

**KAJIAN GERUSAN LOKAL PADA PILAR JEMBATAN
MENGUNAKAN HEC-RAS 2D**

(SKRIPSI)

Oleh

**M. FIRAS BANNA
1815011027**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

LOCAL SCOUR STUDY ON BRIDGE PIER USING HEC-RAS 2D

By

M. FIRAS BANNA

Scouring is a natural phenomenon of riverbed subsidence due to sediment removal by the erosive action of river flow. Local scour develops near the structure causing flow obstruction and generating additional forces working on the river bed. The existence of piers in the river changes the flow pattern and causes scouring around the piers, cause a decrease in riverbed elevation. This research aims to determine the connection between pier shape with local scour depth and analyze the most influential factors on local scour due to bridge pier. This research is a mathematical model of local scour using HEC-RAS 2D with the Colorado State University (CSU) method. The results of this research show that the shape of the pier affects the local scour depth. The flow velocity at the nearest cross section upstream of the pillar is 4.44 m/s producing scour depths at 7.27 m and 9.46 m on square-shaped pier with dimensions of two and three meters; 6.61 m and 8.6 m on round Nose, circular cylinder, and group of cylinder pier with dimensions of two and three meters; 5.95 m and 7.74 m on sharp nose pier with dimensions of two and three meters. The simulation results show that the shape and pier dimensions both affect the depth of the local scour. The square-shaped pier gives the deepest local scour of the other pier shapes, so it can be concluded that the most influential factor on the depth of local scour is the shape and size of the pier.

Key words : Local Scour, HEC-RAS, CSU.

ABSTRAK

KAJIAN GERUSAN LOKAL PADA PILAR JEMBATAN MENGUNAKAN HEC-RAS 2D

Oleh

M. FIRAS BANNA

Gerusan adalah fenomena alam menurunnya permukaan dasar sungai akibat pemindahan sedimen oleh aksi erosi aliran sungai. Gerusan lokal berkembang di dekat struktur yang menyebabkan obstruksi aliran sehingga menghasilkan gaya tambahan yang bekerja di dasar sungai. Keberadaan pilar pada sungai mengubah pola aliran dan menyebabkan gerusan di sekitar pilar sehingga mengakibatkan penurunan ketinggian dasar sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan tipe pilar dengan kedalaman gerusan lokal dan menganalisis faktor yang paling berpengaruh pada gerusan lokal akibat pilar jembatan. Penelitian ini berupa model matematik gerusan lokal menggunakan HEC-RAS 2D dengan metode *Colorado State University* (CSU). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bentuk pilar berpengaruh kepada kedalaman gerusan lokal. Kecepatan aliran pada *cross section* terdekat di hulu pilar sebesar 4,44 m/s menghasilkan kedalaman gerusan sebesar 7,27 m dan 9,46 m pada pilar berbentuk persegi dengan dimensi dua dan tiga meter; 6,61 m dan 8,6 m pada pilar *round Nose, circular cylinder* dan *group of cylinder* dengan dimensi dua dan tiga meter; 5,95 m dan 7,74 m pada pilar *sharp nose* dengan dimensi dua dan tiga meter. Dari hasil simulasi ditunjukkan bahwa bentuk dan dimensi pilar sama-sama berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal. Jenis pilar berbentuk persegi memberikan kedalaman gerusan lokal paling dalam dari bentuk pilar lainnya, jadi dapat disimpulkan bahwa faktor yang paling berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal yaitu bentuk dan ukuran pilar.

Kata kunci : Gerusan lokal, HEC-RAS, CSU.

**KAJIAN GERUSAN LOKAL PADA PILAR JEMBATAN
MENGUNAKAN HEC-RAS 2D**

Oleh

M. FIRAS BANNA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

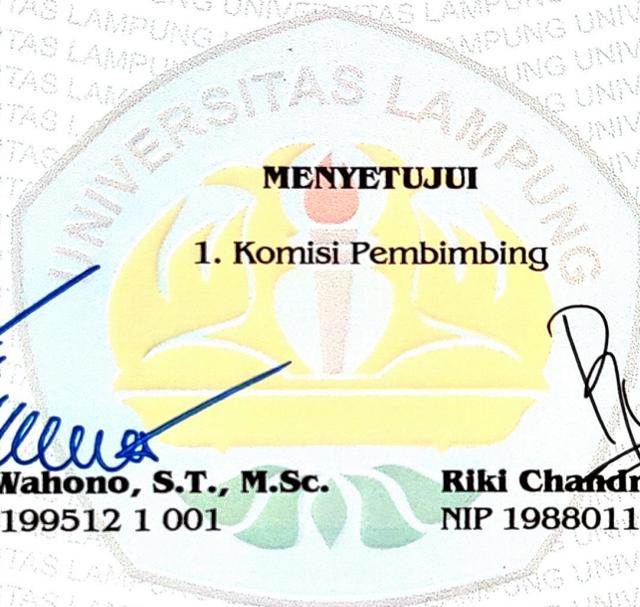
Judul Skripsi : **KAJIAN GERUSAN LOKAL PADA PILAR
JEMBATAN MENGGUNAKAN HEC-RAS 2D**

Nama Mahasiswa : **M. Firas Banna**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815011027**

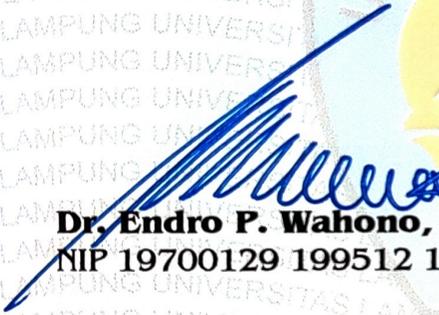
Jurusan : **Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik**



MENYETUJUI

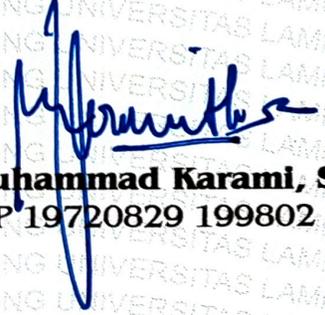
1. Komisi Pembimbing


Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.
NIP 19700129 199512 1 001


Riki Chandra Wijaya, S.Pd., M.T.
NIP 19880117 201903 1 010

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.

Sekretaris : Riki Chandra Wijaya, S.Pd., M.T.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T., M.Sc.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 Mei 2023



[Handwritten signatures in blue ink]

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Firas Banna
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011027
Judul Skripsi : Kajian Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan
Menggunakan HEC-RAS 2D
Jurusan : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 24 Mei 2023
Penulis,



M. Firas Banna

RIWAYAT HIDUP



M. Firas Banna lahir di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada tanggal 05 Januari 2001. Lahir dari pasangan Rizal Ependi, S.Pd. dan Hapizoh S.Pd. dan merupakan anak keempat dari lima bersaudara. Pada pendidikan formal dimulai tahun 2007 masuk Sekolah Dasar di SD Negeri 3 Talang Padang dan lulus pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTS Negeri 2 Tanggamus yang diselesaikan pada tahun 2016, lalu melanjutkan ke pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Pringsewu, mengambil jurusan IPA dan selesai pada tahun 2018.

Pada tahun 2018 melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri, tepatnya di Universitas Lampung sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, juga aktif melakukan beberapa kegiatan antara lain menjadi anggota departemen media informasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil pada periode 2019/2020 sampai periode 2020/2021 dan melaksanakan Kerja Praktik selama empat bulan di Proyek Pembangunan Jalan Institut Teknologi Sumatera pada tahun 2021. Dengan ketekunan, motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha. Sehingga dapat menyelesaikan pengerjaan tugas akhir skripsi ini yang berjudul “Kajian Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Menggunakan HEC-RAS 2D”. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan.

Persembahan

Alhamdulillahirobbilalamin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala

Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu

Alaihi Wasallam.

Karya ini dipersembahkan kepada:

Bapak, Mama, Kak Dwi, Kak Lana, Bang Dimas dan Faiz

Yang senantiasa memberikan dan melantunkan do'a. Terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dengan kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

Bapak Dr. Endro Prasetyo Wahono, S.T., M.Sc.

dan

Bapak Riki Chandra Wijaya, S.Pd., M.T.

Yang sangat berjasa dan selalu memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Motto

“If you don’t go after what you want, you will never have it. And if you don’t ask, the answer is always no. Also if you don’t step forward, you’re always in the same place.”

(Nora Roberts)

“The way to get started is to quit talking and begin doing.”

(Walt Disney)

“Believe in yourself! Have faith in your abilities! Without a humble but reasonable confidence in your own powers you cannot be successful or happy.”

(Norman Vincent Peale)

"Buatlah tujuan untuk hidup, kemudian gunakan segenap kekuatan untuk mencapainya, kamu pasti berhasil."

(Usman Bin Affan)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Kajian Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Menggunakan HEC-RAS 2D”**. dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan yang tiada henti, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Endro Prasetyo Wahono, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penelitian ini.
6. Bapak Riki Chandra Wijaya, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam membimbing penelitian ini.
7. Ibu Siti Anugerah Mulya Putri Ofrial, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam akademik.

8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
9. Bapak, Mama, Kak Lana, Kak Dwi, Bang Dimas dan Faiz yang selalu mendukung dan memberikan do'a terbaik.
10. *Motherkis Group* (Eko, Lucky, Frendi, Riyan, Bagus, Sinung, Yoga, dan Wirawan) yang selalu membantu dan menemani berbagi suka dan duka.
11. Terima kasih kepada rekan Teknik Sipil Angkatan 2018 yang telah memberikan masukan, kritik, saran, serta doa.

Jika skripsi ini masih banyak kekurangan, baik dari isi maupun cara penyampaiannya. Penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, diharapkan agar skripsi ini dapat memberikan ilmu baru dan membawa manfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 23 Mei 2023

Penulis,



M. Firas Banna

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1. Analisis Gerusan Lokal	19
4.1.1. Membuat file <i>project</i>	20
4.1.2. Membuat Data Geometri Sungai	22
4.1.3. <i>Input</i> dan <i>Running</i> Data Aliran	34
4.1.4. Simulasi Gerusan Lokal	37
4.2. Kedalaman Gerusan Lokal	38
V. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN A (<i>OUTPUT MODELLING HEC-RAS</i>)	
LAMPIRAN B (LEMBAR ASISTENSI)	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran Air di Sekitar Pilar	9
2. Lokasi Jembatan yang diamati.....	17
3. <i>Flowchart</i> Penelitian	18
4. Tampilan awal HEC-RAS	20
5. Membuat <i>Project</i> baru.....	21
6. Memberi nama <i>file project</i>	21
7. Mengubah sistem satuan pada HEC-RAS 6.2.....	22
8. Memilih sistem satuan yang akan digunakan	22
9. Membuka menu RAS Mapper	22
10. Membuka menu <i>projection</i>	23
11. Memasukkan <i>Projection File</i>	23
12. Mengubah satuan	24
13. <i>Create a New RAS Terrain</i>	24
14. Memasukkan data DEM.....	25
15. <i>Terrain</i> dari data DEM yang berhasil dimasukkan.....	25
16. Menambahkan <i>Map Layers</i>	26
17. Memilih <i>Map Layers</i>	26
18. Kombinasi <i>terrain</i> dan <i>map layers</i>	27
19. Membuat dan memberi nama <i>Geometry Data</i>	27
20. Membuat alur sungai dan <i>Bank Lines</i> pada sungai	28
21. Membuat potongan melintang (<i>Cross Section</i>) pada sungai	28
22. Memasukkan data geometri sungai.....	29
23. Geometri sungai Way Sekampung.....	29
24. Memasukkan nilai Manning (n).....	30
25. Menambahkan jembatan pada sungai	30

26. Memasukkan <i>station</i> baru untuk jembatan	31
27. Membuat <i>Deck/Roadway</i>	31
28. Menambahkan pilar pada jembatan	32
29. Menambahkan <i>abutment</i> kiri	32
30. Menambahkan <i>abutment</i> kanan	33
31. Hasil <i>input</i> data jembatan pada menu <i>Bridge Culvert Data</i>	33
32. Mengisi <i>Steady Flow Data</i>	34
33. Mengisi <i>Reach Boundary Conditions</i>	35
34. <i>Running Steady Flow Analysis</i>	35
35. Hasil <i>Running Steady Flow</i>	36
36. Hasil <i>Running Steady Flow</i> pada RAS Mapper	36
37. Membuka menu <i>Hydraulic Design Function</i>	37
38. Memasukkan data simulasi gerusan	37
39. Hasil simulasi gerusan lokal pada pilar	38
40. Kedalaman gerusan lokal pada pilar persegi	39
41. Kedalaman gerusan lokal pada pilar <i>round nose</i>	39
42. Kedalaman gerusan lokal pada pilar lingkaran	40
43. Kedalaman gerusan lokal pada pilar <i>sharp nose</i>	40
44. Kedalaman gerusan lokal pada pilar <i>group of cylinder</i>	41
45. Grafik kedalaman gerusan lokal pada pilar	43
46. Grafik selisih kedalaman gerusan lokal pada pilar dengan lebar/dimensi 2 m dan 3 m	43

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Faktor koreksi untuk bentuk penampang pilar (K_1).....	14
2. Faktor Koreksi untuk kondisi dasar saluran (K_3).....	14
3. Batasan nilai K_4 dan ukuran dasar sedimen.....	15
4. Rekapitulasi kedalaman gerusan lokal pada semua bentuk pilar.....	41

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai adalah aliran yang dimensi geometriaknya berupa penampang melintang, penampang memanjang dan kemiringan sungai yang dapat berubah-ubah dari waktu ke waktu tergantung dari aliran, bahan dasar sungai dan bantaran sungai (Putra, 2014). Setiap sungai mempunyai bentuk dan karakteristik yang berbeda-beda, yang dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain topografi, iklim dan semua fenomena alam selama proses pembentukannya. sebagai sumber air, sungai tidak hanya menyimpan air, tetapi mengalirkannya juga dari hulu ke hilir.

Menurut Abdusalam dan Hakim (2019), salah satu faktor penentu proses terjadinya gerusan adalah morfologi sungai, hal ini karena aliran saluran terbuka memiliki permukaan bebas (*free surface*). Pada saluran terbuka, kondisi aliran cenderung bervariasi menurut ruang dan waktu pada lokasi permukaan bebas. Selain itu, juga terdapat hubungan ketergantungan antara kemiringan dasar saluran, kedalaman air, kecepatan aliran dan permukaan saluran itu sendiri. Erosi dan aktivitas tektonik menciptakan lembah sebagai tempat mengalirnya air yang kemudian membentuk pola aliran tertentu. Pola aliran ini berkaitan erat dengan jenis batuan, struktur geologi, kondisi erosi, dan sejarah pembentukan tanah. Proses alami yang terjadi di sungai akibat adanya struktur bangunan air yang menghambat aliran atau karena morfologi sungai itu sendiri merupakan pengertian dari gerusan lokal.

Gerusan menurut Pandey (2017) adalah fenomena alam menurunnya permukaan dasar sungai akibat pemindahan sedimen oleh aksi erosi aliran sungai. Gerusan lokal, seperti yang biasa terjadi di alam, terjadi di dekat struktur kaku yang

mengakibatkan obstruksi aliran sehingga menghasilkan gaya tambahan yang bekerja di dasar sungai.

Keberadaan pilar pada sungai mengubah pola aliran dan menyebabkan gerusan di sekitar pilar sehingga mengakibatkan penurunan ketinggian dasar sungai (Suma, 2018). Gerusan lokal merupakan salah satu faktor penyebab runtuhnya jembatan-jembatan di Indonesia, dikarenakan gerusan yang terjadi secara terus-menerus membuat turunnya elevasi pilar jembatan. Salah satu contoh kasus yang ada yaitu putusnya jembatan kereta api yang disebabkan oleh gerusan di Tonjong, kabupaten Brebes, Jawa Tengah.

Berdasarkan hal di atas, penulis tertarik menulis tugas akhir dengan judul **“KAJIAN GERUSAN LOKAL PADA PILAR JEMBATAN MENGGUNAKAN HEC-RAS 2D”**.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana menganalisa gerusan lokal pada pilar jembatan menggunakan *software* HEC-RAS 2D?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang model simulasi gerusan lokal dengan HEC-RAS 2D versi 6.2
2. Mengetahui hubungan tipe pilar dengan kedalaman gerusan lokal.
3. Analisis faktor yang paling berpengaruh pada gerusan lokal akibat pilar jembatan.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai batasan masalah yaitu:

1. Analisa gerusan lokal yang dilakukan menggunakan *software* HEC-RAS 2D versi 6.2.
2. Pilar yang dianalisis yaitu berjumlah satu pilar.

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan ini dilakukan secara sistematis yang dirangkum menjadi beberapa bab sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, maksud penelitian, tujuan penelitian, pokok bahasan dan Batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang bahan mengenai tahapan, pengumpulan data, variabel-variabel yang digunakan, dan pemilihan lokasi.

BAB IV Hasil Analisa dan Pembahasan

Bab ini merupakan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari studi tinjauan serta pembahasan dari hasil analisis yang diperoleh.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab V adalah penutup yang berisikan tentang kesimpulan dari hasil analisis masalah dan disertai dengan saran-saran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sungai

Saluran terbuka (sungai) adalah saluran tempat air mengalir dengan permukaan air bebas (Triatmodjo, 2003). Tekanan atmosfer mengakibatkan tekanan pada permukaan air sama. Pada saluran terbuka (sungai) variabel aliran tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel itu adalah kemiringan dasar, tampang lintang saluran, debit aliran, kekasaran, belokan, dan lainnya.

Menurut Triatmodjo (2003), tipe saluran terbuka bersifat turbulen karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding yang besar. Aliran saluran terbuka bersifat turbulen bila bilangan Reynold $Rc > 1000$ dan laminar bila $Rc < 500$. Aliran saluran terbuka dikatakan seragam (*uniform*) ketika variabel aliran seperti debit, Kecepatan, tampang basah, dan kedalaman pada setiap tampang pada setiap aliran adalah konstan terhadap waktu. Suatu aliran dikatakan tidak seragam (*non uniform*) jika variabel aliran seperti tampang basah, kecepatan, dan kedalaman di sepanjang saluran tidak tetap terhadap waktu.

2.2. Sedimen

Sedimen merupakan hasil proses erosi, baik berupa erosi parit, erosi permukaan maupun erosi tanah lainnya (Latif dkk, 2019). Sedimen umumnya mengendap di daerah genangan banjir, bawah kaki bukit, sungai, saluran air, dan waduk. Menurut Latif (2019), hasil sedimen (*Sediment yield*) adalah jumlah sedimen yang dihasilkan di suatu DAS akibat erosi, diukur dalam jangka waktu tertentu dan pada lokasi tertentu.

2.3. Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen adalah pergerakan material sedimen granular (*non-kohesif*) yang disebabkan oleh air yang mengalir searah dengan aliran (Suhardiman, 2018). Besarnya angkutan sedimen dapat ditentukan dari pergerakan sedimen melintasi penampang dalam periode waktu yang cukup. Menurut Mulyanto (2007) dalam Pratama (2020) ada tiga jenis angkutan sedimen yang terjadi di dasar sungai, antara lain:

- a. *Wash load* adalah angkutan partikel halus yang berupa lempung (*clay*) dan debu yang ikut terbawa ke sungai dan mencapai laut atau genangan air lainnya.
- b. *Suspended load* atau muatan sedimen melayang yang terdiri dari pasir halus dan bergerak secara melayang dalam aliran.
- c. *Bed load* adalah butiran material berukuran besar yang bergerak di dasar sungai dengan cara menggelinding, bergeser ataupun melonpat.

2.4. Awal Gerak Butiran

Awal gerak butiran sangat penting dalam studi tentang transportasi sedimen, gerusan lokal, degradasi dasar sungai/saluran, desain saluran stabil, dan lain lain. Adanya aliran air menyebabkan terciptanya gaya aliran yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut menggerakkan/menyeret butiran material sedimen (Purnomo dan Widiyanto, 2014).

Dalam proses gerusan lokal, awal gerak butiran memperlihatkan awal terjadinya gerakan sedimen meninggalkan pilar jembatan, abutment atau bangunan air lainnya. Beberapa ahli mengatakan bahwa tegangan gesek kritis (τ_c) sangat mempengaruhi awal gerak butiran sedimen. Tegangan gesek kritis ini sering kali didefinisikan secara abstrak atau tidak dapat diukur yang menunjukkan mulainya gerakan sedimen (Wilcock, 1989). Jika tegangan gesek sedimen suatu aliran yang mengalir melewati saluran alluvial lebih besar dari tegangan gesek kritisnya ($\tau > \tau_c$), maka proses transpor sedimen tidak terjadi. Sebaliknya, jika tegangan gesek sedimen lebih kecil dari tegangan gesek kritisnya ($\tau < \tau_c$), maka terjadi proses transpor sedimen.

2.5. Gerusan

Gerusan adalah peristiwa dimana dasar sungai menurun dikarenakan terjadi erosi di bawah permukaan tanah yang diasumsikan (Neill, 1973). Menurut Legono (1990), Gerusan adalah proses erosi dan deposisi yang terjadi akibat perubahan aliran pada sungai. Perubahan ini disebabkan adanya hambatan pada aliran sungai yang berupa konstruksi bangunan pada sungai seperti abutmen atau pilar jembatan. Bangunan-bangunan ini dianggap mampu mengubah pola aliran dan bentuk alur, diikuti dengan munculnya gerusan lokal di sekitar bangunan. Menurut Laursen (1954) dalam Legono (1990), sifat alami gerusan memiliki tanda sebagai berikut :

- a. Volume gerusan akan sesuai dengan selisih antara jumlah butiran sedimen yang dibawa masuk ke dalam wilayah gerusan dengan jumlah yang dibawa ke luar wilayah gerusan.
- b. Dengan bertambahnya penampang besar di wilayah gerusan, maka volume gerusan akan berkurang. Untuk kondisi aliran akan terjadi suatu kondisi gerusan yang disebut gerusan batas, besarnya akan berbanding lurus terhadap waktu.

Faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan menurut Barokah dan Purwantoro (2014) antara lain sebagai berikut :

- a. Kecepatan Aliran
Perkembangan proses gerusan bergantung pada intensitas turbulen dan kecepatan aliran pada transisi antara lapisan tetap dan lapisan yang mudah tergerus pada dasar sungai, oleh karena itu informasi tentang kecepatan dan turbulensi di dekat dasar pada lubang gerusan tidak diperlukan.
- b. Kedalaman Aliran
Terjadinya gerusan dipengaruhi oleh kedalaman dasar sungai terhadap permukaan air (tinggi aliran zat air), sehingga kedalaman relatif dan kecepatan relatif merupakan faktor penting dalam memperkirakan kedalaman gerusan lokal.
- c. Jenis Pilar Jembatan
Pilar jembatan merupakan bagian terpenting dari sebuah jembatan karena berfungsi untuk menopang berat sendiri jembatan dan berat beban yang melintasinya. Maka pilar jembatan yang dibangun pada alur sungai, ketahanan

terhadap abrasi akibat aliran air perlu diperhatikan. Gerusan di sekitar pilar jembatan disebabkan oleh perubahan pola aliran. Perubahan ini disebabkan oleh aliran air yang tertahan oleh pilar jembatan sehingga arah aliran berbelok ke samping pilar. Jika peningkatan tekanan ini menjadi cukup parah, maka pusaran akan terbentuk di dasar pilar menyebabkan gerusan di sekitar pilar jembatan. Menurut Yunar (2006) ada beberapa macam tipe pilar, diantaranya *rectangular*, *rectangular with semi circular nose*, *rectangular with wedge shape nose*, elips (*elliptic*), silinder, *lenticular*, *aerofoil*, *semi circular nose with wedge shape tail*.

2.5.1. Jenis-Jenis Gerusan

Jenis-jenis gerusan menurut Raudkivi dan Ettema (1983) dalam Fitriana (2014) dibagi menjadi 3, yaitu :

a. *General Scour*

Gerusan ini tidak ada hubungannya dengan struktur hidrolis. Penyebab dari gerusan ini adalah energi dari air yang mengalir.

b. Gerusan terlokalisir (*Localized scour/constriction scour*) di alur sungai,

Gerusan ini terjadi karena aliran terpusat yang disebabkan oleh penyempitan alur sungai.

c. Gerusan Lokal merupakan gerusan yang terjadi di sekitar bangunan, disebabkan oleh pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

2.6. Gerusan Lokal

Gerusan lokal adalah gerusan pada dasar atau tepi sungai yang terjadi secara lokal di sekitar bangunan yang disebabkan oleh gangguan struktural atau alami akibat peningkatan energi dan turbulensi aliran (Suma, 2018).

Menurut Sarwono (2016) Gerusan lokal adalah proses alami yang terjadi di sungai sebagai akibat dari morfologi sungai atau bangunan yang menghalangi aliran seperti pilar jembatan, krib dan bangunan pada sungai lainnya. Adanya struktur tersebut dapat menyebabkan perubahan karakteristik aliran seperti pola aliran

berubah menjadi aliran spiral atau turbulensi, perubahan kecepatan aliran yang menyebabkan perubahan angkutan sedimen sehingga mengakibatkan gerusan lokal.

Kerusakan pilar jembatan akibat banjir sebagian besar disebabkan oleh arus yang mengurangi luas penampang sungai karena terdapat beberapa tiang di aliran sungai (terutama pada jembatan kayu) pada aliran sungai dan hampir semua kerusakan jembatan disebabkan oleh perubahan dasar sungai atau gerusan lokal (Yuwono Sosrodarsono dan Kazuno Nakzawa, 1981) dalam (Sarwono, 2016).

Menurut Soeharno dkk. (2010) gerusan lokal dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

a. *Clear Water Scour*

Sedimen hanya bergerak di sekitar pilar. Gerusan ini berkaitan dengan situasi di mana dasar sungai di bagian hulu bangunan tidak bergerak atau material tidak ada yang terangkut.

b. *Live Bed Scour*

Pergerakan sedimen ini terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak.

2.7. Mekanisme Gerusan

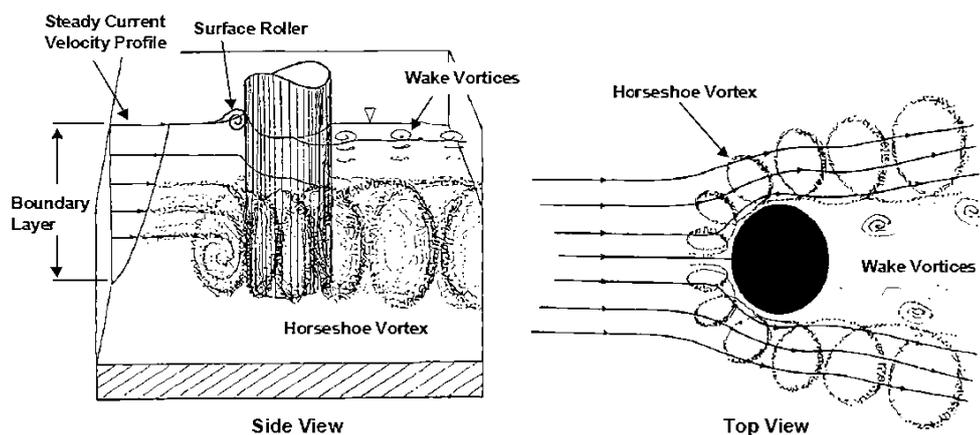
Menurut Richardson (1990) dalam Achmadi (2001) gerusan di sekitar pilar jembatan disebabkan oleh sistem pusaran (*vortex*) yang tercipta karena bangunan yang menghalangi aliran. Lubang gerusan disebabkan oleh sistem pusaran yang dimulai dari sisi hulu pilar, yaitu pada saat mulai timbulnya komponen aliran dengan arah aliran ke bawah (*down flow*), karena aliran yang berasal dari hulu terhalang oleh pilar.

Pola aliran yang terjadi di sekitar pilar pada aliran sungai cukup kompleks, kompleksitas meningkat dengan lubang gerusan yang semakin besar Menurut Miller (2003) ketika sebuah struktur ditempatkan dalam aliran air, aliran di sekitar struktur berubah dan gradien kecepatan vertikal aliran (*vertical velocity gradient*) akan berubah menjadi gradien tekan (*pressure gradient*) di ujung permukaan struktur tersebut. Gradien tekan ini adalah hasil dari aliran bawah yang membentur dasar saluran. Di dasar struktur, aliran bawah membentuk pusaran yang kemudian

menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur. Hal ini disebut pusaran tapal kuda (*horseshoe vortex*), karena dari atas terlihat berbentuk seperti tapal kuda. Di permukaan air, interaksi antara aliran dan struktur membentuk *bow wave* yang disebut *surface roller*. Ketika pemisahan aliran terjadi, struktur bagian dalam mengalami *wake vortices*.

2.7.1. Pusaran Tapal Kuda (*Horseshoe Vortex*)

Gerusan pada pilar menurut Barokah and Purwantoro (2014) terjadi karena percepatan arus di sekitar pilar dan pembentukan arus yang biasa disebut *horseshoe vortex*. Pusaran tapal kuda mengangkat material dari dasar pilar, membentuk lubang gerusan. Saat kedalaman gerusan meningkat, besarnya pusaran tapal kuda berkurang, sehingga mengurangi laku pengangkatan material sedimen dari lubang gerusan. Pada akhirnya keseimbangan akan tercapai antara material dasar yang masuk dan keluar, dan lubang gerusan akan berhenti bertambah. Faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan pada pilar adalah kedalaman aliran, kecepatan aliran pada hilir pilar, panjang pilar jika miring dari arus, lebar pilar, sudut dari arus yang datang, ukuran dan gradasi material dasar sungai, konfigurasi dasar sungai, bentuk pilar, dan pembentukan dari gangguan es dan puing-puing.



Gambar 1. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran Air di Sekitar Pilar.
Sumber : Miller, 2003.

2.8. HEC-RAS

HEC-RAS (*Hydraulic Engineering Center – River Analysis System*) adalah sebuah *software* yang dibuat dan dikembangkan oleh *Hydraulic Engineering Center*, salah satu divisi dari the *Institute for Water Resources (IWR)*, *U.S. Army Corps of Engineer*. Fungsi dari HEC-RAS yaitu untuk memodelkan hidrolika aliran air melalui sungai alami dan saluran lainnya. HEC-RAS mampu memodelkan satu dan dua dimensi aliran tetap maupun tak tetap (*steady and unsteady one-dimensional flow model*).

2.8.1. HEC-RAS 1D

HEC-RAS satu dimensi memiliki 4 (empat) komponen model (Istiarto, 2012) dalam (Utami *et al.* 2016), yaitu :

a. *Steady Flow Simulation*

Langkah perhitungan profil muka air yang dilakukan oleh modul aliran permanen HEC-RAS didasarkan pada penyelesaian persamaan energi (1D). Kehilangan energi dianggap disebabkan oleh gesekan (persamaan Manning) dan kontraksi/ekspansi (beda tinggi kecepatan dikalikan koefisien). Persamaan momentum digunakan ketika ada aliran yang berubah dengan cepat (*rapidly varied flow*), seperti campuran regime aliran subkritis dan superkritis (*hydraulic jump*), aliran melintasi jembatan, dan aliran di percabangan sungai (*stream junctions*).

b. *Unsteady Flow Simulation*

Program ini dapat mensimulasikan *unsteady flow* satu dimensi di sungai dengan alur yang kompleks. Modul aliran tak permanen HEC-RAS hanya dapat diterapkan pada aliran subkritis, namun setelah versi 3.1 rilis, modul HEC-RAS juga dapat mensimulasikan regime aliran campuran (subkritis, superkritis, loncat air, dan draw-downs).

c. Hitungan transpor sedimen

Sediment Transport/Movable Boundary Computations adalah program yang mampu mensimulasikan transport sedimen satu dimensi akibat gerusan atau

deposisi dalam waktu yang cukup Panjang (umumnya tahunan, namun dapat juga dilakukan simulasi perubahan dasar sungai akibat sejumlah banjir tunggal).

d. Hitungan kualitas air (*Water Quality Analysis*)

HEC-RAS versi 6.2 dapat digunakan untuk menganalisis temperatur air dan simulasi transportasi untuk beberapa konstituen kualitas air, seperti *Dissolved Oxygen*, *Carbonaceous Biological Oxygen Demand*, *Algae*, *Dissolved Nitrite Nitrogen*, *Dissolved Organic Nitrogen*, dan *Dissolved Nitrate Nitrogen*.

Bagian penting dari HEC-RAS adalah bahwa keempat komponen tersebut menggunakan data geometri dan melakukan perhitungan hidraulika yang sama, serta memiliki beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah perhitungan profil muka air (Istiarto, 2014). Selain keempat komponen tersebut, HEC-RAS juga memiliki alat yang dapat digunakan untuk memperkirakan besar kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan dengan memilih menu *Hdraulic Design Function*. Terdapat 3 (tiga) pilihan untuk menghitung gerusan pada HEC-RAS yaitu *Contraction*, *Pier* dan *Abutment* (Istiarto, 2014).

2.8.2. HEC-RAS 2D

HEC-RAS dapat melakukan perutean hidrodinamik dua dimensi (2D) dalam bagian analisis aliran yang tidak stabil dari perangkat lunak. Pengguna sekarang dapat melakukan pemodelan aliran tidak tunak satu dimensi (1D), pemodelan aliran tidak tunak dua dimensi (2D) (persamaan *Shallow Water (SWE)* atau persamaan Gelombang Difusi (DWE)), serta kombinasi perutean aliran tidak tunak 1D dan 2D. Area aliran 2D pada HEC-RAS dapat digunakan dalam beberapa cara. Berikut ini adalah beberapa contoh bagaimana area aliran 2D dapat digunakan untuk mendukung pemodelan dengan HEC-RAS:

- a. Pemodelan saluran 2D terperinci
- b. Saluran 2D terperinci dan pemodelan dataran banjir
- c. Gabungan saluran 1D dengan area dataran banjir 2D

- d. Gabungan saluran 1D/dataran banjir dengan area aliran 2D di belakang tanggul
- e. Langsung hubungkan jangkauan 1D masuk dan keluar dari area aliran 2D
- f. Hubungkan langsung area aliran 2D ke Area Penyimpanan 1D dengan struktur hidrolis
- g. Beberapa area aliran 2D dalam geometri yang sama
- h. Hubungkan langsung beberapa area aliran 2D dengan struktur hidrolis
- i. Analisis Pelanggaran Bendungan yang disederhanakan hingga sangat detail
- j. Analisis Pelanggaran Tanggul yang disederhanakan hingga sangat detail
- k. *Mixed flow regime*. Kemampuan 2D (serta 1D) dapat menangani aliran superkritis dan subkritis, serta transisi aliran dari subkritis ke super kritis dan superkritis ke subkritis (loncatan hidrolis).

Pemodelan aliran 2D dilakukan dengan menambahkan elemen area aliran 2D ke dalam model dengan cara yang sama seperti menambahkan area penyimpanan. Area aliran 2D ditambahkan dengan menggambar poligon area aliran 2D; mengembangkan mesh komputasi 2D; kemudian menghubungkan area aliran 2D ke elemen model 1D dan/atau menghubungkan langsung kondisi batas ke area 2D.

2.8.3. Gerusan Lokal Pada Pilar

Pada laporan *Hydraulic Engineering Center (HEC) No. 18* yang berjudul *Evaluating Scour at Bridges* merekomendasikan penggunaan persamaan *Colorado State University (CSU)* dalam *HEC-RAS River Analysis System* untuk perhitungan gerusan pada pilar menurut kondisi *live-bed* dan *clear water*. Persamaan CSU dapat memprediksikan kedalaman maksimum penggerusan pada pilar jembatan untuk *live-bed scour* dan *clear-water scour*.

2.8.3.1. Gerusan Lokal Pada Pilar Menggunakan Persamaan CSU

Persamaan CSU dapat memprediksi kedalaman gerusan maksimum pada pilar untuk *live bed scour* dan *clear water scour*. Persamaannya sebagai berikut:

$$y_s = 2.0K_1 K_2 K_3 K_4 a^{0.65} y_1^{0.35} Fr_1^{0.43} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

y_s = Kedalaman gerusan (m)

y_1 = Kedalaman aliran pada hulu pilar (m)

K_1 = Faktor koreksi bentuk penampang pilar (**Tabel 1**)

K_2 = Faktor koreksi arah datang aliran air

K_3 = Faktor koreksi kondisi dasar permukaan dan gundukan (**Tabel 2**)

K_4 = Faktor koreksi ketahanan dasar saluran (**Tabel 3**)

a = Tebal pilar (m)

Fr_1 = Bilangan Froude langsung dari hulu pilar yang diambil dari *output* distribusi aliran untuk penampang tepat dari hulu jembatan

V_1 = Kecepatan rata-rata aliran pada hulu pilar (m/s)

G = Nilai gravitasi (9.81 m/s²)

Untuk pilar berbentuk *round nose* yang sejajar dengan aliran, kedalaman gerusan maksimumnya sebagai berikut:

$y_s \leq 2,4$ kali lebar pilar (a) untuk $Fr_1 \leq 0.8$

$y_s \leq 3,0$ kali lebar pilar (a) untuk $Fr_1 > 0.8$

Pilihan faktor koreksi (K_w) untuk lebar pilar pada air yang dangkal dapat diaplikasi dalam persamaan CSU :

$$K_w = 2.58 \left(\frac{y}{a}\right)^{0.34} F^{0.65} \quad \text{untuk } \frac{V}{V_c} < 1 \dots\dots\dots(2)$$

$$K_w = 1 \left(\frac{y}{a}\right)^{0.13} F^{0.25} \quad \text{untuk } \frac{V}{V_c} \geq 1 \dots\dots\dots(3)$$

Karena faktor koreksi dikembangkan berdasarkan batas data flume, maka tidak secara otomatis terhitung dalam HEC-RAS. Namun dapat secara manual menerapkan faktor ini ke kedalaman gerusan yang dihitung, atau dapat menggabungkannya dengan salah satu faktor koreksi yang dimasukkan oleh pengguna (K_1 sampai K_4).

Tabel 1. Faktor koreksi untuk bentuk penampang pilar (K_1)

Bentuk Ujung Pilar	K1
Persegi	1.1
Bulat	1.0
Lingkaran Silinder	1.0
Kumpulan Silinder	1.0
Tajam	0.9

Sumber : *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual 2022*

Faktor koreksi untuk arah datang aliran (K_2) dapat juga dihitung dengan cara :

$$K_2 = \left(\cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0.65} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- a = Tebal pilar (m)
- L = Panjang Pilar (m)
- θ = Sudut datang aliran

Jika L/a lebih besar dari 12, dipakai hasil $L/a = 12$ sebagai nilai yang paling besar. Jika sudut datang aliran lebih besar dari 5 derajat, K_2 mendominasi dan K_1 harus bernilai 1.0.

Tabel 2. Faktor Koreksi untuk kondisi dasar saluran (K_3)

Kondisi Dasar	Tinggi Gundukan (m)	K₃
<i>Clear Water Scour</i>	-	1.1
Dasar rata dan aliran <i>anti-dune</i>	-	1.1
Gundukan kecil	$10 > H \geq 2$	1.1
Gundukan sedang	$30 > H \geq 10$	1.1 – 1.2
Gundukan besar	$H \geq 30$	1.3

Sumber: *HEC-RAS Hydraulic Referance Manual 2022*

Faktor koreksi K_4 mengurangi kedalaman gerusan untuk perlindungan lubang gerusan pada material dasar yang memiliki D_{50} lebih besar atau sama dengan 0,007 kaki (0,002 m) dan D_{95} lebih besar atau sama dengan 0,066 kaki (0,020 m). Nilai faktor koreksi dari penelitian terbaru oleh Molinas di *Colorado State University* Menunjukkan bahwa Ketika kecepatan aliran datang (V_1) lebih kecil daripada kecepatan kritis (V_{c90}) terhadap ukuran D_{90} pada material dasar dan terdapat gradasi

pada ukuran material dasar, D_{90} akan membatasi kedalaman gerusan. Persamaan yang dikembangkan oleh Jones untuk menganalisis data adalah sebagai berikut:

$$K_4 = 0,4 (V_R)^{0.15} \dots\dots\dots(5)$$

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{i50}}{V_{c50} - V_{i95}} \right] \dots\dots\dots(6)$$

$$V_{i50} = 0.645 \left[\frac{D_{50}}{a} \right]^{0.65} V_{c50} \dots\dots\dots(7)$$

$$V_{i95} = 0.645 \left[\frac{D_{95}}{a} \right]^{0.053} V_{c95} \dots\dots\dots(8)$$

$$V_{c50} = K_u y^{\frac{1}{6}} D_{50}^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(9)$$

$$V_{c95} = K_u y^{\frac{1}{6}} D_{95}^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

V_R = Kecepatan rasio

V_1 = Kecepatan aliran rata – rata saluran atau area tepi saluran pada penampang hulu jembatan (m/s)

V_{i50} = Kecepatan pendekatan yang dibutuhkan untuk memicu gerusan pada pilar untuk ukuran butiran D_{50} (m/s)

V_{i95} = Kecepatan pendekatan yang dibutuhkan untuk memicu gerusan pada pilar untuk ukuran butiran D_{95} (m/s)

V_{c90} = Kecepatan kritis pada ukuran material dasar D_{90} (m/s)

V_{c50} = Kecepatan kritis pada ukuran material dasar D_{50} (m/s)

a = Tebal pilar (m)

y = Kedalaman air pada hulu pilar (m)

K_u = 11.17 (*English units*), 6.19 (*S.I units*)

Tabel 3. Batasan nilai K_4 dan ukuran dasar sedimen

Faktor Koreksi	Ukuran material dasar minimum	Nilai minimum K_4
K_4	$D_{50} \geq 0.006 \text{ ft (0.002 m)}$	0.4
	$D_{95} \geq 0.06 \text{ ft (0.02 m)}$	

Sumber: *HEC-RAS Hydraulic Referance Manual 2022*

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini berupa simulasi model matematik (HEC-RAS 2D). Dalam penelitian ini perlu dilakukan pemodelan yang dapat menggambarkan kondisi suatu aliran dengan menggunakan HEC-RAS versi 6.2. Penggunaan HEC-RAS versi 6.2 dalam hal ini ditujukan untuk simulasi 2D yang menggambarkan pola aliran pada pilar jembatan.

3.2. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama lebih kurang 2 bulan dari bulan Agustus sampai Oktober 2022.

3.3. Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada lokasi jembatan di provinsi lampung. Titik koordinat lokasi jembatan yang diamati berada pada $5^{\circ}11'49''\text{S}$ $105^{\circ}10'33''\text{E}$. Lokasi yang ditinjau hasil citra satelit menggunakan *Google Earth* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi jembatan yang diamati.
Sumber : Google Earth

3.4. Variabel yang diteliti

Variable yang diteliti pada penelitian ini yaitu jenis atau bentuk pilar.

3.5. Variabel Penelitian

- a. Variabel Bebas merupakan variable yang mempengaruhi variable lain diantaranya:
 - 1) Lebar Saluran
 - 2) Kedalaman Saluran
 - 3) Kecepatan Aliran

- b. Variabel terikat, merupakan variable yang dipengaruhi variable lain seperti:
 - a. Debit Aliran
 - b. Kedalaman Saluran
 - c. Gerusan Lokal

3.6. Variasi Penelitian

Variasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu variasi bentuk pilar dengan dimensi sungai dan debit air yang sama

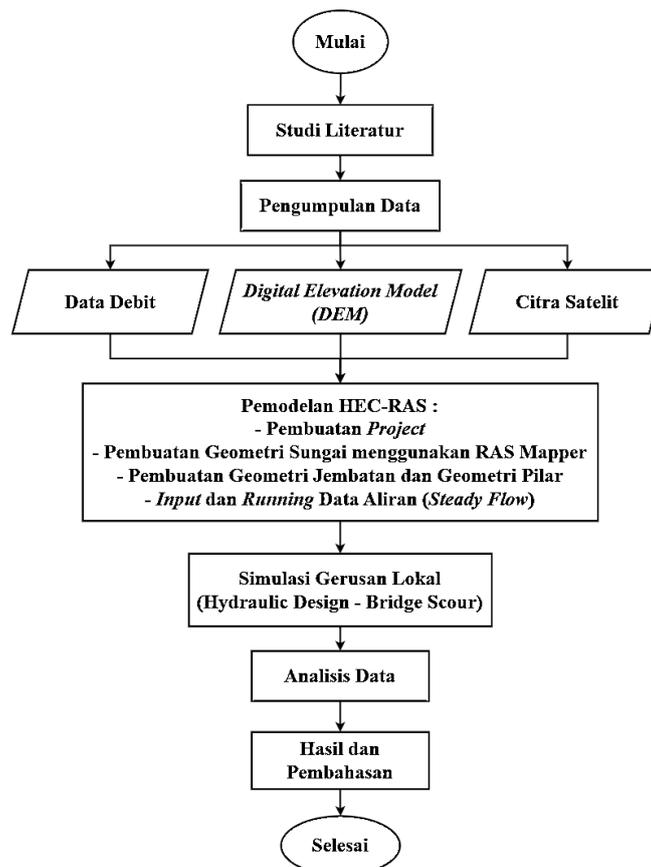
3.7. Pengumpulan dan Pengolahan Data

1. *Digital Elevation Model (DEM)*

Data *Digital Elevation Model (DEM)* diperoleh dari DEMNAS yang kemudian diolah menggunakan *software* Global Mapper dengan system koordinat menggunakan WGS (*World Geodetic System*) 1984.

3.8. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah



Gambar 3. *Flowchart* Penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan pada beberapa jenis pilar jembatan dengan program HEC-RAS versi 6.2 menggunakan persamaan *Colorado State University (CSU)*, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Model simulasi gerusan lokal dengan data-data dan tahap-tahap pengoperasian HEC-RAS yang sudah dibahas pada bab empat berhasil dibuat menggunakan *software* HEC-RAS 2D versi 6.2 dengan *Digital Elevation Model (DEM)* Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung yang diperoleh dari DEMNAS.
2. Dari hasil simulasi, dapat dilihat bahwa tipe atau bentuk pilar berpengaruh kepada kedalaman gerusan lokal. Kecepatan aliran pada cross section terdekat di hulu pilar sebesar 4,44 m/s menghasilkan kedalaman gerusan sebesar 7,27 m pada pilar dengan dimensi dua meter dan 9,46 m pada pilar dengan dimensi tiga meter. Pilar yang bagian depannya bundar antara lain *Round Nose*, *Circular Cylinder* dan *Group of Cylinder* menghasilkan kedalaman gerusan yang relatif sama sebesar 6,61 m pada pilar dengan dimensi dua meter dan 8,6 m pada pilar dengan dimensi tiga meter. Pilar yang bagian depannya runcing atau tajam (*Sharp Nose*) menghasilkan kedalaman gerusan sebesar 5,95 m pada pilar berdimensi dua meter dan 7,74 m pada pilar berdimensi tiga meter.
3. Dari hasil simulasi ditunjukkan bahwa bentuk pilar dan dimensi pilar sama-sama berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal pada pilar jembatan. Jenis pilar berbentuk persegi memberikan kedalaman gerusan lokal paling dalam dari bentuk pilar lainnya. Semakin hidrodinamis bentuk pilar, akan semakin sedikit kemungkinan terjadinya gerusan lokal pada pilar jembatan. Jadi dapat

disimpulkan bahwa faktor yang paling berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal yaitu bentuk dan ukuran pilar.

5.2. Saran

Saran yang dapat penulis berikan setelah melakukan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Peneliti selanjutnya dapat melakukan penelitian dengan jumlah pilar jembatan lebih dari satu.
2. Dapat melakukan variasi ukuran partikel sedimen D50 dan D95 untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdusalam, A. and Hakim, M.F., 2019. Pengaruh Aliran Sungai Terhadap Penggerusan Disekitar Pilar Jembatan, 9 (2), 68–78.
- Achmadi, T., 2001. Gerusan Pada Pilar Jembatan. Universitas Diponegoro.
- Amelia, A., Lasminto, U., and Sarwono, B., 2017. Studi Kapasitas Angkut dan Gerusan Lokal Pada Penampang Sungai Brantas Akibat Pilar Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono. *Jurnal Teknik ITS*, 6 (2).
- Barokah, I. and Purwantoro, D., 2014. *Pengaruh Variasi Debit Aliran Terhadap Gerusan Maksimal Di Bangunan Jembatan Dengan Menggunakan Program HEC-RAS*. INERSIA.
- Cambodia, M., 2020. Analisis Gerusan Lokal pada Pilar Jembatan Kereta Api BH. 337 akibat Aliran Sungai Cikao. *Teknika Sains : Jurnal Ilmu Teknik*, 5 (2), 44–53.
- Fitriana, N., 2014. Analisis Gerusan di Hilir Bendung Tipe Vlughter (Uji Model Laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2 (3), 389–396.
- Latif, F., Said, M., and Risky Amalisa, A., 2019. Studi Pergerakan Sedimen Akibat Fluktuasi Debit Pada Saluran Terbuka (Uji Laboratorium), 12 (1), 34–44.
- Istiarto. 2012, Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, Jenjang Dasar: Simple Geometry River, UGM, Yogyakarta.
- Istiarto, 2014, Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, Jenjang Lanjut: Junction And Inline Structures, UGM, Yogyakarta.
- Legono, D., 1990. *Gerusan Pada Bangunan Sungai*. Yogyakarta.
- Miller, W. 2003. Model For The Time Rate of Local Sediment Scour At A Cylindrical Structure. Disertasi. Florida : PPS Universitas Florida.
- Neill, C.R., 1973. *Guide to bridge hydraulics*,. Toronto: University of Toronto Press.

- Pandey, M., Sharma, P.K., Ahmad, Z., and Singh, U.K., 2017. Evaluation of existing equations for temporal scour depth around circular bridge piers. *Environmental Fluid Mechanics*, 17 (5), 981–995.
- Pratama, M.I., Legono, D., and Rahardjo, A.P., 2020. Analisis Transpor Sedimen Serta Pengaruh Aktivitas Penambangan Pada Sungai Sombe, Kota Palu, Sulawesi Tengah. *Journal Teknik Pengairan*, 10 (90), 84–96.
- Purnomo, S.N. and Widiyanto, W., 2014. Perencanaan Model Fisik Peristiwa Gerusan di Bahu Jalan Raya. *Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia*, (March), 163–171.
- Putra, A.S., 2014. Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Sungai Musi. *Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2, 603–609.
- Sarwono, S., 2016. Study of local scouring characteristics surroundings several bridge pilars forms. *Jurnal Sumber Daya Air*, 89–104.
- Soeharno, A.W.H., Soekarno, I., and Egon, A., 2010. Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil*, 13 (1), 1.
- Suhardiman, N., 2018. Bangunan Penangkap Sedimen pada saluran segi empat (Experimental). *Jurnal Teknik Hidro Vol. 12 No. 1, Februari 2019*, 11 (1), 12–22.
- Suma, M.F., Halim, F., and Hendratta, L.A., 2018. Analisis gerusan lokal pada pilar jembatan kuwil kabupaten minahasa utara menggunakan metode empiris. *Jurnal Sipil Statik*, 6 (11), 1017–1028.
- Triatmodjo, B., 2003. *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Utami, T., Purwadi, O.T., and Susilo, G.E., 2016. Desain Penampang Sungai Way Besai Melalui Peningkatan Kapasitas Sungai. *Jurnal JRSDD*, 4 (2), 185–196.
- Wilcock, P.R., 1989. Methods for estimating the critical shear stress of individual fractions in mixed-size sediment. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 26 (1), A2.
- Wiyono, A., Soekarno, I., dan Egon, A. (2006). Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium).
- Yunar, A., 2006. Karakteristik Gerusan Pilar Segi Empat Ujung Bulat pada Kondisi Terjadi Penurunan Dasar Sungai dengan Proteksi Tirai. *SMARTERK*.