

## STUDI EKSPERIMENTAL DESAIN KONTRAKSI *WIND TUNNEL* BENTUK NOSEL *CHAMBER* POSITIF DAN NEGATIF

Sigit Budi Hartono<sup>1\*</sup> dan Sulaiman Tampubolon<sup>2</sup>

### ABSTRACT

*This study compares the design of wind tunnel contractions with positive and negative chamber nozzles with several parameters studied, namely the effect of wind tunnel contraction geometry in the form of positive and negative chamber nozzles, flow field characteristics (velocity and pressure) of the flow, what is the value of the turbulent intensity of air flow. In the early stages of the Wind Tunnel design, modeling with computer simulation will be carried out, which is useful as the best and optimal modeling of the shape and geometry design, with a review of various aspects and aerodynamic parameters according to research needs, so that the main parts of the wind tunnel such as honey comb, contraction, test section, diffuser, and suction fan, will be designed according to aerodynamic aspects, using a nozzle model of positive and negative chamber shapes with scalar size and carried out in the Wind Tunnel. The experiment was conducted using an experimental method in a wind tunnel at three levels of speed variation, namely; low speed 4 m/s, medium speed 8 m/s, and high speed 12 m/s, using image visualization and combined with measurement of airflow velocity variation data, to produce wind speed flow in the minimum and maximum range in the Wind test section. Tunnel (average 0.5 ~ 8 m/s) at the lowest turbulence intensity value. The results of this study indicate that in general, the contraction form of the chamber nozzle (-) has better performance at speeds of 6 m/s and above because the upstream and down-stream areas are the same so that the difference in velocity resulting from the two test models is the same, although with different results velocity values at the same input speed, in the upstream and downstream areas there is a non-uniform flow velocity, so this result shows that the flow character generated at the nozzle (+) forms a flow that is not uniform in speed and the nozzle (-) the variation of flow velocity is more uniform, this indicates that the flow characteristics produced at the (-) nozzle are better than the (+) nozzle.*

**Keyword:** *Wind Tunnel, Aerodynamics, Nozzle, Contraction*

### PENDAHULUAN

**Bjorn Lindgren dkk (2002)**, merancang dan membangun *Wind Tunnel closed circuit* berkecepatan rendah di *Royal Institute of Technology*, Stockholm. Kecepatan maksimum sekitar 48 m/s dengan Rasio kontraksi adalah 9. Sebuah penukar kalor, *honey comb* dan 5 *screen*, dimasukkan untuk meminimalkan gangguan aliran di bagian seksi uji. Intensitas

---

<sup>1,2</sup> Teknik Mesin, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

\*Corresponding author:  
[sigitbudi@itny.ac.id](mailto:sigitbudi@itny.ac.id)

turbulen aliran di bagian seksi uji kurang dari 0:04% dibagian inti dengan nilai yang sama untuk intensitas turbulensi lintas aliran. Variasi tekanan total kurang dari (+-) 0:1% dan variasi suhu kurang dari (+-) 0:07 C di atas area penampang dan (+-) 0:03 C di tengah bagian seksi uji. Konsep sudut yang melebar, dengan *outlet* yang jauh lebih besar dari pada luas penampang *inlet*, ( $e = 1:316$ ), dengan koefisien total penurunan tekanan di sudut pertama di hilir bagian pengujian 0,047 pada ujung baling-baling *chord*, Reynolds number 205.000. Nilai ini merupakan perkiraan dua dimensi yang diperoleh dari pengukuran di tengah baling-baling. Ini lebih baik dibandingkan dengan koefisien tekanan kehilangan total di kebanyakan *Wind Tunnel* yang menggunakan sudut yang tidak meluas. Bersama dengan kualitas aliran yang baik yang ditemukan di bagian seksi uji, ini membuktikan kegunaan dari perluasan sudut-sudut dalam *Wind Tunnel* modern untuk meminimalkan ukuran keseluruhan untuk panjang bagian pengujian yang diberikan.

**Mayya (2012)**, menyampaikan bahwa terowongan angin merupakan peralatan utama dalam pengujian unjuk kerja aerodinamis dari jenis konfigurasi yang berlainan. Cara kerjanya yaitu menyerupai kecepatan angin yang tanpa batas untuk menghasilkan data pengujian yang *steady-state*. Kinerja *wind tunnel* ditentukan oleh sifat dari aliran angin yang melalui zona pengujian.

*Wind tunnel* mempunyai beberapa ruangan dengan tugas masing-masing. Secara umum tiap-tiap ruangan tersebut mempunyai fungsi yang saling terkait ialah untuk mempertahankan homogenitas aliran udara mengalir ke dalam ruangan uji dan keluar dari ruangan pengujian. Dengan kondisi tersebut tingkat turbulensi di dalam ruangan pengujian sepanjang belum adanya benda uji akan bisa dieliminasi. Terbentuknya homogenitas aliran angin di dalam ruangan pengujian merupakan sesuatu yang fundamental yang hendak didapatkan dalam perancangan dan konstruksi *wind tunnel* (**Hernandes dkk, 2013**).

Perhatian awal sebelum mengerjakan perancangan secara komprehensif adalah penentuan ukuran geometri dan konfigurasi penampang ruangan pengujian. Ukuran geometri ruangan pengujian ditentukan pada obyek riset dan tujuan riset dengan memanfaatkan *wind tunnel*. Mutu hasil pengujian dari *wind tunnel* sangat dipengaruhi pada mutu udara yang mengalir pada ruang pengujian, sehingga udara yang mengalir pada ruangan pengujian harus homogen, gerakannya laminar, dan tingkat kecepatan udara setiap titik dalam keadaan konstan (**Moonen dkk, 2007**).

**Serhat Senol & Ali Cinar (2009)**, dalam penelitiannya, *Wind Tunnel* sirkuit subsonik tipe hisap jenis suction dirancang dan disimulasikan menggunakan komputer. Desain dan pengembangan model *Wind Tunnel* dilakukan menggunakan program pemodelan solid 3D, SolidWorks. Simulasi dibantu juga dengan simulasi komputer menggunakan program Fluent 6.0; kondisi eksperimental ideal teoritis telah dibuat pada model ini dan membuat simulasi aliran melalui terowongan. Hasil simulasi ditafsirkan dan perbaikan yang diperlukan didefinisikan.

**Harold Sherwood (2009)**, proyek penelitian ini bertujuan untuk menetapkan kriteria kinerja yang tepat untuk *Wind Tunnel Atmospheric Boundary Layer (ABL) Wind Tunnel* yang dapat mereplikasi berbagai kondisi aliran *quasi-steady* dan turbulen pada model bangunan bertingkat rendah hingga skala 1:25. Secara umum *Wind Tunnel ABL* dapat digunakan untuk meneliti efek angin pada bangunan rendah dan bertingkat tinggi, pengujian dinding tirai, kualitas udara dan dispersi polutan, penyebaran salju, dan infiltrasi angin dan eksfiltrasi. *Wind Tunnel* dapat menciptakan pemodelan struktural yang sangat akurat dan lebih mewakili mode kegagalan yang sebenarnya dan kelelahan. Pemahaman yang lebih baik tentang mode kegagalan dan tekanan atap bangunan bertingkat rendah dapat menyebabkan kemajuan dalam pemasangan bangunan saat ini dan penguatan sendi khusus untuk konstruksi baru.

Persamaan teoritis serta model empiris dari kertas *Wind Tunnel* saat ini akan digunakan untuk membuat desain *Wind Tunnel* yang layak. Setelah meninjau literatur saat ini, model skala akan dibuat untuk menguji validitas desain *Wind Tunnel* yang diusulkan. Metode untuk menguji kehilangan kepala *Wind Tunnel* dan distribusi tekanan akan dikembangkan dalam upaya untuk membandingkan hasil aktual dengan hasil yang diantisipasi dari penelitian literatur. Puncak dari perbandingan hasil tes akan menjadi rekomendasi untuk *Wind Tunnel ABL* skala penuh.

**Nelton Koo Chwee Yang (2012)**, perancangan dan pembuatan *Wind Tunnel* kecepatan rendah. Proyek ini meliputi proses desain dan pembuatan *Wind Tunnel* kecil. Dalam menyelesaikan proyek ini, gambar berbantuan komputer (CAD) yang disebut *Solid Work* digunakan untuk mendesain *Wind Tunnel*. Percobaan dilakukan setelah membangun *Wind Tunnel* untuk menemukan koefisien hambatan bola. Gaya *drag* pada bola dalam aliran udara diukur pada berbagai kecepatan aliran bebas di bawah 100 m/s. Ini dilakukan dalam *Wind Tunnel* kecepatan rendah menggunakan sistem keseimbangan integral untuk mengukur

gaya *drag* dan tabung Pitot dan untuk mengukur kecepatan. Data mentah diproses sesuai dengan persamaan klasik mekanika fluida yang mendefinisikan koefisien *drag*. Kesan aliran medan cairan disekitar bola juga menangkap menggunakan asap putih. Metode analisis aliran di bagian tes ditunjukkan dengan menggunakan *string*. Hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil yang dipublikasikan selama rentang yang diuji.

**Andrew Welsh (2013)**, bagian utama dari *Wind Tunnel* adalah bagian pengkondisi aliran yang terdiri dari *honey comb*, *screen*, dan ruang pengendapan. Masing-masing bagian ini berperan dalam mengurangi intensitas dan skala turbulensi dalam aliran. *honey comb* dan *screen* harus berada di bagian kecepatan yang lebih rendah dari *Wind Tunnel* karena kecepatan rendah yang mengalir melalui *screen* mendorong penurunan tekanan yang lebih rendah ke sistem *Wind Tunnel* karena udara dapat mengalir bebas melalui *screen* dengan kecepatan rendah. Namun, kecepatan udara tinggi yang mengalir melalui *screen* akan menyebabkan hilangnya tekanan tinggi pada sistem dan secara signifikan akan menurunkan kecepatan angin maksimum dari *Wind Tunnel*. Selain itu, *screen* telah ditemukan untuk melenturkan jarak lebih dari 30 cm di pusat di *Wind Tunnel* yang dirancang dengan buruk. Perusakan dan penggantian *screen* adalah masalah umum jika tidak dirancang dengan benar.

**Ismail dkk (2015)**, modifikasi *Wind Tunnel* penting untuk mengatasi masalah yang ada untuk memberikan pengembangan penelitian yang lebih dalam. Metode modifikasi ini dilakukan dengan memvariasikan beberapa bagian konstruksi desain, bagian uji dan bagian *diffuser* dengan menggunakan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2014. Kemudian, hasil yang paling optimal diwujudkan pada *Wind Tunnel* yang ada. Hasil yang diperoleh dari optimasi adalah kombinasi dari desain bagian kontraksi 2, bagian desain uji dan desain bagian 2 *diffuser* yang merupakan hasil paling optimal. Hasil modifikasi *Wind Tunnel* sirkuit terbuka ini dapat menghasilkan aliran angin pada lingkup kecepatan angin rata-rata hingga 15 m/s di bagian pengujian dengan intensitas turbulensi rata-rata hingga 1%.

**Yi-Huan Kao dkk (2017)**, dalam penelitian ini, kinerja mekanika fluida dari empat bentuk dinding kontraksi yang berbeda telah dipelajari dan dibandingkan berdampingan dengan simulasi komputasi, dan efek bentuk kontraksi *cross-sectional* pada keseragaman aliran di pintu keluar kontraksi telah disertakan juga. Bentuk dinding kontraksi yang berbeda dapat menghasilkan penurunan tekanan 4% ekstra dari *Wind Tunnel loop* tertutup, dan bentuk dinding kontraksi memiliki pengaruh yang lebih kuat pada kehilangan tekanan dibandingkan

bentuk kontraksi *cross-sectional*. Turunan pertama dan kedua dari persamaan bentuk dinding yang berbeda dapat memberikan petunjuk untuk membandingkan secara kualitatif keseragaman aliran pada jalan keluar kontraksi. Kontraksi *Wind Tunnel* dengan bentuk segi delapan tidak hanya memberikan kinerja mekanika fluida yang lebih baik dari itu dengan bentuk lingkaran atau persegi *cross-sectional*, tetapi juga menurunkan biaya produksi. Selain itu, rasio penyumbatan yang lebih kecil dalam bagian uji dapat dicapai dengan menggunakan bentuk potongan melintang segi delapan bukan bentuk lingkaran melintang melingkar di bawah keadaan diameter hidrolis yang sama. Kontraksi *Wind Tunnel* dengan bentuk penampang segi delapan direkomendasikan untuk menjadi kandidat desain.

**Mauro S. dkk (2017)**, makalah ini membahas tentang studi tentang desain dan tes *Wind Tunnel* terbuka skala sangat kecil. Untuk memverifikasi kriteria desain yang diusulkan, sebuah *Wind Tunnel* skala kecil berskala terbuka dibangun dan diuji. *Wind Tunnel* yang dirancang terdiri dari ruang pengendapan, bagian kontraksi, bagian pengujian, *diffuser* dan juga kipas. Ruang uji memiliki penampang persegi 5 x 5 cm dan kecepatan aliran di-desain sekitar 6 m/s. Gambar Partikel *Velocimetry* digunakan untuk mengukur aliran-bidang dan karakteristik utama aliran. Intensitas turbulensi pada penampang ruang uji yang berbeda ditentukan. Tingkat turbulensi yang diukur adalah sekitar 0,4% pada bagian tes masuk. Peningkatan kecil dalam intensitas turbulensi tercatat di sepanjang bagian pengujian. Hasil yang diperoleh diterima untuk *Wind Tunnel* skala itu. Oleh karena itu, *Wind Tunnel* ini dapat digunakan, misalnya, untuk menguji medan-aliran di sekitar aerofoils. Sebuah tes awal pada aerofoil NACA 0012 dilakukan. Hasilnya terbukti kompatibel dengan teori aerodinamis serta literatur ilmiah. Dengan demikian, hasil *Wind Tunnel* dapat digunakan untuk mengkalibrasi dan memverifikasi model matematika *Computational Fluid Dynamics*.

## METODE

### Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

*Wind Tunnel* yang akan digunakan, mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Model & Tipe : open sirkuit / isap
2. Dimensi & Ukuran : P 3,90 x L 0,80 x T 0,80 m
3. Seksi Uji : P 0,70 x L 0,30 x T 0,30 m
4. Performansi Kecepatan : 0,2 – 15 m/s

5. Motor Penggerak : Daya Motor 2 HP x 1 pcs, Frekwensi 50 Hz, Putaran max 2840 rpm, Voltage, 220v/380v & Ampere, 5,8A/3,4A



Gambar 1. *Wind Tunnel*

Lab. Aero & Hidrodinamika Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

### Model Uji

Model uji berupa kontraksi dengan bentuk *Nozzle chamber* positif dan negatif, dengan dimensi utama panjang (p): 0,25 m, lebar (l) 0,15 m dan tinggi (t) 0,15 m.



Gambar 2. Kontraksi *Nozzle chamber* (+)

Kontraksi *wind tunnel* berbentuk *nozzle chamber* (+), memiliki perubahan radius lengkung dengan sumbu yang terletak berhadapan sumbu utama atau arus utama aliran, atau melengkung ke dalam.



Gambar 3. Kontraksi *Nozzle chamber* (-)

Kontraksi *wind tunnel* berbentuk *nozzle chamber* (-), memiliki perubahan radius lengkung dengan sumbu yang terletak berlawanan sumbu utama atau arus utama aliran, atau melengkung keluar. Pada kedua jenis model uji pada penelitian ini, dirancang memiliki dimensi dan ukuran yang relatif sama antara luas *up stream* dan *down stream*, guna untuk melakukan pengujian yang setara.



Gambar 4. Pengambilan Data

Pengambilan data pengujian dilakukan di *wind tunnel* dengan alat pengukur kecepatan aliran udara (*hot wire anemometer*). Pada pengambilan data dilakukan pengujian pada kedua bentuk model uji dengan posisi yang sama dan pada kecepatan *input* yang sama, yaitu kecepatan aliran 1 m/s sampai 10 m/s. Pengukuran aliran dilakukan pada titik 0 *up stream* seksi uji *wind tunnel* guna melakukan pengukuran kecepatan input, setelah tercapat kecepatan *input* kemudian dilakukan pengukuran di area *up stream* benda uji yang pada penelitian ini dua buah bentuk model kontraksi *nozzle* (+) dan *nozzle* (-), yang jarak *up stream* seksi uji ke *up stream* benda uji merupakan rasio 1 x lebar / tinggi kontraksi, yang dalam hal ini adalah 0,15 m. untuk kemudian dilakukan pengukuran di daerah *down stream*, yang semuanya pengukuran dilakukan secara berulang dan bersamaan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Selisih Kecepatan *Down stream* - *Up stream*.

Berikut adalah tabel hasil selisih kecepatan aliran udara *Down Stream* – *up stream*, yang membandingkan antara kedua jenis model uji, yang berguna untuk melihat perbedaan pada kedua bentuk *nozzle* uji.

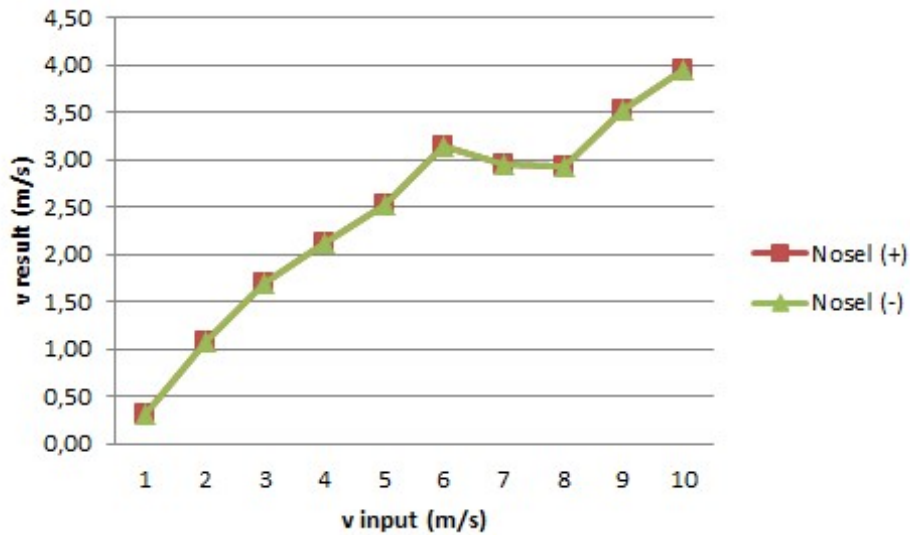
Tabel 1. Selisih Kecepatan *Down stream* - *Up stream*

v (m/s)	Nosel (+)	Nosel (-)
1	0,31	0,31
2	1,08	1,08
3	1,69	1,69
4	2,12	2,12
5	2,52	2,52
6	3,15	3,15
7	2,95	2,95
8	2,92	2,92
9	3,53	3,53
10	3,96	3,96

Keterangan : Nosel (+) adalah *chamber* positif, *Nozzle* (-) adalah *chamber* negatif, adalah nilai kecepatan hasil dalam satuan (m/s).



Terdapat pola yang sama antara *nozzle* (+) dan *nozzle* (-) sehingga garfik selisih kecepatan antara *up stream* dan *down stream* berhimpitan, hal ini dikarenakan luas *up stream* dan *down stream* dibuat dengan dimensi yang sama. dan juga terlihat terjadinya penurunan selisih kecepatan pada kecepatan input 6 m/s sampai kecepatan 9 m/s, hal ini lebih dikarenakan adanya vibrasi pada *wind tunnel* pada kecepatan tersebut,



Gambar 5. Grafik Selisih Kecepatan *Down stream* - *Up stream*

**Hasil Selisih Kecepatan rata-rata ( $\Delta v$ ) *Down stream* - *Up stream*.**

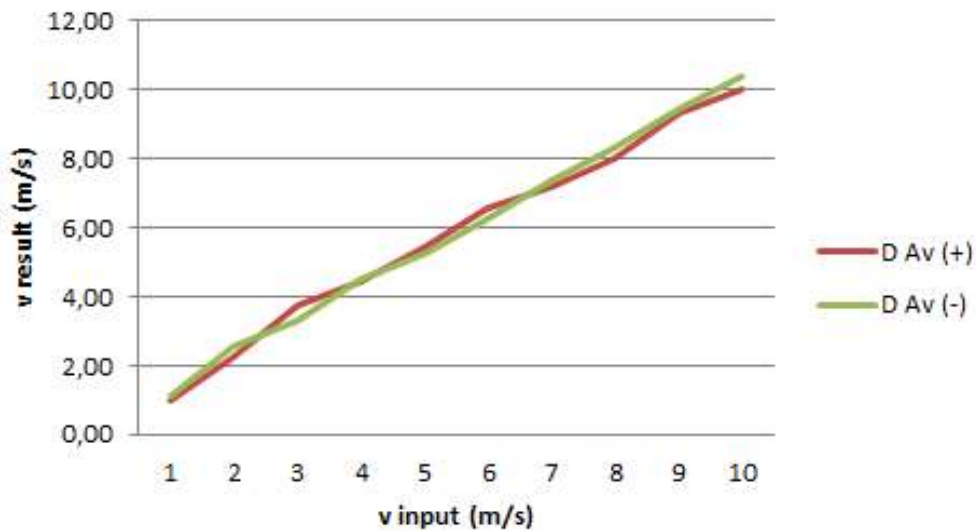
Berikut adalah tabel hasil selisih kecepatan rata-rata *Down Stream*, yang membandingkan kedua jenis model uji, yang berguna untuk melihat perbedaan pada kedua bentuk *nozzle* uji.

Tabel 2. Selisih Kecepatan rata-rata ( $\Delta v$ ) *Down stream* - *Up stream*

v (m/s)	D $\Delta v$ (+)	D $\Delta v$ (-)
1	0,97	1,14
2	2,22	2,53
3	3,75	3,32
4	4,41	4,50
5	5,41	5,27
6	6,57	6,27
7	7,22	7,36

<b>8</b>	8,01	8,35
<b>9</b>	9,32	9,44
<b>10</b>	10,00	10,41

Keterangan; D Av (+) *Down stream Average Chamber (+)*, D C (-) *Down stream average Chamber (-)*, merupakan nilai kecepatan hasil yang telah dirata-ratakan.



Gambar 6. Grafik Selisih Kecepatan rata-rata (Av) *Down stream - Up stream*

Pada grafik Selisih Kecepatan rata-rata (Av) *Down stream - Up stream*, dapat dilihat bahwa juga secara umum terdapat pola yang sama antara *nozzle (+)* dan *nozzle (-)* sehingga grafik selisih kecepatan rata-rata juga berhimpitan, hanya saja *nozzle (-)* memiliki garis grafik yang lebih stabil dan juga pada kecepatan aliran 9 m/s masih stabil, sementara *nozzle (+)* sudah mulai terjadi penurunan kecepatan.

**Hasil Selisih Kecepatan center ( C ) *down stream - up stream.***

Berikut adalah tabel hasil selisih kecepatan *center (C) Down stream - up stream*, yang membandingkan kedua jenis model uji, yang berguna untuk melihat perbedaan pada kedua bentuk *nozzle* uji.

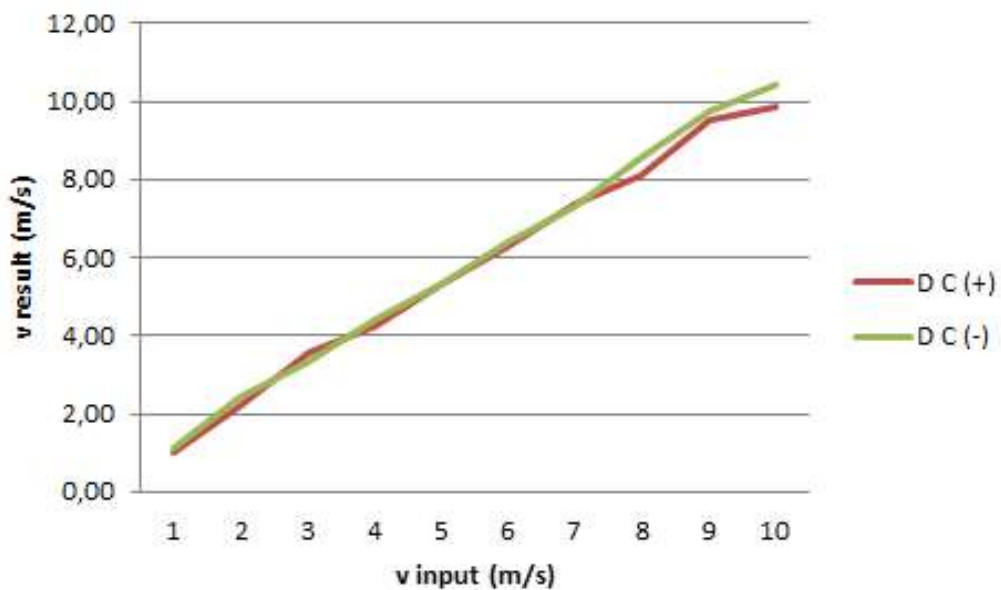
Pada grafik Selisih Kecepatan *center (C) down stream - up stream*, lebih dapat dilihat dengan jelas bahwa secara umum terdapat pola yang sama antara *nozzle (+)* dan *nozzle (-)*

sehingga garfik selisih kecepatan rata-rata juga berhimpitan, hanya saja *nozzle (-)* memiliki garis grafik yang lebih stabil, pada *nozzle (+)* sudah mulai terjadi penurunan pada kecepatan 7,5 m/s.

Tabel 3. Selisih Kecepatan *center ( C ) down stream - up stream*

v (m/s)	D C (+)	D C (-)
1	0,98	1,12
2	2,20	2,44
3	3,54	3,32
4	4,25	4,44
5	5,35	5,33
6	6,29	6,39
7	7,39	7,32
8	8,10	8,58
9	9,52	9,75
10	9,85	10,42

Keterangan; D C (+) *Down stream Center Chamber (+)*, D C (-) *Down stream Center Chamber (-)*,



Gambar 7. Grafik Selisih Kecepatan *center ( C ) down stream - up stream*

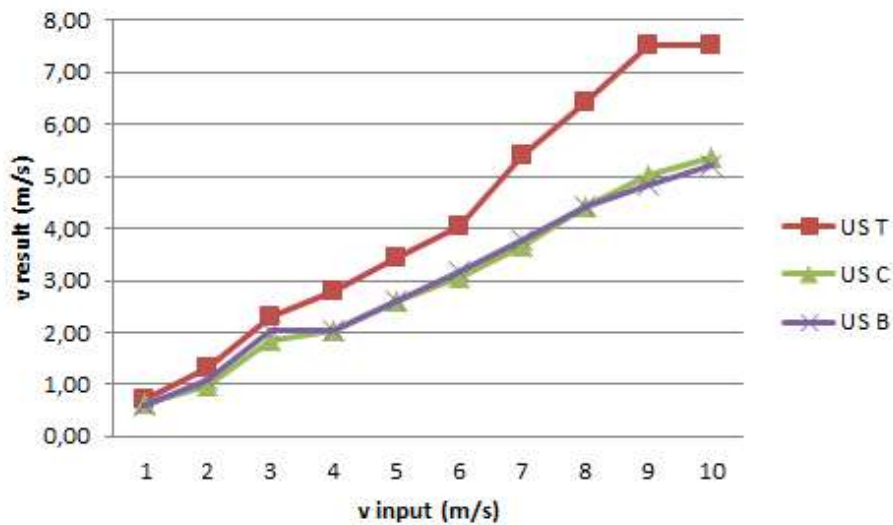
**Hasil Kecepatan *Up stream camber (+)*.**

Berikut adalah tabel hasil kecepatan *up stream*.

Tabel 4. Selisih Kecepatan *up stream*

v (m/s)	US T	US C	US B
1	0,72	0,63	0,62
2	1,32	0,99	1,10
3	2,30	1,85	2,05
4	2,77	2,05	2,05
5	3,45	2,62	2,60
6	4,05	3,06	3,16
7	5,40	3,65	3,76
8	6,42	4,43	4,41
9	7,51	5,03	4,83
10	7,54	5,36	5,23

Keterangan : US T (*Up Stream Top*), US C (*Up Stream Center*) dan US B (*Up Stream Bottom*), adalah kecepatan hasil (m/s).



Gambar 8. Grafik Selisih Kecepatan *up-stream*

Dikarenakan data dan grafik sebelumnya, memiliki data yang relatif hampir sama antara kedua model benda uji, serta memiliki garis grafik yang berhimpitan, maka untuk memperkaya pembahasan hasil, dilihat lebih dalam yaitu dengan membahas data yang ada pada masing-masing benda uji,

Dapat dilihat ada ketidakseragaman hasil pengukuran dan yang paling menonjol itu adalah pada bagian *up-stream* bagian yang paling atas, didapat bahwa kecepatannya lebih tinggi dan dimulai pada kecepatan 3 m/s sampai 6 m/s dan puncaknya pada kecepatan 9 m/s.

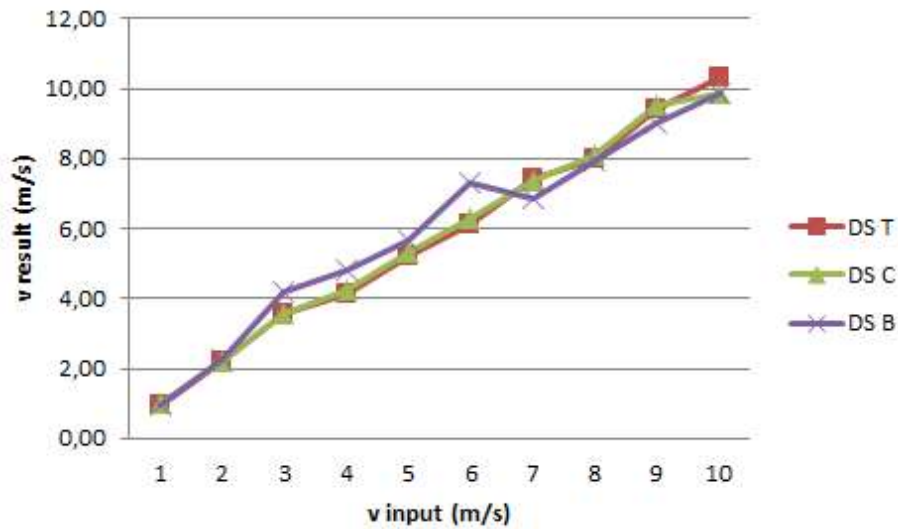
#### Hasil Kecepatan *down stream chamber* (+).

Berikut adalah tabel hasil kecepatan *down stream*.

Tabel 5. Selisih Kecepatan *center* ( C ) *Down stream*

v (m/s)	DS T	DS C	DS B
1	0,97	0,98	0,95
2	2,20	2,20	2,26
3	3,54	3,54	4,17
4	4,15	4,25	4,83
5	5,23	5,35	5,65
6	6,14	6,29	7,29
7	7,42	7,39	6,85
8	8,00	8,10	7,93
9	9,41	9,52	9,04
10	10,30	9,85	9,85

Keterangan : DS T (*Down Stream Top*), DS C (*Down Stream Center*) dan DS B (*Down Stream Bottom*), adalah kecepatan hasil (m/s).



Gambar 9. Grafik Selisih Kecepatan *center (C) Down stream - Up stream*

Pada daerah *down-stream* juga terdapat ketidakseragaman aliran pada bagian *bottom*, yang terjadi mulai pada kecepatan 3 m/s, dan memuncak pada kecepatan 6 m/s, untuk kemudian terjadi penurunan kecepatan hasil, pada kecepatan 7 m/s.

Baik di daerah *up-stream* dan *down stream* terjadi ketidakseragaman kecepatan aliran, sehingga hasil ini menunjukkan bahwa karakter aliran yang dihasilkan pada *nozzle (+)* membentuk aliran yang tidak seragam kecepataannya

**Hasil Kecepatan *Up stream chamber (-)*.**

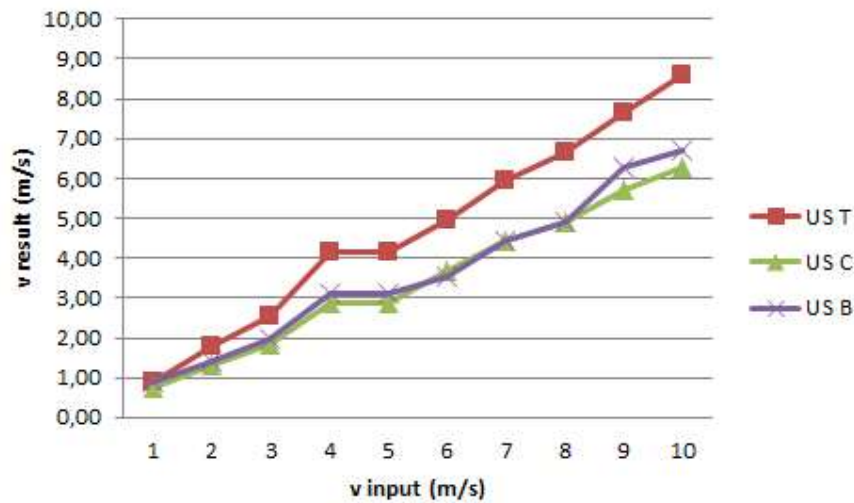
Berikut adalah tabel hasil kecepatan *up-stream*.

Tabel 6. Hasil kecepatan *up-stream*

v (m/s)	US T	US C	US B
1	0,89	0,77	0,87
2	1,78	1,30	1,39
3	2,56	1,84	1,99
4	4,14	2,85	3,11
5	4,14	2,85	3,11
6	4,96	3,69	3,53
7	5,95	4,41	4,41
8	6,66	4,92	4,92
9	7,63	5,71	6,27
10	8,58	6,30	6,69

Keterangan : US T (*Up Stream Top*), US C (*Up Stream Center*) dan US B (*Up Stream Bottom*), adalah kecepatan hasil (m/s).

Terjadi ketidakseragaman hasil pengukuran walaupun tidak sebesar *nozzle (+)* nilainya, dan pola *trend* datanya ya masih seragam, sama seperti *nozzle (+)*, *nozzle (-)* juga memiliki tren yang sama yaitu pada bagian *up-stream* bagian yang paling atas, akan tetapi di dapatkan bahwa kecepatan terjadinya lebih tinggi dan dimulai pada kecepatan 4 m/s sampai 5 m/s dan kemudian kecepatan dan alirannya stabil.



Gambar 10. Grafik hasil kecepatan *up-stream*

**Hasil Kecepatan *down stream chamber (-)*.**

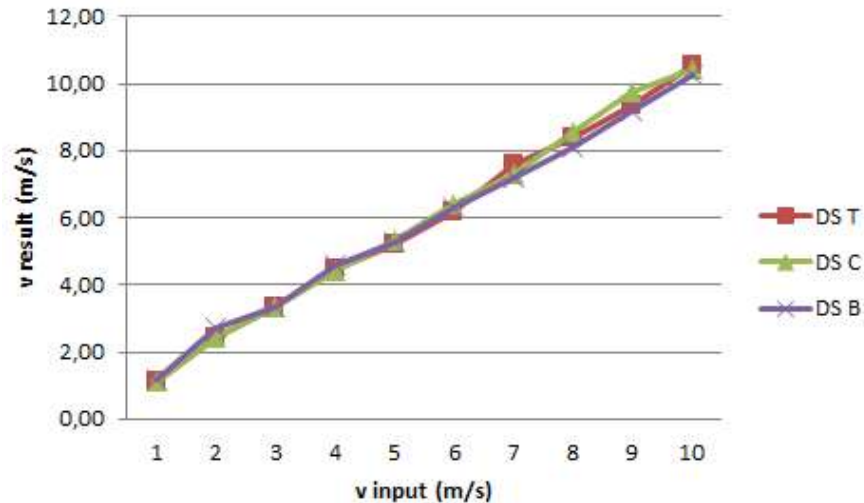
Berikut adalah tabel hasil kecepatan *down stream*.

Tabel 7. Hasil kecepatan *down stream*

v (m/s)	DS T	DS C	DS B
1	1,12	1,12	1,19
2	2,44	2,44	2,72
3	3,32	3,32	3,32
4	4,48	4,44	4,59
5	5,19	5,33	5,28
6	6,16	6,39	6,28
7	7,57	7,32	7,19

<b>8</b>	8,38	8,58	8,10
<b>9</b>	9,36	9,75	9,21
<b>10</b>	10,52	10,42	10,28

Keterangan : DS T (*Down Stream Top*), US C (*Down Stream Center*) dan US B (*Down Stream Bottom*), adalah kecepatan hasil (m/s).



Gambar 11. Grafik hasil kecepatan *down stream*

Untuk *nozzle* (-) pada daerah *down stream* di dapatkan bahwa aliran hampir seragam, baik di daerah *up-stream* dan *down stream nozzle* (-), didapat kecepatan alirannya lebih seragam, sehingga ini menunjukkan bahwa karakter aliran yang dihasilkan pada *nozzle* (-) lebih baik bila dibandingkan *nozzle* (+).

## KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk melihat perbedaan antara *nozzle chamber* (+) dan *nozzle chamber* (-) yang digunakan pada seksi kontraksi pada *wind tunnel*, dan dari hasil pengujian didapatkan bahwa untuk kedua model tersebut menunjukkan :

1. Secara umum bentuk kontraksi *nozzle chamber* (-) memiliki performasi yang lebih baik pada kecepatan 6 m/s ke atas.
2. Karena luas area *up-stream* dan *down stream* yang sama sehingga selisih kecepatan yang dihasilkan dari kedua model uji menjadi sama, walaupun dengan nilai kecepatan hasil yang berbeda pada kecepatan *input* yang sama.



3. Di daerah *up-stream* dan *down-stream* terjadi ketidak seragaman kecepatan aliran, sehingga hasil ini menunjukkan bahwa karakter aliran yang dihasilkan pada *nozzle* (+) membentuk aliran yang tidak seragam kecepatannya.
4. *Nozzle* (-) variasi kecepatan alirannya lebih seragam, sehingga menunjukkan bahwa karakter aliran yang dihasilkan pada *nozzle* (-) lebih baik bila dibandingkan *nozzle* (+).

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian pada kedua jenis bentuk tersebut, bahwa pada kecepatan 1 – 10 m/s bentuk nosel dengan *chamber* negatif dapat dikatakan lebih baik bila dibandingkan dengan bentuk *chamber* positif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andrew Welsh,. 2013. Low Turbulence Wind Tunnel Design and Wind Turbine Wake Characterization. University of Wisconsin Milwaukee, Theses and Dissertations. UWM Digital Commons.
- Bjorn Lindgren & Arne V. Johansson,. 2002. Design and Evaluation of a Low-Speed. Wind-Tunnel with Expanding Corners. Department of Mechanics, Technical Reports from Royal Institute of Technology Department of Mechanics SE-100 44 Stockholm, Sweden.
- Harold Sherwood Boudreau III,. 2009. Design, Construction, and Testing of an Open Atmospheric Boundary Layer Wind Tunnel. Theses and Dissertations, University of florida,
- Ismail, Samsul K, Purnomo, Sarjiya, Sulaiman Tampubolon, Azhim A and Inderanata,. 2015. Modification of Open Circuit Wind Tunnel. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Asian Research Publishing Network (ARPN). VOL. 10, NO. 18, OCTOBER 2015. ISSN 1819-6608.
- Nelton Koo Chwee Yang,. 2012. Design of Wind Tunnel (Fluid Flow Analysis), Theses and Dissertations. Faculty of Manufacturing Engineering ,Universiti Malaysia Pahang.
- Mauro S, Brusca S.b, Lanzafame R, Famoso F, Galvagno A. and Messina M,. 2017. Small-Scale Open-Circuit Wind Tunnel: Design Criteria, Construction and Calibration. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 23 (2017) pp. 13649-13662.
- Mayya, R., 2012, The wind tunnel performance investigation by using the modeling and simulation. Energy Procedia, Vol 19, pp. 80 – 86

- M. A. G. Hernández, A. I. M. López, A. A. Jarzabek, J. M. P. Perales, and Y. Wu, 2013 “Design Methodology for a Quick and Low-Cost Wind Tunnel,” in *Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Application*, InTech, pp. 3–28
- P. Moonen, B. Blocken, and J. Carmeliet, 2007 “Indicators for the evaluation of wind tunnel test section flow quality and application to a numerical closed-circuit wind tunnel,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 95, no. 9–11, pp. 1289–1314.
- Serhat Senol, Ali Cinar,. 2009. *Design and Flow Simulation of an Open Circuit Wind Tunnel*. Kocaeli University Turkiye. EnginSoft International Conference.
- Yi-Huan Kao, Zhou Wei Jiang and Sheng Cyuan Fang,. 2017. *A Computational Simulation Study of Fluid Mechanics of Low-Speed Wind Tunnel Contractions*. Mdpi journal.