

**ANALISIS GERUSAN LOKAL PADA PILAR JEMBATAN MENGGUNAKAN METODE CSU Pilar  
(Pilar Kapsul dan Pilar Tajam dengan Aliran Superkritik)**

Anjelita Suratinoyo<sup>2</sup>, Puji Harsanto<sup>3</sup>, Jaza'ul Ikhsan<sup>4</sup>

**INTISARI**

*Gerusan lokal terjadi karena perubahan aliran yang disebabkan oleh adanya halangan aliran sungai dan kecepatan aliran. Pola gerusan lokal pada pilar jembatan dipengaruhi oleh bentuk pilar yang digunakan. Perbedaan kecepatan yang terjadi akan menyebabkan perbedaan pola gerusan lokal pada sekitar pilar. Penelitian mengenai gerusan lokal pada bangunan – bangunan air khususnya pilar jembatan perlu dilakukan, karena dampak dari gerusan lokal pada pilar sangat perlu diperhatikan karena akan menurunkan keamanan struktur jembatan.*

*Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui variabel yang tepat untuk menganalisis pilar kapsul dan pilar tajam dengan menggunakan metode Colorado State University (CSU) dan membandingkan gerusan pada simulasi dengan gerusan pada eksperimen. Simulasi dilakukan dengan software HEC-RAS versi 5.0.3 dengan aliran superkritik, menggunakan debit aliran sebesar 0,0052 m<sup>3</sup>/s, kedalaman aliran sebesar 0,0175 m, dan slope sebesar 0,0358.*

*Berdasarkan simulasi dengan software HEC-RAS 5.0.3, diperoleh kedalaman gerusan yang sama dengan kedalaman gerusan pada hasil uji laboratorium (eksperimen). Kedalaman gerusan untuk pilar kapsul sebesar 0,033 m dengan menggunakan variabel K2 dan K4 sebesar 0,496 dan 0,238, sedangkan kedalaman gerusan untuk pilar tajam sebesar 0,03 m dengan menggunakan variabel K2 dan K4 sebesar 0,471 dan 0,24. Pada hasil simulasi, diperoleh lebar gerusan yang lebih kecil dibandingkan lebar gerusan pada eksperimen. Hal ini dikarenakan lebar gerusan bagian sisi kanan dan sisi kiri pilar pada simulasi berbentuk simetris dengan mengikuti bentuk kedalaman gerusan.*

**Kata Kunci : Pilar, Gerusan Lokal, HEC-RAS, Metode Colorado State University (CSU)**

<sup>1</sup>Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
NIM : 20130110224, e-mail: anjelitasuratinoyo@gmail.com

<sup>3</sup>Dosen Pembimbing I

<sup>4</sup>Dosen Pembimbing II

**I. PENDAHULUAN**

**A. Latar Belakang**

Sungai merupakan jalan air alami untuk dapat mengalir dari mata air melewati beberapa alur sungai menuju samudera, danau, laut atau ke sungai yang lain secara dinamis. Sungai memiliki pola karakteristik aliran yang akan berubah apabila terdapat beberapa faktor, salah satunya adalah pembuatan bangunan-bangunan air seperti jembatan. Jembatan bentang panjang dengan sungai dibawahnya memerlukan pilar sebagai penopangnya. Pilar merupakan struktur bawah jembatan yang keberadaannya dapat mempengaruhi perubahan pola aliran. Pola aliran tersebut akan mengakibatkan terjadinya gerusan lokal yang akan mengganggu kestabilan pilar. Sehubungan dengan gerusan lokal yang dapat membahayakan bangunan sungai (pilar, abutment, krib, dan sebagainya) berupa keruntuhan pada

bangunan tersebut, sehingga diperlukan penelitian mengenai pilar jembatan.

Penelitian mengenai gerusan lokal pada bangunan – bangunan air khususnya pilar jembatan perlu dilakukan, karena dampak dari gerusan lokal pada pilar sangat perlu diperhatikan karena akan menurunkan keamanan struktur jembatan. Maka dari itu pentingnya memprediksi gerusan lokal yang ada disekitar pilar jembatan untuk meminimalisir dampak yang mungkin akan terjadi. Pada penelitian ini dilakukan prediksi gerusan lokal dengan mencari parameter hitungan metode Colorado State University (CSU) yang tepat dengan menggunakan software HEC-RAS 5.0.3 yang merupakan program aplikasi River Analysis System (RAS), dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satuan kerja di bawah US Army Corps of Engineers (USACE).

## B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisa gerusan yang terjadi pada pilar jembatan menggunakan program HEC-RAS 5.0.3 ?
2. Variabel apakah yang tepat untuk menganalisis pilar persegi dan pilar lingkaran dengan menggunakan persamaan *Colorado State University (CSU)* ?
3. Bagaimana perbandingan antara hasil analisis metode numerik menggunakan *software* HEC-RAS dengan hasil penelitian di laboratorium (eksperimen) ?

## C. Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan gerusan antara hasil analisis metode numerik menggunakan *software* HEC-RAS dengan hasil penelitian di lapangan.
2. Mengetahui variabel yang tepat untuk menganalisis pilar kapsul dan pilar tajam dengan menggunakan metode *Colorado State University (CSU)*.

## D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian adalah sebagai:

1. Sebagai panduan untuk melakukan pemodelan gerusan lokal di sekitar pilar kapsul dan pilar tajam dengan persamaan *Colorado State University (CSU)* menggunakan *software* HEC-RAS versi 5.0.3.

## E. Batasan Masalah

Penelitian ini dapat mengarahkan pada latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan maka dibuat batasan – batasan masalah guna membatasi ruang lingkup penelitian, antara lain:

1. Pada penelitian kondisi *flume* dengan panjang 5 m, lebar 0,46 m, tinggi sedimen 10 cm dengan material dasar pasir, dan waktu simulasi 6 menit.
2. Penelitian menggunakan *software* HEC-RAS 5.0.3 dengan diketahui debit 0,0052 m<sup>3</sup>/s, *slope* 0,0358, dan data geometri penampang dengan lebar 0,46 m dan panjang 5 m.
3. Analisa gerusan lokal di sekitar pilar menggunakan formula/metode *Colorado State University (CSU)*

4. Simulasi yang dilakukan adalah bentuk penampang yang diberi pilar di tengahnya
5. Bentuk pilar yang disimulasikan yaitu bentuk kapsul dan belah ketupat (tajam).
6. Penelitian hanya melihat fenomena perubahan aliran yang terjadi pada sekitar pilar jembatan dengan pengamatan visual.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Penggerusan lokal menurut Garde dan Raju (1977) dalam Wibowo (2007) terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan oleh terganggunya aliran, baik besar maupun arahnya, sehingga menyebabkan hanyutnya material-material dasar atau tebing sungai.

Menurut Jones (1983) dalam FHWA-HIF-12-003 (2012) bahwa formula CSU adalah formula yang direkomendasikan dalam edisi HEC-18. Modifikasi yang ditambahkan adalah penambahan koefisien untuk efek bentuk dasar, ukuran material dasar, dan ketebalan pilar.

Menurut Wiyono, dkk (2006) hasil perhitungan kedalaman gerusan dengan metode *Colorado State University (CSU)* menunjukkan hasil yang paling mendekati hasil pengamatan di lapangan atau yang memiliki error relatif terkecil dibandingkan dengan metode lainnya, seperti metode Neill dan metode Laursen.

Pada penelitian ini perhitungan kedalaman gerusan lokal dimodelkan dengan model matematik *software* HEC-RAS 5.0.3. Analisa yang dilakukan adalah menghitung kedalaman gerusan menggunakan formula CSU dengan mencari variabel yang tepat sehingga memperoleh kedalaman gerusan yang sama atau mendekati dengan kedalaman gerusan hasil uji di laboratorium (eksperimen).

## III. LANDASAN TEORI

### A. Gerusan Lokal

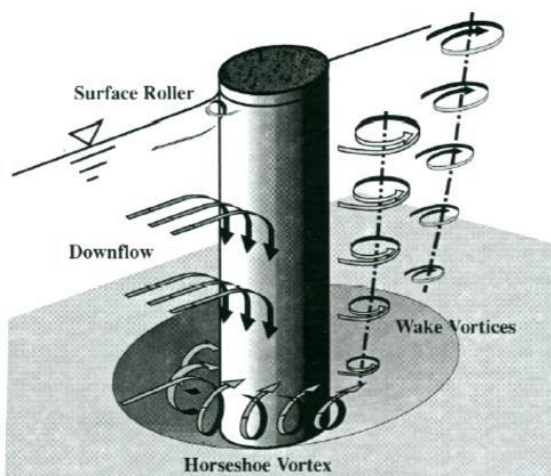
Gerusan merupakan proses alami yang dapat mengakibatkan kerusakan, pada struktur bangunan di daerah aliran air. Penambahan gerusan akan terjadi dimana ada perubahan setempat dari geometri sungai seperti karakteristik tanah dasar setempat dan adanya halangan pada alur sungai berupa bangunan sungai. Gerusan lokal (*local scouring*) terjadi pada suatu kecepatan pada *software* HEC-RAS. Persamaan yang ada

aliran dimana sedimen ditransport lebih besar dari sedimen yang disuplai. Gerusan terjadi ketika perubahan kondisi aliran menyebabkan peningkatan tegangan geser dasar.

### B. Mekanisme Gerusan

Menurut Richardson dkk. (1990) dalam Achmadi (2001), gerusan yang terjadi di sekitar pilar jembatan ialah akibat sistem pusaran (*horseshoe vortex*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh suatu bangunan. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu pilar, yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah (*down flow*), karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh pilar. Aliran arah vertikal ini akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Pada dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar dan akan terus berlanjut hingga tercapai kesetimbangan.

Interaksi aliran dan pilar akan membentuk busur ombak (*bow wave*) yang disebut *surface roller* yang kemudian bergerak kesamping dan terjadi pemisahan aliran yang selanjutnya membentuk *wake vortex* dibagian belakang pilar jembatan, seperti diilustrasikan pada gambar berikut :



**Gambar 1** Ilustrasi gerusan lokal di sekitar pilar jembatan (*Sumber : Melville & Coleman, 2000 dalam Alabi, 2006*)

### C. HEC-RAS Versi 5.0.3

HEC-RAS adalah sebuah program aplikasi yang didesain 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), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE).

HEC-RAS 5.0.3 dapat melakukan analisis hitungan satu dimensi pada profil muka air aliran permanen (*Steady Flow*), hitungan satu/dua dimensi pada profil muka air aliran tidak permanen (*Unsteady Flow*), hitungan angkutan sedimen, analisis kualitas air, dan fitur desain hidraulik.

Menurut Istiarto (2011) bahwa umumnya dalam tahap mendesain jembatan cukup dibutuhkan parameter aliran pada debit desain. Dengan demikian, cukup dilakukan analisis aliran permanen (*steady flow analysis*). *Steady Flow* adalah kondisi aliran yang kecepatannya tidak berubah dengan waktu.

### D. Persamaan Gerusan Lokal

Pada HEC-RAS menyajikan 2 (dua) persamaan/formula yang dapat dipakai untuk menganalisa besarnya kedalaman gerusan pada pilar, yaitu persamaan *Colorado State University (CSU)* dan persamaan *Froehlich (1991)*. Persamaan CSU dapat menghitung kedalaman gerusan pilar pada kondisi *live-bed* dan *clear-water*. Persamaan CSU adalah sebagai berikut:

$$Y_s = 2.0 K_1 K_2 K_3 K_4 a^{0.65} y_1^{0.35} Fr^{0.43}$$

Dimana :

- $Y_s$  = Kedalaman gerusan (m)
- $y_1$  = Kedalaman aliran pada hulu pilar (m)
- $K_1$  = Faktor koreksi bentuk penampang pilar
- $K_2$  = Faktor koreksi arah datang aliran air
- $K_3$  = Faktor koreksi kondisi dasar permukaan dan gundukan
- $K_4$  = Faktor koreksi ketahanan dasar saluran
- $a$  = Tebal pilar (m)
- $Fr$  = Angka Froude

## 1. Faktor Koreksi K1

**Tabel 1** Faktor koreksi untuk bentuk penampang pilar

Bentuk Ujung Pilar	K1
Persegi	1,1
Bulat	1,0
Lingkaran Silinder	1,0
Kumpulan Silinder	1,0
Tajam	0,9

Sumber : *HEC-RAS Reference Manual* (2016)

## 2. Faktor Koreksi K2

Faktor koreksi untuk arah datang aliran (K2) dapat pula dikalkulasi dengan cara:

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

Dimana:

L = Panjang Pilar (m)

$\theta$  = 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<sub>2</sub> mennguasai dan K<sub>1</sub> harus bernilai 1.0.

## 3. Faktor Koreksi K3

**Tabel 2** Faktor koreksi untuk kondisi dasar saluran (K<sub>3</sub>)

Kondisi Dasar	Tinggi Gundukan (m)	K3
Clear Water Scour	-	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 Reference Manual* (2016)

## 4. Faktor Koreksi K4

$$K_4 = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

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

$$V_{i50} = 0.645 \left[ \frac{D_{50}}{a} \right]^{0.053} V_{c50}$$

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

$$V_{c50} = K_u y^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

$$V_{c95} = K_u y^{1/6} D_{95}^{1/3}$$

Dimana:

V<sub>r</sub> = Kecepatan rasio

V<sub>1</sub> = Kecepatan aliran rata – rata saluran atau area tepi saluran pada penampang hulu jembatan, f/t (m/s)

V<sub>i50</sub> = Kecepatan pendekatan yang dibutuhkan untuk memicu gerusan pada pilar untuk ukuran butiran D<sub>50</sub>, f/t (m/s)

V<sub>i95</sub> = Kecepatan pendekatan yang dibutuhkan untuk memicu gerusan pada pilar untuk ukuran butiran D<sub>95</sub>, f/t (m/s)

V<sub>c90</sub> = Kecepatan kritis pada ukuran material dasar D90 (m/s)

V<sub>c50</sub> = Kecepatan kritis pada ukuran material dasar D50 (m/s)

a = Tebal pilar (m)

y = Kedalaman air pada hulu pilar, ft (m)

K<sub>u</sub> = 11.17 (*English units*), 6.19 (*S.I units*)

**Tabel 3** Batasan Nilai K4 dan ukuran dasar sedimen

Faktor Koreksi	Ukuran material dasar minimum	Nilai minimum K4
K4	D50 ≥ 0.006 ft (0.002 m)	0.4
	D95 ≥ 0.06 ft (0.02 m)	

Sumber : *HEC-RAS Reference Manual* (2016)

## IV. METODE PENELITIAN

### A. Studi Literatur

Penelitian ini mengambil sumber dari jurnal – jurnal serta beberapa tugas akhir tentang gerusan lokal yang digunakan untuk menunjang penelitian, baik pada penelitian model fisik (*experiment*) maupun model matematik / numerik. Pada penelitian ini diminta untuk menganalisa dan menghitung kedalaman gerusan yang terjadi disekitar pilar dengan *Software* HEC-RAS 5.0.3 dan menggunakan metode CSU.

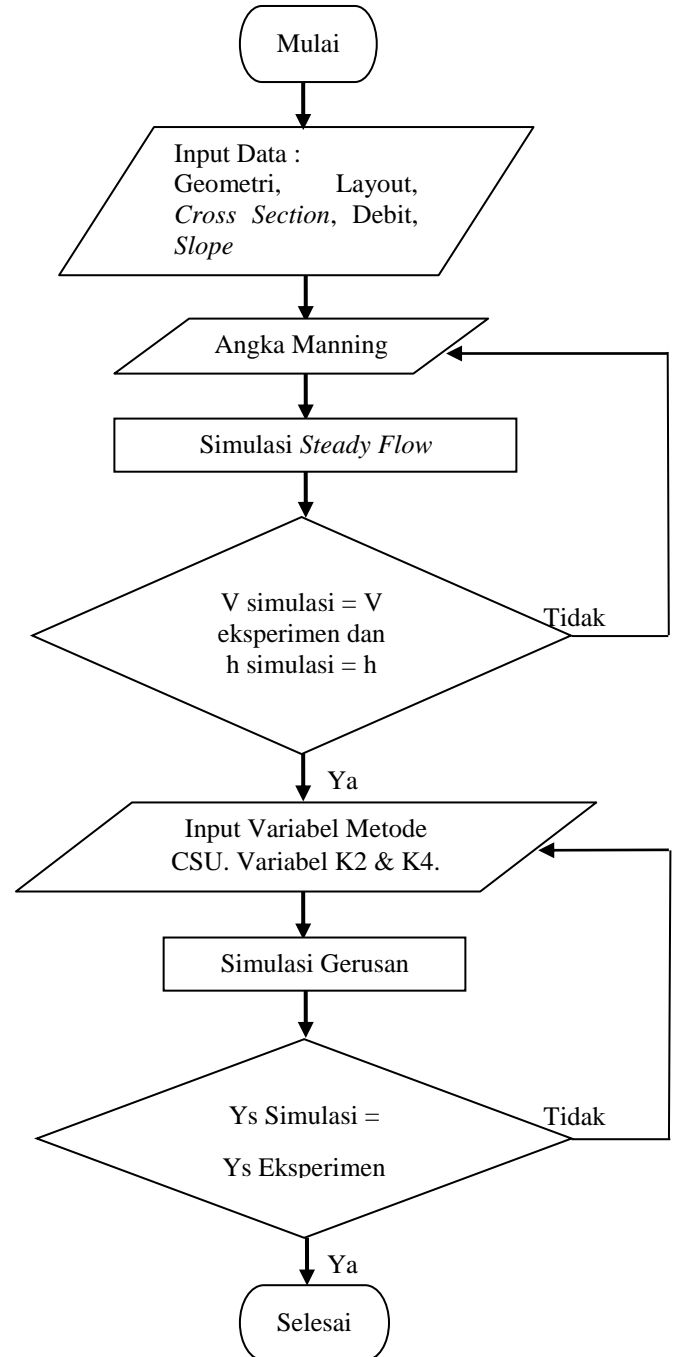
## B. Pengumpulan Data

Simulasi numerik yang digunakan pada HEC-RAS menggunakan data primer yang diperoleh dari hasil penelitian model fisik. Pada **Tabel 4** Menampilkan parameter hidraulik yang digunakan pada simulasi numeric

**Tabel 4** Parameter Hidraulik

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Panjang Saluran	5,00	m
2	Lebar Saluran utama	0,46	m
3	Angka Slope	0,0358	-
4	Debit Aliran	0,00522	m <sup>3</sup> /s
5	Kecepatan Aliran		
	a. Pilar Kapsul b. Pilar Tajam	0,5254 0,7226	m/s m/s
6	a. Dimensi Pilar Kapsul		
	- Panjang	0,1524	m
	- Lebar	0,0762	m
	b. Dimensi Pilar Tajam		
	- Diagonal	0,0762	m
7	Ukuran Sedimen 50% (D <sub>50</sub> )	0,975	mm
8	Ukuran Sedimen 95% (D <sub>95</sub> )	1,855	mm

## C. Alur Simulasi HEC-RAS 5.0.3



**Gambar 2** Flowchart Simulasi Model Numerik

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

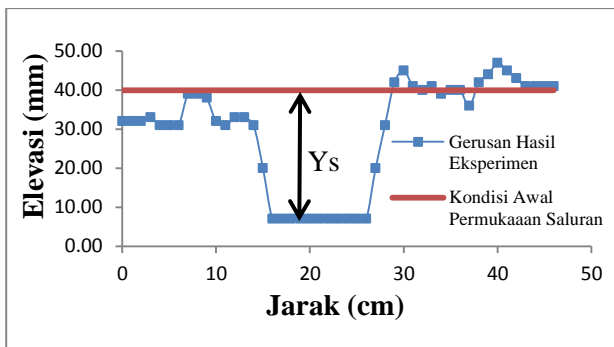
### A. Gerusan Lokal Pilar pada Penelitian di Lapangan

Pada penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Keairan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta didapatkan data gerusan pada pilar kapsul dan pilar tajam. **Tabel 5**

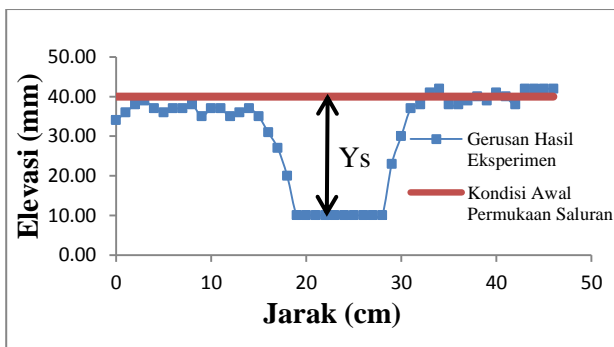
menampilkan data gerusan pada penelitian di lapangan.

**Tabel 5** Kedalaman Gerusan Eksperimen

Bentuk Pilar	Kedalaman Gerusan, $Y_s$ (m)	Lebar Gerusan (m)	
		Sisi Kiri	Sisi Kanan
Kapsul	0,033	0,17	0,12
Tajam	0,030	0,18	0,10



**Gambar 3** Grafik elevasi dasar gerusan pilar kapsul



**Gambar 4** Grafik elevasi dasar gerusan pilar tajam

## B. Gerusan Lokal Pilar Pada HEC-RAS

### 1. Variabel Persamaan CSU

Persamaan CSU memiliki beberapa variabel penunjang untuk memprediksi kedalaman ( $Y_s$ ) dan lebar gerusan, kemudian hasil tersebut akan dibandingkan dengan hasil kedalaman dan lebar gerusan pada penelitian di lapangan. Berikut variabel yang digunakan untuk mengetahui kedalaman dan lebar gerusan dengan simulasi HEC-RAS.

**Tabel 6** Variabel yang digunakan pada pilar kapsul dan pilar tajam

	Pilar Kapsul	Pilar Tajam	Satuan
a	0,0762	0,0762	m
L	0,015	0,00762	m
D50	0,975	0,975	mm
D95	1,855	1,855	mm
$\Theta$	0	0	$^\circ$
K1	1	0,9	–
K2	1	1	–
K3	1,1	1,1	–
K4	0,48	0,51	–

Berdasarkan **Tabel 6**, parameter parameter tersebut diinput dalam perhitungan metode CSU pada *Hec-Ras* 5.0.3 di dapat kedalaman untuk pilar kapsul sebesar 6,67 cm dan kedalaman gerusan untuk pilar tajam sebesar 6,32 cm. Hal ini menunjukkan bahwa hasil gerusan yang diperoleh tidak sama dengan gerusan pada lapangan (eksperimen), sehingga perlu melakukan modifikasi variable CSU untuk memperoleh hasil kedalaman gerusan yang sama atau mendekati dengan eksperimen.

### 2. Gerusan dan Modifikasi Variabel CSU

Pada modifikasi variabel ini dilakukan dengan cara *trial and error* pada variabel faktor koreksi arah datang aliran air (K2) dan faktor koreksi dasar saluran pilar (K4).

#### a. Modifikasi Variabel K2

- Pilar Kapsul

Diketahui nilai K1 untuk bentuk pilar kapsul sebesar 1; K3 sebesar 1,1; dan K4

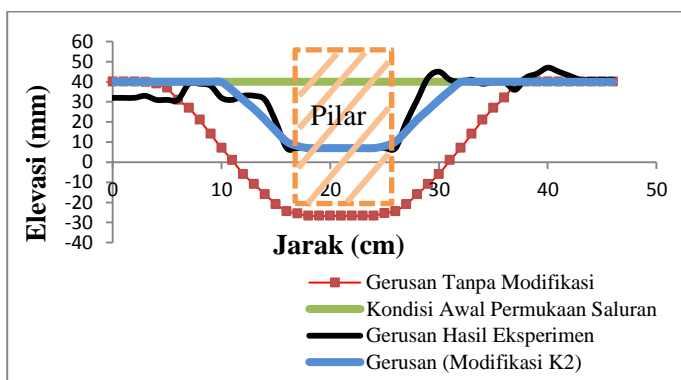
sebesar 0,48. Berikut hasil gerusan setelah modifikasi variabel K2.

**Tabel 7** Hasil gerusan setelah modifikasi variabel K2 pada pilar kapsul

No	K2	Ys HECRAS (m)	Gerusan Eksperimen (m)	Selisih Ys (m)	Lebar Gerusan HECRAS (m)
1	1	0,0666	Ys = 0,033	0,0336	0,136
2	0,9	0,0599		0,0269	0,124
3	0,77	0,0512		0,0182	0,106
4	0,6	0,0399	Lebar sisi kiri = 0,17	0,0069	0,0863
5	0,53	0,0351		0,0021	0,0736
6	0,525	0,0349	Lebar sisi kanan = 0,12	0,0019	0,0723
7	<b>0,496</b>	<b>0,0330</b>		0	0,0696
8	0,490	0,0332		0,0004	0,0683
9	0,489	0,0399		0,0069	0,0649

Berdasarkan **Tabel 7**, diperoleh hasil kedalaman gerusan (Ys) yang sama dengan gerusan pada eksperimen yaitu sebesar 0,033 m dan lebar gerusan pada sisi kiri dan kanan pilar sebesar 0,0696 m dengan nilai K2 sebesar 0,496.

Perbandingan gerusan pilar kapsul pada penelitian di lapangan (eksperimen), gerusan asli HECRAS, dan gerusan modifikasi variabel K2 HECRAS dapat dilihat pada **Gambar 5**



**Gambar 5** Grafik gerusan modifikasi K2 pada pilar kapsul

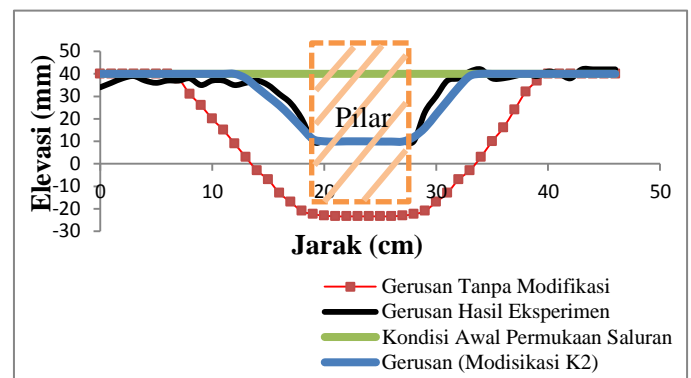
- Pilar Tajam

Diketahui nilai K1 untuk bentuk pilar tajam sebesar 0,9; K3 sebesar 1,1; dan K4

sebesar 0,51. Berikut tabel dan gambar perbandingan gerusan pada eksperimen di lapangan, gerusan asli dan hasil gerusan setelah modifikasi variabel K2 pada HECRAS.

**Tabel 8** Hasil gerusan setelah modifikasi variabel K2 pada pilar tajam

No	K2	Ys HECRAS (m)	Gerusan Eksperimen (m)	Selisih Ys (m)	Lebar Gerusan HECRAS (m)
1	1	0,0632	Ys = 0,030	0,0332	0,13
2	0,9	0,0572		0,0272	0,117
3	0,8	0,0505		0,0205	0,105
4	0,77	0,0491	Lebar sisi kiri = 0,18	0,0191	0,102
5	0,477	0,0302		0,0002	0,0632
6	<b>0,471</b>	<b>0,0300</b>	Lebar sisi kanan = 0,10	0	0,0619
7	0,468	0,0298		0,0002	0,0616
8	0,465	0,0294		0,0006	0,0612



**Gambar 6** Grafik gerusan modifikasi K2 pada pilar tajam

Berdasarkan **Tabel 8**, diperoleh hasil kedalaman gerusan (Ys) yang sama dengan gerusan pada eksperimen yaitu sebesar 0,030 m dan lebar gerusan pada sisi kiri dan kanan pilar sebesar 0,0619 m dengan nilai K2 sebesar 0,471.

b. Modifikasi Variabel K4

- Pilar Kapsul

Diketahui nilai K1 untuk bentuk pilar kapsul sebesar 1; K2 sebesar 1; K3 sebesar 1,1; dan K4 sebesar 0,48 yang diperoleh dari hasil perhitungan. Berikut hasil gerusan setelah modifikasi variabel K4.

**Tabel 9** Hasil gerusan setelah modifikasi variabel K4 pada pilar kapsul

No.	K4	Ys HECRAS (m)	Gerusan Eksperimen (m)	Selisih Ys	Lebar Gerusan HECRAS (m)
1	0,48	0,0632	Ys = 0,0330	0,0332	0,13
2	0,35	0,0483		0,0153	0,10
3	0,30	0,0418		0,0088	0,089
4	0,25	0,0348	Lebar Sisi Kiri=0,17	0,0018	0,0738
5	<b>0,238</b>	<b>0,0330</b>	Lebar Sisi Kanan= 0,12	0	0,0683
6	0,23	0,0319		0,0011	0,0659
7	0,225	0,0312		0,0018	0,0642

Berdasarkan **Tabel 9**, diperoleh hasil kedalaman gerusan (Ys) yang sama dengan gerusan pada eksperimen yaitu sebesar 0,033 m dan lebar gerusan pada sisi kiri dan kanan pilar sebesar 0,0683 m dengan nilai K4 sebesar 0,238.

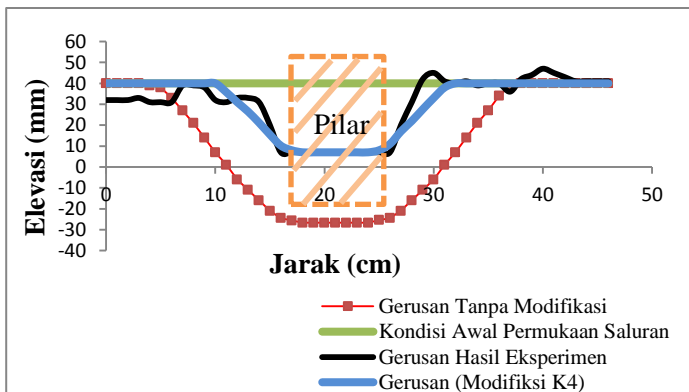
Perbandingan gerusan pilar kapsul pada penelitian di lapangan (eksperimen), gerusan asli HECRAS, dan gerusan modifikasi variabel K4 HECRAS dapat dilihat pada **Gambar 7**.

**Tabel 10** Hasil gerusan setelah modifikasi variabel K4 pada pilar tajam

No.	K4	Ys HECRAS (m)	Gerusan Eksperimen (m)	Selisih Ys	Lebar Gerusan HECRAS (m)
1	0,51	0,0632	Ys = 0,0330	0,0332	0,13
2	0,48	0,0600		0,03	0,124
3	0,35	0,0435		0,0135	0,0923
4	0,30	0,0373	Lebar Sisi Kiri=0,18	0,0073	0,078
5	0,25	0,0312	Lebar Sisi Kanan= 0,10	0,0012	0,0632
6	<b>0,24</b>	<b>0,0300</b>		0	0,0621
7	0,238	0,0297		0,0003	0,0617

Berdasarkan **Tabel 10**, diperoleh hasil kedalaman gerusan (Ys) yang sama dengan gerusan pada eksperimen yaitu sebesar 0,030 m dan lebar gerusan pada sisi kiri dan kanan pilar sebesar 0,0621 m dengan nilai K4 sebesar 0,24.

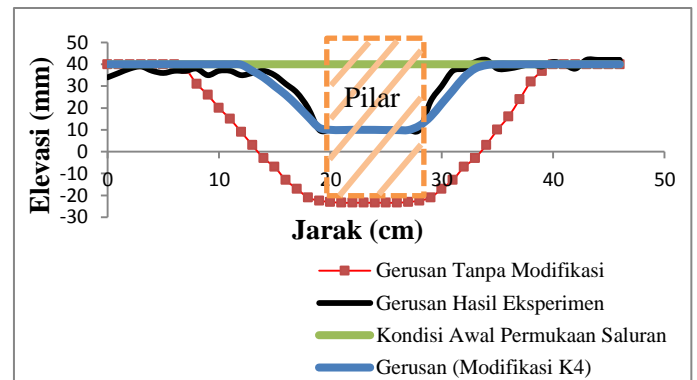
Perbandingan gerusan pada penelitian di lapangan (eksperimen), gerusan asli HECRAS, dan gerusan modifikasi variabel K4 HECRAS dapat dilihat pada **Gambar 8**.



**Gambar 7** Grafik gerusan modifikasi K4 pada pilar kapsul

- **Pilar Tajam**

Diketahui nilai K1 untuk bentuk pilar tajam sebesar 0,9; K3 sebesar 1,1; dan K4 sebesar 0,51. Berikut tabel dan gambar perbandingan gerusan pada eksperimen di lapangan, gerusan asli dan hasil gerusan setelah modifikasi variabel K2 pada HECRAS.



**Gambar 8** Grafik gerusan modifikasi K4 pada pilar tajam

c. **Perbandingan Variabel K2 dan K4**

Hasil modifikasi variabel K2 dan K4 telah memperoleh hasil kedalaman gerusan (Ys) yang sama dengan gerusan pada eksperimen di lapangan, maka dapat dibandingkan kedua variabel tersebut dalam tabel berikut.



**Tabel 11** Perbandingan K2 dan K4 pada HECRAS

	Pilar Kapsul	Pilar Kapsul
K2 Asli	1,0	1,0
K2 Modifikasi	0,496	0,471
<b>Selisih K2</b>	<b>0,5040</b>	<b>0,5290</b>
K4 Asli	0,48	0,51
K4 Modifikasi	0,238	0,240
<b>Selisih K4</b>	<b>0,242</b>	<b>0,27</b>

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa selisih variabel K4 lebih kecil dibandingkan variabel K2. Hal ini menunjukkan bahwa variabel K4 lebih sensitif terhadap kedalaman gerusan.

### 3. Persamaan Baru Dari Modifikasi Variabel K2 dan K4

#### a. Pilar Kapsul

Berdasarkan modifikasi variabel K2 dan K4 telah diperoleh kedalaman gerusan yang sama dengan gerusan di eksperimen sebesar 0,033 m dengan nilai K2 sebesar 0,496 dan nilai K4 sebesar 0,238. Maka dapat diketahui persamaan II dari kedua variabel tersebut adalah sebagai berikut.

- Variabel K2
  - Dik:  $K_2 = 0,496$
  - $K_2 = \left( \cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0,65}$
  - Maka,
$$K_2 = 0,496 \left( \cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0,65}$$

$$0,496 = 0,496 \left( \cos 0 + \frac{0,15}{0,0762} \sin 0 \right)^{0,65}$$
- Variabel K4
  - Dik:  $K_4 = 0,238$
  - $K_4 = 0,4 (V_R)^{0,15}$
  - Maka,
$$K_4 = 0,198 (V_R)^{0,15}$$

$$0,238 = 0,198 (3,391)^{0,15}$$

#### b. Pilar Tajam

Berdasarkan modifikasi variabel K2 dan K4 telah diperoleh kedalaman gerusan yang sama dengan gerusan di eksperimen sebesar 0,030 m dengan nilai K2 sebesar 0,471 dan nilai K4 sebesar 0,24. Maka dapat diketahui persamaan II dari kedua variabel tersebut adalah sebagai berikut.

- Variabel K2
  - $K_2 = 0,471$
  - $K_2 = \left( \cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0,65}$
  - Maka,
$$K_2 = 0,471 \left( \cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0,65}$$

$$0,471 = 0,471 \left( \cos 0 + \frac{0,0762}{0,0762} \sin 0 \right)^{0,65}$$
- Variabel K4
  - Dik:  $K_4 = 0,240$
  - $K_4 = 0,4 (V_R)^{0,15}$
  - Maka,
$$K_4 = 0,187 (V_R)^{0,15}$$

$$0,24 = 0,187 (5,2137)^{0,15}$$

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan data serta hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada pilar jembatan bentuk pilar kapsul dan belah ketupat (tajam) dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Berdasarkan simulasi pada HEC-RAS 5.0.3, variabel yang disarankan oleh HEC-RAS menghasilkan nilai kedalaman gerusan yang lebih besar dibandingkan kedalaman gerusan pada eksperimen di lapangan.
- b. Hasil lebar gerusan pada simulasi HEC-RAS 5.0.3 bersifat simetris antara sisi kiri dan sisi kanan pilar. Sedangkan lebar gerusan pada eksperimen tidak bersifat simetris.
- c. Berdasarkan simulasi dan modifikasi variabel pada HEC-RAS 5.0.3, lebar gerusan yang diperoleh lebih kecil dibandingkan lebar gerusan pada eksperimen.
- d. Berdasarkan simulasi dan modifikasi pada variabel CSU, diperoleh nilai variabel K2 untuk pilar kapsul sebesar 0,496 dan nilai variabel K4 sebesar 0,238. Sedangkan nilai

variabel K2 untuk pilar tajam sebesar 0,471 dan nilai variabel K4 sebesar 0,24.

- e. Berdasarkan simulasi dan modifikasi pada variabel CSU, variabel K4 lebih sensitif terhadap perubahan kedalaman gerusan dibandingkan variabel K2.

#### B. Saran

Karena penelitian ini melakukan perbandingan antara hasil eksperimen dan simulasi menggunakan *software* HEC-RAS 5.0.3 dengan *metode Colorado State University (CSU)*, maka ada beberapa saran untuk melengkapi penelitian ini agar efektif untuk memprediksi kedalaman gerusan diantaranya sebagai berikut :

- a. Disarankan melakukan penelitian lanjutan dengan membandingkan kondisi debit (Q) yang berbeda.
- b. Perlu ada perbandingan hasil model numerik menggunakan *software* HEC-RAS 5.0.3 dengan kondisi lapangan yang sebenarnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, Tri. 2001. *Model Hidraulika Gerusan Pada Pilar Jembatan*. Tesis. Semarang: UNDIP.
- Anonim, HEC-RAS 5.0.3, *Department of The Army Corps of Engineers Institute For Water Resources Hydraulic Engineering Center*, 2016.
- Istiarto, 2011. *Simulasi Aliran 1-Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS*. Yogyakarta: UGM
- Melville, B.W. 1975. *Local Scour At Bridge Sites*. Tesis. New Zealand : University of Auckland.
- Raudkivi, A.J. and Ettema, R. 1983. *Clear-Water Scour at Cylindrical Piers*. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 109, No. 3, pp, 338-350, ASCE, New York.
- Wibowo, O.M. 2007. *Pengaruh Arah Aliran Terhadap Gerusan Lokal di Sekitar Pilar Jembatan*. Tugas Akhir. Semarang: UNNES.
- Wiyono, dkk. 2006. *Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium)*. *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 13 No. 1 Januari 2006. Bandung: ITB.