

# Rancang Bangun Sistem *Water Tunnel* Sederhana yang Terintegrasi dengan *Particle Image Velocimetry* (PIV)

Felix Arnold Cahyadi<sup>1</sup>, Arka Dwinanda Soewono<sup>1</sup>, Marten Darmawan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya  
BSD City, Jalan Raya Cisauk, Desa Sampora, Kec. Cisauk, Kab. Tangerang, Banten, 15435  
E-mail: marten.darmawan@atmajaya.ac.id

## ABSTRAK

Fenomena mekanika fluida yang terjadi di alam terutama pada bidang keteknikan memiliki kompleksitas namun memiliki peran penting seperti untuk mengetahui fenomena-fenomena fisika yang terjadi akibat interaksi antara fluida dan permukaan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang mampu mengkarakterisasi fenomena dalam suatu aliran yang bukan hanya melihat pergerakan fluidanya saja, namun dapat menganalisa sehingga diketahui vektor-vektor kecepatan yang terjadi dalam aliran tersebut. Tujuan dari perancangan yang dilakukan adalah mewujudkan *water tunnel* dengan parameter yang dapat dikontrol, harga konstruksi yang rendah, dan terintegrasi dengan *Particle Image Velocimetry* (PIV) sehingga didapatkan hasil pengukuran secara kuantitatif. Pengukuran dengan PIV mengolah data visual partikel yang disebar ke dalam aliran dan ditangkap oleh kamera sehingga dapat diproses oleh *Software PIV*. Kalibrasi *water tunnel* yang dilakukan dengan membandingkan pengukuran karakteristik pompa dan data pengukuran PIV menunjukkan hasil yang memuaskan karena cukup sesuai dengan ekspektasi, serta hasil perancangan secara keseluruhan memenuhi kriteria yang ditentukan baik dari segi konstruksi *water tunnel*, hingga metode konfigurasi aliran yang dimiliki alat.

**Kata Kunci:** *Particle image velocimetry* (PIV), *water tunnel*, karakterisasi aliran fluida.

## ABSTRACT

*Fluid mechanics phenomena that occur in nature, especially in the engineering field, have complexity but have an important role, such as knowing the physical phenomena that arise due to the interaction between the fluid and the surface. Therefore, we need a tool that is able to characterize phenomena in a flow that does not only look at the movement of the fluid but can analyze it so that the velocity vectors that occur in the flow are known. The purpose of the design is to construct a water tunnel with controllable parameters, low construction costs and integrated with Particle Image Velocimetry (PIV) to obtain quantitative measurement results. Measurements with PIV process visual data of particles that are spread into the stream and captured by the camera so that Software PIV can process them. The water tunnel calibration, which was carried out by comparing the pump characteristics measurements and PIV measurement data, showed satisfactory results because they were quite in line with expectations, and the overall design results met the specified criteria both in terms of water tunnel construction, to the flow configuration method owned by the tool.*

**Keywords:** *Particle Image Velocimetry* (PIV), *water tunnel*, *fluid flow characterizations*.

## 1. PENDAHULUAN

Mekanika fluida adalah salah satu bidang ilmu yang penting untuk dipelajari karena bidang ilmu ini dapat menjadi dasar dalam mengaplikasikan pengetahuan atau teori-teori dasar fisika secara nyata dan menerapkan analisis yang tepat terhadap fluida yang berkaitan kuat (sering dimanfaatkan)

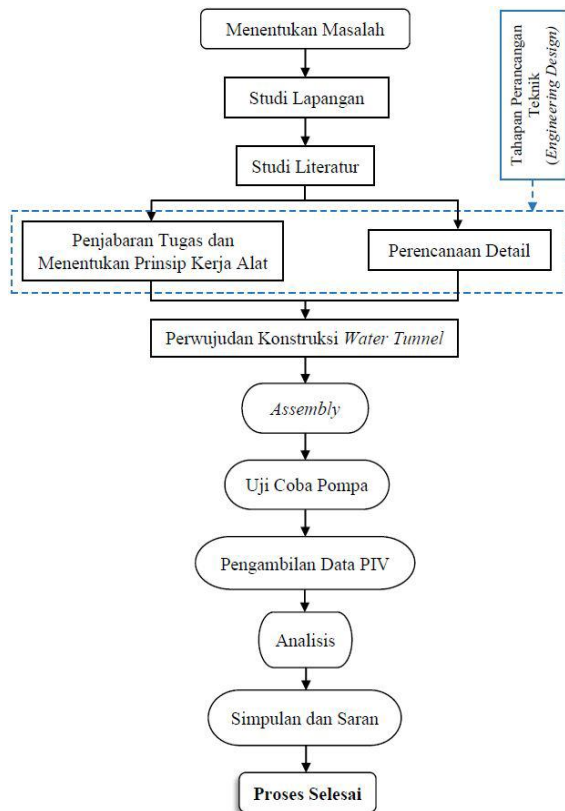
dalam dunia teknik [1]. Secara kasat mata, fluida yang sedang mengalir/ bekerja hanya dapat dilihat arah alirannya saja (terutama cairan) dan tidak dapat diketahui secara langsung fenomena aliran saat melewati benda tertentu, besar nilai kecepatannya, maupun besar dan arah vektor komponen kecepatannya. Atas dasar hal-hal ini,

pembelajaran tentang mekanika fluida menjadi penting untuk diketahui dan ditelusuri lebih lanjut. Dalam pengaplikasiannya, visualisasi pembelajaran atau penelitian tentang fenomena fluida dapat dibantu dengan menggunakan alat-alat yang mampu mengkondisikan suatu aliran sesuai dengan keinginan peneliti, yakni *water tunnel* (untuk jenis fluida berbentuk cairan) [2] dan *wind tunnel* (untuk jenis fluida berupa gas). Percobaan aerodinamis merupakan metode utama yang telah lama digunakan dalam proses verifikasi berbagai model aerodinamis, salah satunya dengan menggunakan alat *wind tunnel*. Analisis dengan *wind tunnel* dapat menentukan gaya-gaya aerodinamis yang bekerja pada suatu struktur, sehingga informasi yang didapatkan dapat digunakan dalam menghitung kekuatan struktur terutama dalam keadaan angin bekecepatan tinggi [3]. Sedangkan, *water tunnel* merupakan alat yang lebih menguntungkan untuk mengkarakterisasi fenomena mekanika fluida karena penggunaan *water tunnel* memungkinkan untuk dapat mencapai kondisi yang diinginkan dengan kecepatan aliran yang digunakan minimal, sebab massa jenis fluida yang tinggi berbanding terbalik dengan kecepatan aliran fluida kerja (*Reynolds Number* yang tinggi pada model asli dapat dicapai oleh *prototype*) [4]. Selain itu, *water tunnel* tidak hanya dapat memberikan visualisasi fenomena yang terjadi dalam fluida kerja, namun dapat diintegrasikan juga dengan metode pengukuran *Particle Image Velocimetry* (PIV) sehingga nilai dari vektor-vektor kecepatannya dapat diukur [5]. Beberapa contoh kegunaan *water tunnel* dalam penelitian dapat ditemui berupa simulasi/pembelajaran terhadap badan pesawat terbang, eksperimen terhadap aliran fluida pada badan kapal [6], serta studi mengenai *drag force* yang dialami oleh suatu permukaan [7]. Dengan mempertimbangkan kemampuan *water tunnel* dalam mengkondisikan aliran fluida, maka dalam penelitian ini dilakukan pengamatan pada *water tunnel* dengan metode PIV. Meskipun memiliki berbagai kelebihan seperti yang telah disebutkan, *water tunnel* yang beredar secara komersial masih memiliki kekurangan seperti, ukuran yang sangat besar dan tidak semua fiturnya akan dimanfaatkan, harganya mahal, dan sulit untuk *diset-up* [8], sehingga terdapat kebutuhan untuk merancang dan membangun sistem *water tunnel* sendiri. Oleh karena itu, diperlukan rancang bangun sistem *water tunnel* yang harga material

penyusunnya minimal namun tetap berfungsi dengan baik (agar harganya lebih murah dari produk komersial), mudah untuk dioperasikan, dan *customize* (d disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya) untuk digabungkan dengan modul PIV sehingga dapat mempelajari fenomena dalam bidang mekanika fluida, serta dalam penelitian ini akan dilakukan kalibrasi pada akhir proses rancang bangun dengan membandingkan pengaturan *flow rate* ( $Q$ ) terhadap kecepatan rata-rata ( $v_{avg}$ ) yang dibaca dari hasil pengamatan dengan modul PIV.

## 2. METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN

Untuk melihat gambaran besar/rangkuman proses yang akan dijalankan pada penelitian ini, pembaca dapat melihat diagram alir penelitian yang direpresentasikan sesuai Gambar 1. Proses yang dilakukan untuk memperoleh hasil rancang bangun agar siap digunakan akan diawali dengan proses menentukan variabel tetap konstruksi *water tunnel* yang harus ada melalui studi lapangan/lingkungan tempat *water tunnel* akan diletakkan yang diikuti oleh studi literatur untuk mendapat wawasan dasar sebagai acuan dalam melakukan proses rancang bangun. Setelah proses ini dilaksanakan, maka akan dilanjutkan oleh proses perhitungan parameter-parameter yang diperlukan (seperti: spesifikasi pompa, dimensi rangka, dan sebagainya) dan diikuti oleh perancangan bentuk (rangka) secara keseluruhan dalam bentuk gambar 3 dimensi maupun gambar teknik melalui *software* Solidworks. Hasil dari rancangan akan diaktualisasi melalui kerja bangku dan bantuan *workshop* dalam mengolah material-material yang membutuhkan keahlian/alat khusus hingga proses kalibrasi sistem *water tunnel* secara keseluruhan setelah proses rancang bangun berhasil diwujudkan. Pada proses kalibrasi ini, data-data yang diperoleh akan diolah dengan bantuan beberapa perangkat lunak lainnya, seperti Microsoft Excel (mengolah data kedalam bentuk grafik) dan MATLAB untuk mengkomputasi sebaran data oleh pengukuran dari modul PIV. Keseluruhan proses ditunjukkan pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.

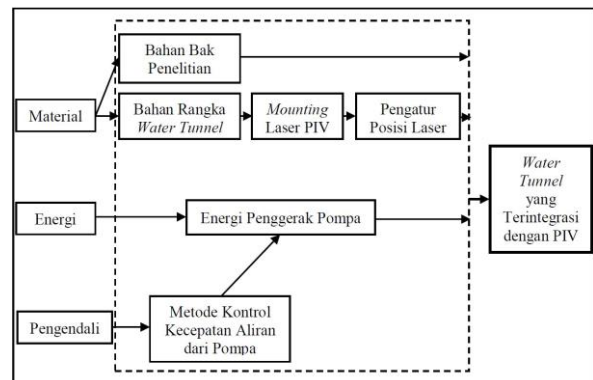


**Gambar 1.** Diagram Alir Proses Rancang Bangun *Water Tunnel* yang Terintegrasi dengan PIV

## 2.1 Spesifikasi Perancangan dan Penentuan Sub-Struktur Fungsi

Dalam konstruksi sistem *water tunnel*, hal yang perlu diperhatikan adalah penentuan dimensi maupun jenis material yang digunakan agar dapat memenuhi daftar kehendak yang telah dibuat. Selain itu, perancangan untuk rangka *water tunnel* perlu memperhatikan pemilihan komponen-komponen pendukung dengan mempertimbangkan kemampuan/syarat yang harus dimiliki oleh rangka tersebut dalam menopang *water tunnel* itu sendiri. Untuk mendukung berjalannya sistem *water tunnel* agar sesuai ekspektasi perlu juga dipertimbangkan agar komponen-komponen tersebut tidak menimbulkan kerugian aliran yang terlalu banyak dan mendukung fungsi untuk dapat dialiri oleh partikel saat dilakukan pengukuran dengan modul PIV. Oleh sebab itu, diperlukan beberapa pendekatan yang mampu membantu proses perancangan agar dapat merealisasikan fungsi yang diinginkan dan memenuhi permintaan yang ditetapkan, baik dari segi pemilihan material, kemampuan struktur, konfigurasi, hingga pengoperasiannya. Oleh karena itu, tahap yang

harus dilalui adalah membuat suatu diagram blok yang isinya menggambarkan proses keseluruhan dalam mewujudkan ide dalam bentuk produk akhir. Diagram blok ini akan membantu proses perumusan spesifikasi dan akan dinamakan dengan Diagram Struktur Fungsi, kemudian diagram ini akan dijabarkan lagi menjadi diagram Sub-Struktur Fungsi untuk mendapatkan informasi perancangan yang lebih detail. Hasil dari penyusunan diagram hingga Sub-Struktur Fungsi tersebut dapat dilihat pada gambar yang terperinci seperti pada Gambar 2 di bawah ini.



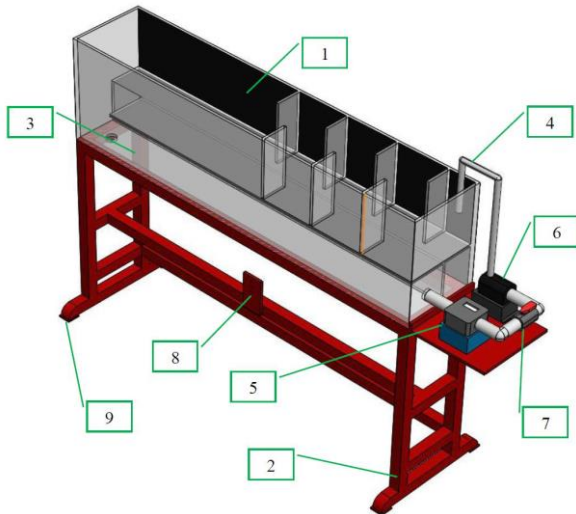
**Gambar 2.** Diagram Sub-Struktur fungsi

## 2.2 Perancangan Wujud

Proses berikutnya dalam perancangan teknik setelah didapatkan varian yang terbaik dari berbagai kombinasi solusi berdasarkan fungsi yang harus dimiliki adalah merancang wujud penuh dari konstruksi *water tunnel* yang terintegrasi dengan PIV. Tahap ini ditempuh dengan cara membuat gambar 3 dimensi (3D) wujud produk yang dirancang dengan menggunakan bantuan *software* Solidworks. Pada proses ini, peneliti menggunakan *software* Solidworks dengan versi SolidWorks 2014 x64 *Edition* dalam pembuatan rancangan. Hasil perancangan wujud inilah yang akan digunakan dalam proses manufaktur/pembuatan produk yang sebenarnya. Wujud dari produk beserta keterangannya dapat dilihat melalui gambar di bawah ini.

Keterangan penomoran pada Gambar 3:

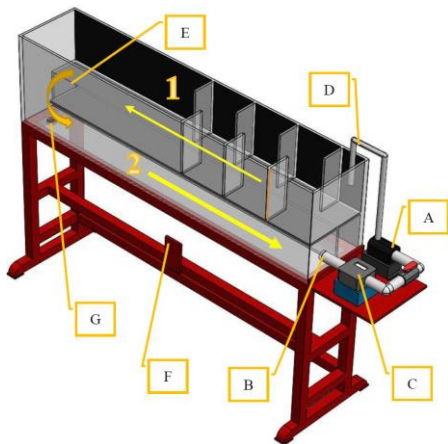
- 1 : Bak penampungan *water tunnel*
- 2 : Rangka konstruksi
- 3 : Bak pengamatan/ pengukuran *water tunnel*
- 4 : Pipa PVC (ukuran 1/2")
- 5 : *Flowmeter*
- 6 : Pompa DC
- 7 : *Ball valve*
- 8 : *Mounting* laser PIV
- 9 : *Mounting* roda (*castor wheel*)



**Gambar 3.** Pandangan Isometri Rancang Wujud Sistem *Water Tunnel* yang Terintegrasi dengan PIV

### 2.3 Mekanisme Kerja Sistem

Mekanisme kerja sistem *water tunnel* yang terintegrasi dengan PIV dapat dilihat pada ilustrasi di bawah ini. Untuk lebih memperjelas dan mempermudah pemahaman terhadap cara kerja sistem, ilustrasi yang digunakan adalah berupa gambar desain 3 dimensi dari sistem (Gambar 4).



**Gambar 4.** Ilustrasi Mekanisme Kerja Sistem

Dari Gambar 4 di atas, arah aliran fluida kerja bekerja pada arah yang sama seperti ditunjukkan oleh anak panah. Prosedur pertama dalam menggunakan *water tunnel* ini adalah mengisi bak penelitian terlebih dahulu hingga ke titik batas volume yang telah ditandai sebelumnya pada permukaan akrilik (pemakaian standar menggunakan volume 50 liter). Sistem baru boleh dijalankan saat air yang diisi ke dalam bak akrilik telah mengisi penuh bak pengukuran/ pengamatan (ditunjukkan oleh area nomor 2/ bagian bawah

pada gambar) dan mengisi bak penampungan (ditunjukkan oleh area nomor 1) pada ketinggian tertentu/ sesuai kebutuhan. Sistem akan mulai berjalan apabila pompa (dinamakan komponen A dalam gambar) yang terhubung dengan *power supply* diberikan tegangan input sebesar 4,5 Volt hingga 12 Volt. *Range/* jangkauan tegangan listrik DC ini merupakan tegangan kerja pompa sesuai dengan spesifikasi. Di samping itu, dengan pompa yang dihubungkan langsung dengan *power supply*, akan menjadikan laju aliran yang dihasilkan pompa bervariasi tergantung dari tegangan yang diberikan pada pompa. Tegangan yang rendah (selama masih dalam *range* tegangan kerja) akan mengakibatkan pompa menghisap dengan daya yang rendah, akibatnya laju aliran yang terjadi juga akan minimal, dan begitu juga sebaliknya. Pompa yang dalam kondisi hidup akan menghisap air yang berada di bak pengukuran melalui saluran yang dihubungkan oleh pipa PVC (komponen B), sehingga pompa menerima pasokan air dari sistem. Air yang melewati pipa juga dapat diukur kecepatan aliran rata-ratanya dengan menggunakan *flowmeter* (komponen C) yang telah dihubungkan dengan konstruksi sistem (terletak di antara jalur keluaran bak pengukuran dan pompa). Air yang telah melewati pompa akan dibuang keluar melalui pipa (komponen D) yang mengarah ke permukaan bak penampungan sehingga air diumpun balikkan kembali ke dalam sistem.

Melalui serangkaian proses ini, air sebagai fluida kerja akan selalu melakukan sirkulasi untuk kebutuhan penelitian tanpa perlu melakukan pengisian berkala. Pada proses pengukuran menggunakan metode PIV [9], partikel dapat ditaburkan setelah pengisian air dalam sistem, dan fenomena fluida yang terjadi dalam sistem akan diamati pada area pengukuran (daerah nomor 2). Pengamatan dengan metode PIV ini memerlukan berkas sinar laser yang ditembakkan dari bawah bak pengukuran dan menembus material akrilik pada bak, sehingga laser perlu di-*mounting* pada komponen F yang direkatkan dengan baut agar tidak terjatuh. Dengan adanya komponen ini, laser memiliki kemampuan untuk bergerak ke 2 *axis*, yaitu kiri atau kanan, dan depan atau belakang yang disesuaikan dengan kebutuhan posisi pada pengamatan. Setelah serangkaian proses pengukuran dan penelitian dijalankan, konstruksi ini memiliki bagian yang digunakan sebagai tempat drainase/ menguras fluida kerja dalam sistem, yang ditunjukkan oleh huruf G

dalam gambar. Bagian ini dihubungkan ke *ball valve* yang dapat dibuka/ ditutup sesuai keperluan, sehingga proses drainase dapat dilakukan melalui menghubungkan *valve* dengan selang, maupun langsung membuka *valve* saja sehingga air langsung terkuras keluar dari sistem apabila terdapat jalur drainase yang berada tepat di bawah konstruksi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengukuran Pada *Water Tunnel* Tanpa Menggunakan Modul PIV

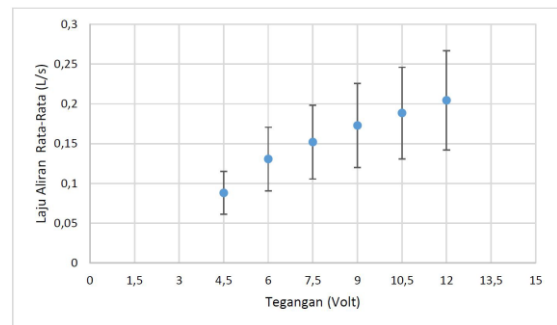
Tahap yang dilakukan setelah selesainya konstruksi *water tunnel* yang dapat diintegrasikan dengan PIV adalah mengambil sampel data berupa laju aliran (debit) air yang menjadi fluida kerja pada sistem *water tunnel* tanpa dihubungkan dengan modul PIV. Hal ini berarti kondisi fluida kerja (air) dalam sistem belum dicampur dengan partikel, karena partikel yang dicampur ke dalam sistem berperan sebagai media yang bercahaya untuk dideteksi oleh kamera saat pengukuran dengan modul PIV dilakukan. Tujuan dilakukan pengambilan sampel data ini adalah untuk mengetahui data karakteristik/ perilaku pompa yang digunakan dalam sistem sehingga akan diketahui fluktuasi laju aliran fluida kerja dalam sistem akibat kinerja pompa saat diberikan tegangan input yang berbeda. Dengan menggunakan variasi tegangan input pompa sebagai variabel bebas, maka seluruh proses kegiatan pengukuran karakteristik pompa dapat dirangkum hingga menjadi tabel seperti di bawah ini (Tabel 1).

**Tabel 1.** Pengukuran Karakteristik Pompa pada Tiap Variasi Tegangan

Tegangan (Volt)	$\bar{V}$ Rata-Rata (L/s)	S Rata-Rata (L/s)
4,5	0,08803	0,02687
6	0,1307	0,03988
7,5	0,1520	0,04637
9	0,1728	0,05273
10,5	0,1884	0,05749
12	0,2044	0,06237

Pada Tabel 1 dapat dilihat nilai laju aliran rata-rata ( $\bar{V}$ ) dan standar deviasi (S) dari kinerja pompa pada setiap variasi tegangan. Maka dari itu, dengan berdasarkan data yang ada, dapat dinyatakan bahwa besar tegangan yang diberikan kepada input pompa (selama masih berada dalam *range* tegangan kerjanya)

akan berdampak langsung pada laju aliran sistem. Semakin besar tegangan input yang diberikan kepada pompa, maka kemampuan pompa untuk menghasilkan laju aliran yang cepat juga akan meningkat, dan begitu pula sebaliknya. Untuk menyederhanakan pembacaan data dan melihat kecenderungan/ *trend* data, maka grafik (Gambar 5) di bawah ini dapat merepresentasikan data dari tabel di atas (catatan: garis batas kesalahan/ *error bar* dalam grafik merupakan nilai dari rata-rata standar deviasi yang dimiliki laju aliran pada tiap variasi tegangan).



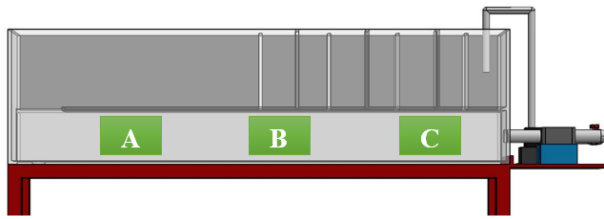
**Gambar 5.** Laju aliran rata-rata terhadap tiap variasi tegangan

#### 3.2 Pengukuran dengan Menggunakan Modul PIV

Pengukuran dengan metode PIV adalah sebuah teknik pengukuran yang menggunakan kamera untuk menangkap pergerakan partikel kecil yang diterangi oleh sinar laser dalam suatu fluida, sehingga *software* PIV dapat mengolah kecenderungan gerakan partikel itu untuk menentukan fenomena aliran yang terjadi pada fluida di sekitarnya. Setelah mengetahui karakteristik pompa yang digunakan dalam sistem (dibahas pada bagian sebelumnya), maka persiapan untuk memulai pengukuran menggunakan modul PIV telah dapat dilakukan. Beberapa hal yang perlu dipersiapkan sebelum melakukan pengukuran dengan metode PIV adalah ruangan yang gelap, 1 set perlengkapan (perangkat keras) modul PIV, *tripod* eksternal, dan laptop/ komputer (sebagai media untuk menggunakan *software*). Pengambilan data dengan metode PIV dilakukan dengan menempatkan kamera pada bagian tertentu (*frame*) di sepanjang area pengukuran, variasi 2 posisi pada kedudukan laser (Gambar 6), dan dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali menggunakan konfigurasi sebagai berikut:



1. Posisi laser tengah - *frame* A (4,5 V; 6 V; 7,5 V; 9 V; 10,5 V; dan 12 V).
2. Posisi laser tengah - *frame* B (4,5 V; 6 V; 7,5 V; 9 V; 10,5 V; dan 12 V).
3. Posisi laser tengah - *frame* C (4,5 V; 6 V; 7,5 V; 9 V; 10,5 V; dan 12 V).
4. Posisi laser depan - *frame* A (4,5 V; 6 V; 7,5 V; 9 V; 10,5 V; dan 12 V).
5. Posisi laser depan - *frame* B (4,5 V; 6 V; 7,5 V; 9 V; 10,5 V; dan 12 V).
6. Posisi laser depan - *frame* C (4,5 V; 6 V; 7,5 V; 9 V; 10,5 V; dan 12 V).

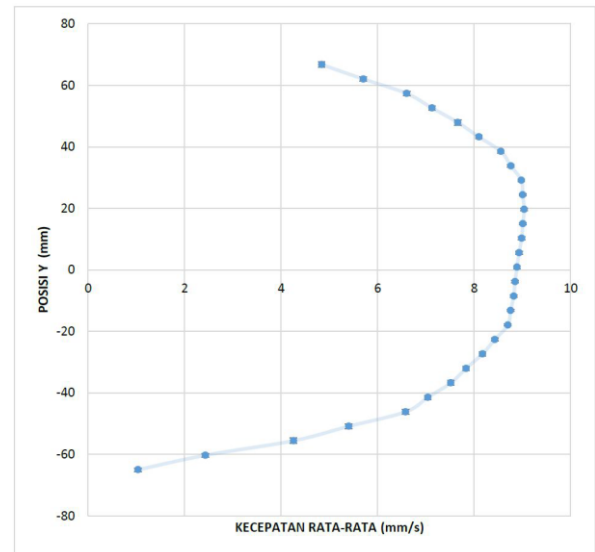


**Gambar 6.** Pembagian *Frame* dalam Pengukuran PIV

Di mana, *frame* A adalah posisi yang paling dekat dengan saluran masuk fluida kerja ke bak/ area pengukuran, *frame* B adalah pada bagian tengah area pengukuran, dan *frame* C adalah bagian yang paling jauh dari *inlet* (mendekati saluran pemipaan).

Hasil pengukuran dengan modul PIV akan diolah menggunakan *software* PIV, di mana bidang pada satu layar dibagi menjadi 29 (sumbu Y) dan 39 (sumbu X) bagian/ *sub-window* untuk diisi oleh vektor kecepatan pada satu gambar dalam setiap *frame* yang telah ditentukan. Nilai vektor kecepatan didapatkan dengan konversi ke dalam bentuk *file* Microsoft Excel dan MATLAB sehingga menunjukkan jumlah baris  $x$  kolom jumlah vektor kecepatan yang didefinisikan nilainya oleh *software* PIV. Dari hal ini, maka dipilih koordinat pada bagian/ *sub-window* tengah untuk mewakili keseluruhan *frame* pada tiap konfigurasi agar profil kecepatan alirannya dapat dilihat. Koordinat ini berlaku bagi keseluruhan data hasil pengukuran dengan metode PIV karena pengaturan dan metode pengambilan data yang sama untuk keseluruhan data. Plot profil kecepatan pada koordinat ini menggunakan perbandingan antara nilai kecepatan rata-rata aliran pada konfigurasi tertentu dan dibandingkan dengan posisi sumbu Y yang dinyatakan dalam grafik. Salah satu contoh dari plot profil kecepatan

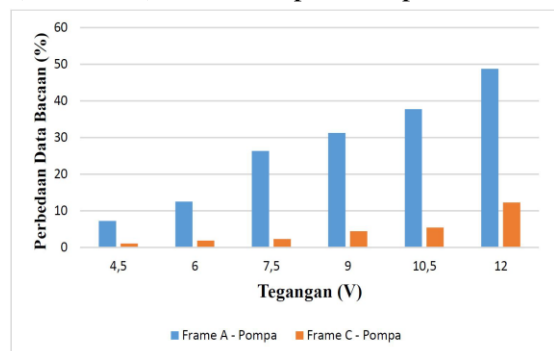
dapat dilihat pada gambar berikut ini (Gambar 7).



**Gambar 7.** Profil Kecepatan pada Konfigurasi Posisi Laser Depan di *Frame* C engan Tegangan 9V

### 3.3 Analisis Hasil

Berdasarkan kedua pengukuran yang telah dilakukan (pengambilan data karakteristik pompa dan pengukuran dengan PIV), maka hasil dari kedua data pengukuran tersebut dapat dibandingkan dan dilihat tingkat kemiripan datanya. Untuk itu, hasil pengukuran dari PIV yang didapatkan dari banyak konfigurasi pengambilan data harus disederhanakan terlebih dahulu. Untuk melihat kecenderungan yang ada pada kedua persentase perbedaan data bacaan, maka grafik (Gambar 8) berikut dapat merepresentasikan



seluruh data yang telah diolah dan dihitung selama proses pengukuran dilakukan.

**Gambar 8.** Perbandingan Beda Data Bacaan antara *Frame* A dan *Frame* C pada Variasi Tegangan Pompa

Dengan melihat grafik (Gambar 8) di atas, maka dapat terlihat dengan jelas perbedaan data bacaan (dalam persentase) yang terhitung apabila membandingkan hasil pengukuran *frame* A pompa dan *frame* C pompa. Kecenderungan (*trend*) data yang terlihat antara kedua data memberikan informasi visual yang sama, yaitu pada saat tegangan *input* yang diberikan kecil, maka persentase perbedaan data bacaan mengecil. Sedangkan, data juga cenderung memiliki kenaikan perbedaan hasil bacaan seiring dengan tegangan input yang semakin besar. Hal ini terjadi di kedua *frame* (A dan C) saat dibandingkan dengan data hasil bacaan di pompa (dengan *flowmeter*). Melihat dari nilainya, perbedaan bacaan di *frame* A memiliki persentase yang lebih besar apabila dibandingkan dengan *frame* C karena dapat dipengaruhi oleh posisi *frame* A yang dekat dengan *entrance region* (celah masuk aliran) pada *water tunnel* sehingga dapat memengaruhi data bacaan dengan PIV yang mendeteksi dan menghitung keseluruhan fenomena fluida. Selain itu, penempatan *frame* A yang paling jauh jaraknya dengan pompa juga dapat menjadi pengaruh dari perbedaan bacaan ini karena dimungkinkan adanya kerugian.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan seluruh rangkaian proses perancangan, perwujudan alat, kalibrasi, hingga analisis data hasil pengukuran sistem *water tunnel* yang terintegrasi dengan PIV, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Perancangan sistem *water tunnel* yang terintegrasi dengan PIV telah berhasil diwujudkan dengan menggunakan material akrilik bening pada area pengukurannya.
- Laju aliran (debit) pompa dapat dikonfigurasi menjadi 6 variasi dan terdapat metode untuk mengubah peletakan (*mounting*) laser dalam pengukuran PIV, serta pompa memiliki laju aliran sebesar 0,08803 L/s 0,2044 L/s dengan standar deviasi maksimal 0,06237 L/s yang diatur pada tegangan 4,5 hingga 12 Volt.
- Hasil pengolahan data menunjukkan *frame* A memiliki fluktuasi kecepatan aliran yang paling banyak serta profil kecepatan yang tidak memiliki pola, sedangkan *frame* C memiliki profil kecepatan menyerupai kurva parabolik

yang mulai terlihat dari tegangan 7,5 Volt hingga 12 Volt.

- Pengukuran PIV pada *frame* C dan konvensional dengan *flowmeter* memiliki tingkat perbedaan data hasil bacaan maksimal sebesar 12,24 (dalam persen).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel, Y. A. and Cimbala, J. M., "Fundamental of Fluid Mechanics", Tata McGraw-Hill Education, 2010.
- [2] Neuhart, D. H. and Pendergraft, O. C., "A water tunnel study of Gurney flaps", National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical, 1988.
- [3] Magryta, P., "Wind tunnel research on the influence of active airflow on the lift force generated by the airfoil", *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 7 (19), 2013.
- [4] Erm, L. P., "An assessment of the usefulness of water tunnels for aerodynamic investigations", DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION VICTORIA (AUSTRALIA), 2012.
- [5] Gomes-Fernandes, R., Ganapathisubramani, B., and Vassilicos, J. C., "Particle Image Velocimetry Study of Fractal-Generated Turbulence", *Journal of Fluid Mechanics*, 711, pp. 306-336, 2012.
- [6] Acosta, A. J. and Parkin, B. R., "Cavitation inception—a selective review", *Journal of Ship Research* 19(193), 1975.
- [7] Yao, Y., Luo, J. L., Liu, H., and Zhu, K., "Water tunnel experimental investigation on drag reduction of coating surface wall", *Procedia Engineering*, 126, pp. 247-253, 2015.
- [8] Gordon, R. and Imbabi, M. S., "CFD simulation and experimental validation of a new closed circuit wind/water tunnel design", *Journal of Fluids Engineering*, 120(2), pp. 311-318, 1998.
- [9] Raffel, M., Willert, C. E., Scarano, F., Kähler, C. J., Weeley, S. T., and Kompenhans, J., "Particle image velocimetry: a practical guide", Springer, Heidelberg, Germany, 2018.