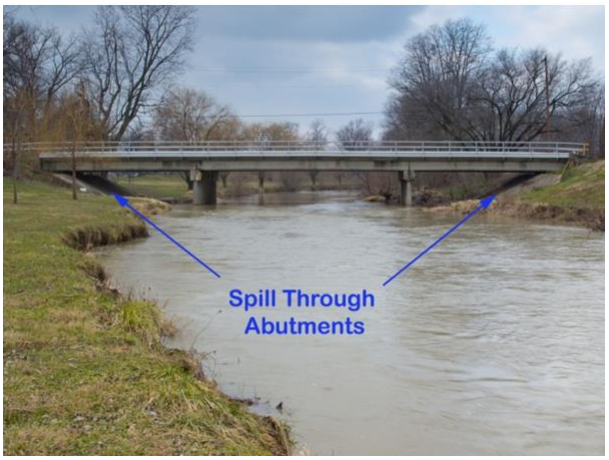
Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian-bagian jembatan bahwa jenis abutmen ada dua macam yaitu *vertical wall abutment* dengan *wing* atau *box wall* dan *spill – thourgh abutment.* Faktanya, untuk kedalaman gerusan pada *vertical wall abutment* kurang lebih dua kali lebih besar jika dibandingkan pada pondasi jenis

spill through abutmen. Dari penelitian Breusers (1991) dalam jurnal ilmiah media engineering (2014) menyatakan bahwa kedalam gerusan pada *wing-wall* (WW), *spill-through* (ST) *serta vertical wall pointing downstream* (TS1) adalah sekitar 70% dibanding *semi-circular-end-abutment (SCE).*



Gambar 2. 22 vertical wall abutment dengan wing dan box wall

(Sumber: http://www.lakelandsconcrete.com/photo-gallery#abutment)



Gambar 2. 23 Abutmen spill through

(Sumber: http://feh.iupui.edu/wp-content/uploads/2012/07/Abutments.png)

2.8 HEC-RAS

Aplikasi atau program HEC-RAS adalah sebuah program aplikasi yang bisa difungsikan untuk melakukan berbagai analisis hidrolika terhadap pemodelan aliran satu dimensi pada saluran atau sungai, *River Analysis System* (RAS). *Software* ini dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources* (IWR), dibawah US *Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-RAS Versi 5.0.3 memiliki empat komponen hitungan hidrolika satu dimensi yaitu :

- Hitungan profil muka air aliran permanen,
- Simulasi aliran tidak permanen,
- Hitungan angkutan sedimen,
- Analisis kualitas air.

Jika kecepatan, kedalaman, dan debit aliran tidak berubah terhadap waktu dalam kasus aliran permanen, maka ketiga parameter tersebut merupakan fungsi waktu dalam kasus aliran tak permanen *(unsteady flow),Simple Geometry River* (2011).

Contoh yaitu perubahan debit di dalam pipa atau saluran, aliran banjir di sungai dan aliran di muara sungai yang dipengaruhi pasang surut. Pada permodelan aliran tidak permanen menggunakan HEC-RAS, ditetapkan syarat batas untuk melakukan analisa aliran tidak permanen. Pada bagian upstream sistem dapat dimodelkan dengan tipe kondisi batas hidrograf aliran, hidrograft perancah, hidrograft aliran dan perancah. Pada downstream dari sistem sungai dapat dimodelkan dengan tipe kondisi batas : kurva ukuran, kedalaman normal,

hidrograft perancah, hidrograft aliran, hidrograft perancah dan aliran. Selain itu, kondisi awal ditetapkan berdasarkan data debit aliran mula-mula atau data elevasi air yang diketahui pada potongan stasiun permodelan.

Program HEC-RAS 5.0.3 menggunakan pengaturan data dimana dengan data geometri yang sama bisa dilakukan kalkulasi data aliran yang berbeda-beda, begitu juga sebaliknya. Data geometri terdiri dari *lay out* pemodelan disertai *cross section* untuk saluran-saluran yang dijadikan model. Bangunan-bangunan air serta *storage area* berada dalam masukan data geometri pemodelan. Data aliran ditempatkan terpisah dengan data geometri. Data aliran bisa dipakai salah satu diantara data aliran tunak dan data aliran tak tunak. Setiap data aliran tersebut mengharuskan diisinya besaran *boundary condition* dan *initial condition* yang sesuai agar pemodelan bisa dijalankan. Bentuk hidrograf hanya bisa diisikan pada data aliran tak tunak. Selanjutnya bisa dilakukan kalkulasi dengan membuat rencana komputasi. Rencana komputasi harus terdiri dari satu data geometri dan satu data aliran.

Profil aliran pada saluran terbuka digambarkan dengan menggunakan tiga hukum kekekalan yaitu Hukum Kekekalan Massa, Hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi. Usaha untuk menggambarkan aliran pada saluran terbuka tersebut dipenuhi oleh dua variabel yaitu kedalaman aliran dan kecepatan atau kedalaman aliran dan debit yang digunakan untuk mendefinisikan kondisi aliran pada penampang saluran. Karena itu dua persamaan pengatur telah dapat digunakan untuk menganalisa tipe situasi aliran. Persamaan kontinuitas dan

persamaan momentum atau persamaan energi dapat dipergunakan untuk kebutuhan ini. Kecuali untuk koefisien *head velocity*, α, dan koefisien momentum, β, kedua persamaan momentum dan persamaan energi adalah sama jika kedalaman aliran dan kecepatan menerus *(continous)*. Apabila terjadi diskontinuitas yang melibatkan suatu perubahan permukaan dasar saluran maka yang dipergunakan adalah persamaan momentum, karena tidak seperti persamaan energi, persamaan momentum tidak memerlukan informasi tentang kehilangan energi yang terjadi.

Permodelan dengan menggunakan program HEC-RAS ini akan dilakukan untuk sistem drainase kota di lokasi perencanaan dengan tujuan untuk mengetahui besaran gerusan dalam satuan waktu yang terjadi pada abutmen jembatan Salolo.

Ada tiga faktor yang berkaitan dalam kondisi ini, yaitu :

- Kecepatan aliran dan diameter/ukuran butiran
- Gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran
- Gaya geser kritis.

Untuk distribusi ukuran partikel dinyatakan dalama diameter rata-rata geometric (d50), standar geometric (σg) seperti dibawah ini :

$$\sigma_9 = \left(\frac{d_{84}}{d_{50}}\right)^{0,5} \tag{2.31}$$

Shield mengungkapkan suatu diagram untuk awal gerak butiran pada material dasar seragam dimana parameternya :

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho.g.\Delta.d} = \frac{{u_{*c}}^2}{g.\Delta.d} \quad (2.32)$$

Tegangan geser :

$$\tau_0 = \rho.g.y_0.I \quad (2.33)$$

Kecepatan geser :

$$u_* = (\frac{\tau_0}{\rho})^5 \quad (2.34)$$

Kecepatan kritik dihitungan berdasarkan :

$$U_c = u_{*c}5{,}75 \log\left(\frac{y_0}{2.d_{50}}\right) + 6 \quad (2.35)$$

Kecepatan geser kritik diberikan :

$$u_{*c} = \sqrt{\theta_c.g.\Delta.d} \quad (2.36)$$

Dimana :

τ = standar geometri

d = Diameter butiran d50 (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s2)

Δ = Relatif densiti (-)

ρ = Massa jenis air (kg/m3)

u_{*c} = Kecepatan geser kritik (m/s)

τ_c = Nilai kritik (N/m2)

θ_c = Parameter mobilitas kritik (-)

R = Jari-jari hidraulik (m)

y_0 = Kedalaman aliran (m)

I = Kemiringan dasar sungai

2.8.1 Persama menghitung gerusan

Program aplikasi HEC-RAS dalam menghitung *Contraction scour* maupun gerusan pada abutmen menggunakan persama Froehlich oleh Dr. David Froehlich dan persamaan Hire.

2.8.1.1 *Contraction Scour*

Perhitungan *contraction scour* pada aplikasi HEC-RAS terbagi atas dua kondisi yaitu *live-bed* dan *clear water* dimana untuk menganalisisnya menggunakan dua persamaan yang berbeda. Pemilihan rumus tersebut tergantung daripada kondisi.

Dibawah ini merupakan persamaan laursen (1963) yang dipakai untuk menghitung *contraction scour* :

Persamaan untuk laursen dengan kondisi *live-bed contraction scour*

$$y_2 = y_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{6/7} \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_1} \quad (2.37)$$

$$y_s = y_2 - y_0 \quad (2.38)$$

Dimana :

Y_s = Kedalaman rata-rata dari *contraction scour*, m

Y_2 = Kedalaman rata-rata setelah gerusan di bagian *contracted* (m), ini di ambil dibgain hulu jembatan.

Y_1 = Kedalaman rata-rata disaluran utama atau dataran banjir *approach flow*, m

Y_0 = Kedalaman rata-rata disaluran utama atau dataran banjir pada bagian *contracted* sebelum tergerus, m

Q_1 = Aliran disaluran utama atau bagain dataran banjir yang adalah penggangkutan sedimen m^3/s

Q_2 = Aliran disaluran utama atau dataran banjir pada bagian *contracted* , m3/s

W_1 = Lebar bawah saluran utama atau *floodplain* dibagian atas yang mendekat . hal ini diperhitungkan sebagai lebar atas daerah aliran aktif pada HEC-RAS (m)

W_2 = Lebar bawah saluran utama atau *floodplain* pada bagian *contracted* pilar yang kurang lebar (m)

K_1 = Exponent untuk perpindahan material dasar

Persamaan untuk laursen dengan kondisi *clear-water contraction scour*

$$y_2 = \left(\frac{{Q_2}^2}{C{D_m}^{2/3}{W_2}^2}\right)^{3/7} \quad (2.39)$$

$$y_s = y_2 - y_0 \quad (2.40)$$

Dimana :

D_m = Diameter partikel terkecil yang tidak dapat diangkut dengan bahan dasar (1.25 D_{50}) pada bagian yang telah terkena

D_{50} = Rata-rata diameter dari material dasar

C = 130 untuk satuan inggris, 40 untuk matric.

2.8.1.2 *Abutment Scour*

Analisis gerusan pada abutmen jembatan dalam aplikasi HEC-RAS juga memakai dua persamaan yaitu persamaan Froelich dan Hire.

Penggunaan persamaan ini didasarkan pada dua kondisi yaitu jika panjang tanggul yang dibasahi (L dibagi dengan kedalaman *approach flow* y_1) lebih besar dari 25 maka hec-ras memilih persama HIRE(Richadson,1990). Begitu juga sebaliknya jika kurang dari 25 maka menggunakan persamaan Froehlich (Froehlich,1989).

Dibawah ini merupakan persamaan HIRE :

$$y_s = 4y_1 \left(\frac{K_1}{0.55}\right) K_2 {Fr_1}^{0.33} \quad (2.41)$$

Dimana :

Y_s = Kedalaman gerusan, m

Y_1 = Kedalaman aliran di ujung abutmen pada *overbank* atau disaluran utama diambil dipenampang bagian hulu saja

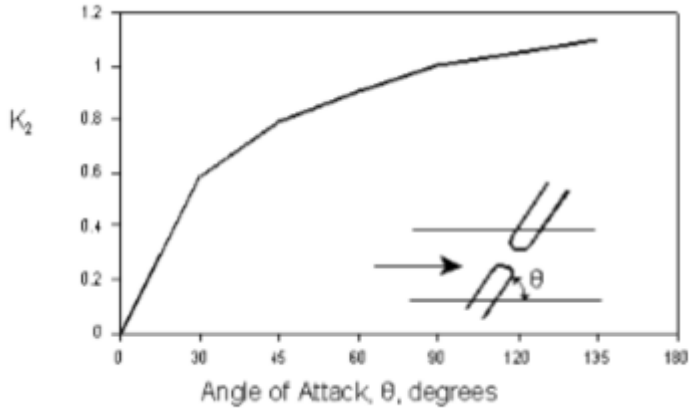
K_1 = Faktor koreksi bentuk abutmen, tabel 4.16

K_2 = Faktor koreksi untuk posisi jembatan terhadap aliran.
$K_2 = (\theta/90)^{0.13}$ dan ini secara otomatis dihitung oleh HEC-RAS

Tabel 2. 2 Correction factor for abutmen shape K_1

Description	K_1
Vertical-wall abutment	1.00
Vertical-wall abutmen with wing wall	0.82
Spill-throuht abutmen	0.55

(Sumber : HEC-RAS River Analysis System)



Gambar 2. 24 correction factor for abutmen skew, K_2

(Sumber : HEC-RAS River Analysis System)

Perhitungan gerusan pada abutmen dengan persamaan Froehlich :

$$y_s = 2.27\, K_1 K_2 (L')^{0.43} {y_a}^{0.57} Fr^{0.61} + y_a \qquad (2.42)$$

Dimana :

Y_s = Kedalaman gerusan, m

L' = Panjang abutmen (*embankment*), diproyeksi mengalir normal, m

Y_a = Kedalaman rata-rata dari aliran *on the floodplain of approach*, m

Fr = *Froude number of the floodplain flow at the approach section,*
$Fr = Ve/(gy_a)^{1/2}$

Ve = Kecepatan rata-rata pendekatan aliran
Ve=Qe/Ae, m/s

Qe = Aliran terhambat oleh abutmen dan tanggul *of floodplain*, m^2

Ae = Daerah aliran *of approach section* terhambat oleh abutment dan tanggul, m^2

2.9 Daftar jurnal acuan dalam penelitian

Tabel 2. 3 Daftar Acuan jurnal penelitian gerusan

No	Judul	Masalah	Metode	Cara penyelesaian
1	Kajian gerusan lokal pada ambang dasar akibat variasi (debit),I (kemiringan) dan T (waktu	- Mencari berapa besarnya gerusan yang terjadi di hilir ambang akibat variasi dari I (kemiringan), Q (debit) dan T (waktu). - Bagaimana pengaruh adanya ambang dasar dan variasi dari I (kemiringan), Q (debit) dan T (waktu) terhadap terjadinya gerusan lokal. - Bagaimana bentuk gerusan yang terjadi di hilir ambang akibat variasi dari I (kemiringan), Q (debit) dan T (waktu).	Penelitian dilakukan dengan pemodelan *ambang dasar* dalam alat *standart tilting flume*. Pada alat tersebut dimodifikasi atau dibuat agar dapat lebih mudah mengamati kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar ambang dasar tersebut.	Dengan menggunakan *Software* yang digunakan dalam menganalisis gerusan adalah *Surfer 8.0*. Penggunaan *software Surfer 8.0*
	Upaya pengendalian gerusan di sekitar	mencari pengaruh penggunaan plat pelindung	Pemodelan pada laboratorium dengan membuat model abutmen dengan alat	Penggunaan plat sayap pelindung sangat efektip

	abutmen jembatan	abutmen terhadap proses gerusan, kedalaman gerusan dan perubahan konfigurasi dasar di sekitar abutmen jembatan.	laboratorium	dapat mengurang gerusan di hulu abutmen sebesar 100%; 2) Pada titik pengamatan A di bagian hulu abutmen penggunaan plat sayap pelindung memberikan perlindungan yang maksimum hanya pad penggunaan dua plat dengan jarak 0,25h yang hanya memberikan pengurangan kedalaman geusan sebesar 63,3%. Pada pengamatan di titik B penggunaan plat pelindung memberikan efisiensi kedalaman gerusan sebesar 35 % sedangka pada titik C di hilir abutmen memberikan tingkat efisiensi sebesar 50%; 3) Penggunaan dua plat pelindung pada abutmen dengan jarak

				antara plat 0,75 h lebih baik dalam mengurangi kedalaman gerusan secara keselurukan dibanding plat dengan jarak 0,25 h dan 0,50 h
3	Pengaruh Variasi debit aliran terhadap gerusan maksimal dibangunan jembatan dengan menggunakan program HEC-RAS	Mencari besarnya gerusan berdasarkan variasi debit	Pemodelan dilakukan dengan program HEC-RAS 4.1 dengan melakukan eksperiman Studi Literatur, Metode ini dilakukan dengan mengkaji dari buku-buku, modul pelatihan HEC-RAS, tata cara penggunaan HEC-RAS dalam hal ini meliputi *Users Manual, Hydraulic References, Aplications Guide,* dan artikel penelitian yang terdapat di perpustakaan maupun hasil *download* dari *internet*	Pemodelan gerusan maksimal pada tiap variasi debit aliran di *software* HEC-RAS, hasil kedalaman gerusannya sudah merupakan kedalaman *equilibrium.* Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit maka kedalaman gerusan juga semakin besar hingga sampai pada kestabilan kedalaman gerusan itu sendiri.
4	Pengaruh debit terhadap pola gerusan di sekitar abutmen	Analisa pengaruh debit terhadap pola gerusan	Pemodelan dengan flume pada laboratorium	Dilakukan pemodelan dengan panjang 4m, tinggi 0.30m, lebar

	jembatan (uji laboratorium dengan skala model jembatan megawati)			0.40m dengan kondisi aliran seragam dan dimensi abutmen yang digunakan yaitu panjang 10cm, lebar 1,1cm dan tinggi 30cm. Penelitian menggunakan 2 variasi debit aliran masing–masing Q1 = 1,434 ltr/det dengan kedalaman aliran 0,064m, Q2 = 0,7032 ltr/det dengan kedalaman aliran 0,04912m. Material yang digunakan berupa pasir yang sesuai dengan model prototipe dengan nilai d50 = 2,4mm. Model diuji selama 180 menit untuk setiap kali running. Hasil penelitian menunjukan gerusan maksimum
5	Analisa gerusan lokal di sekitar semi-circular-end abutmen dengan perlindungan groundsill pada froud number (Fr) 0,2		Dengan metode eksperimen pada laboratorium	Eksperimen pola gerusan dilakukan pada clear-water-scour dengan pengamatan selang 180 menit setiap eksperimennya dengan peralatan recirculating sediment flume yang dilengkapi rigid bed dan movable bed serta abutmen dari bahan kayu.