

Water Tunnel

Rancang Bangun, Karakterisasi dan Visualisasi Aliran

Warjito dan Ilham Wahyudi, Tri Luhur P, Yuki Astika P
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Depok, Jawa Barat
E-mail: ilhamwahyudi1981@yahoo.com

ABSTRAK

Water tunnel merupakan salah satu alat yang digunakan untuk melakukan penelitian mengenai fenomena-fenomena dinamika fluida. Salah satu keunggulan dari *water tunnel* adalah untuk menampilkan visualisasi aliran yang lebih jelas. *Water tunnel* ini dibuat untuk melengkapi alat praktikum di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Tahap pembuatan *water tunnel* meliputi perancangan dan pembangunan *water tunnel* serta pembuatan alat untuk visualisasi aliran. Dengan bantuan visualisasi aliran dan *image processing* dilakukan karakterisasi *water tunnel* untuk mengetahui profil aliran, dan kecepatan.

Water tunnel yang dibuat memiliki bagian *test section* dengan ukuran 0,6 m x 0,2 m x 0,3 m. Kecepatan maksimum rata-rata aliran di daerah pengamatan dari *test section* *water tunnel* adalah 0.1081m/s. *Water tunnel* menghasilkan aliran yang uniform pada daerah pengamatan di *test section*. Visualisasi aliran pada *test section* yang menggunakan metoda gelembung hidrogen dari *water tunnel* ini telah memperlihatkan hasil yang baik.

Kata kunci : *water tunnel*, gelembung hidrogen, kecepatan aliran, visualisasi aliran

1 PENDAHULUAN

Water tunnel dan *wind tunnel* merupakan peralatan yang digunakan untuk mempelajari fenomena dinamika fluida. *Water tunnel* memiliki keuntungan dibandingkan *wind tunnel* diantaranya adalah murah dalam penggunaannya dan kemudahan dalam visualisasi aliran (*flow visualization*)^[1,2]. Namun demikian *water tunnel* memiliki kekurangan yaitu mempunyai nilai bilangan Reynolds yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai bilangan Reynolds dari *wind tunnel* karena kecepatan aliran pada *water tunnel* tidak dapat setinggi kecepatan aliran pada *wind tunnel*^[3,4].

Paper ini merupakan laporan rancang bangun *water tunnel* untuk keperluan penelitian pada laboratorium mekanika fluida Departemen Teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Rancang bangun ditekankan pada perhitungan mekanika fluida, perhitungan kekuatan konstruksi dan pemilihan bahan tidak disertakan dalam paper ini.

Proses rancang bangun dimulai dengan *survey* tentang *water tunnel* sejenis yang telah ada kemudian dilanjutkan dengan pemilihan bentuk dan dimensi bagian-bagiannya, pemilihan pompa dan sistem pemipaan serta peralatan visualisasi aliran.

2 LANDASAN TEORI

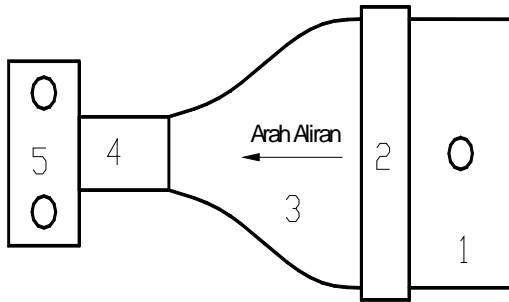
2.1 *Water Tunnel*

Water tunnel merupakan peralatan yang digunakan untuk mempelajari fenomena dinamika fluida

Konstruksi *Water tunnel* terdiri dari beberapa bagian seperti terlihat pada gambar 1^[1,2].

Delivery plenum

Bagian *delivery* adalah sebuah bak penampung yang berada di bagian hulu *water tunnel*. Bak ini menampung air yang disirkulasi oleh pompa sebelum menuju bagian selanjutnya. Di dalam *delivery* ini terdapat sebuah saringan yang berfungsi untuk menyerap energi yang berasal dari tekanan pompa dan untuk menyaring kotoran yang mungkin terdapat di dalam sistem *water tunnel*.



Gambar 1 Skema water tunnel

Keterangan :

1. Delivery
2. Pengkondisi aliran
3. Contraction
4. Test section
5. Discharge

Pengkondisi Aliran

Bagian pengkondisi aliran berada setelah bagian *delivery*. Pada pengkondisi aliran terdapat plat yang berlubang-lubang, *screen* dan *honeycomb*.

Plat yang berlubang-lubang terletak pada hulu dari bagian pengkondisi aliran. Plat ini berfungsi untuk mengurangi turbulensi menjadi lebih kecil. Setelah plat berlubang terdapat *screen*. *Screen* berfungsi untuk membuat kecepatan aliran menjadi lebih seragam (*uniform*), kemudian yang terakhir adalah *honeycomb*. *honeycomb* dapat mengurangi kecepatan dalam arah lateral sehingga aliran menjadi lebih seragam^[3,4].

Contraction

Contraction dalam *water tunnel* disebut juga sebagai *nozzle* karena memiliki bentuk yang semakin mengecil sepanjang sumbu. *Contraction* terletak setelah bagian pengkondisi aliran. *Contraction* berfungsi untuk mengurangi tingkat turbulensi, membuat aliran lebih seragam dan mengurangi variasi kecepatan yang menuju *test section*^[3,4,5,6].

Pembuatan *contraction* mempertimbangkan beberapa hal, yaitu:

1. *Contraction ratio*
2. Panjang *contraction*
3. Bentuk dinding *contraction*

Contraction ratio merupakan rasio antara luas penampang *inlet* dengan luas penampang *oulet* dari *contraction*, *contraction ratio* yang digunakan berkisar antara 6 – 9^[5]. *Contraction ratio* dihitung dengan persamaan berikut:

$$CR = \frac{A_i}{A_o} \quad (1)$$

Kontur *contraction* berupa *stream line* ditentukan dengan menggunakan persamaan *Bell and Mehta fifth-order polynomial* sebagai berikut^[6]:

$$h = \left[-10\left(\frac{x}{L}\right)^3 + 15\left(\frac{x}{L}\right)^4 - 6\left(\frac{x}{L}\right)^5 \right] (H_i - H_o) + H_i \quad (2)$$

Test Section

Test section merupakan tempat benda uji berada. *Test section* terbuat dari bahan yang transparan sehingga memiliki kemudahan untuk melihat fenomena dinamika fluida yang terjadi dari benda uji. *Test section* harus memiliki kemudahan dalam memasang dan melepas benda uji. Pada umumnya bentuk *test section* dapat berupa persegi, bujursangkar dan melingkar

Bagian Discharge

Bagian *discharge* terletak pada bagian akhir dari *water tunnel*. Di bagian *discharge* terdapat dua buah plat melengkung dan dua buah silinder berlubang. Fungsi dari plat melengkung adalah untuk menahan aliran balik yang menuju *test section* sedangkan fungsi dari silinder berlubang adalah untuk mencegah terjadinya pusaran air yang

besar dan mencegah masuknya udara kedalam pipa. Bagian *discharge* memiliki dua buah lubang pembuangan air yang menuju saluran pemipaan.

2.2 Sistem Pemipaan dan Pompa

Sistem pemipaan berfungsi untuk mengalirkan air yang keluar dari bagian *discharge* untuk dialirkan kembali menuju bagian *delivery*.

2.3 Visualisasi Aliran (*Flow Visualization*)

Visualisasi aliran merupakan metoda untuk menampilkan aliran fluida baik cair maupun gas yang dapat menampilkan pola aliran. Teknik visualisasi aliran pada *water tunnel* menggunakan *dye injection* dan *hydrogen bubble*.

Dye Injection

Dye merupakan suatu zat yang memiliki warna agar dapat terlihat dengan jelas. *Dye* yang baik memiliki sifat ideal yang harus dimiliki *tracer*, yaitu :

1. Daya apung yang netral
2. Stabil jika dicampur
3. Mudah untuk dilihat

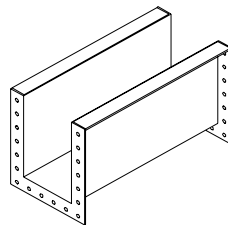
Gelembung Hidrogen (*Hydrogen Bubble*)

Prinsip dasar dari pembentukan gelembung hidrogen adalah proses elektrolisis air [7,8]. Elektroda yang digunakan ada dua jenis, yaitu katoda yang berupa elektroda negatif dan anoda yang berupa elektroda positif, reaksi oksidasi terjadi pada anoda dan reaksi reduksi terjadi pada katoda.

3 PERANCANGAN WATER TUNNEL

Test Section

Bentuk penampang *test section* yang dipilih berbentuk persegi empat karena bentuk ini adalah bentuk penampang *test section* yang umum digunakan. Bahan yang digunakan untuk membuat *test section* adalah *acrylic*. Ukuran *test section* yang dirancang adalah 0,6 m x 0,2 m x 0,3 m.

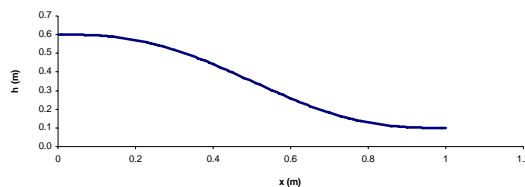


Gambar 2 *Test Section*

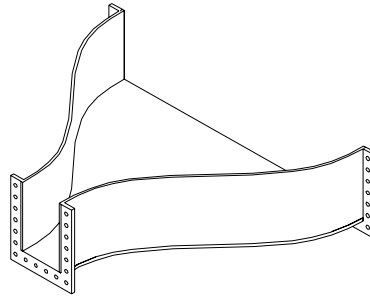
Contraction

Nilai rasio yang digunakan adalah 6 dengan bentuk dan ukuran penampang *contraction outlet* mengikuti bentuk dan ukuran dari penampang *test section*. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (2) diperoleh bentuk lengkungan *contraction* seperti gambar 3

5th Order Polynomial Bell and Mehta



Gambar 3 Bentuk lengkungan *contraction*

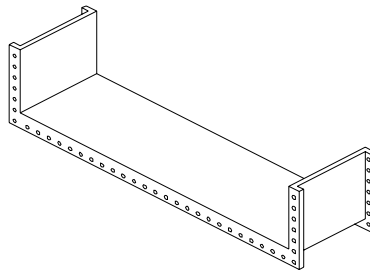


Gambar 4 Contraction

ukuran *contraction* yang dirancang adalah 1 m x 1,2 m x 0,3 m.

Pengkondisi Aliran

Pengkondisi aliran yang digunakan secara berurutan dari bagian *delivery* ke bagian *contraction* adalah plat berlubang, dua buah *screen* dan *honeycomb*. Bentuk penampang *honeycomb* yang digunakan ialah lingkaran. Pengkondisi aliran tersebut diletakkan di sebuah rangka berukuran 1,26 m x 0,36 m x 0,33 m



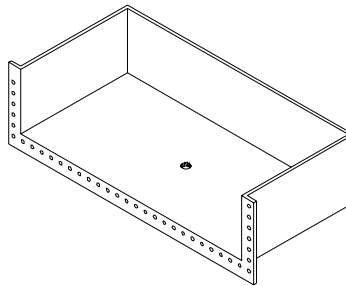
Gambar 5 Rangka Pengkondisi Aliran

Bagian *Delivery*

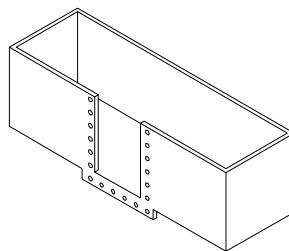
Bentuk bagian *delivery* yang dirancang adalah berbentuk persegi panjang berukuran 1,2 m x 0,58 m x 0,3 m

Bagian *Discharge*

Bentuk bagian *discharge* yang dirancang adalah persegi empat berukuran 0,95 m x 0,3 m x 0,3 m



Gambar 6 Delivery



Gambar 6 Discharge

Pompa

Pompa berfungsi untuk mensirkulasikan air yang keluar dari bagian *discharge* mengalir kembali menuju bagian *delivery* untuk kemudian dialirkan kembali menuju *contraction*, *test section* dan bagian *discharge*. Spesifikasi pompa yang digunakan :

Merk	: Voss
Debit	: 300 liter/menit
Total head	: 20,5 m
Output	: 400 W
Input	: 220 V / 50 Hz / 1 PH
Rpm	: 2850 rpm

Bagian-bagian water tunnel tersebut dirakit dan diletakkan padaudukannya seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7 Water Tunnel

4 KARAKTERISASI WATER TUNNEL

Karakterisasi dimaksud untuk mengetahui karakter aliran pada test section dan unjuk kerja peralatan visualisasi aliran. Karakterisasi juga dilakukan untuk mengkalibrasi *setting inverter*.

4.1 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data untuk karakteristik dan visualisasi *water tunnel* dilakukan dengan menggunakan metode gelembung hidrogen. Metoda ini dilakukan dengan cara proses elektrolisis dimana katoda yang dipakai adalah kawat *stainless steel* dengan diameter 0,2 mm dan anoda yang digunakan adalah plat tembaga dengan ukuran 100 mm x 100 mm. Daerah yang diamati terletak ditengah *test section*, kutub katoda diletakkan pada bagian tengah *test section* dengan jarak 20 cm dari bagian hulu (*upstream*) dan anoda diletakkan pada bagian tengah *test section* dengan jarak 20 cm dari bagian hilir (*downstream*). Gambar 8 menjelaskan skema metode pengambilan data. Pengamatan dilakukan pada bagian depan dari *test section* dan direkam menggunakan video kamera.

Pengamatan profil aliran dilakukan dengan mengamati jejak gelembung *Hidrogen* yang dihasilkan oleh elektroda peralatan visualisasi aliran.

Kecepatan aliran diperoleh melalui pengukuran jarak tempuh gelembung *Hidrogen* pada interval waktu tertentu. Dengan mengubah-ubah frekuensi listrik yang masuk ke motor, diperoleh berbagai kecepatan pompa yang akan menghasilkan berbagai kecepatan aliran.

Pengambilan data untuk visualisasi aliran ada dua jenis yaitu visualisasi aliran tanpa benda uji dan visualisasi aliran yang melewati benda uji yang berpenampang bundar yaitu pipa *pvc* dengan diameter 1,5".

4.1 Pengolahan Data

Data yang diperoleh melalui perekaman gambar dari kamera diolah menggunakan program pengolah gambar. Data mentah tersebut diolah menggunakan *software Ulead video studio 9* dan *Image J*. Sehingga diperoleh data kuantitatif yang berupa kecepatan rata-rata aliran pada setiap frekuensi dan visualisasi aliran di *test section*.

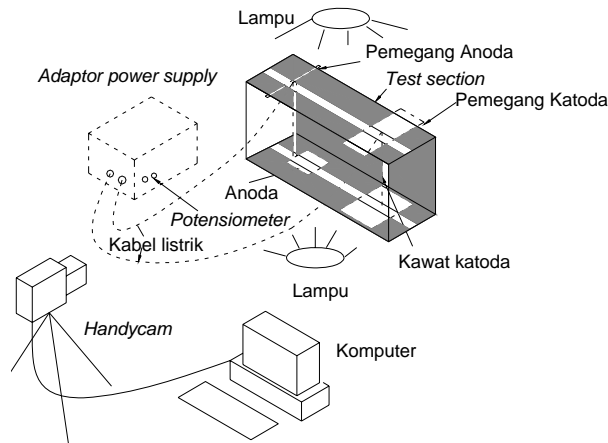
4.2 Pengolahan dan Analisis Data

4.2.1 Profil kecepatan pada test section

Dari pengamatan dengan bantuan visualisasi aliran seperti terlihat pada gambar 10, aliran pada test section adalah seragam.

4.2.2 Kalibrasi setting inverter

Data yang diambil dari percobaan ini adalah jarak yang ditempuh gelembung Hidrogen yang muncul di katoda dan waktu. Dengan menggunakan kedua data tersebut diperoleh kecepatan aliran pada *test section*. Dari hasil pengukuran dan perhitungan maka didapatkan tabel kecepatan aliran untuk masing-masing frekuensi seperti terlihat pada tabel 1.



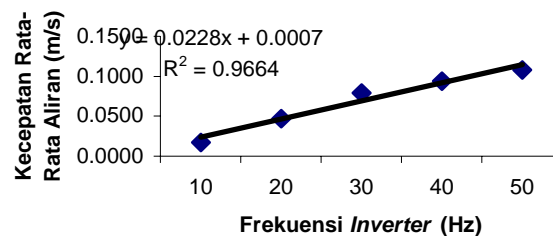
Gambar 8 Skema pengambilan data

Tabel 1 kecepatan rata-rata aliran pada setiap frekuensi

Frekuensi (Hz)	Kecepatan rata-rata aliran (m/s)
10	0,0174
20	0,0474
30	0,0788
40	0,0942
50	0,1081

Grafik hubungan antara kecepatan rata-rata dengan frekuensi ditunjukkan pada gambar 9.

Grafik Frekuensi *Inverter* (Hz) vs Kecepatan Rata-Rata Aliran (m/s)

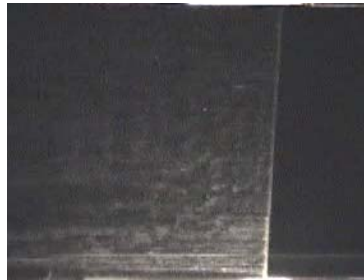


Gambar 9 Grafik Frekuensi *Inverter* (Hz) vs Kecepatan Rata-Rata Aliran (m/s)

Dari grafik tersebut didapatkan bahwa hubungan antara frekuensi *inverter* dengan kecepatan rata-rata aliran adalah linear atau berbanding lurus, yang berarti semakin besar nilai frekuensi *inverter* maka semakin besar pula kecepatan rata-rata aliran.

4.2.3 Visualisasi Aliran

Visualisasi aliran dilakukan tanpa benda uji dan dengan benda uji. Hasil visualisasi direkam dengan *handycam*. Hasil visualisasi cukup memuaskan dan dapat menunjukkan fenomena dinamika fluida. Namun demikian perbaikan masih mungkin dilakukan dengan memperkecil ukuran kawat elektroda. Hasil visualisasi disajikan pada gambar 10 dan 11.



Gambar 10 Visualisasi aliran tanpa benda uji

Pada gambar 10 terlihat bahwa pergerakan gelembung hidrogen tidak dipengaruhi oleh gaya apungnya sehingga pergerakannya mengikuti aliran.

Gambar 11 adalah visualisasi aliran melewati silinder. Gelembung Hidrogen menunjukkan pola aliran yang terbentuk sebelum dan sesudah melewati benda uji. Gambar ini juga menunjukkan adanya olakan di bagian *downstream* benda uji. Gambar ini serupa dengan gambar visualisasi yang dihasilkan oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan instalasi *water tunnel* yang telah mapan^[7].



Gambar 11 Visualisasi aliran dengan benda uji

5 KESIMPULAN

Hasil rancang bangun adalah *water tunnel* dengan spesifikasi sebagai berikut

Panjang : 3 m
Lebar : 1,5 m
Tinggi : 0,95 m
Volume air *water tunnel*: 465 Liter
Ukuran *test section* : 0,6 m x 0,2 m x 0,3 m
Pompa : 400 watt, 220 V, 5 A,
Q : 300 L/m

Kecepatan rata-rata aliran maksimum pada daerah pengamatan : 0,1081 m/s

Kecepatan aliran diatur dengan mengubah frekuensi listrik dengan mengubah-ubah setting inverter.

Dengan menggunakan gelembung hidrogen dapat diketahui bahwa distribusi kecepatan aliran adalah seragam (*uniform*) pada daerah pengamatan, namun demikian profil kecepatan aliran yang searah aliran dan profil kecepatan aliran yang dekat dengan dinding *test section* belum dapat teramati dengan menggunakan metode ini.

Metode gelembung hidrogen dapat digunakan sebagai alat visualisasi aliran di *test section*.

Water tunnel hasil rancang bangun ini dapat digunakan untuk keperluan penelitian dinamika fluida. Penyempurnaan diperlukan untuk melengkapi *water tunnel* ini dengan mekanisme pemegang benda uji dan alat ukur, sehingga utilitasnya menjadi lebih baik.

REFERENSI

- [1] http://rollinghillsresearch.com/Water_Tunnels/Model_0710.html, 17 Februari 2006
- [2] <http://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/Places/Small/ED96-43468-4.jpg>, 17 Februari 2006
- [3] Jr; Rae, William & Pope, Alan, "**Low Speed Wind Tunnel Testing**", John Wiley & Sons, Canada, 1984
- [4] Mehta, R.D. & Bradshaw, P., "**Design Rules for Small Low Speed Wind Tunnels**", Aero Journal (Royal Aeronautical Society), Vol.73, p.443, 1979
- [5] Vieira, Edson & Aparecido, Joao, "**Design and Construction of Small Axisymmetric Contractions**", UNESP, Brasil, 1999
- [6] Bassard, Daniel, "**Transformation of a Polynomial for a Contraction Wall Profile**", Canada, 2003
- [7] Gersten, W. Merzkirch, "**Techniques of Flow Visualization**", Springfield, V.A., 1987
- [8] Firmansyah, "**Studi Pembentukan Gelembung Hidrogen Untuk Simulasi Pergerakan Asap Plume**", Skripsi, Universitas Indonesia, 2005