



SDA-20

ANALISA VEKTOR KECEPATAN DAN POLA ALIRAN DI SEKITAR PILAR DENGAN METODE *PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY* (STUDI KASUS MODEL PILAR BERPENAMPANG LINGKARAN DAN PERSEGI)

Puji Harsanto^{1*}, Sitty Rukmini Mokobombang², Jazaul Ikhsan³ dan Burhan Barid⁴

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul e-mail: puji_hr@umy.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul e-mail: sitty_rukmini.2013@ft.umy.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul e-mail: jazaul.ikhsan@umy.ac.id

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul e-mail: burhan.barid@umy.ac.id

ABSTRAK

Pengukuran kecepatan aliran 2 dimensi dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik aliran. Sampai saat ini, perhitungan kecepatan hanya terbatas untuk perhitungan di satu titik dan cara pengambilan datanya bisa mengganggu aliran. *Particle Image Velocimetry (PIV)* merupakan metode pengukuran aliran dengan menggunakan *image processing* rekaman aliran untuk mengetahui profil kecepatan aliran sesaat pada aliran fluida. Metode *PIV (Particle Image Velocimetry)* bisa menghasilkan data kecepatan pada beberapa titik dalam satu waktu dengan tidak mengganggu aliran. Metode *PIV* menggunakan *sediment tracking* yang dialirkan bersama aliran air sehingga bisa mengikuti pola dari aliran itu sendiri. Pemodelan pengukuran kecepatan menggunakan model fisik berupa *Multipurpose teaching flume* dengan ukuran panjang 5 meter dan lebar 0,46 meter dilakukan di Laboratorium Keairan dan Lingkungan, Teknik Sipil, UMY. Pengukuran kecepatan dilakukan di sekitar pilar untuk mengetahui pengaruh bentuk pilar terhadap distribusi kecepatan. Dengan simulasi yang dilakukan, maka metode *PIV* merupakan metode yang bagus untuk diterapkan dalam perhitungan kecepatan aliran pada beberapa titik. Dengan adanya pilar di badan sungai, maka aliran mengalami perlambatan pada belakang pilar dan percepatan di daerah setelah pilar. Perlambatan aliran terjadi di bagian belakang, sisi samping dan tepat di depan pilar. Bentuk pilar persegi mempunyai pengaruh perlambatan yang lebih besar daripada pilar lingkaran. Kecepatan di sekitar pilar lingkaran lebih besar daripada di sekitar pilar persegi.

Kata kunci: vektor kecepatan, pola aliran, *PIV*, pemodelan, pilar jembatan

PENDAHULUAN

Dalam uji model hidrolika alat ukur kecepatan aliran dan arah gerak partikel air sangat diperlukan. Metode umum dalam menentukan pola medan aliran masih terbatas pada pengukuran kecepatan pada satu titik saja, yang dilakukan dengan cara memasukkan sensor ke dalam aliran pada satu titik yang akan diukur, salah satu contoh alat ukurnya adalah *current meter*. Untuk mendapatkan data pada berbagai titik yang berbeda maka dilakukan pengukuran yang berulang-ulang di tempat yang berbeda-beda. Metode tersebut, akan mengganggu pola aliran alaminya sehingga akan merubah pola aliran. Oleh sebab itu, diperlukan cara atau metode pengukuran kecepatan yang bisa mengukur kecepatan dibanyak titik dengan waktu yang bersamaan dengan tidak mengganggu pola aliran alaminya.

Particle Image Velocimetry (PIV) adalah metode pengukuran kecepatan aliran sesaat 2 dimensi yang dilakukan di sepanjang area pengukuran. Alirannya ditaburi dengan partikel-partikel kecil untuk merepresentasikan aliran itu sendiri (Mohamed et al., 1995). Analisis arah vector kecepatan aliran pada model fisik menggunakan metode *PIV* ialah metode untuk mengukur kecepatan aliran yang mampu memetakan vektor-vektor kecepatan sesaat aliran di semua titik yang tertangkap kamera,

sehingga *PIV* mampu memberikan data profil kecepatan sesaat dan turbulensi fluida untuk banyak titik dalam waktu yang sama (Rahardjo dkk., 2011).

Beberapa masalah teknik yang berhubungan dengan aliran fluida kadang-kadang sulit atau tidak bisa diselesaikan secara analitis. Untuk itu diperlukan suatu percobaan atau pengamatan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Untuk menghindari kendala tersebut pengamatan bisa dilakukan dengan membuat bentuk miniatur model. Pola aliran pada sungai dapat berubah diakibatkan oleh perubahan morfologi sungai yang diikuti dengan perubahan karakteristik sungai. Salah satu penyebabnya yaitu adanya bangunan atau pilar yang dibangun pada badan sungai.

Penelitian tentang penggunaan *PIV* pada lapangan atau disebut dengan *LSPIV* (*Large-Scale Particle Image Velocimetry*) pernah dilakukan oleh Muste et al. (2008). *LSPIV* merupakan alternatif yang bisa digunakan untuk pengukuran dalam kondisi aliran ekstrim (besar) seperti banjir, dan juga dalam kondisi aliran yang sangat lambat ataupun aliran dangkal seperti sungai kecil. Rahardjo dkk. (2011) meneliti tentang proses pengolahan citra untuk pengukuran aliran 2D dengan teknik komputasi, perpindahan gambar 1 ke gambar 2 bisa diketahui jarak dan arahnya sehingga bisa diketahui kecepatan sesaat partikel uji tersebut yang merepresentasikan kecepatan aliran.

Dalam penelitian sebelumnya, pengukuran kecepatan aliran telah dilakukan pada aliran terbuka di laboratorium ataupun di sungai. Pemodelan tentang pengaruh pilar jembatan terhadap pola aliran perlu dilakukan untuk mengetahui jenis bentuk pilar dengan pengaruh minimum terhadap pola aliran, sehingga dapat meminimalisir gerusan lokal diharapkan mampu menjadi tolak ukur dalam perencanaan bentuk pilar jembatan. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan saluran dengan diletakkan penghalang berupa pilar untuk mengamati pengaruh pilar terhadap pola aliran dan vektor kecepatan aliran.

METODE

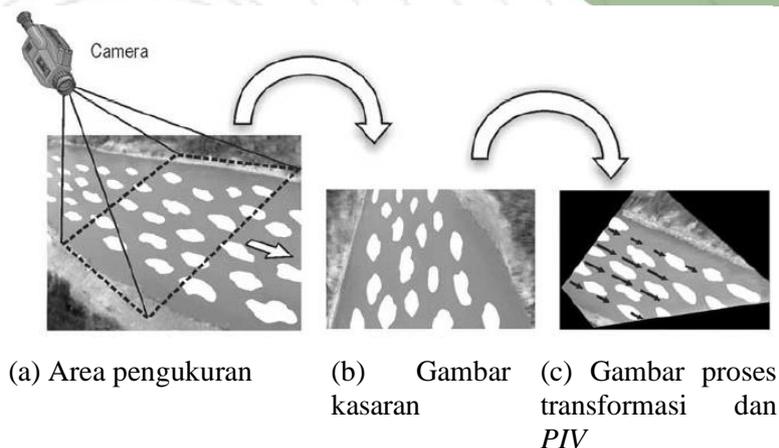
Particle Image Velocimetry (PIV)

Particle Image Velocimetry merupakan metode pengukuran aliran 2D dengan menggunakan *image processing* rekaman aliran untuk mengetahui profil kecepatan sesaat pada aliran fluida. Pada prinsipnya metode *PIV* mengandalkan rekaman gambar partikel yang bergerak bersama obyek ukur (*seeder/tracking*) pada beberapa lokasi yang dapat terukur dengan baik. File gambar hasil rekaman selanjutnya dibaca dan diolah untuk mendapatkan besar dan arah kecepatan di lokasi-lokasi *seeder/tracking* yang tertangkap dalam rekaman gambar (Rahardjo dkk., 2011).

Pemilihan jenis dan ukuran partikel seeder merupakan hal yang penting. Partikel seeder harus bisa mengikuti aliran air sehingga harus berwarna lebih terang daripada air tetapi juga tidak menimbulkan kilauan dan dapat terlihat oleh kamera. Distribusi partikel yang homogen atau merata pada pengukuran di lapangan/saluran, sangat penting untuk hasil yang baik untuk pendekatan data vektor kecepatan.

Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV)

Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) adalah metode pendekatan pengukuran kecepatan yang tidak mengganggu aliran pada saluran terbuka di lapangan. Pengukuran dengan metode *LSPIV* memerlukan beberapa komponen, yaitu visualisasi aliran / seeder, pencahayaan, perekaman gambar dan pemrosesan/pengolahan data gambar.



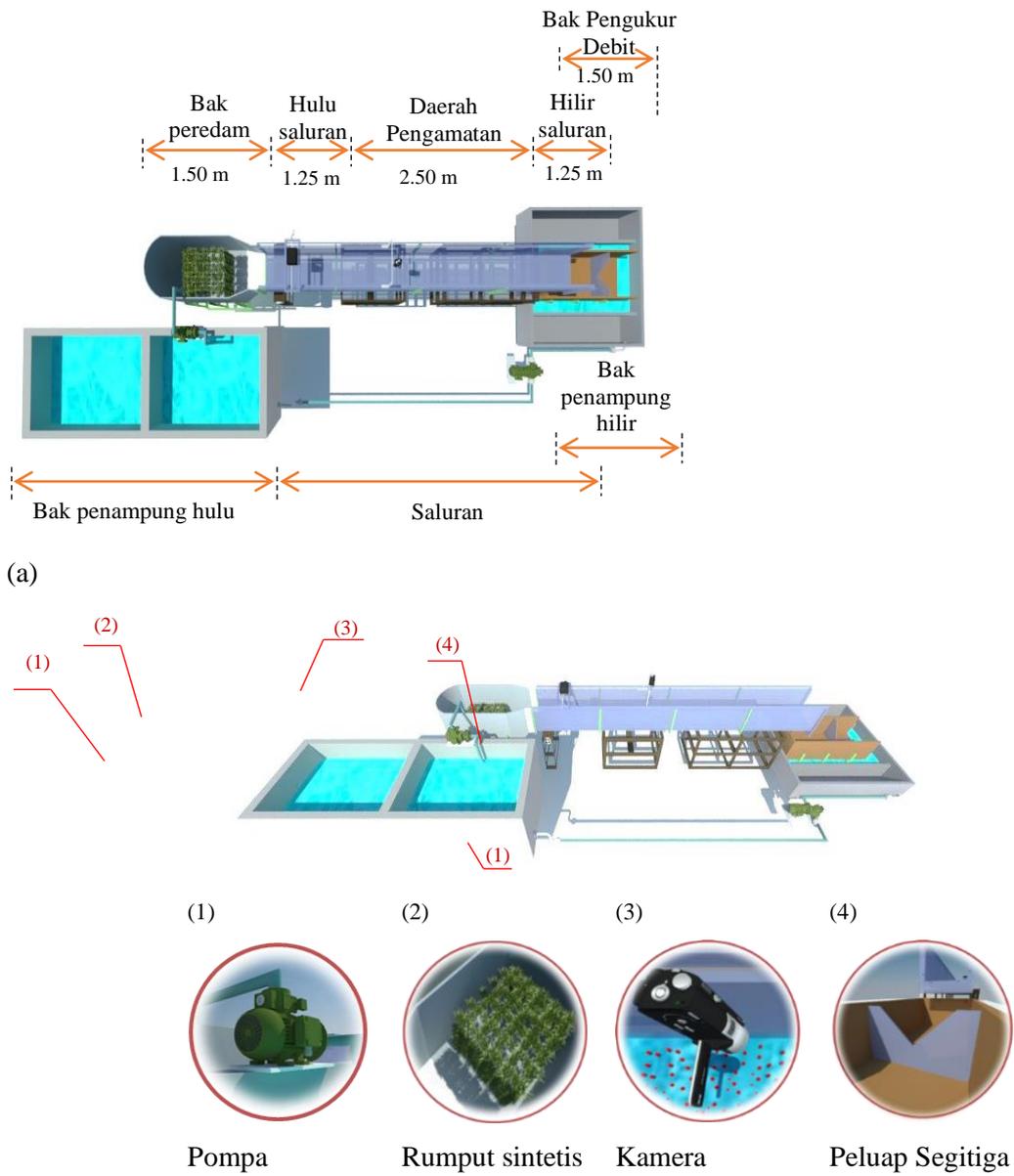
Gambar 1. Metode perhitungan LSPIV

Dalam Gambar 1 dijelaskan bahwa metode pengukuran LSPIV dilakukan dengan cara, (a) memberi tanda atau partikel pada area pengukuran untuk memvisualisasikan kondisi aliran (pola putih pada gambar menunjukkan *flow tracking* alami ataupun buatan yang digunakan untuk memvisualisasikan aliran terbuka), selanjutnya (b) didapatkan kasaran gambar yang direkam dengan kamera (kondisi terganggu), kemudian (c) gambar diproses untuk mendapatkan estimasi vector kecepatan (kondisi tak terganggu).

Susunan Alat Fisik Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Keairan dan Lingkungan, Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Model fisik memiliki bentuk segi empat dengan panjang 5 meter, lebar 0.46 meter dan tinggi 0.4 meter, dengan kekasaran dinding dan dasar saluran terbuat dari akrilik dengan tebal 10 milimeter.

Flume test dibagi menjadi tiga bagian utama, terlihat pada Gambar 2, yaitu hulu saluran (*upstream channel*), daerah/area pengamatan (*middle channel/observation area*), dan hilir saluran (*downstream channel*). Pada bagian flume test sebelum *upstream channel* terdapat bagian bak peredam energi yang terbuat dari bak fiber dengan panjang 1,50 meter dan lebar 0,75 meter. Pada bagian ini, turbulensi/olakan air yang dipompa masuk ke dalam flume test dengan pompa (*jet pump*) dengan input dari bak penampung diredam menggunakan rumput sintetis sebelum dialirkan masuk bagian hulu saluran. Pada bagian hulu saluran, air di yang mengalir diberikan ruang untuk kestabilan aliran sebelum memasuki area observasi atau pengamatan dan selanjutnya mengalir pada bagian hilir saluran. Setelah itu, air yang mengalir akan masuk bagian bak pengukur debit (*discharge measurement channel*) dengan panjang 1,50 meter dan lebar 0,70 meter. Pada bagian ini, jarak 1,00 m dari bagian hulu, terdapat ambang peluap segitiga (*Thompson's Weir*) untuk mengetahui debit air terukur dalam flume test. Air kemudian mengalir ke bak penampung akhir dan kembali dipompa ke bak penampung awal untuk kembali disirkulasi selama proses eksperimen.



Gambar 2. Skema alat percobaan *flume test*, (a) tampak atas dan (b) tampak perspektif samping

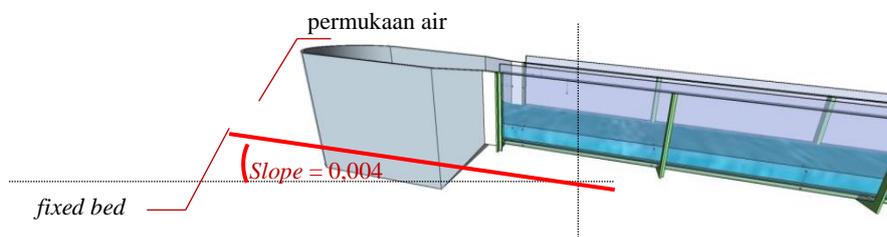
Kondisi Hidraulika

Tabel 1. Kondisi hidraulika pada model aliran

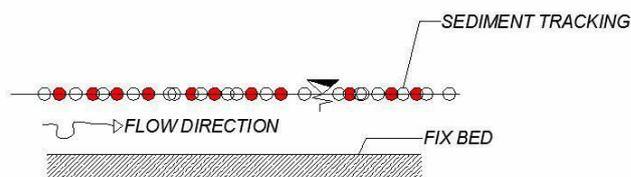
Parameter	Simbol	Hasil Hitungan	Satuan
Data			
Slope	S	0,004	
Lebar flume	b	0,46	m
Panjang flume	L	5	m
Tinggi air hulu	h_{hulu}	0,028	m
Tinggi air hilir	h_{hilir}	0,021	m

Tinggi miring peluap		0,135	m
Angka manning	n	0,0115	
Perhitungan			
Tinggi air rerata	$h_{rata-rata}$	0,0245	m
Luas basah	A	0,0112	m ²
Keliling basah	P	0,509	m
Radius Hidraulik	R	0,0221	m
Kecepatan aliran	v	0,3880	m/detik
	v	0,4331	m/detik
Tinggi air pada peluap	hp	0,0955	m
Koefisien Debit	Cd	0,6575	
Debit	Q	0,0044	m ³ /detik
	Q	0,00489	m ³ /detik
Angka manning	n	0,01285	
Beda tinggi		0,02	m
Angka Froude	Fr	0,7914	

Pengujian dilakukan dengan dasar saluran fixed bed dengan kemiringan dasar saluran (*slope*) 0,004, jenis aliran subkritik. Kondisi pengujian ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4.

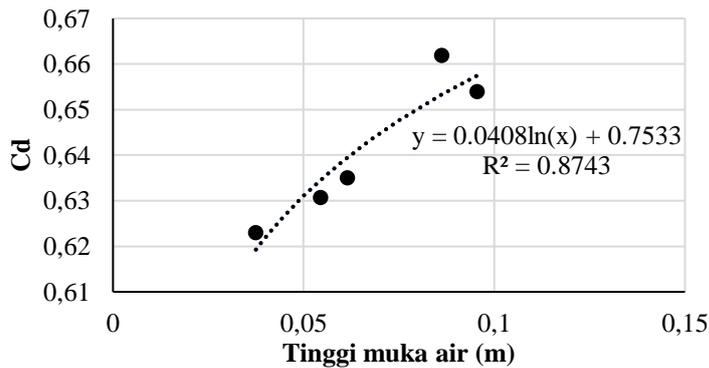


Gambar 3. Kondisi pengujian running dengan dasar saluran *fixed bed*



Gambar 4. Kondisi dasar saluran pada alat *flume test*

Untuk perhitungan debit, dalam penelitian menggunakan peluap segitiga sehingga dibutuhkan data koefisien debit (C_d). Regresi C_d (nilai C_d) dapat terlihat pada Gambar 5.

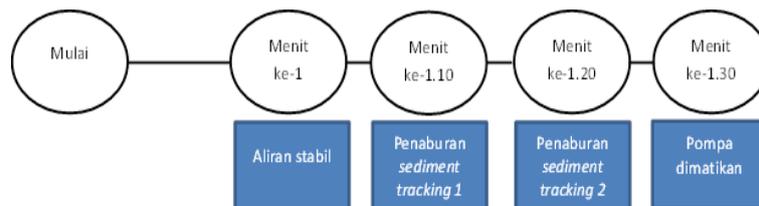


Gambar 5. Grafik koefisien debit (Cd)

Skema *Running*

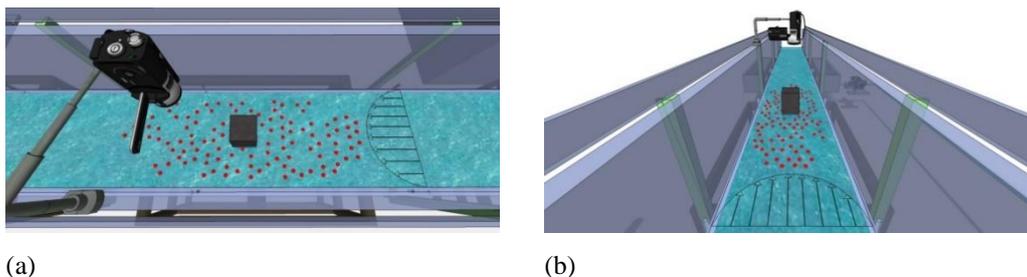
Persiapan pelaksanaan eksperimen, yaitu:

- Pembuatan miniatur pilar yang terbuat dari plat besi dengan bentuk dan ukuran model pilar yang digunakan adalah pilar dengan bentuk penampang persegi dan lingkaran.
- Melakukan pengecekan terhadap peralatan yang digunakan dalam penelitian, memastikan alat dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan.
- Melakukan pengecekan terhadap *stopwatch* yang akan digunakan.
- Melakukan pengecekan terhadap kamera yang terletak di atas area pengamatan.
- Memastikan alur/skema *running*, tertera pada Gambar 6.

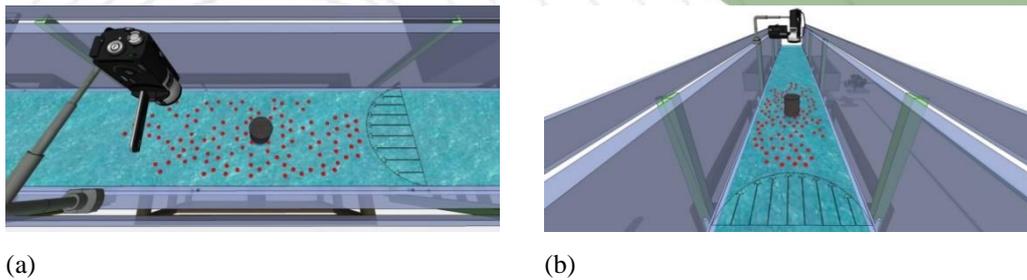


Gambar 6. Skema *running*

Data hasil *running* yaitu data kecepatan aliran. Pengukuran kecepatan dilakukan dengan cara menaburkan *sediment tracking* pada aliran yang sudah stabil. Pergerakan *sediment tracking* direkam tampak atas dengan menggunakan kamera untuk analisis distribusi kecepatan dan pola aliran dalam dua dimensi. Penaburan *sediment tracking* dapat terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Penaburan *sediment tracking* pilar persegi (a) tampak atas (b) tampak perspektif samping



Gambar 8. Penaburan *sediment tracking* pilar lingkaran (a) tampak atas (b) tampak perspektif samping

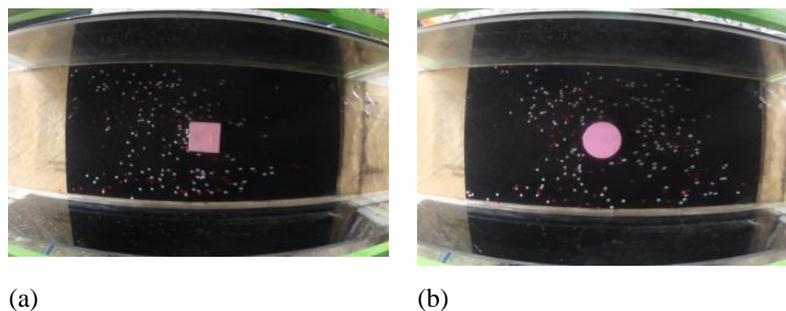
Analisis Data

Hasil video perekaman *sediment tracking* digunakan untuk menganalisis vektor kecepatan. Menurut Rahardjo dkk. (2011), pada prinsipnya metode *PIV* mengandalkan rekaman gambar partikel yang bergerak bersama obyek ukur (*seeder*) pada beberapa lokasi yang dapat terukur dengan baik. File gambar hasil rekaman selanjutnya dibaca dan diolah mendapatkan besar dan arah kecepatan di lokasi *seeder* yang tertangkap dalam rekaman gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

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 9.

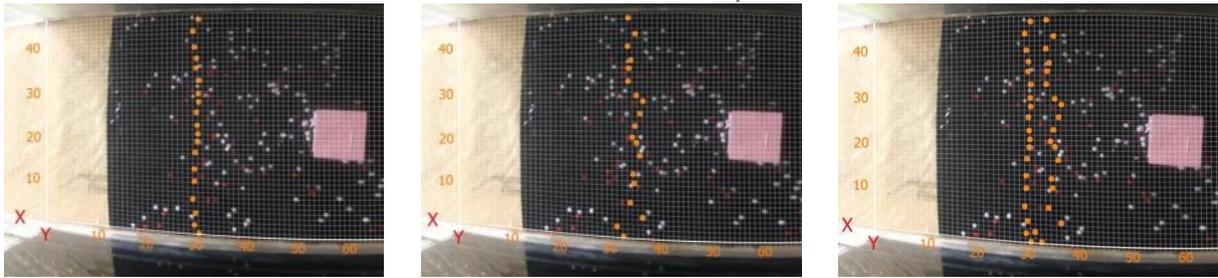


Gambar 9. Titik *sediment tracking* (a) Pilar persegi (b) Pilar lingkaran

Analisis Kecepatan Dengan Metode PIV

Analisis Perhitungan Jarak

Analisis jarak didapatkan dari pergerakan partikel dari *frame 1* ke *frame 2* yang dihitung dengan koordinat pada gambar. Distribusi partikel pada masing-masing *frame* diberikan tanda berupa titik berwarna untuk membaca koordinat titik dan juga untuk memilah titik yang akan digunakan sebagai titik pengukuran. Distribusi *sediment tracking* pada masing-masing *frame* dapat terlihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

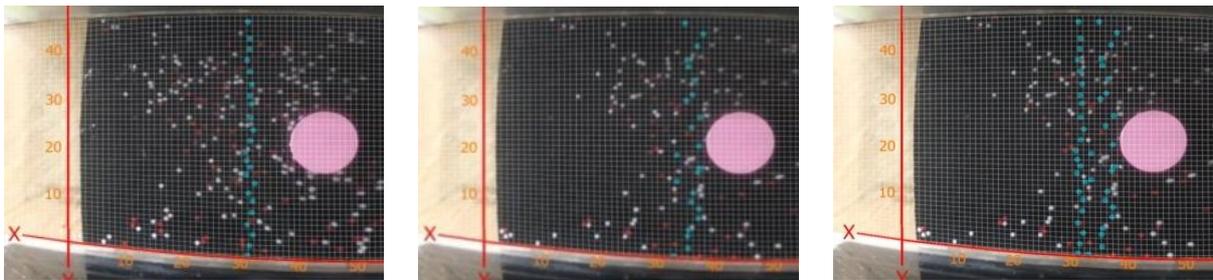


(a)

(b)

(c)

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



(a)

(b)

(c)

Gambar 11. Distribusi partikel sediment tracking pada Pilar Lingkaran (a) *Frame 1* (b) *Frame 2* (c) Gabungan *Frame 1* dan *Frame 2*

Analisis Perhitungan Waktu

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

Bentuk Pilar	Durasi Video (menit)	Durasi Video (detik)	Jumlah konversi Gambar (Frame)	Waktu tempuh, t (detik/frame)
[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

Analisis Perhitungan Kecepatan

Analisis kecepatan di berbagai titik pada satu waktu dapat dihitung dengan mengetahui variabel jarak dan waktu partikel untuk bergerak mengikuti pola aliran, yang telah didapatkan pada pengolahan gambar. Perhitungan kecepatan di sekitar pilar dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Perhitungan kecepatan sekitar pilar persegi

No.	Koordinat Titik (cm)				Jarak x (m)	Jarak y (m)	Perpindahan (m)	Kecepatan (m/detik)
	Frame 1		Frame 2					
	x	y	x	y				
	[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



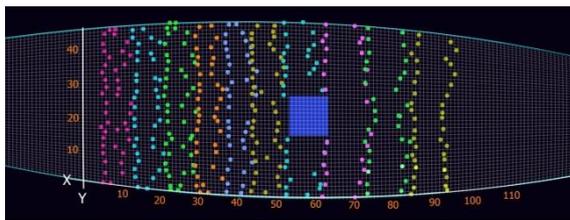
4	29,5	8	34	8	0,045	0	0,0450	0,2500
5	30	12	35	12	0,05	0	0,0500	0,2778
6	30	14,5	34,5	14	0,045	0,005	0,0453	0,2514
7	30	18	36	17,5	0,06	0,005	0,0602	0,3345
8	30,5	20	35	20	0,045	0	0,0450	0,2500
9	30,5	21,5	34,5	21,5	0,04	0	0,0400	0,2222
10	30,5	23,5	35	23,5	0,045	0	0,0450	0,2500
11	30	26	36	26	0,06	0	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	0,3168
19	30,5	45,5	34	45,5	0,035	0	0,0350	0,1944

Tabel 4. Perhitungan kecepatan sekitar pilar lingkaran

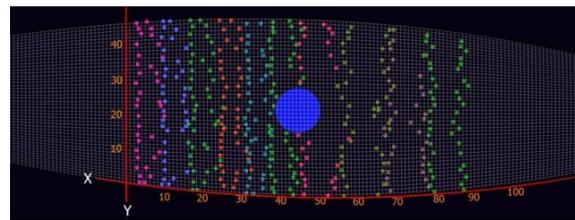
No.	Koordinat Titik (cm)				Jarak x (m)	Jarak y (m)	Perpindahan (m)	Kecepatan (m/detik)
	Frame 1		Frame 2					
	x	y	x	y				
	[1]	[2]	[3]	[4]				
					$[5] = (([1] - [3])) / 100$	$[6] = (([2] - [4])) / 100$	$[7] = \sqrt{([5]^2 + [6]^2)}$	$[8] = [7] / t$
1	31	1	33	1	0,02	0	0,0200	0,1124
2	31,5	2,5	35,5	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

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 12.



(a)



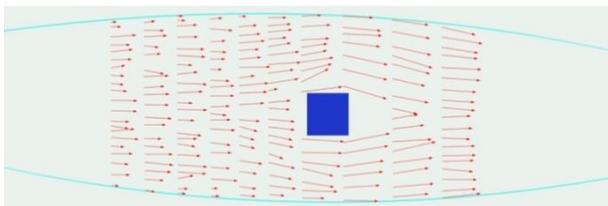
(b)

Gambar 12. Distribusi titik-titik partikel sediment tracking pada pilar (a) Persegi (b) Lingkaran

Analisis Pola Kecepatan Aliran

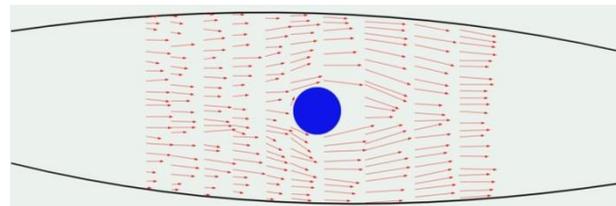
Vektor Kecepatan

Analisis vektor kecepatan dapat menggambarkan distribusi aliran yang terjadi di sekitar pilar. Arah panah menunjukkan arah aliran, panjang-pendeknya panah menunjukkan nilai kecepatan. Semakin panjang panah maka kecepatan semakin tinggi. Vektor kecepatan aliran disekitar pilar dapat terlihat pada Gambar 13.



Daerah sebelum pilar Daerah pengaruh pilar Daerah setelah pilar

(a)

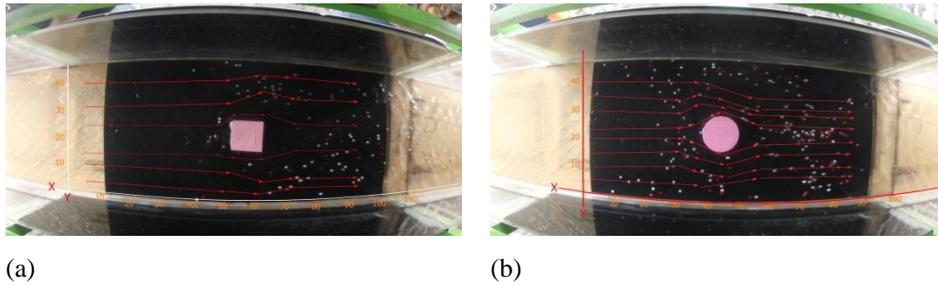


Daerah sebelum pilar Daerah pengaruh pilar Daerah setelah pilar

(b)

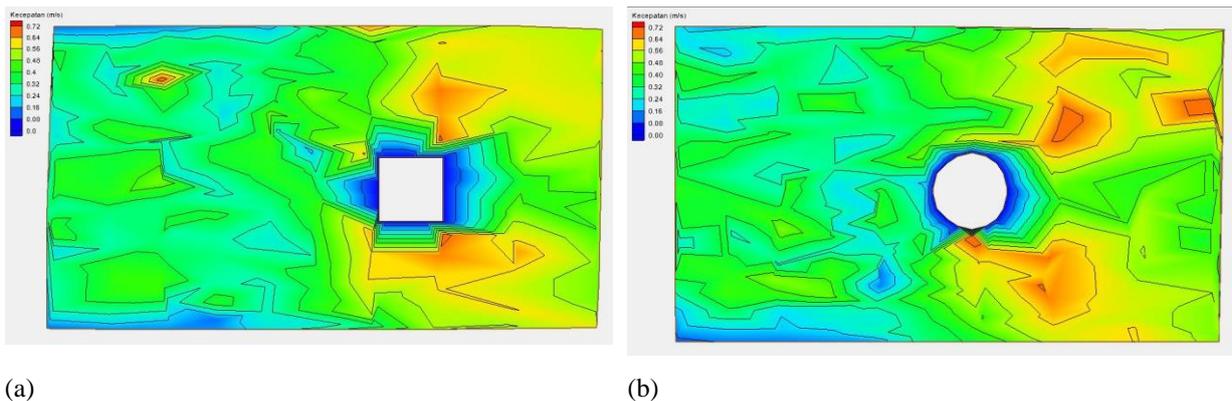
Gambar 13. Vektor kecepatan di sekitar pilar (a) Persegi (b) Lingkaran

Pola Aliran



Gambar 14. Pola aliran

Kontur Kecepatan



Gambar 15. Kontur kecepatan di sekitar pilar (a) Persegi (b) Lingkaran

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 15, 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.

KESIMPULAN

Berdasarkan data dan hasil analisis dari penelitian yang telah lakukan dengan pemodelan fisik, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Metode *PIV (Particle Image Velocimetry)* merupakan metode pengukuran kecepatan yang bagus untuk bisa mengetahui kecepatan di banyak titik dalam satu waktu.
- Pola kecepatan aliran akibat adanya pilar jembatan mengalami perlambatan pada hulu pilar dan percepatan pada hilir pilar jembatan.
- Pilar lingkaran mempunyai area pengaruh perlambatan aliran lebih kecil dibandingkan dengan persegi.

DAFTAR PUSTAKA

- Mohamed, M., Mokhtar, N., Ibrahim, A., & Hassan, R.A. (1996). "Channel flow structure measurements using particle image velocimetry". Malaysian Science and Technology Congress 1995: Research and Technology Update 1995, Malaysia: Confederation of Scientific and Technological Associations in Malaysia COSTAM, Kuala Lumpur, Malaysia, Vol. 2, 136-143.
- Muste, M., Fujita, I., & Hauet, A. (2008). "Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments". Water resources research, Vol. 44, No. 4, W00D19.
- Rahardjo P.A., Budiarto R., & Prabowo, E.I. (2011). "Pengembangan Particle Image Velocimetry (PIV) Berbasis Pengolahan Citra untuk Pengukuran Aliran 2D". Journal Annual Enginering, 42-49.