

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Penelitian

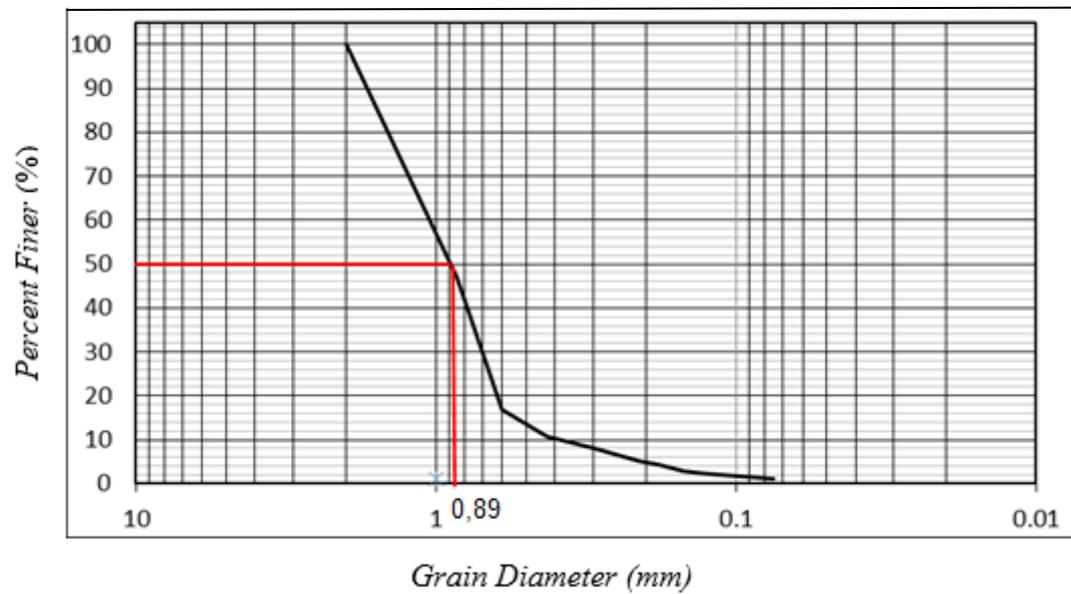
1. Pemeriksaan Material Dasar

Pengujian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pasir Yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lolos saringan ASTM no. 10 dan tertahan Pada no. 200 dan nilai d_{50} diperoleh dari pengujian gradasi butiran. Pasir sebagai material dasar diayak terlebih dahulu untuk mendapatkan ukuran butiran yang besarnya relatif merata. Hasil analisa gradasi butiran dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2.

Tabel 5.1 Analisis Gradasi Butiran sampel 1

No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Massa Tertahan (g)	Jumlah Massa Tertahan (g)	Massa Tertahan (%)	Massa Lolos (%)
No. 10	2,000	0	0	0,00	100,00
No. 20	0,850	732,1	732,1	53,06	46,94
No. 30	0,600	413,3	1145,4	83,01	16,99
No. 40	0,425	84,4	1229,8	89,13	10,87
No. 50	0,300	39	1268,8	91,96	8,04
No. 70	0,212	38,1	1306,9	94,72	5,28
No. 80	0,180	14,4	1321,3	95,76	4,24
No. 100	0,150	17,3	1338,6	97,01	2,99
No. 120	0,125	8,5	1347,1	97,63	2,37
No. 200	0,075	18,5	1365,6	98,97	1,03
Pan		14,2	1379,8	100,00	0,00

(Sumber: Hasil Penelitian)

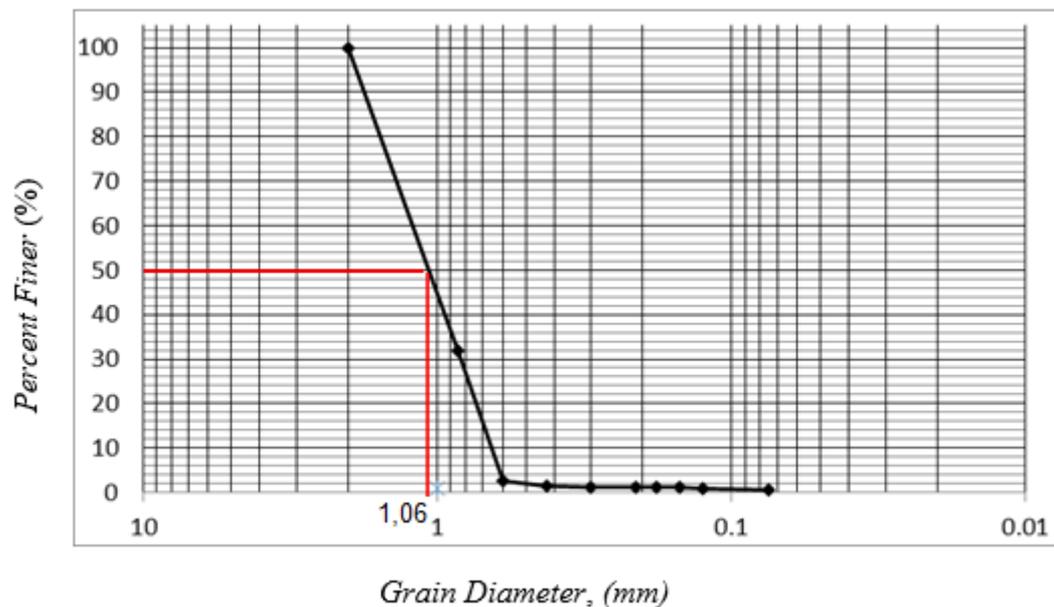


Gambar 5.1 Gradasi butiran sampel 1

Tabel 5.2 Analisis Gradasi butiran sampel 2

No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Massa Tertahan (g)	Jumlah Massa Tertahan (g)	Massa Tertahan (%)	Massa Lolos (%)
No. 10	2,000	0	0	0,00	100,00
No. 20	0,850	986,3	986,3	68,11	31,89
No. 30	0,600	422,3	1408,6	97,27	2,73
No. 40	0,425	19,4	1428	98,61	1,39
No. 50	0,300	1,7	1429,7	98,73	1,27
No. 70	0,212	0	1429,7	98,73	1,27
No. 80	0,180	0	1429,7	98,73	1,27
No. 100	0,150	2,8	1432,5	98,92	1,08
No. 120	0,125	1,4	1433,9	99,02	0,98
No. 200	0,075	4,6	1438,5	99,34	0,66
Pan		9,6	1448,1	100,00	0,00

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 5.2 Gradasi butiran sampel 2

Analisis gradasi butiran menggunakan 2 sampel pengujian. Hasil analisis gradasi butiran dimasukkan dalam bentuk grafik *grain diameter* (Gambar 5.1 dan 5.2) yang kemudian dapat diketahui d_{50} . Pada sampel 1 hasil d_{50} adalah 0,89 mm dan nilai d_{50} pada sampel 2 adalah 1,06 mm sehingga diperoleh nilai rata-rata d_{50} yaitu 0,975 mm.

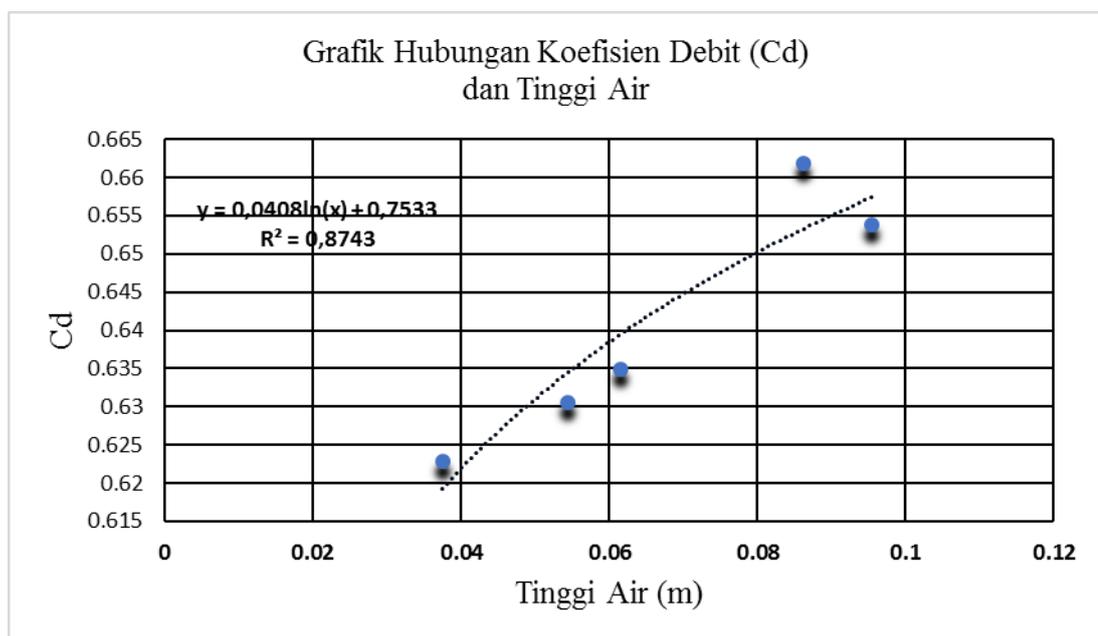
2. Perhitungan Koefisien Debit

Sebelum pengujian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan penghitungan koefisien debit menggunakan peluap segitiga yang sudah diletakkan di bak akhir pada skema alat pengujian (*flume*). Pengukuran debit dilakukan dengan menyiapkan suatu wadah bervolume 30 liter, kemudian wadah tersebut diletakkan di bawah bak akhir agar dapat terisi air yang keluar dari peluap segitiga. Air yang dialirkan berasal dari berbagai debit yang divariasikan dari beberapa pompa air yang dialirkan. Data – data yang diperoleh dari pengukuran koefisien debit dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Perhitungan koefisien debit dan Tinggi air

Volume (liter)	Volume (m ³)	waktu (detik)	Q (m ³ /dt)	Tinggi miring (cm)	H (cm)	H (m)	Cd
30	0,03	75	0,0004	5,3	3,746	0,037	0,623
30	0,03	29,12	0,00103	7,7	5,443	0,054	0,631
30	0,03	21,31	0,001408	8,7	6,150	0,061	0,635
30	0,03	8,78	0,003417	12,2	8,624	0,086	0,662
30	0,03	6,9	0,004348	13,5	9,543	0,095	0,654
30	0,03	4,96	0,006048	16	11,310	0,113	0,595

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Koefisien debit dan tinggi air

3. Kondisi Hidraulika

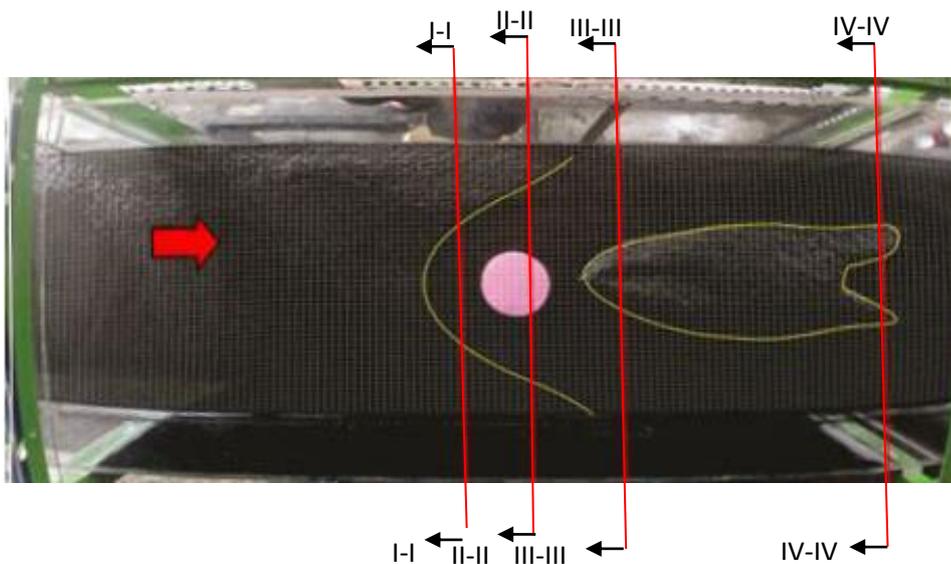
Tabel 5.4 Kondisi hidraulika yang digunakan dalam penelitian

Parameter	Aliran Subkritik
Debit (m ³ /s)	0,0044
Slope, I	0,0040
Kedalaman Aliran, Ho (m)	0,0245
Lebar Flume (m)	0,4600
Radius Hidraulik, R (m)	0,0221
Massa Jenis Air (Kg/m ³)	1000,0
Massa Jenis Pasir (kg/m ³)	2650,0
g (m/s ³)	9,8100
Kecepatan Aliran (m/s)	0,3880
d ₅₀ Material Dasar (mm)	0,9750
Angka Froude, F	0,5596

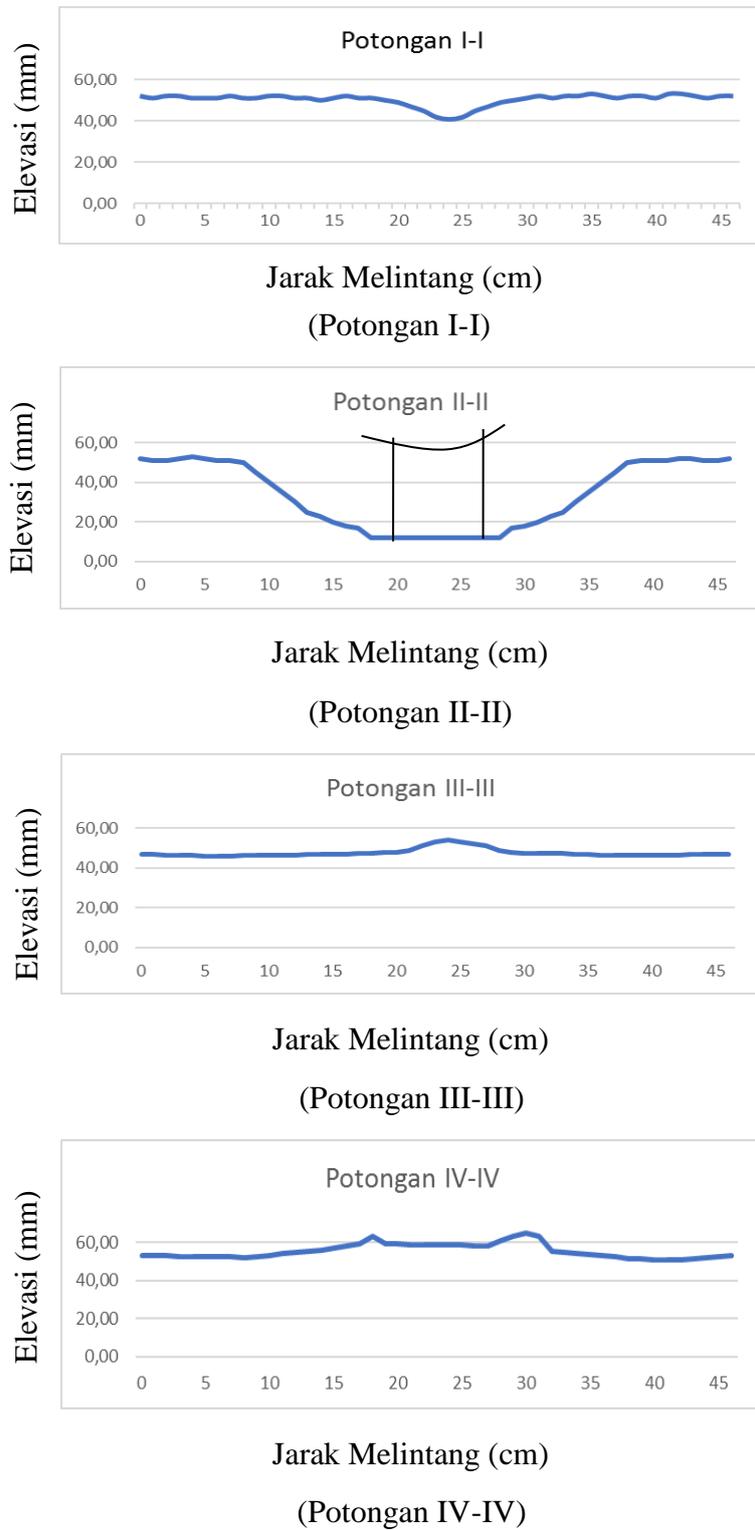
(Sumber : Hasil Penelitian)

B. Analisis Gerusan

Gerusan di sekitar pilar dapat terjadi akibat adanya perubahan pada aliran, baik arah maupun kecepatannya. Arah aliran yang berubah dapat menyebabkan gerusan di sekitar pilar yang menyebabkan sedimen dasar terangkut dan terjadi proses sedimentasi di hulu. Gerusan dapat terjadi akibat adanya gaya tekan kebawah karena aliran terhalang pilar. Gerusan juga dapat terjadi karena kecepatan aliran bertambah akibat penyempitan saluran akibat adanya pilar. Penelitian menggunakan dua bentuk pilar, yaitu pilar lingkaran dan pilar persegi. Kedua bentuk pilar diletakkan ditengah *flume* dan dialiri air dengan kondisi hidraulika yang sama, seperti yang telah dijelaskan dalam Tabel 5.4. Pola dan kedalaman gerusan lokal yang terjadi di sekitar kedua pilar memiliki karakteristik yang berbeda. Berikut merupakan hasil dan pembahasan simulasi kedua bentuk pilar



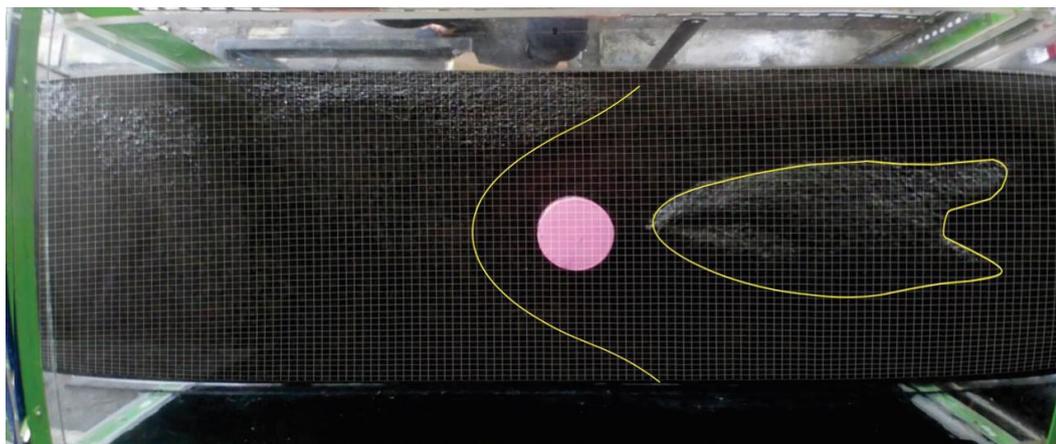
Gambar 5.4 Tampak atas bentuk gerusan pada pilar lingkaran



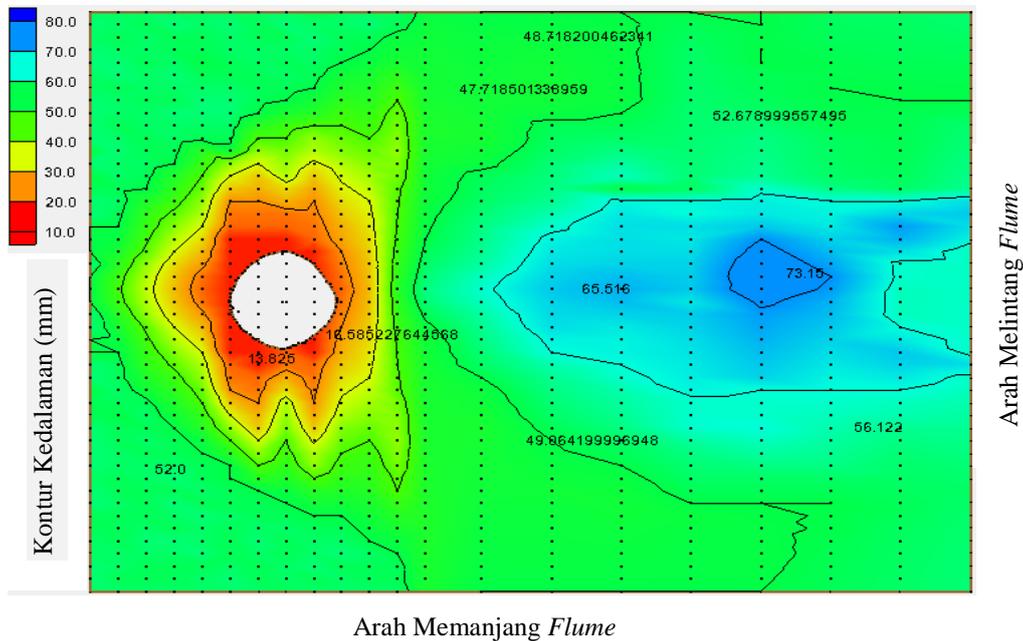
Gambar 5.5 Grafik elevasi dasar *flume* dan bentuk gerusan pilar lingkaran pada potongan I-I, II-II, III-III, IV-IV

Tampak atas pola gerusan pilar lingkaran ditunjukkan pada Gambar 5.4. Pada bagian hulu pilar terjadi gerusan sepanjang 5 cm di depan pilar, gerusan melebar sepanjang 8 cm di kanan dan kiri pilar kemudian terus melebar bergerak hingga ke hilir pilar sejauh 7 cm. Pada daerah belakang pilar sepanjang 5 cm di bagian tengah pengaruh gerusan membentuk sedimentasi sepanjang 58 cm.

Pada Gambar 5.5 bagian potongan I-I menunjukkan pola gerusan pada awal terjadinya gerusan di bagian hulu pilar yang berjarak 5 cm dari pilar. Lebar Daerah pengaruh gerusan pada potongan ini adalah 6 cm arah melintang pilar. Kedalaman gerusan maksimum yang terjadi adalah 0,9 cm. Pada bagian potongan II-II dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum sebesar 4 cm yang terjadi di sekitar pilar bagian kiri dan kanan ujung pilar lingkaran. Lebar daerah gerusan pada potongan ini adalah 28 cm melintang pilar. Pada bagian potongan III-III merupakan potongan pada bagian hilir pilar sejauh 7 cm dari belakang pilar lingkaran mengalami gerusan melintang pilar sepanjang 23 cm disisi kiri dan kanan dengan kedalaman gerusan maksimum sebesar 0,4 cm dan terjadi penumpukan sedimen di bagian tengah sebesar 0,7 cm. Pada bagian potongan IV-IV merupakan potongan akhir daerah pengaruh tumpukan sedimen pilar tajam, potongan ini sepanjang 59 cm dari belakang pilar. Di daerah potongan ini tumpukan sedimen berkurang dan terjadi penurunan elevasi setara elevasi kontur awal.



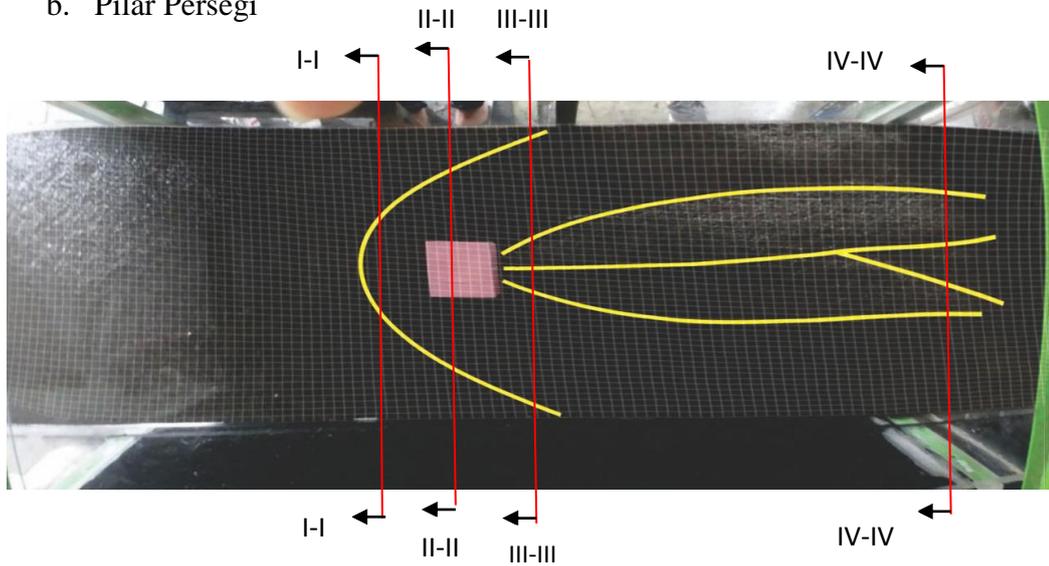
Gambar 5.6 Pola gerusan di sekitar pilar lingkaran



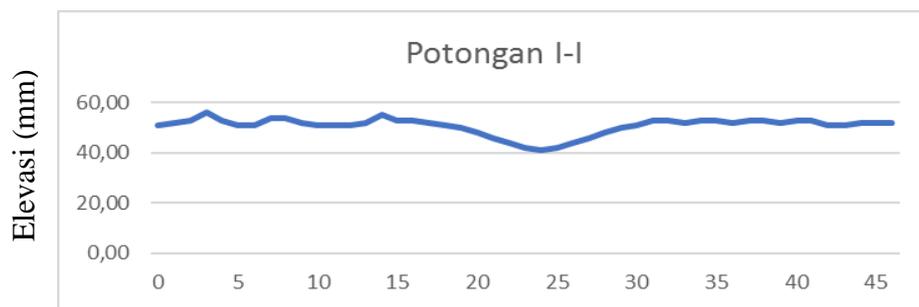
Gambar 5.7 Tampilan gerusan pilar lingkaran menggunakan *software Surface-water Modelling System (SMS 10.1)*

Gambar 5.6 merupakan kondisi asli pola gerusan di sekitar pilar lingkaran dari hasil percobaan laboratorium, sedangkan Gambar 5.7 merupakan visualisasi pola gerusan menggunakan *software Surface-water Modelling System*. Gambar 5.7 menggunakan skala warna dari biru yang mendeskripsikan elevasi tertinggi sampai warna merah yang mendeskripsikan kedalaman gerusan maksimum. Elevasi awal dasar saluran ditunjukkan dengan warna hijau muda sebesar 52 mm yang dominan terdapat disepanjang hulu dan hilir saluran. Elevasi dasar saluran mulai terlihat berubah ketika terdapat halangan berupa pilar jembatan. Perubahan tersebut terlihat di sekitar hulu pilar elevasi dasar semakin dalam sampai tepat berada di sisi sudut kiri dan kanan pilar lingkaran yang ditandai dengan warna merah menunjukkan elevasi dasar sebesar 12 mm. Elevasi dasar saluran mulai mengalami kenaikan ketika menuju bagian hilir. Terdapat daerah pengaruh gerusan berupa timbunan.

b. Pilar Persegi

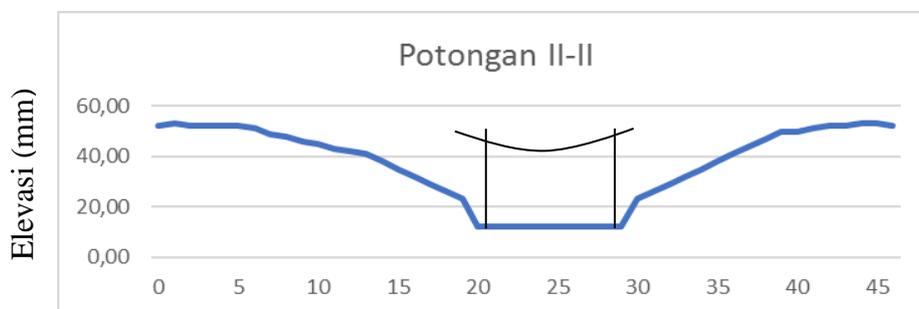


Gambar 5.8 Tampak atas bentuk gerusan pada pilar Persegi



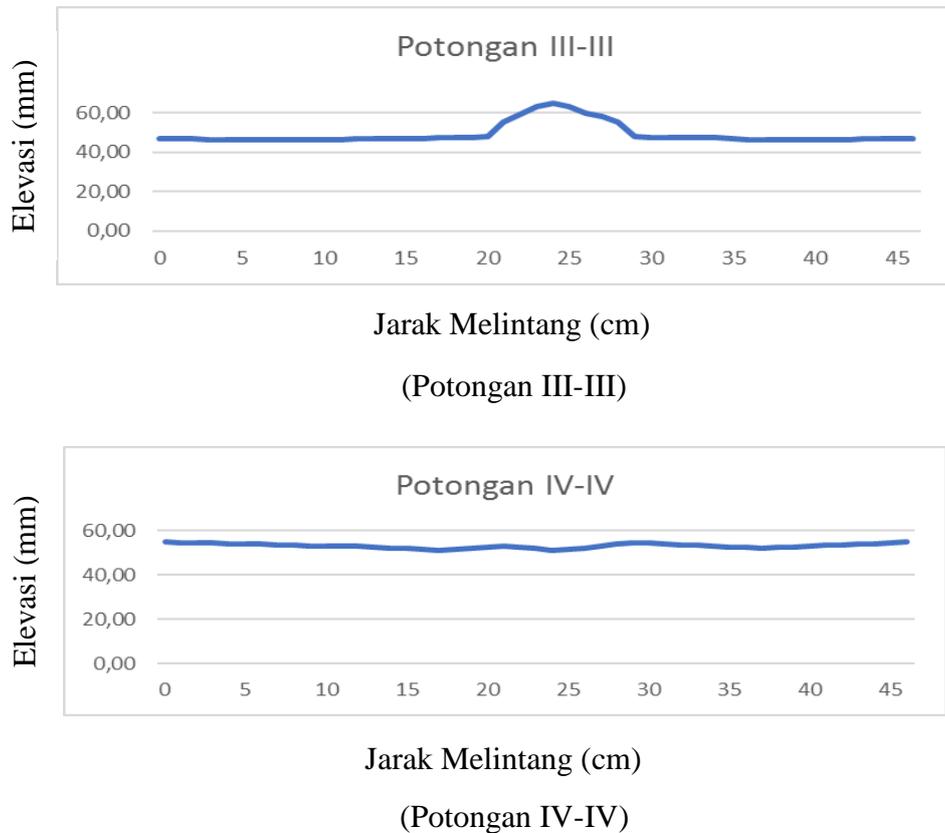
Jarak Melintang (cm)

(Potongan I-I)



Jarak Melintang (cm)

(Potongan II-II)

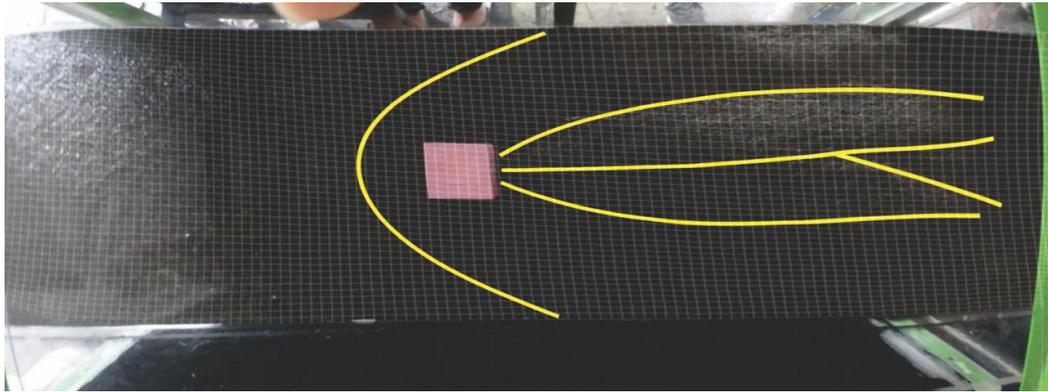


Gambar 5.9 Grafik elevasi dasar *flume* dan bentuk gerusan pilar Persegi pada *cross section* I-I,II-II, III-III, IV-IV

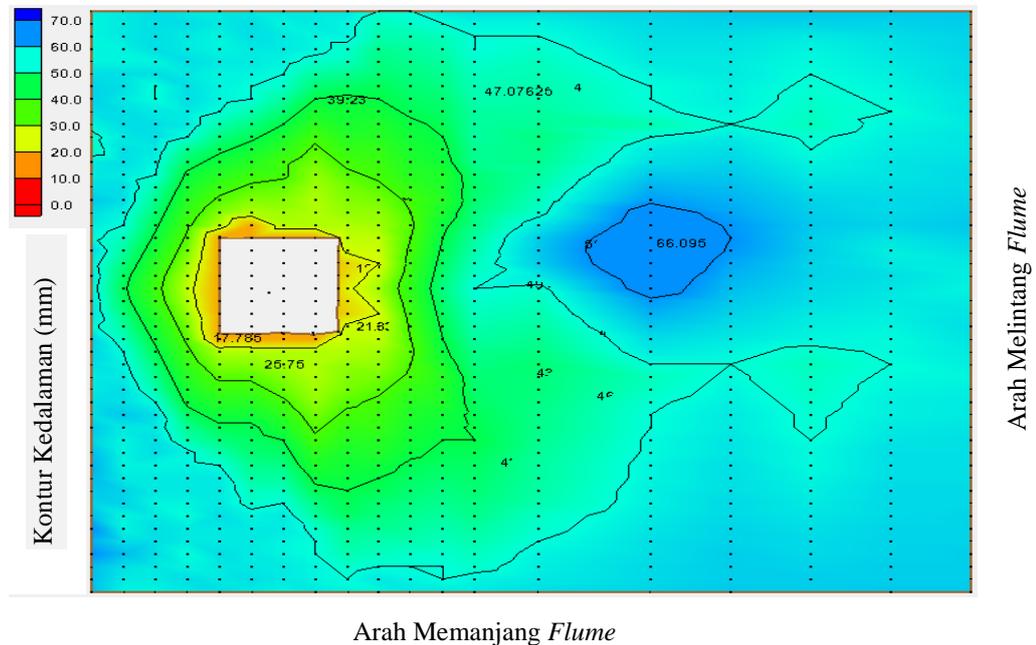
Tampak atas pola gerusan pilar persegi ditunjukkan pada Gambar 5.8. Pada bagian hulu pilar terjadi gerusan sepanjang 6,5 cm di depan pilar, gerusan melebar sepanjang 11 cm di kanan dan kiri pilar kemudian terus melebar bergerak hingga ke hilir pilar sejauh 5 cm. Pada daerah belakang pilar sepanjang 1 cm di bagian tengah pengaruh gerusan membentuk sedimentasi sepanjang 55 cm.

Pada Gambar 5.9 bagian potongan I-I menunjukkan pola gerusan pada awal terjadinya gerusan di bagian hulu pilar yang berjarak 5 cm dari pilar. Lebar Daerah pengaruh gerusan pada potongan ini adalah 10 cm arah melintang pilar. Kedalaman gerusan maksimum yang terjadi adalah 1,5 cm. Pada bagian potongan II-II dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum sebesar 3,8 cm yang terjadi di sekitar pilar bagian kiri dan kanan ujung pilar lingkaran. Lebar daerah gerusan pada potongan ini adalah 30 cm melintang pilar. Pada bagian potongan III-III merupakan potongan pada bagian hilir pilar sejauh 8 cm dari belakang pilar lingkaran mengalami gerusan melintang pilar sepanjang 18 cm disisi kiri dan

kanan dengan kedalaman gerusan maksimum sebesar 0,3 cm dan terjadi penumpukan sedimen di bagian tengah sebesar 1,3 cm. Pada bagian potongan IV-IV merupakan potongan akhir daerah pengaruh tumpukan sedimen pilar tajam, potongan ini sepanjang 70 cm dari belakang pilar. Di daerah potongan ini tumpukan sedimen berkurang dan terjadi penurunan elevasi setara elevasi kontur awal.



Gambar 5.10 Pola gerusan di sekitar pilar persegi



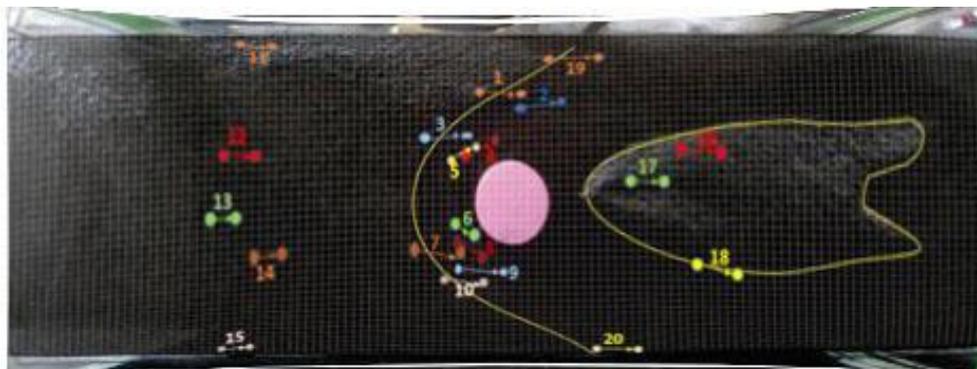
Gambar 5.11 Tampilan gerusan pilar Persegi menggunakan *software Surface-water Modelling System (SMS 10.1)*

Gambar 5.10 merupakan kondisi asli pola gerusan di sekitar pilar persegi dari hasil percobaan laboratorium, sedangkan Gambar 5.11 merupakan visualisasi pola gerusan menggunakan *software Surface-water Modelling System*. Gambar 5.11 menggunakan skala warna dari biru yang mendeskripsikan elevasi tertinggi sampai warna merah yang mendeskripsikan kedalaman gerusan maksimum. Elevasi awal dasar saluran ditunjukkan dengan warna biru muda sebesar 52 mm yang dominan terdapat disepanjang hulu dan hilir saluran. Elevasi dasar saluran mulai terlihat berubah ketika terdapat halangan berupa pilar jembatan. Perubahan tersebut terlihat di sekitar hulu pilar elevasi dasar semakin dalam sampai tepat berada di sisi sudut kiri dan kanan pilar lingkaran yang ditandai dengan warna merah menunjukkan elevasi dasar sebesar 17 mm. Elevasi dasar saluran mulai mengalami kenaikan ketika menuju bagian hilir. Terdapat daerah pengaruh gerusan berupa timbunan.

C. Analisis Kecepatan Aliran di Sekitar Pilar dengan Metode *Particle Image Velocimetry (PIV)*

Kecepatan aliran dapat berubah akibat adanya halangan pada saluran. Salah satu halangan tersebut adalah pilar jembatan. Perubahan kecepatan disebabkan aliran air tidak mengalir sebagaimana mestinya, karena aliran harus berubah arah akibat adanya pilar jembatan. Perhitungan perpindahan partikel dilakukan dengan cara menghitung perpindahan partikel berdasarkan sumbu x dan sumbu y tiap partikel yang ditinjau. Hasil perhitungan kecepatan aliran di sekitar pilar jembatan dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6.

a. Pilar Lingkaran



Gambar 5.12 Pola analisa kecepatan di sekitar pilar lingkaran

Tabel 5.5 Penghitungan kecepatan partikel percobaan pilar lingkaran

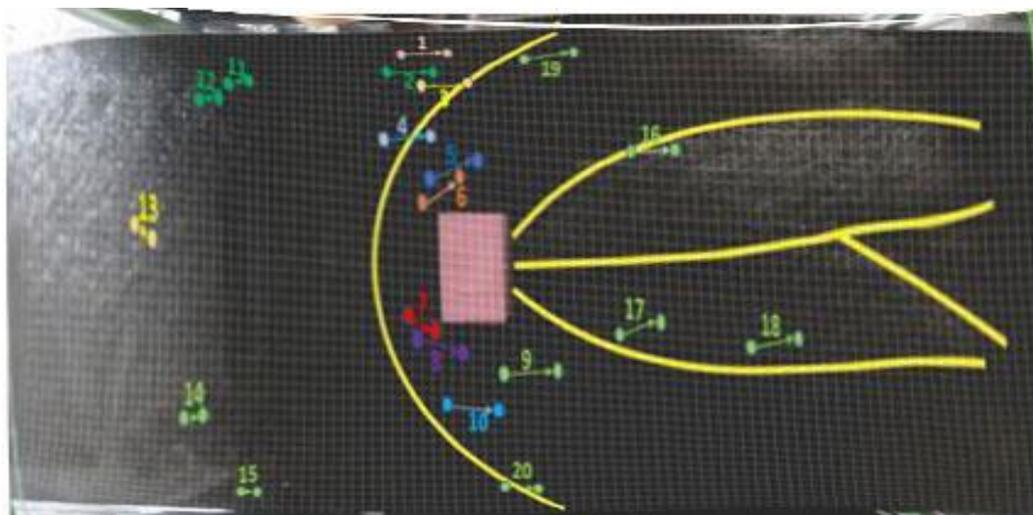
Titik Pengamatan	xi	yi	Jarak x (cm)	Jarak y (cm)	Perpindahan (cm)	V (cm/s)	V (m/s)																																																																																																																																																																																								
1	0	0	5	0	5,00	35,71	0,3571																																																																																																																																																																																								
	5	0						2	0	0	5	1	5,09	36,42	0,3642	5	1	3	0	0	5,5	0	5,50	39,28	0,3928	5,5	0	4	0	0	3,5	1	3,64	26,00	0,2600	3,5	1	5	0	0	3	1,5	3,35	23,95	0,2395	3	1,5	6	0	0	2	1,5	2,50	17,85	0,1785	2	1,5	7	0	0	3	2	3,60	25,75	0,2575	3	2	8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6
2	0	0	5	1	5,09	36,42	0,3642																																																																																																																																																																																								
	5	1						3	0	0	5,5	0	5,50	39,28	0,3928	5,5	0	4	0	0	3,5	1	3,64	26,00	0,2600	3,5	1	5	0	0	3	1,5	3,35	23,95	0,2395	3	1,5	6	0	0	2	1,5	2,50	17,85	0,1785	2	1,5	7	0	0	3	2	3,60	25,75	0,2575	3	2	8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5				
3	0	0	5,5	0	5,50	39,28	0,3928																																																																																																																																																																																								
	5,5	0						4	0	0	3,5	1	3,64	26,00	0,2600	3,5	1	5	0	0	3	1,5	3,35	23,95	0,2395	3	1,5	6	0	0	2	1,5	2,50	17,85	0,1785	2	1,5	7	0	0	3	2	3,60	25,75	0,2575	3	2	8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5														
4	0	0	3,5	1	3,64	26,00	0,2600																																																																																																																																																																																								
	3,5	1						5	0	0	3	1,5	3,35	23,95	0,2395	3	1,5	6	0	0	2	1,5	2,50	17,85	0,1785	2	1,5	7	0	0	3	2	3,60	25,75	0,2575	3	2	8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																								
5	0	0	3	1,5	3,35	23,95	0,2395																																																																																																																																																																																								
	3	1,5						6	0	0	2	1,5	2,50	17,85	0,1785	2	1,5	7	0	0	3	2	3,60	25,75	0,2575	3	2	8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																		
6	0	0	2	1,5	2,50	17,85	0,1785																																																																																																																																																																																								
	2	1,5						7	0	0	3	2	3,60	25,75	0,2575	3	2	8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																												
7	0	0	3	2	3,60	25,75	0,2575																																																																																																																																																																																								
	3	2						8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																						
8	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589																																																																																																																																																																																								
	5	0,5						9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945	5,5	0,5	10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																
9	0	0	5,5	0,5	5,5227	39,45	0,3945																																																																																																																																																																																								
	5,5	0,5						10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589	5	0,5	11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																										
10	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589																																																																																																																																																																																								
	5	0,5						11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																				
11	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500																																																																																																																																																																																								
	3,5	0						12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500	3,5	0	13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																														
12	0	0	3,5	0	3,5000	25,00	0,2500																																																																																																																																																																																								
	3,5	0						13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143	3	0	14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																								
13	0	0	3	0	3,0000	21,43	0,2143																																																																																																																																																																																								
	3	0						14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																																		
14	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525																																																																																																																																																																																								
	3,5	0,5						15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525	3,5	0,5	16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																																												
15	0	0	3,5	0,5	3,5355	25,25	0,2525																																																																																																																																																																																								
	3,5	0,5						16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589	5	0,5	17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																																																						
16	0	0	5	0,5	5,0249	35,89	0,3589																																																																																																																																																																																								
	5	0,5						17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857	4	0	18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																																																																
17	0	0	4	0	4,0000	28,57	0,2857																																																																																																																																																																																								
	4	0						18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642	5	1	19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																																																																										
18	0	0	5	1	5,0990	36,42	0,3642																																																																																																																																																																																								
	5	1						19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5	20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																																																																																				
19	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301																																																																																																																																																																																								
	6	0,5						20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301	6	0,5																																																																																																																																																																														
20	0	0	6	0,5	6,0208	43,01	0,4301																																																																																																																																																																																								
	6	0,5																																																																																																																																																																																													

(Sumber : Hasil Penelitian)

Vektor kecepatan aliran menunjukkan arah dan besaran kecepatan yang terjadi di sekitar pilar. Sebelum melewati pilar arah dan besaran kecepatan

cenderung stabil, namun saat melewati pilar jembatan maka saluran mengalami penyempitan penampang sehingga arah dan besaran kecepatan aliran menjadi tidak stabil. Gambar 5.12 menunjukkan vektor kecepatan aliran di sekitar pilar lingkaran. Seperti yang terlihat pada gambar bahwa arah aliran mengikuti bentuk pilar. Nilai kecepatan di sekitar pilar lingkaran memiliki rentang nilai 0,1785 m/s sampai 0,4301 m/s. Nilai kecepatan yang terjadi di dekat pilar cenderung lebih kecil, namun tidak menutup kemungkinan bahwa ada beberapa kecepatan yang lebih kecil pada jarak yang lebih jauh dari pilar.

b. Pilar Persegi



Gambar 5.13 Pola analisa kecepatan di sekitar pilar persegi

Tabel 5.6 Penghitungan kecepatan partikel pada percobaan pilar persegi

Titik Pengamatan	x_i	y_i	Jarak x (cm)	Jarak y (cm)	Perpindahan (cm)	V (cm/s)	V (m/s)
1	0	0	5,5	0	5,5	39,29	0,3929
	5,5	0					
2	0	0	6	0	6	42,86	0,4286
	6	0					
3	0	0	5,5	0	5,5	39,29	0,3929
	5,5	0					
4	0	0	5,5	0	5,5	39,29	0,3929
	5,5	0					
5	0	0	6	1	6,08	43,44	0,4344
	6	1					

Tabel 5.6 Lanjutan

6	0	0	5	2	5,38	38,46	0,3846
	5	2					
7	0	0	3	1	3,16	22,58	0,2258
	3	1					
8	0	0	5	1	5,09	36,42	0,3642
	5	1					
9	0	0	6	1	6,08	43,45	0,4345
	6	1					
10	0	0	6	0,5	6,02	43,01	0,4301
	6	0,5					
11	0	0	2,5	0,5	2,55	18,21	0,1821
	2,5	0,5					
12	0	0	2,5	0,5	2,55	18,21	0,1821
	2,5	0,5					
13	0	0	2	1	2,24	15,97	0,1597
	2	1					
14	0	0	2	0	2,00	14,28	0,1428
	2	0					
15	0	0	2	0,5	2,06	14,72	0,1472
	2	0,5					
16	0	0	5	0	5,00	35,71	0,3571
	5	0					
17	0	0	5	1	5,09	36,42	0,3642
	5	1					
18	0	0	6	0,5	6,02	43,00	0,4300
	6	0,5					
19	0	0	5	0,5	5,02	35,89	0,3589
	5	0,5					
20	0	0	3	0,5	3,04	21,72	0,2172
	3	0,5					

(Sumber : Hasil Penelitian)

Vektor kecepatan aliran menunjukkan arah dan besaran kecepatan yang terjadi di sekitar pilar. Sebelum melewati pilar arah dan besaran kecepatan cenderung stabil, namun saat melewati pilar jembatan maka saluran mengalami penyempitan penampang sehingga arah dan besaran kecepatan aliran menjadi tidak stabil. Gambar 5.13 menunjukkan vektor kecepatan aliran di sekitar pilar persegi. Seperti yang terlihat pada gambar bahwa arah aliran mengikuti bentuk pilar. Nilai kecepatan di sekitar pilar lingkaran memiliki rentang nilai 0,1428 m/s sampai 0,4345 m/s. Nilai kecepatan yang terjadi di dekat pilar cenderung lebih kecil, namun tidak menutup kemungkinan bahwa ada beberapa kecepatan yang lebih kecil pada jarak yang lebih jauh dari pilar.

D. Analisis Kestabilan Butir Material Dasar dengan Metode Diagram Shields

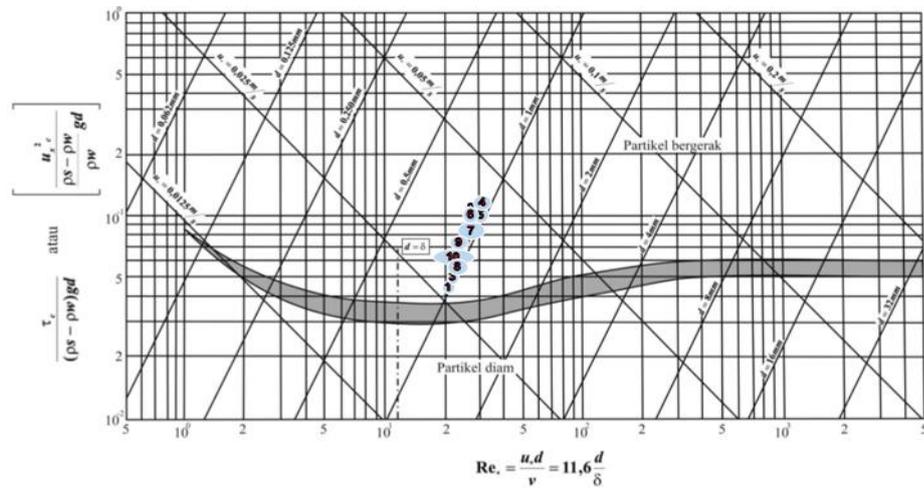
Diagram Shield adalah diagram yang menunjukkan apakah sedimen di kedalaman tertentu sudah bergerak atau belum. Pergerakan diketahui melalui parameter kedalaman aliran, gravitasi, dan kemiringan saluran (*slope*). Dari ketiga parameter tersebut akan didapat nilai U_c (Kecepatan Kritis) dengan cara mengakarkuadratkan hasil perkalian ketiga parameter di atas. Nilai U_c tersebut kemudian diplotkan kedalam diagram shield dengan menyesuaikan posisinya berdasarkan batas antara nilai U_{cr} dan diameter butiran sedimen dasar saluran (d_{50}).

a. Pilar Lingkaran

Tabel 5.7 Penghitungan kestabilan butir material pada percobaan pilar lingkaran

Titik Pengamatan	Kedalaman Aliran, h (m)	Gravitasi (g)	Slope (S)	U_c (m/s)	ket.
1	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
2	0,049	9,81	0,004	0,044	bergerak
3	0,027	9,81	0,004	0,032	bergerak
4	0,050	9,81	0,004	0,044	bergerak
5	0,041	9,81	0,004	0,040	bergerak
6	0,040	9,81	0,004	0,040	bergerak
7	0,036	9,81	0,004	0,038	bergerak
8	0,028	9,81	0,004	0,033	bergerak
9	0,033	9,81	0,004	0,036	bergerak
10	0,029	9,81	0,004	0,034	bergerak
11	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
12	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
13	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
14	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
15	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
16	0,036	9,81	0,004	0,038	bergerak
17	0,037	9,81	0,004	0,038	bergerak
18	0,034	9,81	0,004	0,037	bergerak
19	0,027	9,81	0,004	0,033	bergerak
20	0,02475	9,81	0,004	0,031	bergerak

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 5.14 Hasil *plotting* kestabilan butir partikel di sekitar pilar lingkaran pada diagram Shield

Gambar 5.14 menunjukkan grafik analisis awal gerak butir yang di tandai dengan lingkaran yang telah diberi penomoran berdasarkan titik pengamatan vektor kecepatan pada analisis kecepatan aliran menggunakan metode *Particle Image velocimetry (PIV)*. Penempatan titik pengamatan pada diagram Shield tidak menggunakan parameter bilangan Reynolds, namun hanya menggunakan parameter kecepatan kritis (U_c) dan nilai d_{50} material dasar saluran. Sebagai contoh pada titik pengamatan 1 memiliki nilai (U_c) sebesar 0,031 m/s dengan nilai d_{50} 0,975 mm, apabila titik pengamatan diplotkan berdasarkan batasan kedua parameter tersebut, maka akan menghasilkan butiran dasar tersebut bergerak pada daerah gerusan atau pada titik pengamatan tersebut.

b. Pilar Persegi

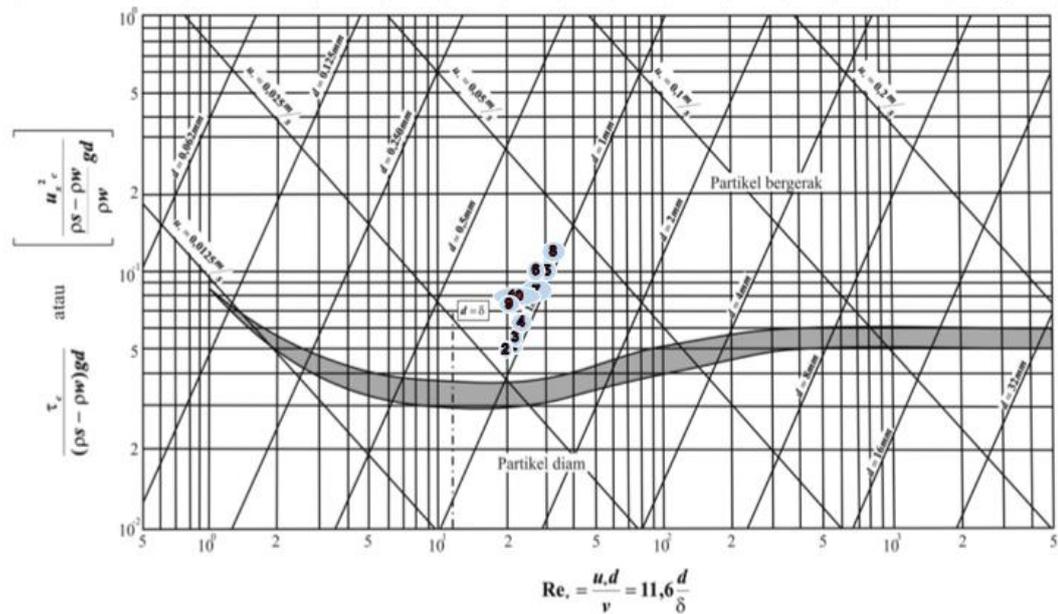
Tabel 5.8 Penghitungan kestabilan butir material pada percobaan pilar persegi

No	Kedalaman Aliran (h), m	Gravitasi (g)	Slope (S)	U_c (m/s)	Ket.
1	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
2	0,025	9,81	0,004	0,031	bergerak
3	0,025	9,81	0,004	0,031	bergerak
4	0,033	9,81	0,004	0,036	bergerak
5	0,050	9,81	0,004	0,044	bergerak
6	0,050	9,81	0,004	0,044	bergerak
7	0,044	9,81	0,004	0,042	bergerak

Tabel 5.8 Lanjutan

8	0,051	9,81	0,004	0,045	bergerak
9	0,045	9,81	0,004	0,042	bergerak
10	0,045	9,81	0,004	0,042	bergerak
11	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
12	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
13	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
14	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
15	0,024	9,81	0,004	0,031	bergerak
16	0,02575	9,81	0,004	0,032	bergerak
17	0,02575	9,81	0,004	0,032	bergerak
18	0,02875	9,81	0,004	0,034	bergerak
19	0,0265	9,81	0,004	0,032	bergerak
20	0,027	9,81	0,004	0,033	bergerak

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 5.15 Hasil *plotting* kecepatan partikel di sekitar pilar persegi pada diagram Shield

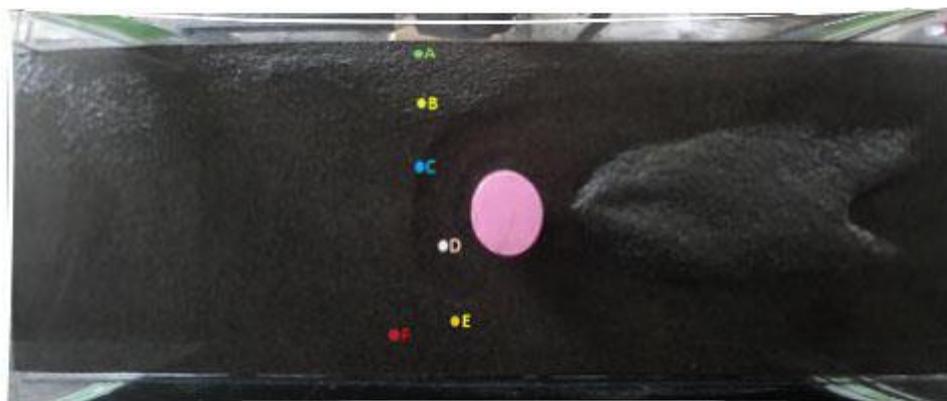
Gambar 5.15 menunjukkan grafik analisis awal gerak butir yang di tandai dengan lingkaran yang telah diberi penomoran berdasarkan titik pengamatan vektor kecepatan pada analisis kecepatan aliran menggunakan metode *Particle Image velocimetry (PIV)*. Penempatan titik pengamatan pada diagram Shield tidak

menggunakan parameter bilangan Reynolds, namun hanya menggunakan parameter kecepatan kritik (U_c) dan nilai d_{50} material dasar saluran. Sebagai contoh pada titik pengamatan 1 memiliki nilai (U_c) sebesar 0,031 m/s dengan nilai d_{50} 0,975 mm, apabila titik pengamatan diplotkan berdasarkan batasan kedua parameter tersebut, maka akan menghasilkan butiran dasar tersebut bergerak pada daerah gerusan atau pada titik pengamatan tersebut.

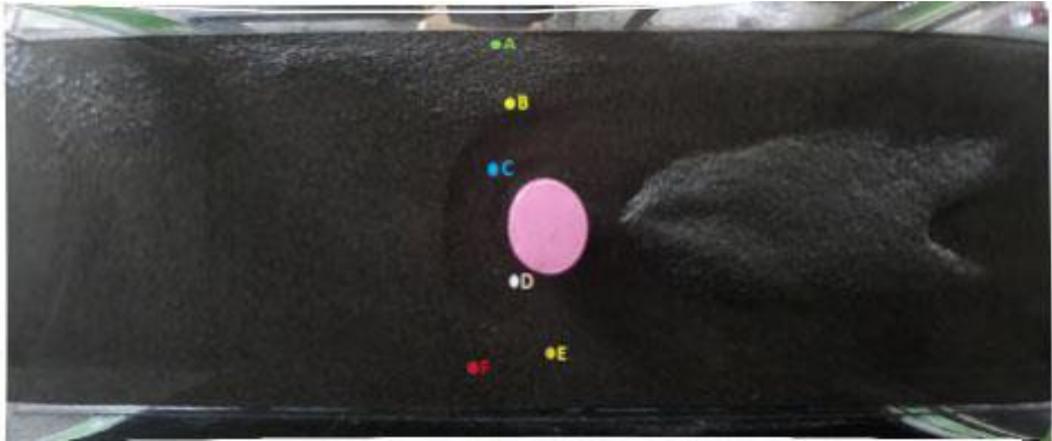
E. Analisis Pola Aliran di Sekitar Pilar

Aliran air akan mengalami perubahan apabila terdapat halangan di dalam saluran, salah satu halangan tersebut adalah pilar jembatan. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh bentuk suatu pilar jembatan terhadap perubahan pola aliran, dilakukan pengamatan pada model fisik yang menggunakan pilar lingkaran dan persegi. Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati pergerakan manik – manik yang disebarakan selebar *flume* (*sediment tracking*). Pengamatan dilakukan pada enam titik yang tersebar merata selebar *flume* yang diamati perpindahannya tiap 0,14 detik dimana tiap titik diberi kode A, B, C, D, E dan F dengan hasil pengamatan sebagai berikut :

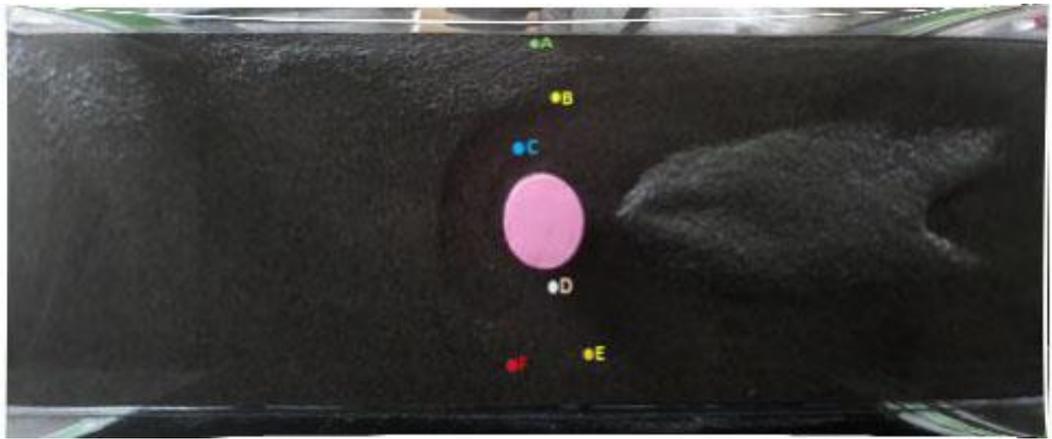
a. Pilar Lingkaran



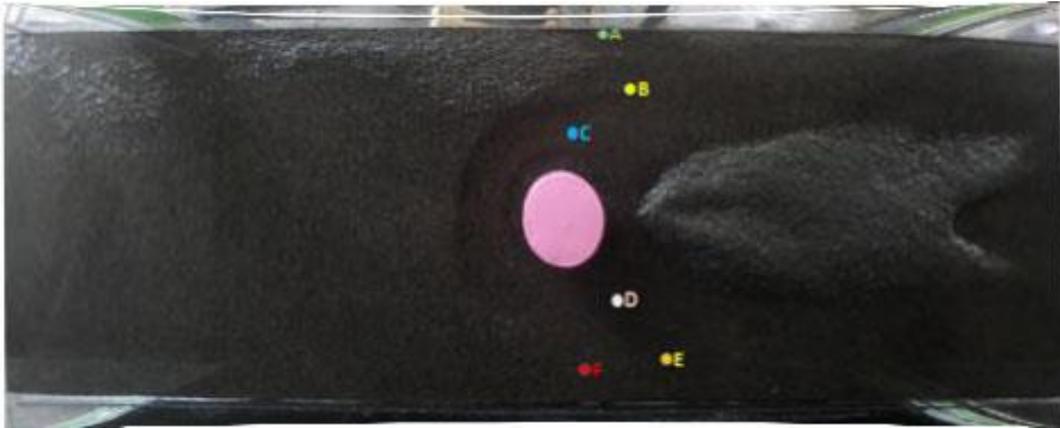
(a)



(b)



(c)



(d)

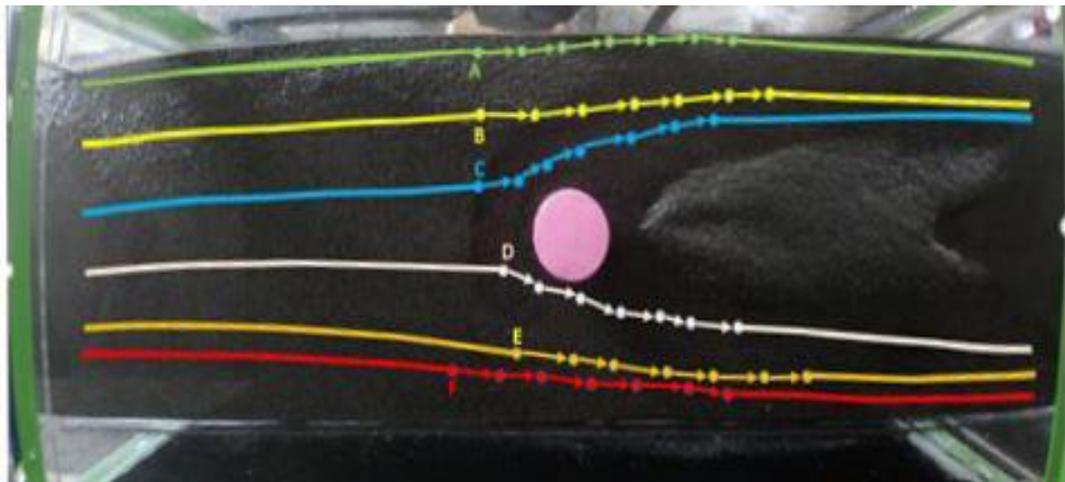


(e)



(f)

Gambar 5.16 Pola pergerakan aliran di sekitar pilar lingkaran tiap 0,14 detik (a – f)

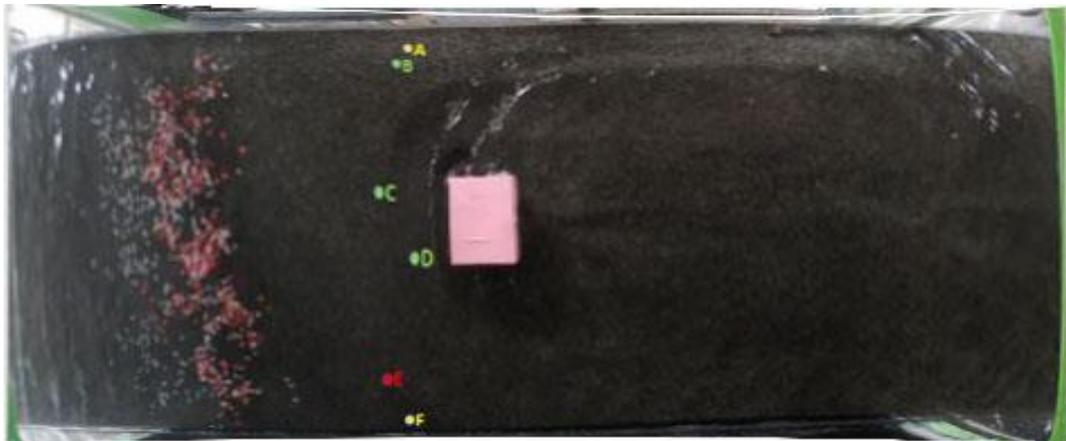


Gambar 5.17 Pola aliran di sekitar pilar lingkaran

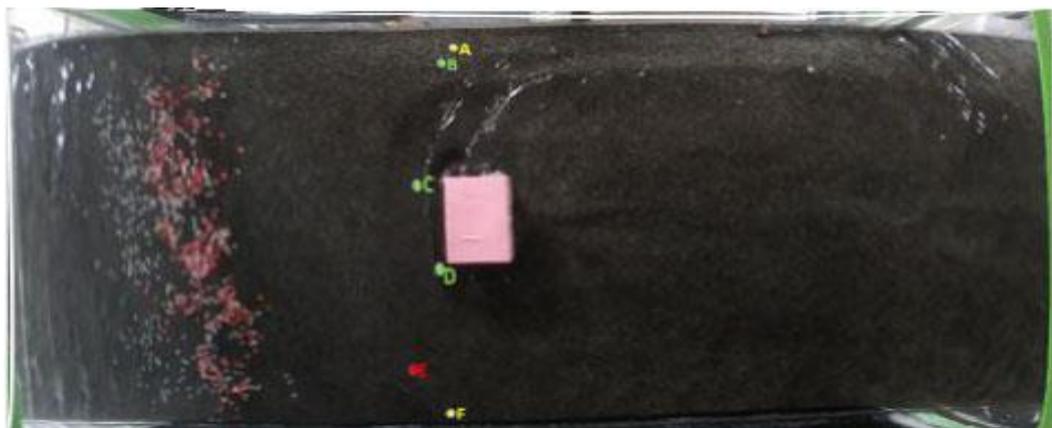
Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 bagian (a), (b), (c), (d), (e) dan (f) menunjukkan kondisi pola aliran dari hulu pilar sampai ke hilir pilar lingkaran. Terlihat bahwa pada bagian hulu pola aliran masih stabil, semakin menuju ke sekitar pilar pola aliran mulai tidak stabil karena aliran terganggu akibat adanya penyempitan saluran akibat terhalang pilar. Pola aliran di sekitar pilar tajam lebih terkonsentrasi pada titik tertentu seperti yang dapat dilihat pada arah *sediment tracking*. Arah aliran cenderung mengikuti bentuk pilar. Pada sekitar pilar

lingkaran pola aliran menuju kiri dan kanan pilar mengikuti bentuk pilar. Kecepatan pada daerah tersebut juga tidak stabil. Namun, semakin ke arah hilir pola aliran mulai stabil karena telah menjauhi daerah pilar. Pola aliran yang terjadi akan berkembang sesuai mekanisme lubang gerusan yang terjadi di daerah sekitar pilar. Bentuk arus yang berbeda juga akan menyebabkan adanya gerusan di sekitar pilar.

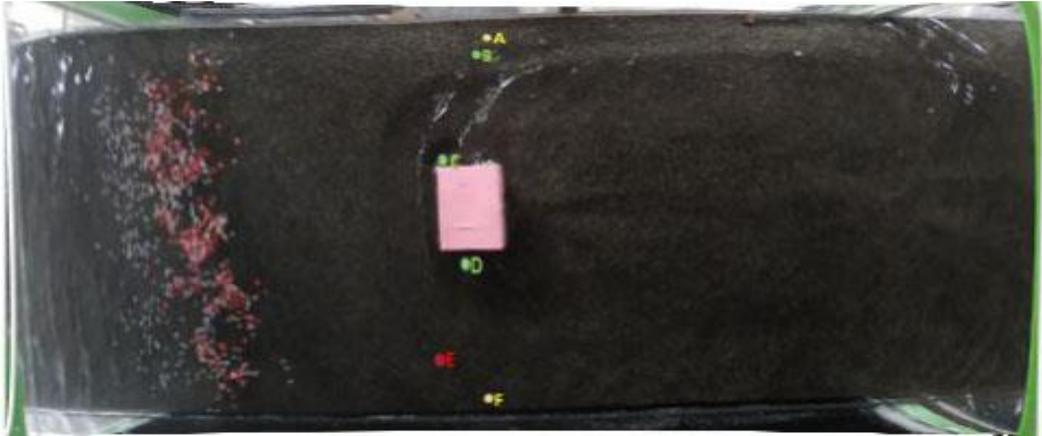
b. Pilar Persegi



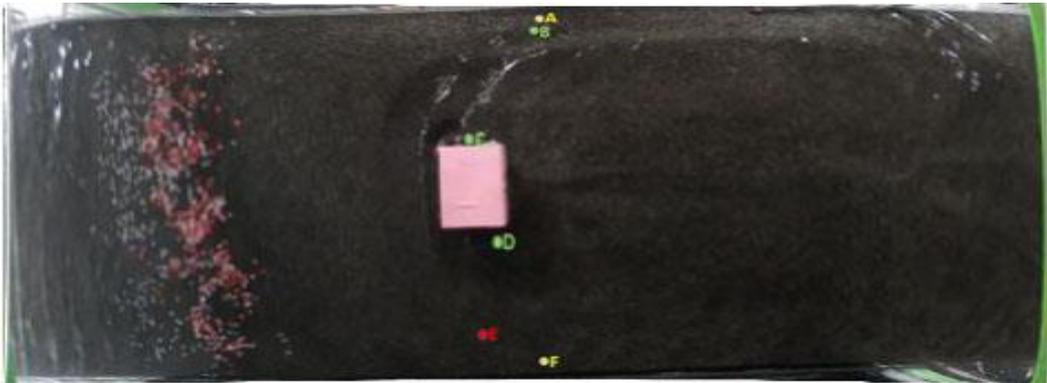
(a)



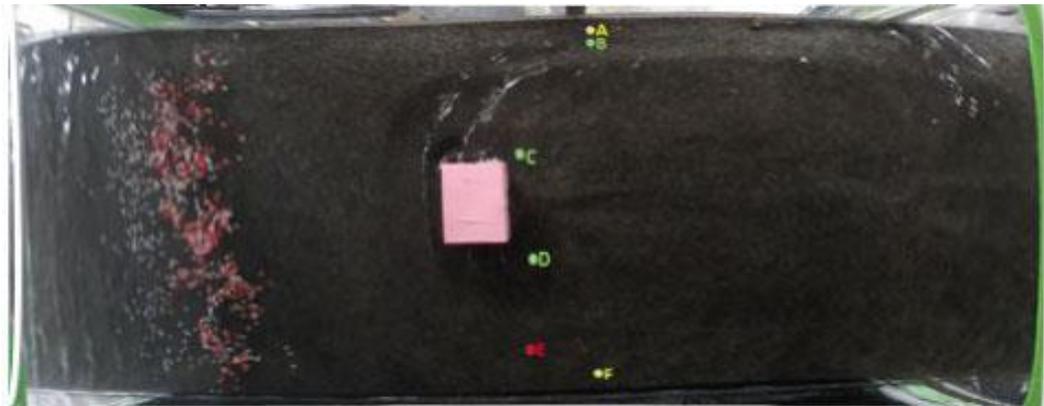
(b)



(c)

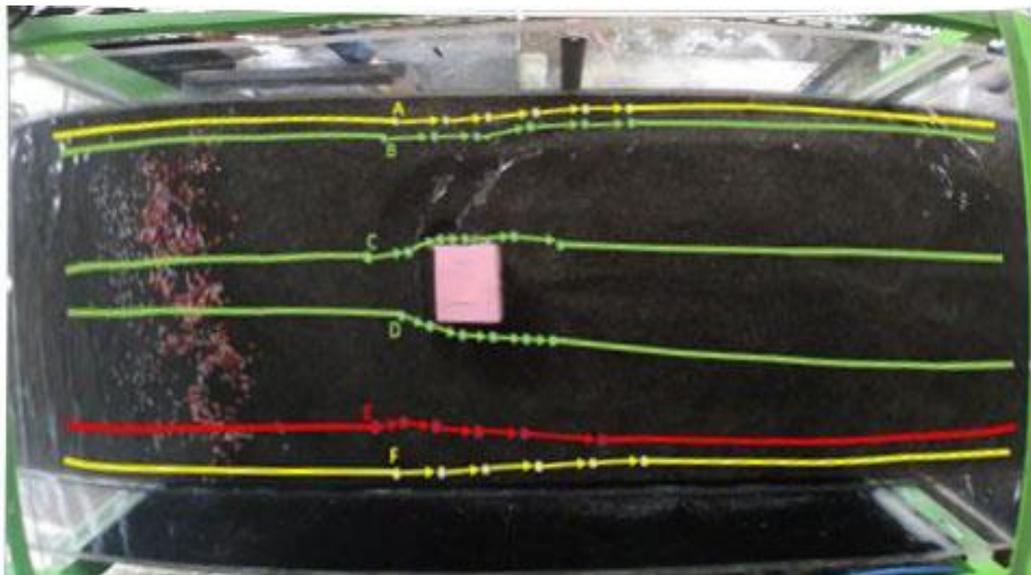


(d)



(e)

Gambar 5.18 Pola pergerakan aliran di sekitar pilar persegi tiap 0,14 detik (a-e)



Gambar 5.19 Pola aliran di sekitar pilar persegi

Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 bagian (a), (b), (c), (d) dan (e) menunjukkan kondisi pola aliran dari hulu pilar sampai ke hilir pilar persegi. Terlihat bahwa pada bagian hulu pola aliran masih stabil, semakin menuju ke sekitar pilar pola aliran mulai tidak stabil karena aliran terganggu akibat adanya penyempitan saluran akibat terhalang pilar. Pola aliran di sekitar pilar tajam lebih terkonsentrasi pada titik tertentu seperti yang dapat dilihat pada arah *sediment tracking*. Arah aliran cenderung mengikuti bentuk pilar. Pada sekitar pilar lingkaran pola aliran

menuju kiri dan kanan pilar mengikuti bentuk pilar. Kecepatan pada daerah tersebut juga tidak stabil. Namun, semakin ke arah hilir pola aliran mulai stabil karena telah menjauhi daerah pilar. Pola aliran yang terjadi akan berkembang sesuai mekanisme lubang gerusan yang terjadi di daerah sekitar pilar. Bentuk arus yang berbeda juga akan menyebabkan adanya gerusan di sekitar pilar.