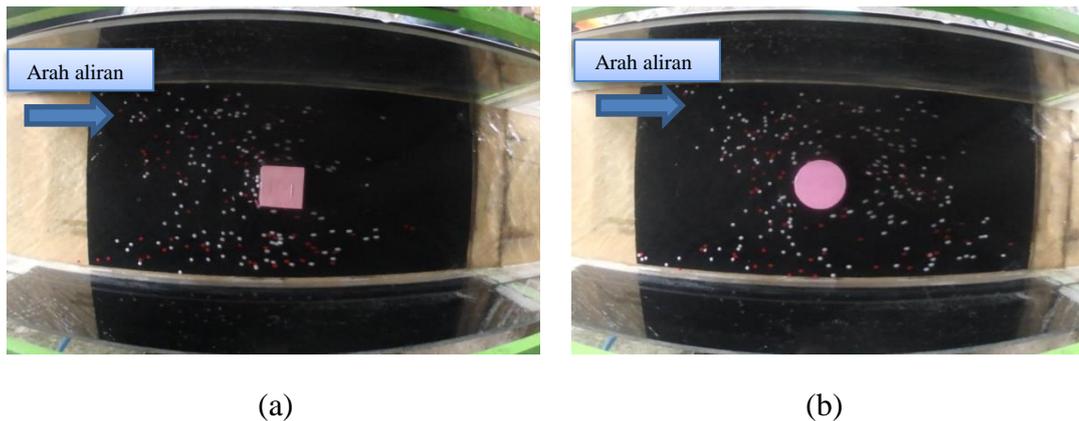


## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. DATA PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan *running* aliran terbuka dengan model fisik *Multipurpose Teaching Flume* untuk menganalisis distribusi dan vektor kecepatan aliran. Pada *flume test* dilakukan pemodelan pilar jembatan untuk mengetahui distribusi kecepatan di sekitar pilar. Data yang didapatkan dalam penelitian yaitu penyebaran *sediment tracking*. Partikel yang bergerak bersama aliran (*sediment tracking*) yang direkam menggunakan kamera, menghasilkan titik-titik pengukuran yang bisa dianalisis perpindahan dan waktunya. Titik – titik *sediment tracking* terdapat dalam Gambar 5.1.



(a) (b)  
Gambar 5. 1 Titik *sediment tracking* (a) Pilar persegi (b) Pilar lingkaran

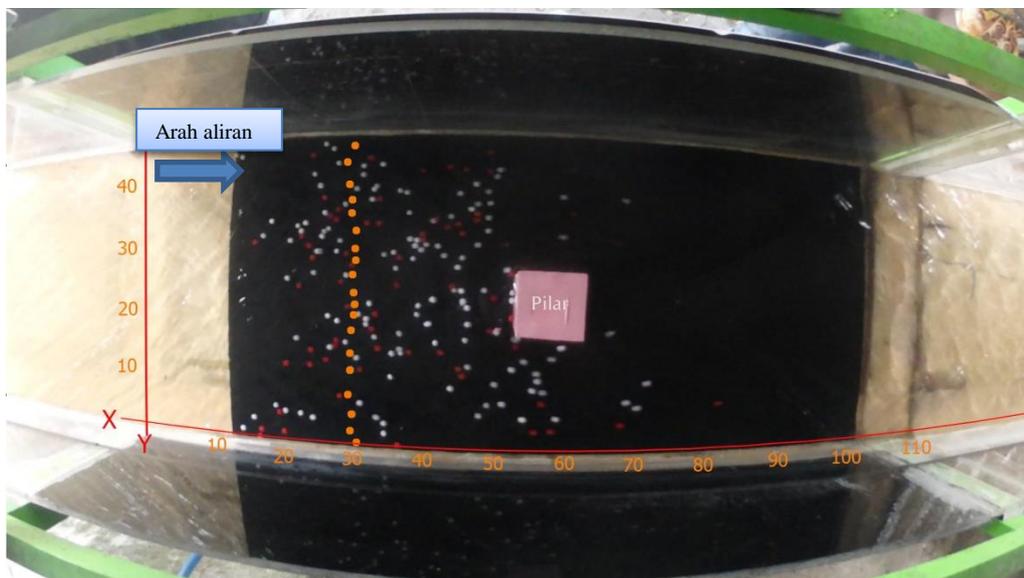
### B. ANALISIS KECEPATAN DENGAN METODE PIV

Analisis kecepatan dengan metode PIV pada prinsipnya digunakan analisis jarak dan waktu dengan pengolahan gambar. Dalam penelitian ini, analisis kecepatan menggunakan rumusan kecepatan yaitu perpindahan partikel dibagi dengan waktu partikel melakukan perpindahan.

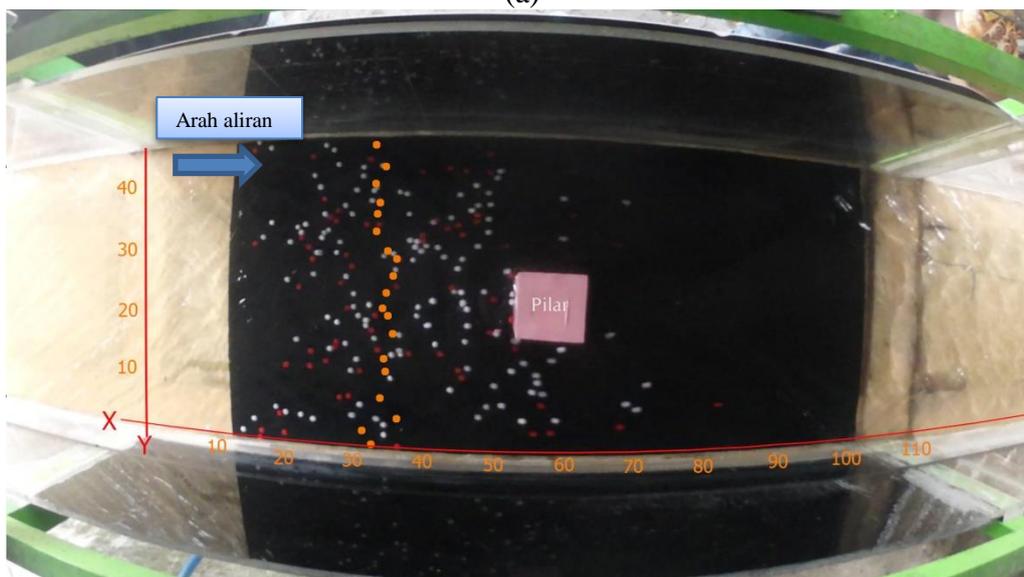
#### 1. Analisis Perhitungan Jarak

Pergerakan aliran bisa dimodelkan dengan partikel yang bergerak bersama aliran, dalam hal ini digunakan *sediment tracking* yang berupa bola plastic berdiameter 1.5 cm. Pergerakan *sediment tracking* yang direkam

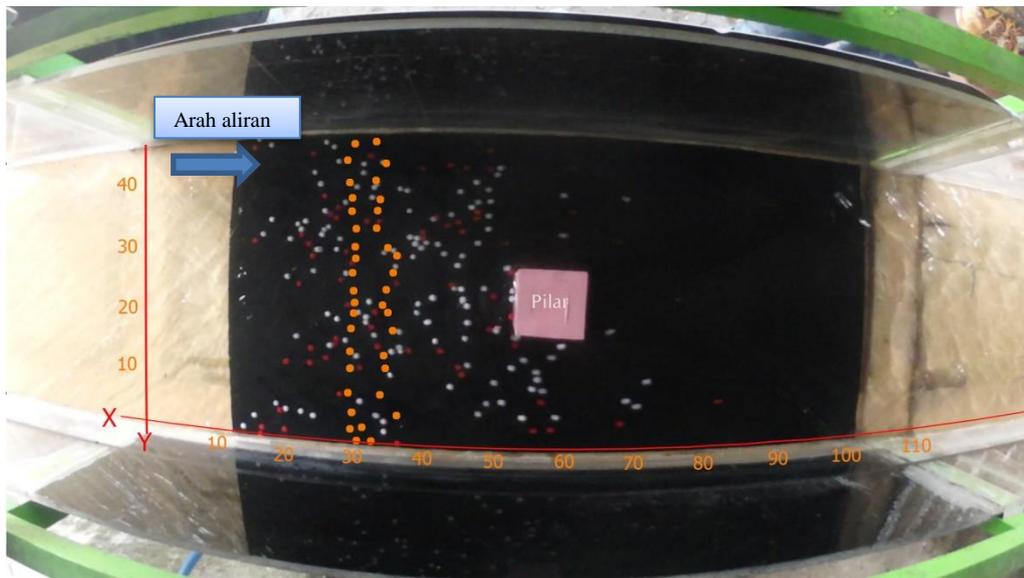
menggunakan kamera dikonversi menjadi beberapa gambar sehingga dihasilkan beberapa *frame* gambar. Analisis jarak didapatkan dari pergerakan partikel dari *frame 1* ke *frame 2* yang dihitung dengan koordinat pada gambar. Pola perpindahan gambar bisa terlihat dari pergerakan dari *frame 1* ke *frame 2*. Distribusi partikel pada masing – masing *frame* diberikan tanda untuk membaca kooordinat titik dan juga untuk memilah titik yang akan digunakan sebagai titik pengukuran. Distribusi *sediment tracking* pada masing-masing *frame* dapat terlihat pada Gambar 5.2 dan 5.3.



(a)



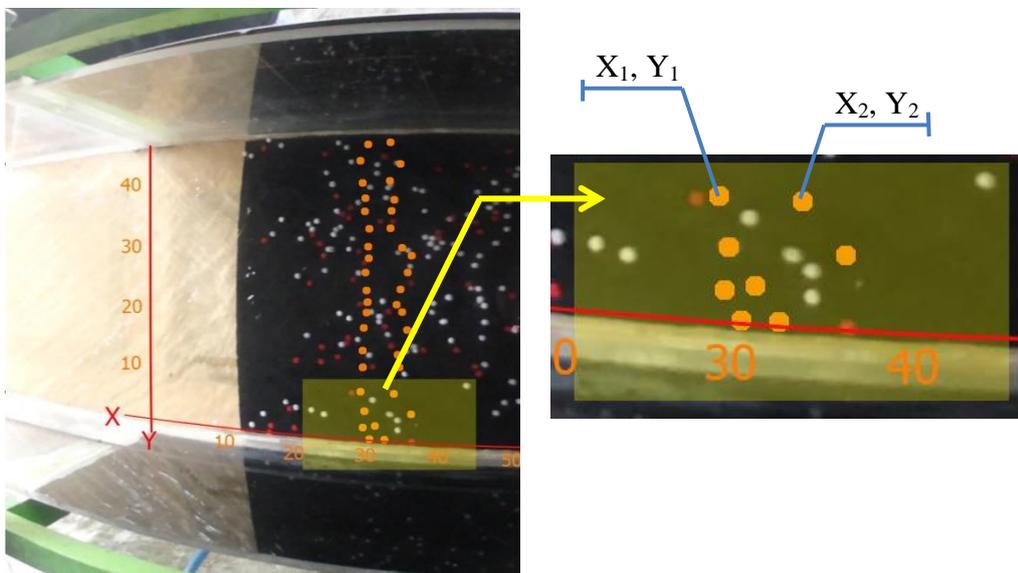
(b)



(c)

Gambar 5. 2 Distribusi partikel *sediment tracking* pada Pilar Persegi  
(a) *Frame 1* (b) *Frame 2* (c) Gabungan *Frame 1* dan *Frame 2*

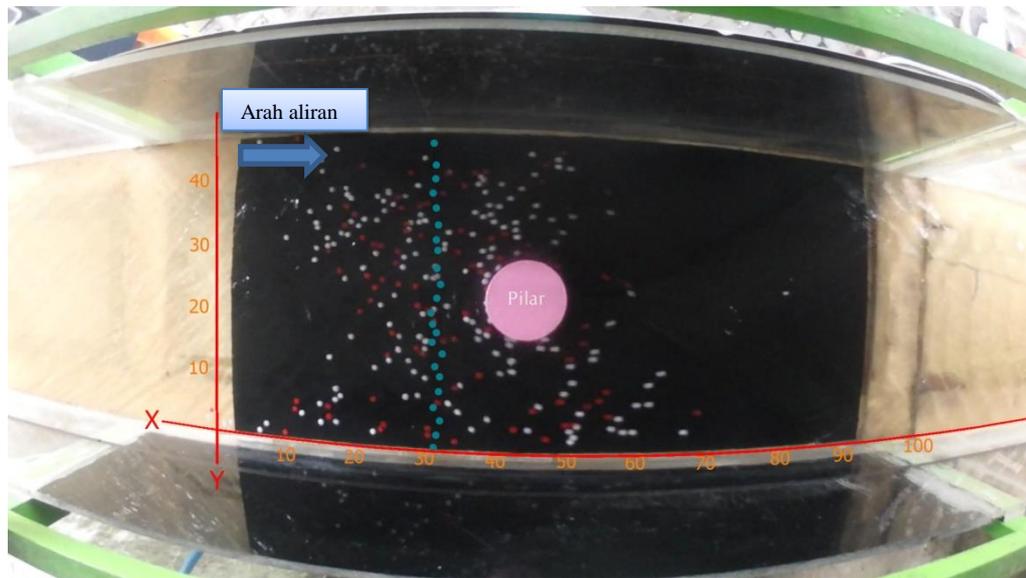
Pembacaan koordinat pada titik – titik sebaran *sediment tracking* menggunakan bantuan garis grid pada sumbu X dan Y, dengan ketelitian 0.05 cm. (1 grid = 1 cm). Penentuan koordinat dapat dilihat pada gambar 5.3.



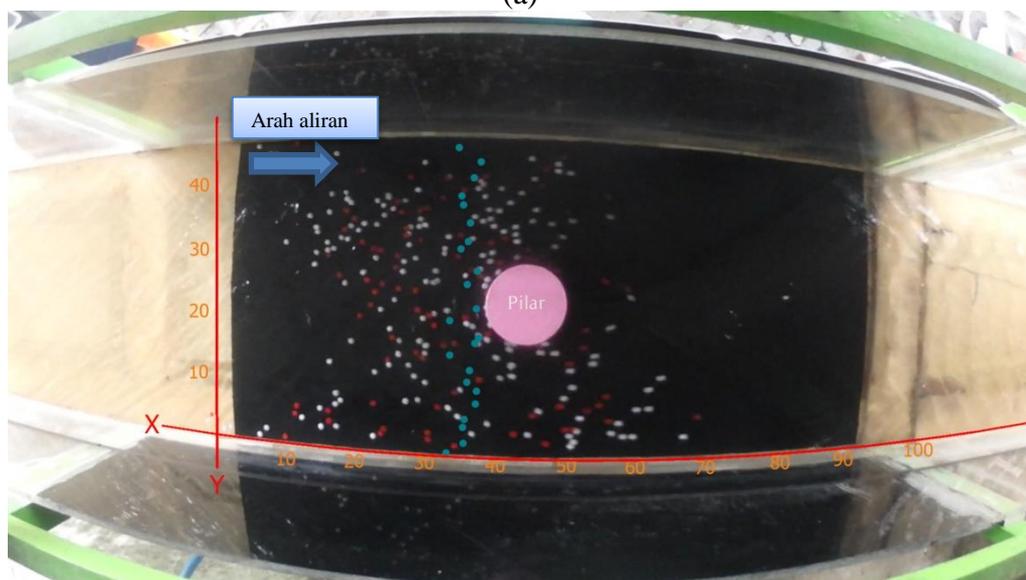
(a)

(b)

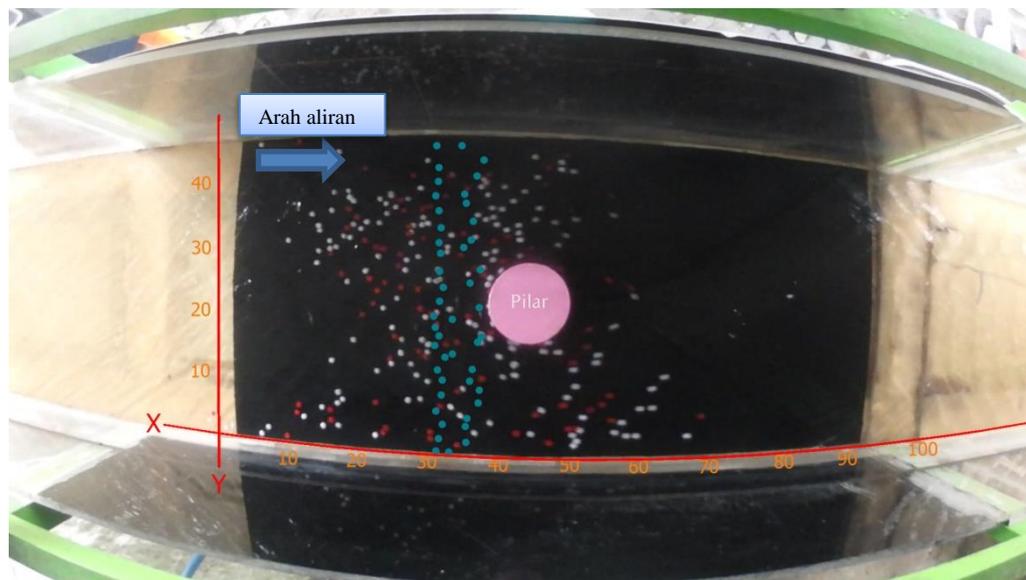
Gambar 5. 3 Penentuan koordinat pada titik *sediment tracking*



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. 4 Distribusi partikel *sediment tracking* pada Pilar Lingkaran (a) *Frame 1* (b) *Frame 2* (c) Gabungan *Frame 1* dan *Frame 2*

## 2. Analisis Perhitungan Waktu

Analisis waktu digunakan waktu yang ditempuh partikel untuk bergerak dari *frame 1* ke *frame 2* atau dari titik 1 ke titik 2. Untuk mendapatkan waktu tempuh, maka digunakan perhitungan durasi video dibagi dengan jumlah gambar konversi. Hasil analisis perhitungan waktu tempuh partikel dari *frame 1* ke *frame 2* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Perhitungan waktu tempuh partikel dari *frame 1* ke *frame 2*

Bentuk Pilar	Durasi Video (menit)	Durasi Video (detik)	Jumlah konversi Gambar ( <i>Frame</i> )	Waktu tempuh, t (detik/ <i>frame</i> )
[1]	[2]	[3]	[4]	[5] = [3]/[4]
Persegi	1.30.02	90.02	500	0.18
Lingkaran	1.38.02	98.02	550	0.178

Sumber Hasil perhitungan

## 3. Analisis Kecepatan Metode PIV

Analisis kecepatan diberbagai titik pada satu waktu dapat dihitung dengan mengetahui variable jarak dan waktu partikel untuk bergerak mengikuti pola aliran, yang telah didapatkan pada pengolahan gambar. Partikel yang bergerak mengikuti pola aliran, sehingga bisa diasumsikan kecepatan partikel tersebut merupakan kecepatan aliran dengan mengabaikan pengaruh dari luar seperti angin, gesekan antara air dan partikel dikarenakan pengaruhnya sangat

kecil. Perhitungan kecepatan di sekitar pilar dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3.

Tabel 5. 2 Perhitungan kecepatan sekitar pilar persegi  
Sumber Hasil perhitungan

No	Koordinat Titik (cm)				Jarak x (m)	Jarak y (m)	Perpindahan (m)	Kecepatan (m/detik)
	Frame 1		Frame 2					
	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$				
	[1]	[2]	[3]	[4]				
				$[5] = ( [1]-[3] )/100$	$[6] = ( [2]-[4] )/100$	$[7] = \sqrt{[5]^2 + [6]^2}$	$[8] = [7] / t$	
1	30.5	1	32.5	1	0.02	0	0.0200	0.1111
2	30	2.5	31.5	3	0.015	0.005	0.0158	0.0878
3	30	5	36.5	5	0.065	0	0.0650	0.3611
4	29.5	8	34	8	0.045	0	0.0450	0.2500
5	30	12	35	12	0.05	0	0.0500	0.2778
6	30	14.5	34.5	14	0.045	0.005	0.0453	0.2515
7	30	18	36	17.5	0.06	0.005	0.0602	0.3345
8	30.5	20	35	20	0.045	0	0.0450	0.2500
9	30.5	21.5	34.5	21.5	0.04	0	0.0400	0.2222
10	30.5	23.5	35	23.5	0.045	0	0.0450	0.2500
11	30	26	36	26	0.06	0	0.0600	0.3333
12	30.5	28	36.5	28.5	0.06	0.005	0.0602	0.3345
13	30.5	30	35	30	0.045	0	0.0450	0.2500
14	31	33	34	33	0.03	0	0.0300	0.1667
15	30	35	34	35.5	0.04	0.005	0.0403	0.2240
16	30	37	34	37	0.04	0	0.0400	0.2222
17	30	39.5	33.5	40	0.035	0.005	0.0354	0.1964
18	29.5	43	35	42.5	0.055	0.005	0.0552	0.3068
19	30.5	45.5	34	45.5	0.035	0	0.0350	0.1944

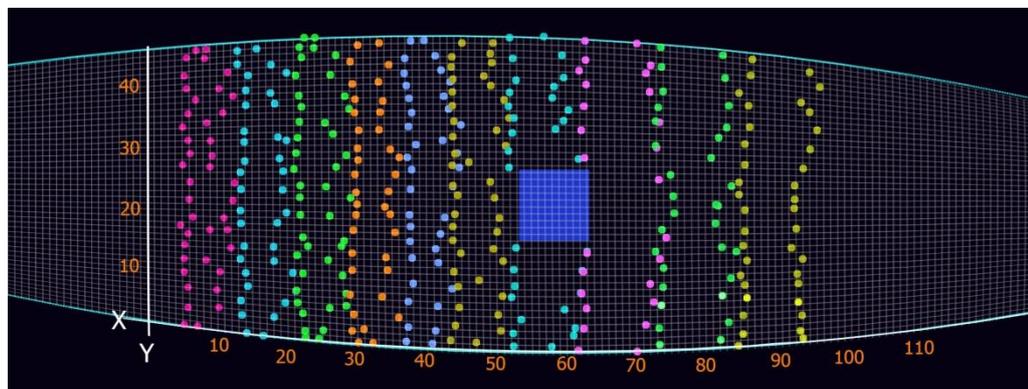
Tabel 5. 3 Perhitungan kecepatan sekitar pilar lingkaran

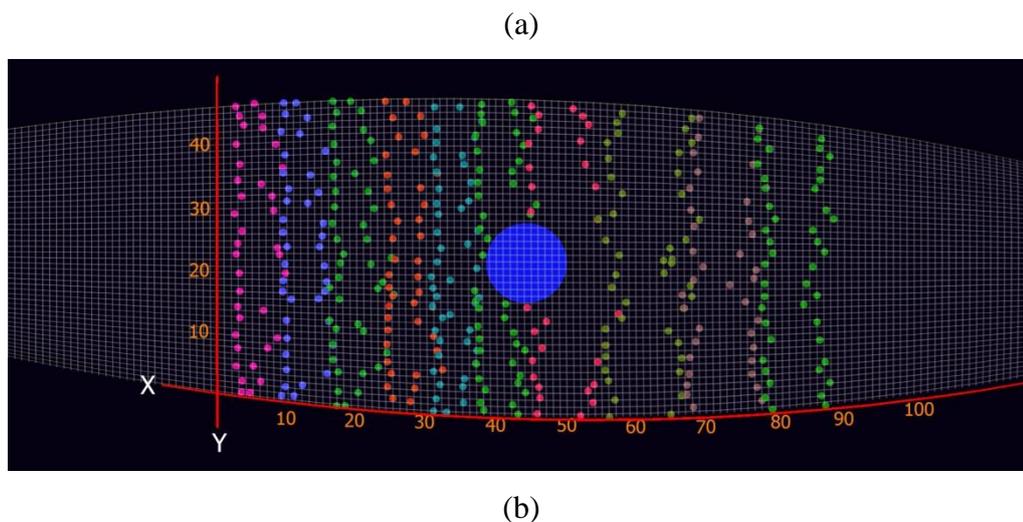
No	Koordinat Titik (cm)				Jarak x (m)	Jarak y (m)	Perpindahan (m)	Kecepatan (m/detik)
	Frame 1		Frame 2					
	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$				
	[1]	[2]	[3]	[4]				
				$[5] = ( [1]-[3] )/100$	$[6] = ( [2]-[4] )/100$	$[7] = \sqrt{[5]^2 + [6]^2}$	$[8] = [7] / t$	
1	31	1	33	1	0.02	0	0.0200	0.1124
2	31.5	2.5	35.5	2	0.04	0.005	0.0403	0.2265
3	32	4.5	35.5	4	0.035	0.005	0.0354	0.1986
4	31.5	6.5	36	5.5	0.045	0.01	0.0461	0.2590
5	32	9	32.5	7.5	0.005	0.015	0.0158	0.0888
6	32	11	32.5	9.5	0.005	0.015	0.0158	0.0888

7	31.5	12	36	10	0.045	0.02	0.0492	0.2767
8	33	14	36.5	12.5	0.035	0.015	0.0381	0.2139
9	31	16	34	15	0.03	0.01	0.0316	0.1777
10	32	17	37.5	16.5	0.055	0.005	0.0552	0.3103
11	31.5	18.5	38	17	0.065	0.015	0.0667	0.3748
12	31	20	34	20	0.03	0	0.0300	0.1685
13	32	22.5	38	21.5	0.06	0.01	0.0608	0.3417
14	32.5	24.5	36.5	25	0.04	0.005	0.0403	0.2265
15	32	27	38	27	0.06	0	0.0600	0.3371
16	32	29.5	35.5	30.5	0.035	0.01	0.0364	0.2045
17	32	31	36.5	31.5	0.045	0.005	0.0453	0.2544
18	32	33	37	34	0.05	0.01	0.0510	0.2865
19	32	35	36	37	0.04	0.02	0.0447	0.2512
20	31.5	38	36	38	0.045	0	0.0450	0.2528
21	32	40	37.5	40.5	0.055	0.005	0.0552	0.3103
22	32	42	38.5	43	0.065	0.01	0.0658	0.3695
23	32	45	35.5	45	0.035	0	0.0350	0.1966

Sumber Hasil perhitungan

Metode pengukuran kecepatan dengan PIV bisa menghasilkan kecepatan di berbagai titik yang berbeda dalam satu waktu yang sama. Dalam penelitian ini, dianalisis pada bagian sebelum pilar, sekitar pilar dan sesudah pilar. Hasil analisis jarak dengan titik-titik *sediment tracking* pada berbagai titik dapat dilihat pada Gambar 5.4. Dalam Gambar 5.5 terdapat titik perhitungan kecepatan sebanyak 10 *cross section* untuk masing-masing bentuk pilar. Hasil perhitungan kecepatan terlampir dalam Lampiran 1.





Gambar 5. 5 Distribusi titik-titik partikel *sediment tracking* pada pilar  
(a) Persegi (b) Lingkaran

### C. ANALISIS POLA KECEPATAN ALIRAN

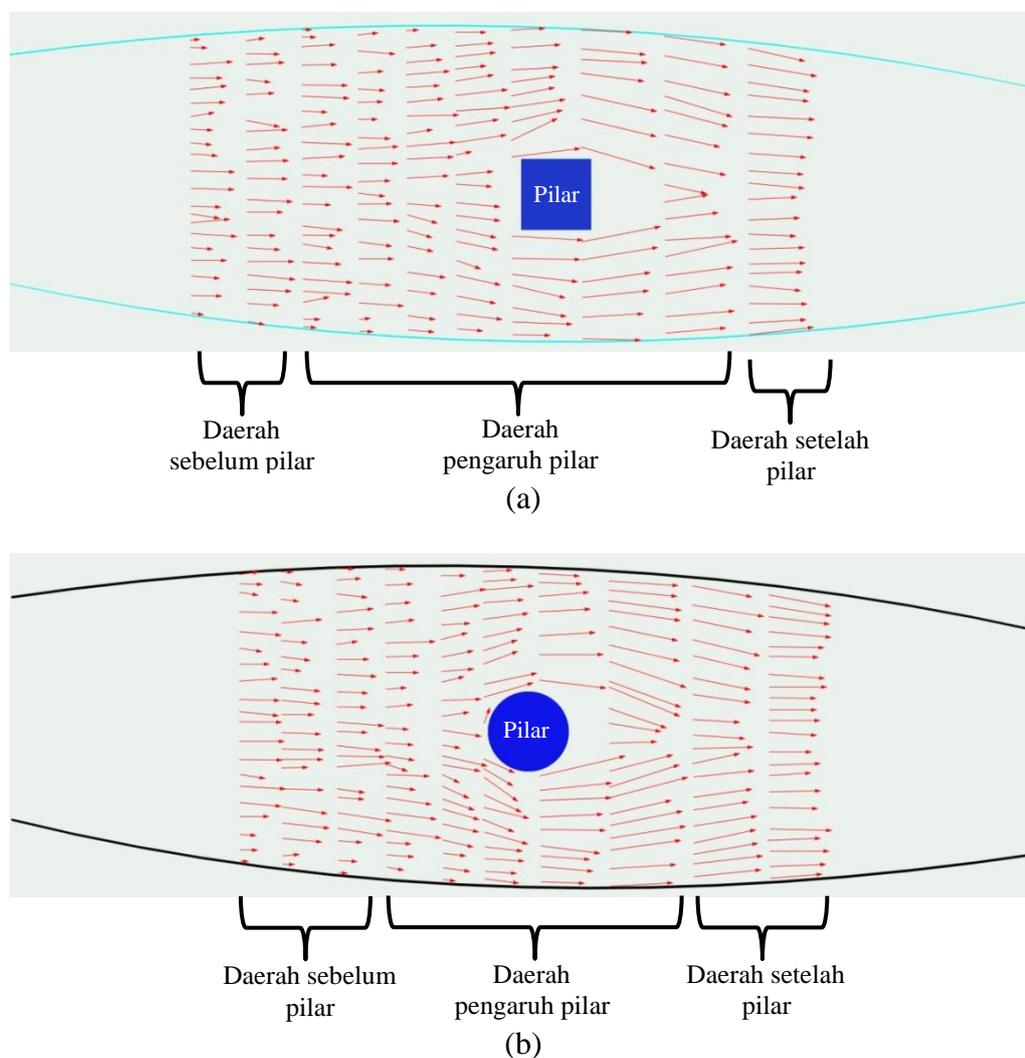
Distribusi kecepatan aliran normal yaitu aliran pada samping atau dinding saluran akan lebih lambat dibandingkan dengan aliran di tengah saluran, dikarenakan ada pengaruh gesekan pada dinding saluran. Kecepatan aliran akan mengalami perubahan apabila terdapat suatu perubahan bentuk dari saluran ataupun adanya suatu penghalang misalnya pilar jembatan. Perubahan kecepatan tersebut bisa menjadi semakin cepat ataupun semakin lambat.

Dalam penelitian ini, digunakan dua jenis bentuk pilar yang diletakkan di tengah saluran yang bisa menghalangi kecepatan aliran. Dimensi dari pilar adalah sama yaitu 3 inch atau 7.62 cm, sehingga yang mempengaruhi pola distribusi kecepatannya hanyalah bentuk dari pilar tersebut.

#### 1. Vektor Kecepatan Pilar

Analisis perpindahan partikel *sediment tracking* pada beberapa *frame* menghasilkan hitungan kecepatan. Analisis pola pergerakan perpindahan partikel menghasilkan vektor kecepatan, sehingga dapat dihasilkan nilai kecepatan beserta arahnya. Arah panah menunjukkan arah aliran air, sedangkan panjang dan pendek panahnya menunjukkan nilai kecepatan aliran. Semakin panjang panahnya maka nilai kecepatannya semakin besar.

Analisis vektor kecepatan dapat menggambarkan pola aliran yang terjadi di sekitar pilar. Vektor kecepatan aliran disekitar pilar dapat terlihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5. 6 Vektor kecepatan di sekitar pilar (a) Persegi (b) Lingkaran

Pada gambar 5.6 dapat dilihat pengaruh pilar terhadap pola aliran yang terjadi pada model saluran. Dengan adanya penghalang berupa pilar, pola aliran menjadi terganggu. Bentuk pilar yang berbeda mempengaruhi pola aliran yang terjadi.

Pada bagian hulu saluran, distribusi aliran masih merupakan distribusi normal dimana dibagian dinding saluran lebih lambat daripada bagian tengah saluran. Pada pilar persegi vektor kecepatan pada dinding saluran bernilai 0.08

m/detik, semakin ke bagian tengah vektor kecepatan meningkat, menjadi antara 0.2 – 0.3 m/detik. Pada pilar lingkaran, nilai vektor kecepatan pada dinding saluran sekitar 0.05 – 0.1 m/detik, pada bagian tengah saluran meningkat 0.2 - 0.3 m/detik.

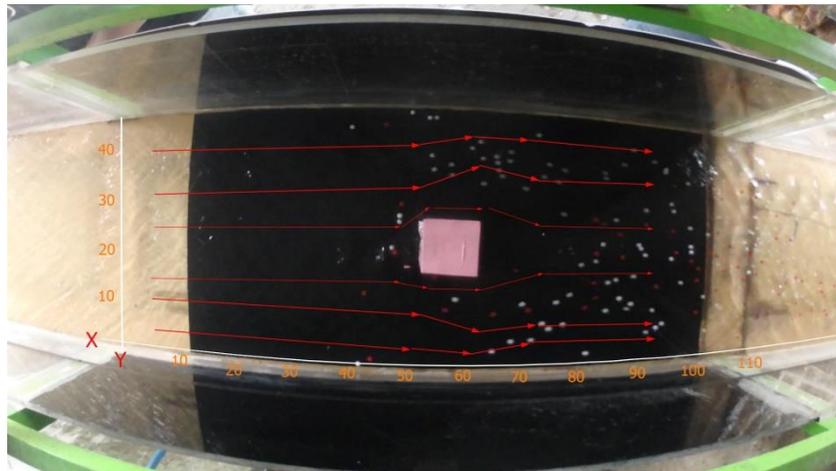
Pada daerah pengaruh pilar pada bagian hulu, distribusi kecepatannya berubah, yaitu dari dinding saluran kecepatan kecil, selanjutnya ke tengah kecepatan meningkat, terus menurun akibat terhalang pilar. Untuk selanjutnya terjadi belokan aliran pada samping-samping pilar yang menyebabkan kecepatan aliran semakin bertambah. Akan tetapi, kecepatan melambat tepat pada daerah depan pilar, dikarenakan terjadi pertemuan aliran dari dua sisi pilar, sehingga dari kecepatan tinggi pada ke dua sisi pilar yang bertemu pada bagian depan pilar menyebabkan kecepatan menurun. Nilai kecepatannya antara 0.4 – 0.6 m/detik.

Distribusi kecepatan aliran akan normal kembali dengan kecepatan di samping lebih kecil dari pada bagian tengah setelah melewati pilar, dengan nilai kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sebelum pilar. Nilai kecepatannya antara 0.4 – 0.7 m/detik.

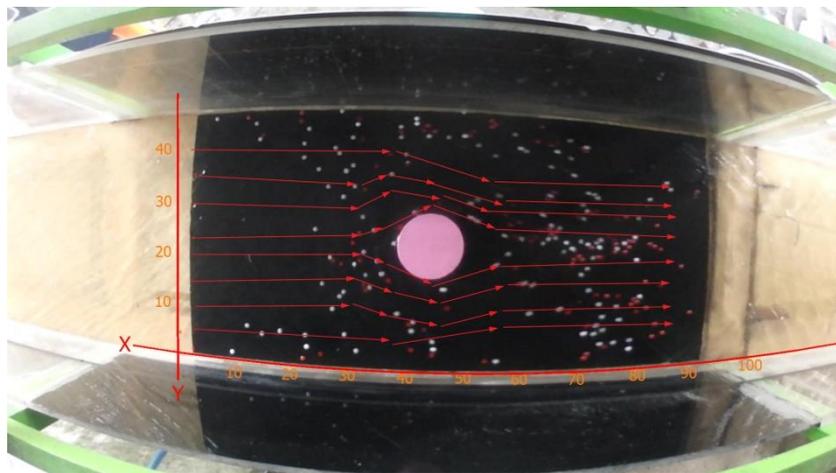
## 2. Pola Aliran

Analisis pola aliran menggunakan visual dengan pengamatan pergerakan *sediment tracking*. Pergerakan *sediment tracking* akan mengikuti pola aliran yang terjadi pada *flume test* sehingga didapatkan gambaran pola aliran yang terjadi. Pola aliran pada masing – masing pengaruh bentuk pilar dapat terlihat pada Gambar 5.7.

Untuk mendapatkan pola aliran, maka diperlukan gabungan dari beberapa gambar yang menggambarkan pergerakan alirannya. Pada Gambar 5.8 dan 5.9 terlihat pergerakan dari *sediment tracking* yang dapat membentuk pola aliran.

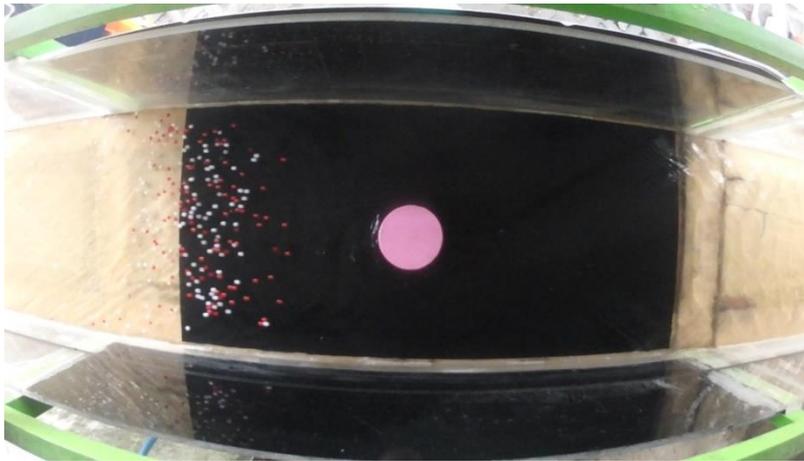


(a)

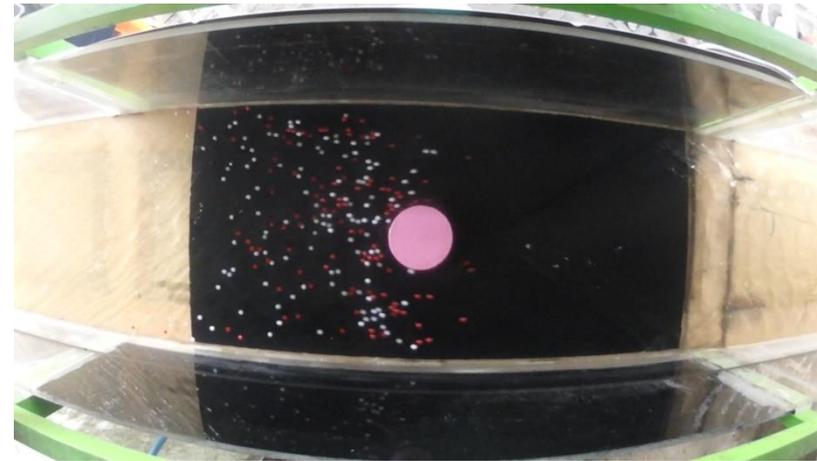


(b)

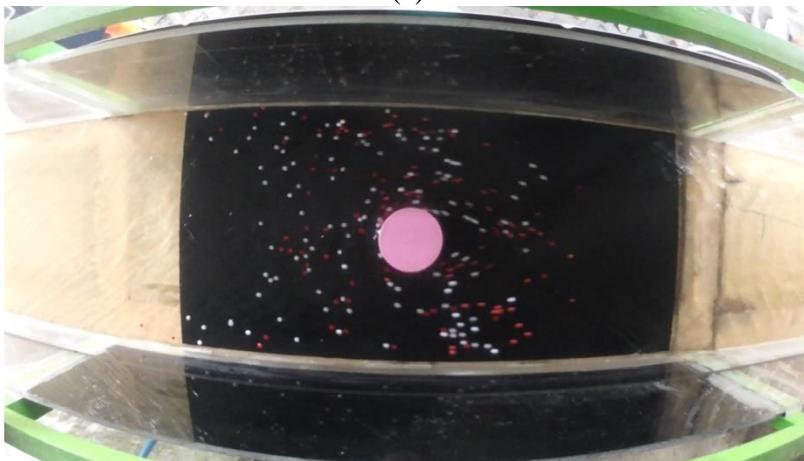
Gambar 5. 7 Pola aliran (a) Pilar Persegi (b) Pilar Lingkaran



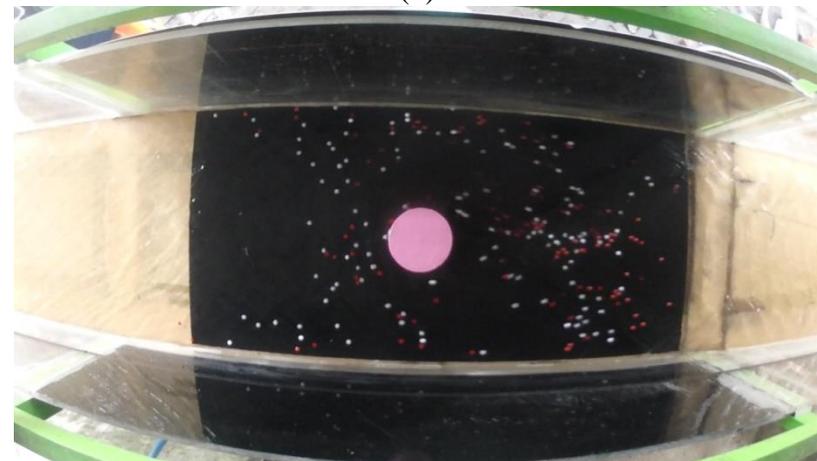
(a)



(b)

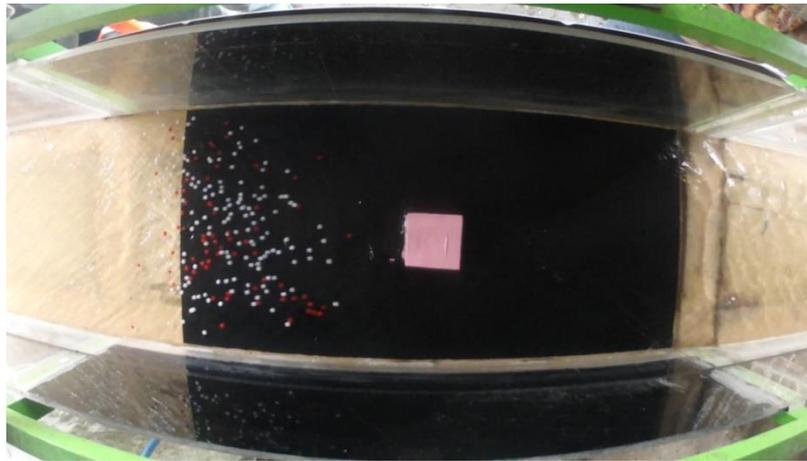


(c)



(d)

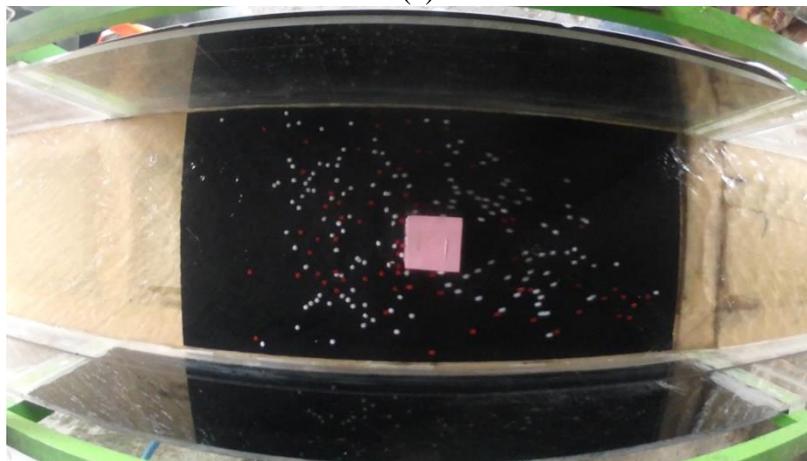
Gambar 5. 8 Pola perpindahan gambar



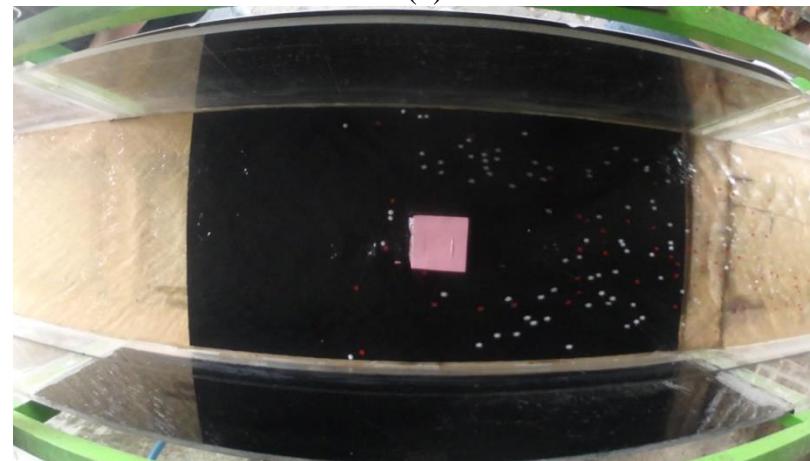
(a)



(b)



(c)

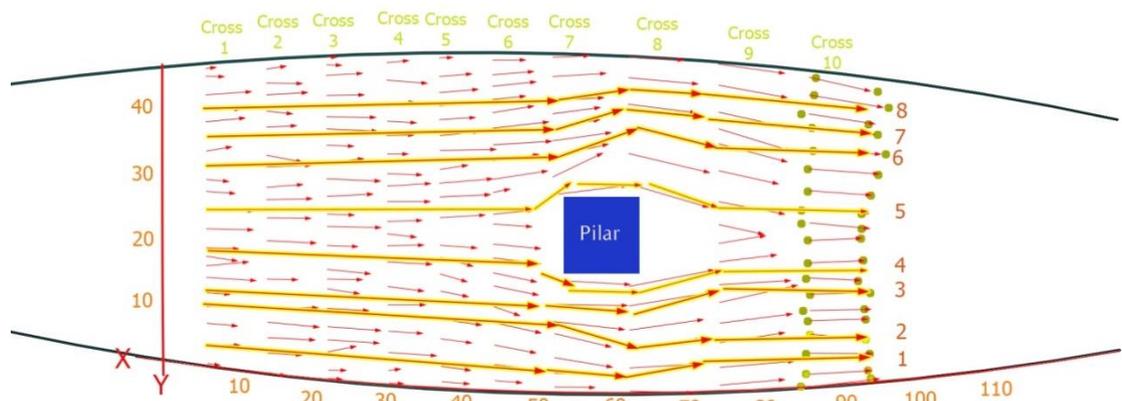


(d)

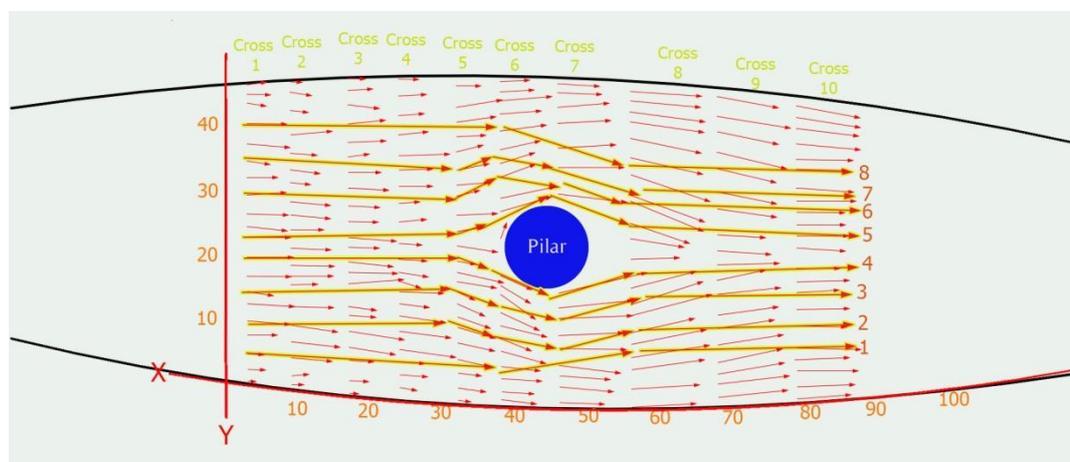
Gambar 5. 9 Pola perpindahan gambar

Nilai dari hasil distribusi kecepatan disajikan dalam bentuk persentase. Nilai kecepatan akan semakin menurun ketika memasuki area pengaruh pilar, setelah itu pada bagian setelah pilar nilai kecepatan akan meningkat dan akan kembali pada nilai distribusi normal.

Perubahan pola kecepatan ditunjukkan pada Gambar 5.10 dan 5.11 serta nilai perubahannya ditunjukkan pada Tabel 5.4 dan 5.5. Pada Gambar 5.10 dan 5.11 terdapat 10 cross yang menunjukkan nilai kecepatan pada masing-masing titik cross. Cross 1 merupakan nilai distribusi normal. Persentase perubahan nilai kecepatan merupakan perubahan kecepatan dari distribusi normal (cross 1) ke cross yang lainnya.



Gambar 5. 10 Distribusi kecepatan pada pilar Persegi



Gambar 5. 11 Distribusi kecepatan pada pilar lingkaran

Tabel 5. 4 Persentase perubahan nilai kecepatan sekitar pilar persegi

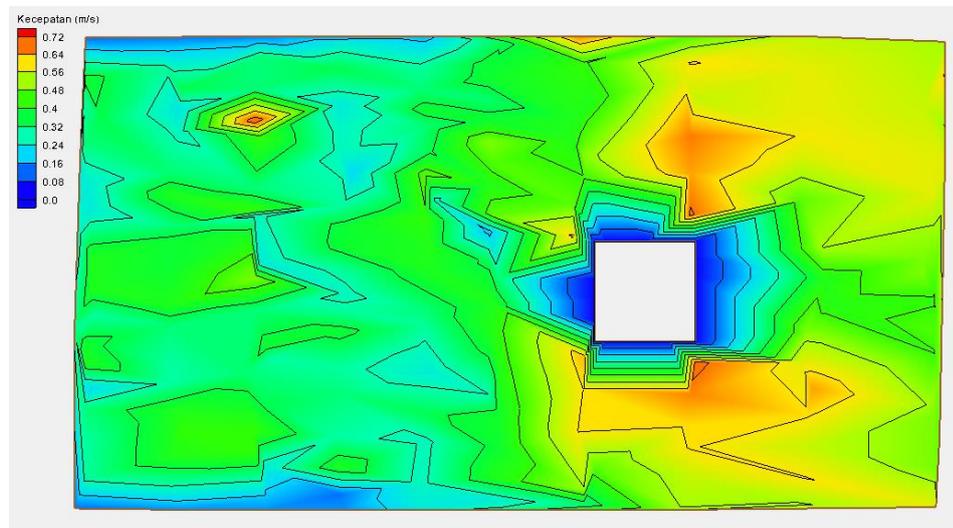
No. titik	Cross 1	Cross 2		Cross 3		Cross 4		Cross 5		Cross 6		Cross 7		Cross 8		Cross 9		Cross 10	
	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Persentase perubahan kecepatan (%)																
1	0.2544	0.2544	0.00	0.2045	-19.60	0.3652	43.56	0.2247	-11.65	0.3662	43.99	0.4775	87.73	0.5064	99.08	0.5618	120.86	0.4494	76.69
2	0.2809	0.3662	30.38	0.3090	10.00	0.2809	0.00	0.3103	10.45	0.3475	23.69	0.5625	100.25	0.5646	101.00	0.5087	81.11	0.4251	51.33
3	0.1685	0.2528	50.00	0.2865	69.97	0.2544	50.92	0.2045	21.34	0.2400	42.40	0.5625	233.75	0.6281	272.68	0.5344	217.10	0.4494	166.67
4	0.2528	0.2823	11.67	0.2809	11.11	0.2528	0.00	0.2590	2.44	0.3662	44.87	0.5906	133.60	0.6558	159.39	0.4529	79.16	0.4213	66.67
5	0.3652	0.3371	-7.69	0.1986	-45.61	0.2528	-30.77	0.3662	0.30	0.3103	-15.04	0.5681	55.57	0.6485	77.59	0.4808	31.67	0.4494	23.08
6	0.1986	0.3652	83.85	0.2823	42.13	0.2528	27.28	0.4223	112.60	0.3695	86.01	0.4022	102.48	0.6337	219.06	0.5248	164.20	0.5337	168.70
7	0.2809	0.2247	-20.00	0.3943	40.36	0.2265	-19.38	0.3141	11.80	0.4529	61.25	0.4022	43.18	0.5087	81.11	0.5403	92.35	0.4784	70.29
8	0.2544	0.1884	-25.92	0.2809	10.43	0.1986	-21.91	0.3417	34.35	0.2865	12.62	0.3662	43.99	0.5337	109.82	0.5367	110.98	0.5087	100.00

Tabel 5. 5 Persentase perubahan nilai kecepatan sekitar pilar lingkaran

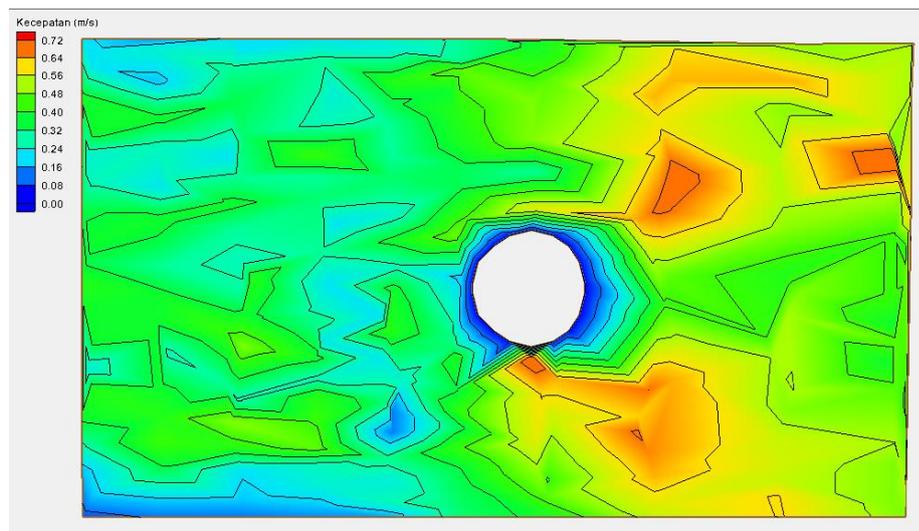
No. titik	Cross 1	Cross 2		Cross 3		Cross 4		Cross 5		Cross 6		Cross 7		Cross 8		Cross 9		Cross 10	
	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (m/s)	Persentase perubahan kecepatan (%)																
1	0.2590	0.3090	19.31	0.3695	42.66	0.4251	64.14	0.2590	0.00	0.3103	19.80	0.4808	85.66	0.6515	151.58	0.5087	96.44	0.4808	85.66
2	0.3371	0.3695	9.61	0.4529	34.37	0.2247	-33.33	0.0888	-73.65	0.2933	-13.00	0.5337	58.33	0.5729	69.97	0.4529	34.37	0.3943	16.96
3	0.3382	0.3371	-0.35	0.4503	33.13	0.2665	-21.22	0.1777	-47.48	0.3141	-7.15	0.5625	66.30	0.5952	75.97	0.4784	41.42	0.3382	0.00
4	0.3371	0.3371	0.00	0.3417	1.38	0.2265	-32.81	0.1685	-50.00	0.2665	-20.94	0.6949	106.16	0.4361	29.37	0.4775	41.67	0.3371	0.00
5	0.3652	0.3141	-14.00	0.3662	0.30	0.1709	-53.21	0.2265	-37.98	0.4361	19.42	0.5367	46.96	0.5064	38.68	0.3652	0.00	0.4213	15.38
6	0.3090	0.3417	10.60	0.2528	-18.18	0.1685	-45.45	0.2045	-33.82	0.3025	-2.09	0.2544	-17.68	0.6051	95.82	0.4529	46.59	0.3943	27.60
7	0.2265	0.2265	0.00	0.2528	11.63	0.2544	12.32	0.2865	26.49	0.3025	33.59	0.4503	98.84	0.6576	190.36	0.4849	114.12	0.4784	111.22
8	0.3382	0.3382	0.00	0.3103	-8.27	0.2265	-33.05	0.3103	-8.27	0.3695	9.23	0.4503	33.13	0.5729	69.38	0.4906	45.03	0.4503	33.13

#### D. KONTUR KECEPATAN

Kontur kecepatan menampilkan nilai kecepatan berdasarkan warna, dimana warna merah sebagai nilai tertinggi dari kecepatan dan warna ungu sebagai nilai terendah dari kecepatan. Hasil analisis jarak pada file gambar yang dianalisis dengan koordinat, maka didapatkan nilai koordinat  $x,y,v$  (kecepatan). Hasil *input*  $x,y,z$  diproses dengan *software SMS (Surface Modelling System)* sehingga didapatkan data *output* berupa gambar kontur seperti pada Gambar 5.11.



(a)



(b)

Gambar 5. 12 Kontur kecepatan di sekitar pilar (a) Persegi (b) Lingkaran

Dengan skala warna yang menunjukkan nilai kecepatan pada Gambar 5.6 terlihat bahwa pengaruh pilar pada kecepatan aliran akan memperlambat aliran pada bagian tepat di sisi pilar yang ditandai dengan warna biru di sekitar pilar. Kecepatan akan semakin meningkat akibat belokan aliran dari pilar sehingga bagian hilir saluran mempunyai kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan hulu saluran.

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 5.6 maka bentuk pilar yang mempengaruhi distribusi kecepatan aliran paling kecil yaitu pilar lingkaran. Pengaruh perlambatan aliran di sekitar pilar pada pilar lingkaran mempunyai area pengaruh yang lebih kecil dibandingkan dengan pilar persegi.