

**TUGAS AKHIR**

**EFEKTIFITAS PENEMPATAN PLAT SEGITIGA TERENDAM  
TERHADAP POLA DAN KEDALAMAN GERUSAN DI  
ABUTMEN JEMBATAN**

***THE EFFECTIVENESS OF THE PLACEMENT OF THE  
SUBMERGED TRIANGULAR PLATE ON THE PATTERN  
AND DEPTH OF SCOUR IN THE BRIDGE ABUTMENTS***

**MUHAMMAD PUDDU NIRHAMZAH  
D011 17 1313**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**EFEKTIFITAS PENEMPATAN PLAT SEGITIGA TERENDAM TERHADAP POLA DAN  
KEDALAMAN GERUSAN DI ABUTMEN JEMBATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD PUDDU NIRHAMZAH**

**D011 17 1313**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 27 Juni 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT**  
NIP. 196703191992032010

Pembimbing Pendamping,



**Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT**  
NIP. 196410201991031002

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
Nip. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muhammad Puddu Nirhamzah, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Efektifitas Penempatan Plat Segitiga Terendam Terhadap Pola Dan Kedalaman Gerusan Di Abutmen Jembatan**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 5 Desember 2021



mempuat pernyataan,

Muhammad Puddu Nirhamzah  
NIM: D011 17 1313

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“EFEKTIFITAS PENEMPATAN PLAT SEGITIGA TERENDAM TERHADAP POLA DAN KEDALAMAN GERUSAN DI ABUTMEN JEMBATAN”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam menyusun tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada

1. **Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya tulisan ini dan sekaligus Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen
4. **Bapak Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan mulai dari awal hingga selesainya tulisan ini.
5. **Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT.**, selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. Tidak lupa terima kasih sebesar-besarnya kepada **Ibu Ira Widyastuti**, yang telah mengajak kami berpartisipasi dalam penelitian hingga terselesaikan laporan ini,
7. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada

1. Kedua Orang Tua tercinta, Ayahanda Nirwan Ilyas, Ibunda Saripa dan Seluruh Keluarga Besar atas segala doa yang selalu menyertai Penulis selama menempuh pendidikan tinggi di Universitas Hasanuddin.
2. Saudara-saudari **PLASTIS**, Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin Angkatan 2017.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca agar kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat,, khususnya bidang Teknik Sipil.

## ABSTRAK

Sungai memiliki peran yang penting bagi kehidupan manusia. Hal ini dapat kita lihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks seiring dengan perkembangan jumlah penduduk yang berarti bertambah pula kebutuhan, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya.

Tujuan dari penelitian ini yaitu Mengalisis pola dan kedalaman gerusan yang terjadi di abutmen jembatan, Sebelum dan sesudah penempatan plat segitiga, Menganalisis besarnya pengaruh plat segitiga terhadap kedalaman gerusan di abutmen jembatan, dan untuk mendapatkan jarak efektif plat segitiga terhadap kedalaman gerusan di abutmen jembatan

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar dengan menggunakan Uji Model Fisik. Menggunakan tiga variasi jarak hambatan dengan diletakkan pada hilir dan hulu abutmen jembatan dengan variasi jarak dari abutmen yaitu 30 cm, 60 cm dan 90 cm.

Jarak efektif pada hambatan segitiga untuk abutment jembatan, jarak hambatan L2Hi mengalami gerusan paling kecil -5,17 cm sedangkan pemodelan jarak yang lain mencapai kedalaman gerusan hingga -8,10 cm. Hal ini membuktikan bahwa efektifitas penempatan hambatan 45° pada jarak L2Hi.

## ABSTRACT

Rivers have an important role in human life. We can see this from the use of rivers which are increasingly complex in line with the development of the population, which means that the needs are also increasing, ranging from transportation facilities, raw water sources, electricity sources and so on.

The purpose of this study is to analyze the pattern and depth of scour that occurs in the bridge abutments, before and after the placement of the triangular plate, to analyze the magnitude of the influence of the triangular plate on the depth of scour in the bridge abutment, and to obtain the effective distance of the triangular plate to the depth of scour in the bridge abutment.

This research was conducted at the Hydraulics Laboratory of the Faculty of Civil Engineering, Hasanuddin University Makassar by using the Physical Model Test. Using three variations of the obstacle distance by placing it on the downstream and upstream of the bridge abutments with variations in the distance from the abutments, namely 30 cm, 60 cm and 90 cm.

The effective distance of the triangular resistance for the bridge abutment, the L2Hi resistance distance experienced the smallest scour of -5.17 cm while the other distance models reached a scour depth of up to -8.10 cm. This proves that the effectiveness of the placement of barriers is 45° at a distance of L2Hi.

## DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	2
D. Manfaat Penelitian.....	2
E. Batasan Masalah .....	3
F. Sistematika Penulisan .....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
A. Sungai.....	5
B. Gerusan Dasar Sungai.....	5
C. Mekanisme Gerusan Di Sungai.....	6
D. Pola Aliran.....	8
E. Faktor Yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan Di Abutmen Jembatan.....	10
F. Pengendalian Gerusan Di Abutmen Jembatan.....	14
G. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan.....	15
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	22
A. Umum .....	22
B. Lokasi Penelitian .....	22
C. Alat dan Bahan Penelitian .....	23
D. Prosedur Penelitian .....	26



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
A. Pemeriksaan Material Sedimen.....	33
B. Gerusan Lokal di sekitar Model Abutment .....	35
C. Efektifitas Penempatan Hambatan di Sekitar Abutmen Jembatan .	50
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	62
A. Kesimpulan .....	62
3. Saran .....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Waktu (Breusers dan Raudkivi: 1991)	7
Gambar 2. Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Kecepatan Geser (Breusers dan Raudkivi: 1991)	7
Gambar 3. Hubungan tegangan geser dengan diameter butiran sedimen	14
Gambar 4. Grafik Shields (Sumber: Breusers & Raudkivi, 1991)	17
Gambar 5. Lokasi Penelitian	22
Gambar 6. <i>Recirculating Sediment Flume</i>	23
Gambar 7. <i>Point Gauge</i>	24
Gambar 8. Hambatan Segitiga 45°	26
Gambar 9. Dimensi Model Abutment Tipe <i>Wing Wall</i> 45°	27
Gambar 10. Penempatan model abutment pada <i>flume</i>	28
Gambar 11 <i>Rigid Bed</i> pada hulu saluran	28
Gambar 12. <i>Rigid Bed</i> pada hilir saluran	29
Gambar 13. Bagan Alur Penelitian	32
Gambar 14. Grafik uji gradasi butiran material sedimen	34
Gambar 15. Sketsa lubang gerusan local di sekitar model abutment	35
Gambar 16. Sketsa potongan melintang gerusan local pada saluran	36
Gambar 17. Titik pengamatan kedalaman gerusan local	36
Gambar 18. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 3 menit	38
Gambar 19. Isometri pola gerusan di sekitar model waktu 3 menit	38
Gambar 20. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 5 menit	39
Gambar 21. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 5 menit	39
Gambar 22. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 7 menit	40

Gambar 23. Isometri pola gerusan di sekitar model waktu 7 menit	41
Gambar 25. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 10 menit	42
Gambar 24. Isometri pola gerusan di sekitar model waktu 10 menit	42
Gambar 26. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 15 menit	43
Gambar 27. Isometri pola gerusan di sekitar model waktu 15 menit	43
Gambar 28. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 30 menit	44
Gambar 29. Isometri pola gerusan di sekitar model waktu 30 menit	45
Gambar 30. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 60 menit	46
Gambar 31. Isometri pola gerusan di sekitar model waktu 60 menit	46
Gambar 32. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 120 menit	47
Gambar 33. Isometri pola gerusan di sekitar model waktu 120 menit	48
Gambar 34. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk waktu 180 menit	49
Gambar 35. Isometri Pola gerusan di sekitar model waktu 180 menit	49
Gambar 36. Kedalaman gerusan maksimum pada variasi model ke arah hilir abutment	52
Gambar 37. Kedalaman gerusan maksimum pada variasi model ke arah hulu abutment	52
Gambar 38. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 30 cm ke arah hulu	54
Gambar 39. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 30 cm ke arah hulu	55
Gambar 40. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 60 cm ke arah hulu	55
Gambar 41. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 60 cm ke arah hulu	56

Gambar 42. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 90 cm kearah hulu	56
Gambar 43. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 90 cm kearah hulu	57
Gambar 44. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 30 cm kearah hilir	58
Gambar 45. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 30 cm kearah hilir	58
Gambar 46. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 60 cm kearah hilir	59
Gambar 47. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 60 cm kearah hilir	59
Gambar 48. Kontur gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 90 cm kearah hilir	60
Gambar 49. Isometri pola gerusan di sekitar model abutment untuk jarak 90 cm kearah hilir	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Butiran	11
Tabel 2. Uji gradasi butiran material sedimen	33
Tabel 3. Hasil uji berat jenis sedimen	34
Tabel 4. Kedalaman gerusan lokal	37
Tabel 5. Kedalaman gerusan local di abutment ke arah hilir	51
Tabel 6. Kedalaman gerusan local di abutment ke arah hulu	51

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sungai memiliki peran yang penting bagi kehidupan manusia. Hal ini dapat kita lihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks seiring dengan perkembangan jumlah penduduk yang berarti bertambah pula kebutuhan, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya.

Pembuatan suatu ruas jalan untuk transportasi darat pasti akan melintasi suatu alur sungai sehingga dibutuhkan konstruksi jembatan. Salah satu struktur utama bagian bawah adalah pilar jembatan yang secara langsung berhubungandengan aliran air.

Salah satu struktur utama bangunan bawah jembatan adalah abutmen jembatan yang selalu berhubungan langsung dengan aliran sungai. Abutmen merupakan bangunan jembatan yang terletak di pinggir sungai, yang dapat mengakibatkan perubahan pola aliran. Bangunan seperti abutmen jembatan selain dapat merubah pola aliran juga dapat menimbulkan perubahan bentuk dasar saluran seperti penggerusan. Gerusan lokal yang terjadi pada abutmen biasanya terjadi pada bagian hulu abutmen dan proses deposisi pada bagian hilir abutmen (Hanwar, 1999)..

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a) Bagaimana pola dan kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan sebelum dan sesudah penempatan plat segitiga
- b) Bagaimana efektifitas penempatan plat segitiga terhadap kedalaman gerusan yang terjadi di abutmen jembatan.

## **C. Maksud dan Tujuan Penelitian**

Penelitian ini diharapkan mampu memenuhi maksud dari tujuan sebagai berikut:

1. Analisis pola dan kedalaman gerusan yang terjadi di abutmen jembatan, sebelum dan sesudah penempatan plat segitiga
2. Untuk mendapatkan jarak efektif plat segitiga terhadap kedalaman gerusan di abutmen jembatan

## **D. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini di harapkan dapat memberikan gambaran mengenai pola dan kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan, Sebagai bahan referensi bagi mahasiswa tentang plat segitiga sebagai salah satu alternatif bangunan air dalam mengurangi kedalaman gerusan yang terjadi di abutmen, dan sebagai bahan pertimbangan bagi

pihak yang berkepentingan (*stakeholder*) dalam hal penanganan kegagalan struktur abutmen jembatan

#### **E. Batasan Masalah**

1. Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium hidrolika Fakultas Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar dengan menggunakan Uji Model Fisik.
2. Penelitian tidak melakukan kajian struktur bangunan air.
3. Pola gerusan yang diamati adalah pola kontur tiga dimensi dengan pengukuran kedalaman arah x,y dan z berupa gambar isometri menggunakan aplikasi *surfer*

#### **F. Sistematika Penulisan**

Agar tulisan ini lebih terarah, sistematika penulisan yang digunakan disesuaikan dengan tahapan-tahapan yang dipersyaratkan, hal ini bertujuan agar karya yang dihasilkan lebih sistematis

#### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Dalam bab ini diuraikan mengenai hal-hal yang melatar belakangi penelitian ini, dilanjutkan dengan uraian rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari lokasi dan objek penelitian, teknik pengumpulan data serta diagram alir penelitian, teknik pengambilan sampel dan teknik analisis data, Pembahasan mengenai alat dan material yang digunakan dalam pekerjaan, teknik pelaksanaan pekerjaan, dan kendala-kendala yang dihadapi di lapangan maupun di laboratorium.

### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini memuat hasil-hasil pengujian serta analisa data berupa perhitungan menggunakan rumus-rumus empiris diantaranya adalah hasil pemeriksaan material sedimen, analisis pola dan kedalaman gerusan, pembahasan mengenai fenomena gerusan yang terjadi serta hubungan antara parameter-parameter yang mempengaruhi pola degradasi (gerusan) dan agradasi

### BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Sungai**

Sungai adalah badan air alamiah tempat mengalirnya air hujan dan air buangan menuju laut dan tempat bersemayamnya biotik dan abiotik (Rita Lopa, 2013) .Sungai memiliki beberapa jenis menurut jumlah airnya ( Syarifuddin, 2000 ) :

1. Sungai permanen yaitu sungai yang debit airnya sepanjang tahun relatif tetap.
2. Sungai periodik yaitu sungai yang pada waktu musim hujan airnya banyak, sedangkan pada musim kemarau airnya sedikit.
3. Sungai Intermittent atau sungai episodik yaitu sungai yang mengalirkan airnya pada musim penghujan, sedangkan pada musim kemarau airnya kering.
4. Sungai Ephemeral yaitu sungai yang ada airnya hanya pada saat musim hujan.

### **B. Gerusan Dasar Sungai**

Menurut Legono (1990), gerusan dibedakan menjadi:

- a. Gerusan umum di alur sungai, gerusan ini tidak berkaitan sama sekali dengan terdapat atau tidaknya bangunan sungai. Gerusan ini disebabkan oleh energi dari aliran sungai.
- b. Gerusan terlokalisir di alur sungai, terjadi karena penyempitan alur

sungai, sehingga aliran menjadi lebih terpusat.

- c. Gerusan lokal disekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal disekitar bangunan sungai.

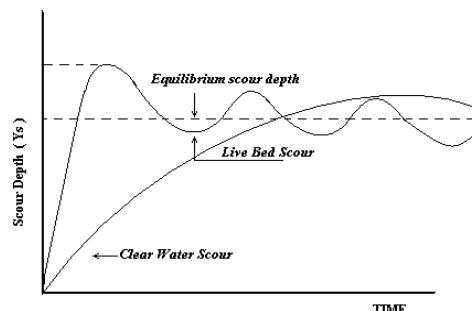
Gerusan dari jenis b dan c selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih (*clear water scour*) maupun gerusan dengan air bersedimen (*live bed scour*). Gerusan dengan air bersih berkaitan dengan suatu dimana dasar sungai atau saluran di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut) atau secara teoritik  $\tau_0 < \tau_c$ , sedangkan gerusan dengan air bersediman terjadi disertai dengan adanya angkutan sedimen, akibat aliran dalam saluran yang menyebabkan material dasar bergerak atau secara teoritik  $\tau_0 > \tau_c$  (Legono: 1990).

### **C. Mekanisme Gerusan Di Sungai**

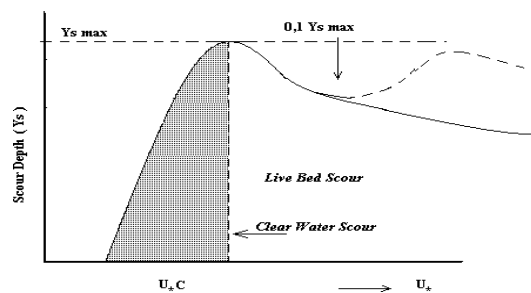
Menurut Legono (1990), gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan merupakan akibat dari sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh *abutment* tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan adanya lubang gerusan tersebut dimulai dari sebelah hulu abutmen yaitu saat mulai munculnya komponen aliran dari arah bawah. Selanjutnya pada bagian bawah komponen tersebut, aliran akan berbalikarah menjadi vertikal yang kemudian diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral di daerah gerusan.

Menurut Breusers dan Raudkivi (1991), proses gerusan dimulai pada

saat partikel yang terbawa bergerak mengikuti pola aliran dari bagian hulu ke bagian hilir saluran. Pada kecepatan tinggi, partikel yang terbawa akan semakin banyak dan lubang gerusan akan semakin besar baik ukuran maupun kedalamannya. Kedalaman gerusan maksimum akan tercapai pada saat kecepatan aliran mencapai kecepatan kritik. Berikut ini adalah hubungan antara kedalaman gerusan terhadap waktu (Gambar 1) dan hubungan antara kedalaman gerusan dengan kecepatan geser (Gambar 2).



Gambar 1. Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Waktu (Breusers dan Raudkivi: 1991)



Gambar 2. Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Kecepatan Geser (Breusers dan Raudkivi: 1991)

Dijelaskan lebih lanjut bahwa kecepatan gerusan relatif tetap meskipun terjadi peningkatan kecepatan yang berhubungan dengan transpor sedimen, baik yang masuk maupun yang keluar lubang gerusan. Jadi kedalaman rata-rata gerusan pada kondisi seimbang (*equilibrium*

*scour dept, Y<sub>S</sub>* ), dengan sendirinya menjadi lebih kecil dari kedalaman gerusan maksimum.

Menurut Larsen (1952) dalam Legono (1990), sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut :

- a) Besar gerusan akan sama dengan selisih antara jumlah material yang ditranspor keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang ditranspor masuk kedalam daerah gerusan.
- b) Besar gerusan akan berkurang apabila penampang basah didaerahgerusan bertambah (misal: karena erosi).
- c) Untuk kondisi aliran akan terjadi suatu keadaan gerusan yang disebutgerusan batas, besarnya akan *asimtotik* terhadap waktu.

#### **D. Pola Aliran**

Kondisi aliran pada saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebas cenderung berubah sesuai dengan waktu dan ruang. Disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan, dasar saluran dan permukaan bebas.

Pola aliran disekitar pilar pada aliran saluran terbuka cukup kompleks. Bertambahnya *complexity* disertai semakin luasnya lubang gerusan. Suatu sail studi mengenai bentuk/pola aliran yang telah dilanjutkan oleh *Melville* dalam Wibowo (2007) agar lebih mengerti mekanisme dan peran penting pola aliran hingga terbentuknya lubang gerusan. Pola aliran dibedakan dalam beberapa komponen :

1. Punggung gelombang (*bow wave*)
2. Arus bawah didepan pilar.
3. Pusaran sepatu kuda (*horse shoes vortex*).
4. Pusaran yang terangkat (*cast-off vortices*) dan menjalar (*wake*)

Pola aliran pada pilar menurut *Graf* (1998) dalam *Prasetyo* (2006), yaitu terjadi aliran arah *vertical* kebawah yang membentuk *vortek*, dan aktif mengakibatkan gerusan. Besarnya pilar sangat menentukan besarnya *vortek*, yang berdampak pada besarnya gerusan. Akan tetapi pengaruh besarnya pilar juga menjadikan penyempitan tampang saluran (*constriction*).

Medan aliran disekitar abutmen umumnya mempunyai ciri-ciri yaitu percepatan aliran di hulu pilar, kemudian melemah didekat abutmen, atau terjadi perlambatan aliran, selanjutnya aliran dipisahkan oleh *system vortek*. Pada jarak yang cukup jauh dari abutmen, aliran *uniform* akan terbentuk kembali.

Waktu merupakan hal yang sangat dominan pada saat terjadi aliran yang beraturan dalam mencapai kesetimbangan dalamnya gerusan, tergantung pada tipe aliran yang mengangkut sedimen ( $U/U_c > 1$  atau  $U/U_c < 1$ ). Kejadian pada pembentukan lubang gerusan ke sisi pilar/abutmen akan terjadi perubahan bentuk menyerupai kerucut di daerah hulu yang mempunyai dimensi kedalaman gerusan sama panjang pada sisi pilarnya. Material dasar sungai yang ditranspor ke daerah hilir dapat menjadi endapan ataupun gradasi dan dapat pula ditranspor ke daerah hilir tanpa

menimbulkan pengaruh pada pilarnya. Untuk menentukan kondisi gerusan yang terjadi (*clear water scour* atau *live bed scour*) perlu kiranya diidentifikasi sifat alirannya serta komposisi material granulernya

## **E. Faktor Yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan Di Abutmen Jembatan**

Kedalaman gerusan yang terjadi disekitar bangunan air, jembatan dan penyempitan air dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

### **E.1. Material Dasar**

Distribusi sedimen sering ditunjukkan dengan pendekatan distribusi probabilitas normal logaritmik (semi-logaritmik). Kurva yang dihasilkan merupakan hubungan antara ukuran butiran sebagai absis dan persen lolos kumulatif sebagai ordinat. Keseragaman butiran sedimen yang menyusun suatu gradasi dapat dinyatakan dengan koefisien keseragaman,  $C_u$  (*coefficient of uniformity*), sedangkan untuk mengetahui bentuk kurva gradasi butiran dinyatakan dengan koefisien gradasi,  $C_g$  (*coefficient of gradation*).

Berdasar komposisi butiran yang menyusun suatu gradasi dibagi menjadi dua bentuk, yaitu kurva bergradasi seragam (*uniform*), dan kurva bergradasi tidak seragam (*ununiform*). Pada material pasir, kurva gradasi butirannya dikatakan bergradasi seragam jika  $C_u < 6$  dan  $1 < C_g < 3$  dan diluar dari tersebut kurva dikatakan tidak seragam. koefisien keseragaman

merupakan fungsi dari diameter butiran yang lolos 60% dan 10%, dan dinyatakan sebagai.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad 2.1$$

Sedangkan koefisien gradasi merupakan fungsi dari diameter butiran dengan presentase lolos saringan 10%,30%,60%, dan dinyatakan sebagai :

$$C_u = \frac{D_{30}^2}{d_{10}d_{60}} \quad 2.2$$

Adapun ukuran material dasar sungai menurut *American Geophysical Union* sebagai (tabel 1) berikut :

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Butiran

<i>Interval/range</i> (mm)	Nama	<i>Intereval/range</i> (mm)	Nama
4096 – 2048	Batu sangat besar	1/2 – 1/4	Pasir sedang
2048 – 1024	Batu besar	1/4 – 1/8	Pasir Halus
1024 – 512	Batu Sedang	1/8 – 1/16	Pasir Sangat Halus
512 – 256	Batu kecil	1/32 – 1/64	Lumpur Sedang
256 – 128	Kerakal Besar	1/64 – 1/128	Lumpur Halus
128-64	Kerikil kecil	1/128 – 1/256	Lumpur sangat halus
64-32	Kerikil sangat kasar	1/256 – 1/512	Lempung Kasar
32-16	Kerikil kasar	1/512 – 1/1024	Lempung Sedang
16-8	Kerikil sedang	1/1024 – 1/2048	Lempung Halus
8-4	Kerikil Halus	1/2048 – 1/4096	Lempung sangat halus
4-2	Kerikil sangat halus		
2-1	Pasir sangat kasar		
1-1/2	Pasir kasar		

**Sumber :** Garde dan Raju, 1985 dalam Jurnal Fropil, Hambali, 2016



## E.2. Awal Gerak Butiran

Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan atau menyeret butiran material sedimen. Untuk sedimen kasar seperti pasir dan kerikil, gaya tahanan utamanya adalah berhubungan dengan berat sendiri partikel. Ketika gaya hidrodinamik bekerja terhadap butiran sedimen yang mempunyai nilai, dan kalau itu naik secara pelan-pelan, akhirnya butiran sedimen akan mulai bergerak. Gerakan dasar ini biasanya disebut dengan kondisi kritis (Pallu S.M, 2010). Parameter aliran pada kondisi tersebut, seperti tegangan geser dasar ( $\tau_0$ ), kecepatan aliran ( $U$ ) juga mencapai kondisi kritik.

Garde dan Raju (1977) dalam Wibowo (2007) menyatakan bahwa yang dikatakan sebagai awal gerakan butiran adalah salah satu dari kondisi berikut :

1. Satu butiran bergerak,
2. Beberapa (sedikit) butiran bergerak,
3. Butiran bersama-sama bergerak dari dasar, dan
4. Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis.

Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu:

1. kecepatan aliran dan diameter/ukuran butiran,
2. gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan
3. gaya geser kritis

### E.3. Tegangan Geser

Forchheimer (1914) mengemukakan hubungan antara berat komponen dari suatu kolom air dengan gaya geser pada dasar, dapat diketahui melalui persamaan;

$$\gamma Ds = k_4 u_b^2 \quad 2.3$$

Dimana  $D$  = kedalaman air,

$S$  = kemiringan garis enersi,

$k_4$  = konstan (factor bentuk),

$\gamma Ds$  = dinyatakan gaya seret (tractive force), yang dapat ditulis,

$$\tau_0 = \gamma Ds \quad 2.4$$

Persamaan ini, umumnya digunakan dengan mengganti  $D$  dengan jari-jari hidraulik  $R_h$ ,

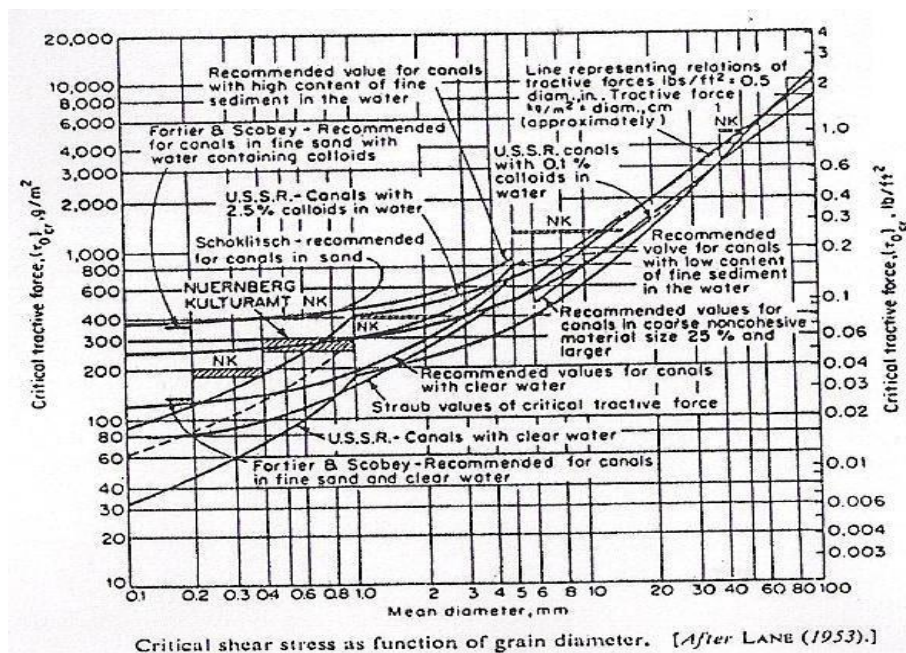
$$\tau_0 = \gamma R_h S \quad 2.5$$

Hubungan antara gaya geser kritis dan diameter butiran sedimen rata-rata untuk perencanaan saluran stabil, adalah direkomendasikan oleh Biro Reklamasi Amerika Serikat (1977) seperti pada gambar ?

Kalau persamaan (2.3) dan (2.4) dimasukkan kedalam persamaan (2.5), maka didapat

$$\frac{(\tau_0)_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = A'' \quad 2.6$$

Di mana  $(\tau_0)_{cr}$  adalah tegangan geser kritis atau gaya seret kritis pada titik gerakan awal dan  $A''$  adalah koefisien sedimen.



Gambar 3. Hubungan tegangan geser dengan diameter butiran sedimen

## F. Pengendalian Gerusan Di Abutmen Jembatan

Pengendalian gerusan di abutmen jembatan antara lain dilakukan dengan membuat riprap yaitu dengan menempatkan batuan kasar di sekitar abutmen tersebut. Seperti pada penelitian Bonasoundas dan Breusers dan Roudkivi (1991) dalam Prasetyo (2006). Dimensi riprap terdiri atas riprap  $6b$ , panjang  $7b$ , ketebalan  $b/3$ , dimana  $b$  adalah lebar pilar dan ukuran minimum batuan,  $d_r$  adalah :

$$d_r \text{ (cm)} = 6 - 3,3 U + 4U^2 \quad 2.?$$

Hal ini dikuatkan oleh Graf (1998) dalam Prasetyo (2006) yang menyatakan bahwa riprap adalah perlindungan paling efektif untuk mengendalikan lubang gerusan yaitu dengan menimbun batuan kedalam lubang gerusan tersebut dengan lebar  $2-3b$  dan tebal  $3d_r$ . Untuk menetapkan ukuran batuan,  $d_r$  (m), hubungan secara empiris adalah:

$$Ud \cong 2,4 \sqrt{dr} \quad 2.4$$

Menurut Sosrodarsono, (1994) dalam Mulyandari, (2010), perlindungan terhadap gerusan lokal adalah dengan membuat Ambang. Ambang merupakan suatu bangunan pengendali gerusan yang bertujuan untuk menjaga agar dasar sungai tidak turun secara berlebihan dan diharapkan dengan adanya hambatan tersebut maka gerusan lokal pada bangunan sungai dapat direduksi. Ambang diletakkan di hilir abutment jembatan dibangun pada posisi porosnya tegak lurus arah aliran (Suyono Sosrodarsono, 1994 dalam Mulyandari, 2010). Selain perlindungan tersebut diatas, menurut abdurrosyid (2004:20) pemasangan proteksi berupa hambatan tirai di hulu abutmen dapat mereduksi kedalaman gerusan di abutmen Spill-through sebesar 26,58% dan akan mencapai nilai maksimum pada jarak tirai yang optimum terhadap as abutmen. Jarak optimum untuk saluran majemuk dicapai sejauh 1,75 kali lebar dasar abutmen (1,75 Lb) pada kondisi live bed scour. Untuk ketinggian hambatan, menurut Pari dkk, 2016 di sarankan 2 – 2,75 kali dari ketinggian muka air. Untuk luasan pori, menurut Kordnaeji, dkk (2017) diasumsikan 25% pada pengukuran kekeruhan di hambatan.

## **G. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan**

### **1. Debit Aliran**

Semakin besar debit aliran yang ada maka kedalaman gerusan yang dihasilkan akan semakin besar, keadaan tersebut menandakan bahwa

semakin besarnya kecepatan dan tegangan geser pada dasar saluran. Menurut Charbert dan Engeldinger (1956) dalam Breusers dan Raudkivi (1991), kedalaman gerusan *maximum* diperoleh pada kecepatan aliran yang mendekati kecepatan aliran kritis, sedangkan gerusan dimulai pada saat kira-kira setengah kecepatan kritis.

## 2. Kedalaman Aliran

Kedalaman aliran dibedakan antara kondisi *clear water scour* dengan *life bed scour*. Pengaruh kedalaman gerusan dapat diabaikan untuk  $Y_o/b$  lebih besar dari 2 sampai 3 dengan menggunakan data yang diberikan oleh laursen dan toch, menunjukkan suatu persamaan kedalaman gerusan sebagai fungsi kedalaman aliran. (Raudkivi dkk, 1991).

## 3. Kecepatan Geser dan Tegangan Geser

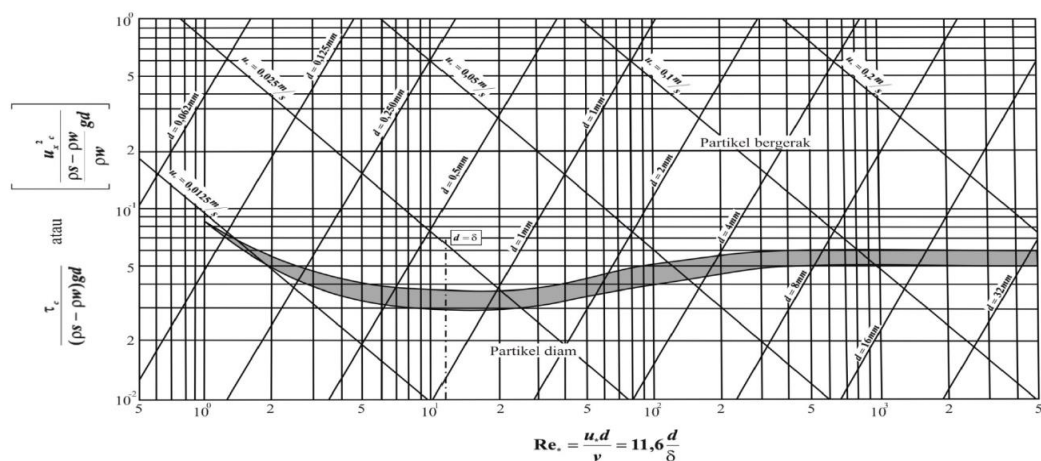
Menurut Breusers dan Raudkivi (1991) memberikan dimensi analisis untuk menentukan beberapa parameter tak berdimensi dan ditetapkan dalam bentuk diagram pergerakan awal (*incipient motion*). Melalui grafik *Sheilds*, dengan mengetahui bilangan ( $\tau_c$ ) atau diameter butiran ( $d$ ), maka pada nilai tegangan dasar kritis ( $\tau_o$ ) dapat diketahui. Bila tegangan dasar aliran berada diatas nilai kritiknya maka butiran sedimen bergerak, atau dengan kata lain:

$T_0 < T_c$  butiran dasar tidak bergerak

$T_0 = T_c$  butiran dasar mulai akan bergerak

$T_0 > T_c$  butiran dasar bergerak

Yamsir Rusman (2015) menyatakan bahwa nilai kecepatan geser kritis dan tegangan geser kritis sedimen hanya dapat diperoleh dengan mengetahui besarnya diameter butir sedimen yang diteliti. Besarnya diameter sedimen diplot ke dalam diagram Shields dalam bentuk garis, sedemikian hingga memotong garis atau wilayah kritis. Data kedalaman aliran diperlukan untuk analisis kecepatan geser dan tegangan geser di dasar saluran. Semakin kecil kemiringan saluran maka kedalaman aliran yang terjadi semakin besar.



Gambar 4. Grafik Shields (Sumber: Breusers & Raudkivi, 1991)

Grafik Shield mendefinisikan gerak awal menjadi persamaan berikut:

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho g d} = \frac{U_*c^2}{g \Delta d} \quad 2.5$$

dengan:  $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$

dimana:

$\theta_c$  = koefisien Shield

$\tau_c$  = tegangan geser kritis ( N/m<sup>2</sup>)

$\rho_s$  = berat jenis butiran (kg/m<sup>3</sup>)

- $\rho_w$  = berat jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)  
 $g$  = percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)  
 $U_*$  = kecepatan geser  
 $d$  = diameter sedimen (m)  
 a) Kecepatan Geser ( $U_*$ )

Achamd (2017) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa permulaan gerak butiran sedimen dasar merupakan awal mula angkutan sedimen. Salah satu faktor yang menyebabkan permulaan gerak sedimen adalah kecepatan. Kecepatan aliran yang menimbulkan terjadinya tegangan geser kritis disebut kecepatan geser kritis.

Rumus kecepatan geser ( $U_*$ ) :

$$U_* = \sqrt{(g \cdot h \cdot S_0)} \quad 2.6$$

dimana:

- $U_*$  = kecepatan geser (m/s)  
 $g$  = percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)  
 $h$  = kedalaman aliran (m)  
 $S_0$  = kemiringan dasar saluran (  $10^{-4}$ )

Kecepatan geser tersebut digunakan untuk menentukan bilangan Reynolds yang terjadi.

Rumus bilangan Reynolds ( $R_e$ ) :

$$R_e = \frac{U_* \times D_s}{\nu} \quad 2.7$$

dimana:

- $R_e$  = bilangan Reynolds

$D_s$  = diameter sedimen (m)

$\nu$  = viskositas kinematik ( $m^2/s$ )

Setelah bilangan Reynolds dan diameter sedimen diketahui, selanjutnya menentukan dimensi tegangan geser ( $F^*$ ) dengan menggunakan grafik Shield dengan rumus sebagai berikut:

$$F^* = \frac{\theta_c}{(\rho_s - \rho_w) \times g \times d} \quad 2.8$$

dimana:

$F^*$  = dimensi tegangan geser

$\theta_c$  = koefisien shield

$\rho_s$  = berat jenis butiran ( $kg/m^3$ )

$\rho_w$  = berat jenis air ( $1000 kg/m^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/det^2$ )

$d$  = diameter sedimen (m)

b) Tegangan Geser Dasar ( $\tau_0$ )

Iksani (2017) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa apabila air mengalir dalam sebuah saluran, maka pada dasar saluran akan timbul suatu gaya yang bekerja searah dengan arah aliran. Gaya ini yang merupakan gaya Tarik pada penampang basah yang disebut tegangan geser.

Rumus tegangan geser ( $\tau_0$ ) :

$$\tau_0 = (\rho_w \cdot g \cdot h \cdot S_0) \quad 2.9$$

dimana:

$\tau_0$  = tegangan geser ( $kg/m^2$ )



$\rho_w$  = berat jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)

$h$  = kedalaman aliran (m)

$S_0$  = kemiringan dasar saluran

c) Tegangan Kritis ( $\tau_c$ )

Rumus tegangan kritis ( $\tau_c$ ) :

$$\tau_c = F^*(\rho_s - \rho_w)g \cdot d \quad 2.10$$

dimana:

$\tau_c$  = tegangan geser kritis (kg/m<sup>2</sup>)

$F^*$  = dimensi tegangan geser

$\tau_c$  = tegangan geser kritis ( N/m<sup>2</sup>)

$\rho_s$  = berat jenis butiran (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = berat jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)

$d$  = diameter sedimen (m)

#### 4. Awal Gerak Butiran

Menurut Ranga Raju (1986), suatu saluran terbuka yang mempunyai sedimen lepas (*loose sediment*) diatur pada kemiringan tertentu dimana aliran seragam terjadi pada debit yang berbeda. Sebagai akibatnya, pada debit yang rendah ketika kedalaman dan tegangan geser kecil, partikel sedimen akan berhenti dan aliran itu sama dengan yang ada pada saluran batas kukuh. Apabila debit secara berangsur bertambah, suatu tahap dicapai apabila sedikit partikel pada dasar yang bergerak

secara terputus-putus. Keadaan ini dinamakan keadaan kritis (*critical condition*) keadaan gerak awal (*incipient motion condition*).

Garde dan Raju (1977) dalam Sucipto (2004:36) menyatakan bahwa yang dikatakan sebagai awal gerakan butiran adalah salah satu dari kondisi berikut :

- a) Satu butiran bergerak
- b) Beberapa (sedikit) butiran bergerak
- c) Butiran bersama-sama bergerak dari dasar
- d) Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis.

#### 5. Diameter Ukuran Butir Sedimen

Kwan (1984) menjelaskan pengaruh ukuran butir sedimen terhadap kedalaman gerusan pada abutmen untuk ukuran seragam. Dari data yang didapat menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir sedimen ( $b/d_{50}$ ) maka kedalaman gerusan ( $Y_s$ ) akan semakin besar. Keadaan ini tidak lagi tampak pada  $b/d_{50} = 50\text{mm}$ , kedalaman gerusan tidak lagi terpengaruh oleh ukuran butir sedimen. Ettema menjelaskan bahwa terjadinya pengurangan kedalaman gerusan pada ukuran butir sedimen yang relatif besar disebabkan karena butir sedimen berukuran besar tersebut menghalangi proses erosi dasar lubang gerusan dan menghamburkan aliran energi di zona erosi