

Karakteristik Aliran pada Saluran Udara dengan Penambahan *Square* dan *Circular Turbulator* di Dekat Silinder Sirkular Tunggal

Randi Purnama Putra^{1*}, Bahrul Amin¹, Dori Yuventa¹ dan Nuzul Hidayat¹

¹Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*Corresponding author, e-mail: randipurnama@ft.unp.ac.id

Abstrak— Penggunaan silinder sirkular banyak ditemukan pada bentuk konstruksi aplikasi teknik seperti; *heat exchanger*, struktur penyangga anjungan lepas pantai, jembatan dermaga, sistem perpipaan dan sebagainya. Di dalam beberapa aplikasi teknik, silinder sirkular ditempatkan di dalam saluran dengan berbagai pengaturan. Penggunaan silinder sirkular di dalam saluran tentunya mengakibatkan perbedaan karakteristik aliran dan membuat bertambahnya *pressure drop*. Penelitian ini bertujuan melihat karakteristik aliran dengan penggunaan variasi turbulator didekat silinder sirkular. Karakteristik aliran yang di tinjau adalah *pressure drop*, distribusi tekanan pada silinder sirkular dan Koefisien *drag pressure*. Penelitian dilakukan secara eksperimen. Turbulator ditempatkan di depan dari silinder sirkular. Turbulator yang digunakan berbentuk *square* dan *circular cylinder*. Saluran udara memiliki penampang bujur sangkar dengan luas penampang 125 x 125 mm. Rasio *blockage* sebesar 36,4 %. Variasi posisi sudut turbulator adalah dengan sudut $\alpha = 20^{\circ}, 30^{\circ}, 40^{\circ}, 50^{\circ}$, dan 60° . Pengujian dilakukan pada *Reynolds number* $11,6 \times 10^4$ (*Re* berdasarkan diameter hidrolis). Hasil dari penelitian menunjukkan penggunaan *square turbulator* lebih efektif mereduksi *pressure drop* pada saluran dibandingkan *circular turbulator*. Variasi posisi sudut *square turbulator* yang efektif mereduksi *pressure drop* ada pada sudut $\alpha = 30^{\circ}$. Reduksi *pressure drop* pada sudut ini sebesar 23,33 %. Separasi aliran pada silinder sirkular terjadi pada sudut 110° dan koefisien *drag pressure* sebesar 0,62.

Kata kunci: Silinder Sirkular, Turbulator, Saluran Udara, Pressure Drop, Distribusi Tekanan

Abstract— The use of circular cylinder is found in many forms of engineering application construction such as; heat exchangers, offshore platform support structures, bridge piers, piping systems and so on. In some engineering applications, circular cylinder is placed in channels with various settings. The use of circular cylinder inside the channel certainly result in differences in flow characteristics and makes the pressure drop increase. This study aims to determine the flow characteristics with the use of turbulator variations near circular cylinder. Flow characteristics that are reviewed are pressure drop, pressure distribution on circular cylinders and drag coefficient pressure. The study was conducted experimentally. Turbulator is placed in front of a circular cylinder. Turbulator used is square and circular cylinder. The air duct has a square cross section with a cross section of 125 x 125 mm. Blockage ratio is 36,4 %. Variations in the angle position of the turbulator are at angles 20, 30, 40, 50, and 60 degree. The test is carried out at Reynolds number $11,6 \times 10^4$ (*Re* based on hydraulic diameter). The results of the study show that the use of square turbulator is more effective at reducing pressure drop on the channel than circular turbulator. Variations in the position of the square turbulator angle that effectively reduce the pressure drop is at an angle of 30 degree. The reduction in pressure drop at this angle is 23,33 %. Flow separation on the circular cylinder occurs at an angle of 110 degree and drag coefficient pressure is 0,62.

Keywords : *Circular Cylinder, Turbulator, Ducting, Pressure Drop, Pressure Distribution*



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License

I. PENDAHULUAN

Silinder sirkular adalah salah satu bentuk *bluff body* yang paling banyak digunakan pada aplikasi *engineering*. Aplikasi dari silinder sirkular

biasanya digunakan pada cerobong asap, tiang, alat penukar kalor *shell and tube* atau *tube banks*, jembatan dermaga, periskop, bejana bertekanan atau *reaction tower* pada pabrik kimia, *cooling*

tower, pendingin komponen elektronik (*electronic cooling*), dan sebagainya.

Adanya silinder sirkular mengakibatkan timbulnya *normal stress* dan *shear stress*. *Normal stress* timbul karena adanya tekanan dari fluida yang melintasi *bluff body*, sedangkan *shear stress* timbul karena adanya pengaruh viskositas dari fluida yang melintasi *bluff body*. Interaksi antara aliran fluida dan silinder sirkular ini juga akan menimbulkan *pressure drop* didalam saluran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran didalam saluran udara. Karakteristik aliran yang ditinjau adalah *pressure drop*, distribusi tekanan dan koefisien *drag pressure*. Didalam saluran udara terpasang konfigurasi silinder sirkular dengan turbulator berbentuk *square* dan *circular cylinder*.

II. STUDI PUSTAKA

Banyak penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida terutama dalam pembakaran [1] [2]. Hal tersebut dilakukan untuk kepentingan akademik maupun untuk kepentingan industri. Dalam beberapa aplikasi teknik, banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran yang melintasi suatu *bluff body*. Salah satu *bluff body* yang banyak digunakan adalah silinder sirkular. Bentuk dari silinder, konfigurasi dan variasi diameter akan menimbulkan fenomena aliran yang berbeda. Fenomena aliran ini bisa berupa gaya hambat atau *drag*.

Silinder sirkular yang dilalui aliran fluida di sekelilingnya akan terbentuk suatu *boundary layer* [3]. Jika momentum aliran tidak mampu mengatasi gaya-gaya fluida yang timbul dan *adverse pressure gradient* (APG) membesar, maka *boundary layer* akan mengalami pemisahan dari kontur *body*. Pemisahan dari dari kontur *body* ini dinamakan separasi aliran. Separasi aliran yang terjadi pada silinder sirkular akan menyebabkan terbentuknya suatu daerah yang disebut sebagai *wake*. Jika titik terbentuknya separasi aliran semakin kedepan, maka *wake* akan menjadi lebih lebar sehingga gaya-gaya fluida yang terjadi juga semakin besar.

Penelitian mengenai aliran fluida melewati silinder sirkular tunggal dilakukan oleh [4]. Penelitian ini lebih banyak mengolah data sekunder yang didapat dari penelitian-penelitian sebelumnya dengan membahas interaksi antara aliran fluida dengan silinder sirkular. Didapat sebuah kesimpulan bahwa aliran fluida akan bertransisi dari aliran laminar menjadi turbulen hingga terjadi fenomena separasi aliran. Fenomena ini sangat

dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu oleh kecepatan pada *free-stream* serta profil alirannya, *free-stream turbulence* (intensitas turbulensi), bentuk benda (geometri maupun orientasi terhadap arah alirannya), serta kekasaran permukaan benda.

Penggunaan silinder sirkular didalam saluran mengakibatkan efek *pressure drop* tidak dapat diabaikan. Hal ini diakibatkan gaya hambat yang dihasilkan dari penggunaan silinder sirkular didalam saluran. Semakin besar diameter silinder sirkular maka akan menyebabkan gaya *drag* (C_D) semakin meningkat [5] [6]. Selain itu, penggunaan silinder sirkular didalam saluran mengakibatkan efek *blockage* tidak dapat diabaikan. Ini disebabkan semakin sempitnya daerah yang dapat dilalui oleh fluida. Nilai C_D yang semakin besar mengindikasikan nilai intensitas turbulensi yang semakin kecil [7]. Pada sebagian besar aplikasi teknik, terutama struktur bangunan dimana silinder sirkular ini biasa digunakan, adanya gaya hambat atau *drag* tidak diinginkan.

Gaya *drag* ini sangat dipengaruhi oleh posisi titik separasi aliran fluida pada silinder sirkular. Secara umum parameter yang biasa dilakukan untuk reduksi gaya hambat atau *drag* adalah variasi geometri silinder, pengganggu aliran maupun variasi jarak. Penelitian dalam hal reduksi *pressure drop* di dalam saluran berbentuk bujur sangkar sudah banyak dilakukan. Terutama penelitian berupa pengaruh jarak (s/D) peletakan silinder sirkular dan variasi *Reynolds number* terhadap nilai *pressure drop* pada saluran. Hasil penelitian menunjukkan besarnya nilai *pressure drop* sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai *Reynolds number*. Semakin besar nilai *Reynolds number* maka akan semakin besar juga nilai *pressure drop* yang didapatkan [8]. Selain itu, reduksi *pressure drop* paling minimum ada pada peletakan silinder sirkular dengan jarak $s/D = 1 - 1,4$ di dalam saluran.

Berbagai cara dilakukan untuk mereduksi *pressure drop* didalam saluran. Pada umumnya, teknik pengontrolan aliran fluida pada silinder sirkular diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu metode pengontrolan pasif dan aktif. Metode pengontrolan aktif yaitu mengontrol aliran fluida dengan cara mensuplai energi dari luar seperti penambahan hembusan jet, sedangkan metode pengontrolan pasif mengontrol aliran fluida dengan cara memodifikasi bentuk silinder sirkular dengan cara menempatkan alat tambahan seperti batang pengontrol atau dengan menempelkan elemen tambahan pada silinder sirkular untuk menambah kekasaran permukaan. Metode pengontrolan aktif memerlukan peralatan yang kompleks untuk mensuplai energi dari luar kepada aliran. Oleh

karena itu, metode pengontrolan pasif lebih mudah untuk diaplikasikan.

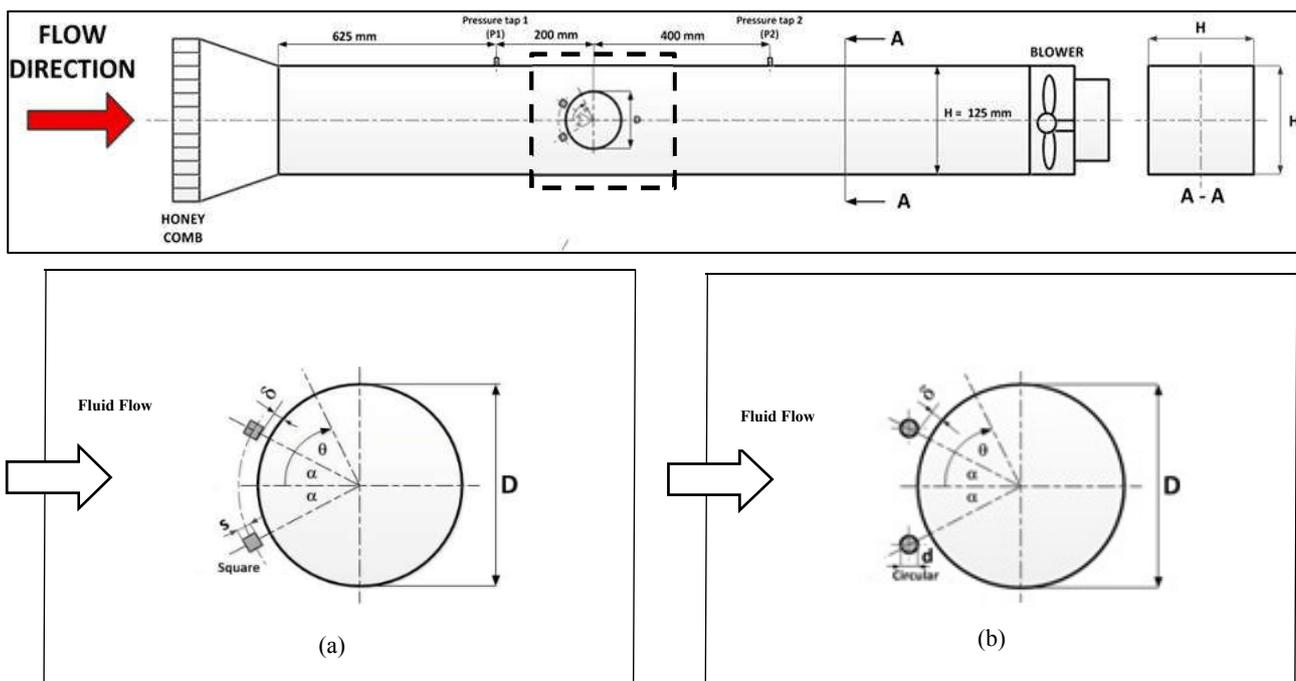
Salah satu cara dalam mereduksi *pressure drop* adalah dengan penambahan turbulator didekat silinder sirkular. Penambahan turbulator ini termasuk dalam metode pengontrolan pasif. Penggunaan turbulator dapat mereduksi gaya *drag* yang terjadi pada silinder sirkular dengan menggunakan saluran lebar *blokage ratio* 4 % [9]. Dengan adanya turbulator di depan silinder sirkular maka akan membuat aliran fluida lebih turbulen sehingga diharapkan dapat melawan *adverse pressure gradient* yang terjadi, karena pada aliran yang turbulen memiliki momentum kecepatan yang cukup besar, sehingga akan menunda titik separasi dan daerah *wake* yang terbentuk pun akan menjadi lebih sempit [10] [11].

Penggunaan batang pengontrol atau turbulator tidak hanya berbentuk *circular cylinder* saja, tetapi bisa bentuk lainnya. Penelitian dengan variasi benda uji berupa *circular cylinder*, *square cylinder* dan *oriented square cylinder* dengan panjang sisi 20 mm dilakukan oleh [12]. Penelitiannya dengan menggunakan metode *digital particle image velocimetry (DPIV)* dan dilakukan pada *close loop free surface water channel*. Dari penelitiannya didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan *square cylinder* ataupun *oriented square cylinder* menghasilkan nilai intensitas turbulensi yang lebih besar daripada penggunaan *circular cylinder*, hal ini dapat dilihat dari nilai kandungan energi turbulennya.

III. METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimen. Skema penelitian berupa konfigurasi silinder sirkular tunggal dengan penambahan *square* dan *circular turbulator*. Silinder sirkular memiliki diameter 37,5 mm ($d/D_h = 0,3$). Turbulator mempunyai panjang sisi 4 mm ($s/D_h = 0,032$). Variasi posisi sudut untuk *turbulator* pada penelitian ini adalah sudut $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ dan 60° . Sedangkan *gap* antara *turbulator* dengan silinder sirkular dibuat konstan pada jarak 0,4 mm. Skema dari penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 1.

Peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini meliputi *wind tunnel*, *tes section*, *inverter*, *transducer*, data akuisisi (DAQ) dan *pitot tube*. Untuk pengujian dilakukan dalam skala model. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *wind tunnel* yang pembuatan kondisi-kondisinya mendekati kenyataan, sehingga hasilnya pun cukup akurat dan memadai. *Wind tunnel* yang digunakan dalam percobaan ini adalah *wind tunnel* jenis *open circuit wind tunnel*. Dimana udara yang dialirkan dalam *wind tunnel* langsung dilepas bebas ke udara bebas setelah melalui *work section*. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang akurat diperlukan alat ukur. Pada eksperimen ini untuk mendapatkan tekanan statis dan tekanan stagnasi digunakan *wall-pressure tap*, *pitot static tube* dan *pressure transducer*. Untuk performance dari *pressure transducer* dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1. Detail Eksperimen a) silinder sirkular dengan *square turbulator (ST)* b) Silinder sirkular dengan *circular turbulator (CT)*

Tabel 1. Performance dari pressure transducer

| | |
|-----------------------|------------------------------|
| Specifications | PX-653 |
| Excitation | 12 to 36 Vdc |
| Output | 1 to 5 Vdc (2 wire) |
| Linearity | 0.3% FS (BFSL) |
| Hysteresis | 0.02% FS |
| Repeatability | 0.05% FS |
| Operating Temperature | -29 to 72 °C (-20 to 160 °F) |
| Pressure Range | 0 - 1" WC (248,18 Pa) |

Karakteristik aliran didalam saluran yang ditinjau adalah *pressure drop*, distribusi tekanan (C_p) dan koefisien *drag pressure* (C_{dp}). Pengukuran *pressure drop* digunakan untuk mengetahui kehilangan tekanan akibat gesekan pada saluran. Pengambilan data *pressure drop* dilakukan pada *Reynolds Number* $11,6 \times 10^4$, dengan *Reynolds Number* berdasarkan diameter hidrolis saluran. Untuk pembacaan data *pressure drop* digunakan *pressure tap* pada *wall wind tunnel*. Sedangkan pembacaan data distribusi tekanan dan *drag coefficient pressure* digunakan *wall-pressure tap* pada kontur silinder, yang dihubungkan dengan *pressure transducer* dan data akuisisi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini ditampilkan data hasil eksperimen berupa grafik beserta penjelasannya. Data terdiri dari grafik *pressure drop* (ΔP), koefisien tekanan (C_p) dan koefisien *drag pressure* (C_{dp}) dari setiap konfigurasi benda uji yang dilakukan. Adapun grafik yang ditampilkan adalah konfigurasi saluran dengan silinder sirkular dan saluran dengan silinder sirkular tunggal ditambah *square* dan *circular turbulator* disisi *upstream* silinder sirkular.

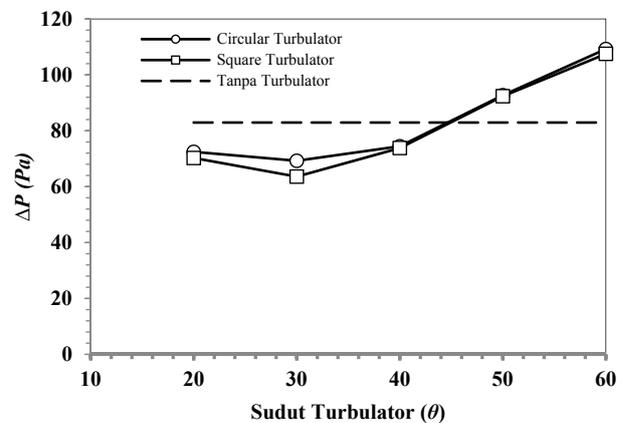
A. Pressure Drop

Pressure drop didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet* dan *pressure tap outlet* yang terdapat pada *test section*. Gambar 2 merupakan grafik nilai *pressure drop* yang dihasilkan oleh saluran dengan konfigurasi silinder sirkular tunggal $d/D_h = 0,3$ dan saluran dengan penggunaan silinder sirkular tunggal dengan penambahan *square* dan *circular turbulator*. Hitung nilai ΔP menggunakan persamaan 1:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_{lt} = h_{lmayor} + h_{lminor} \quad (1)$$

Pada gambar 2 secara umum terlihat bahwa nilai *pressure drop* yang dihasilkan oleh konfigurasi silinder sirkular tunggal ditambah *square* dan *circular turbulator* dengan sudut $\alpha = 30^\circ$ mempunyai nilai *pressure drop* terendah

dibandingkan saluran dengan silinder sirkular. Pada sudut ini terlihat bahwa nilai *pressure drop* yang dihasilkan oleh konfigurasi silinder sirkular tunggal dan *square turbulator* mempunyai nilai *pressure drop* terendah, diikuti oleh konfigurasi silinder sirkular tunggal dengan *circular turbulator*. Pada *square turbulator* memiliki nilai *pressure drop* sebesar 70,26 Pa dan *circular turbulator* sebesar 72,45. Informasi lain didapatkan bahwa penggunaan konfigurasi silinder sirkular dengan *square* dan *circular turbulator* juga efektif mengurangi nilai *pressure drop* pada sudut $\alpha = 20^\circ$ dan 40° . Sedangkan pada sudut $\alpha = 50^\circ$ dan 60° mempunyai nilai *pressure drop* yang jauh lebih besar daripada silinder sirkular tunggal, sehingga penggunaan konfigurasi ini tidak efektif lagi mereduksi nilai *pressure drop*.



Gambar 2. Pressure Drop

Hal ini diakibatkan karena penggunaan *square* dan *circular turbulator* membuat *headloss minor* yang terjadi semakin kecil. Dengan adanya *turbulator* maka terjadi interaksi antara *wake* yang terlepas dari *turbulator* dengan *boundary layer* pada silinder sirkular tunggal. Hal ini akan mempercepat transisi *boundary layer* pada silinder sirkular dari laminar ke turbulen. Aliran fluida yang lebih turbulen mengindikasikan momentum aliran yang terjadi lebih besar. Momentum aliran yang lebih besar membuat aliran mampu melawan *adverse pressure gradient* (*APG*) yang terjadi pada silinder sirkular tunggal. Akibatnya *wake* yang dihasilkan lebih sempit. *Wake* yang lebih sempit mengindikasikan gaya hambat yang lebih kecil. Dengan berkurangnya gaya hambat tersebut mengakibatkan *headloss minor* yang ditimbulkan juga akan semakin kecil, Maka nilai *pressure drop* yang terjadi akan semakin kecil.

Pada tabel 2 terlihat bahwa penggunaan dari *square turbulator* pada sudut $\alpha = 30^\circ$ dapat mereduksi *pressure drop* sebesar 23,33 %.

Sedangkan pada tabel 3 menunjukkan penggunaan *circular turbulator* pada $\alpha = 30^\circ$ hanya dapat mereduksi *pressure drop* sebesar 16,51 %. Hal ini menunjukkan bahwa momentum aliran yang dihasilkan akibat penggunaan dari *square turbulator* lebih besar dibandingkan penggunaan *circular turbulator*.

Tabel 2. *Pressure drop* pada saluran dengan penambahan *square turbulator* (ST)

| Variasi | ΔP (N/m ²) | ΔP (%) |
|--|--------------------------------|----------------|
| saluran + silinder sirkular | 82,95 | - |
| saluran + silinder sirkular + ST sudut 20 ⁰ | 70,26 | -15,30 |
| saluran + silinder sirkular + ST sudut 30 ⁰ | 63,59 | -23,33 |
| saluran + silinder sirkular + ST sudut 40 ⁰ | 73,82 | -11,01 |
| saluran + silinder sirkular + ST sudut 50 ⁰ | 92,35 | 11,34 |
| saluran + silinder sirkular + ST sudut 60 ⁰ | 107,50 | 29,61 |

Tabel 3. *Pressure drop* pada saluran dengan penambahan *circular turbulator* (CT)

| Variasi | ΔP (N/m ²) | ΔP (%) |
|--|--------------------------------|----------------|
| saluran + silinder sirkular | 82,95 | - |
| saluran + silinder sirkular + CT sudut 20 ⁰ | 72,45 | -12,66 |
| saluran + silinder sirkular + CT sudut 30 ⁰ | 69,25 | -16,51 |
| saluran + silinder sirkular + CT sudut 40 ⁰ | 74,46 | -10,24 |
| saluran + silinder sirkular + CT sudut 50 ⁰ | 92,71 | 11,78 |
| saluran + silinder sirkular + CT sudut 60 ⁰ | 109,24 | 31,70 |

B. Distribusi Tekanan (C_p)

Distribusi tekanan merupakan selisih antara tekanan statis pada kontur permukaan dengan tekanan statis *freestream* kemudian dibagi dengan tekanan dinamis, Nilai dari distribusi tekanan yang dibahas pada bagian ini adalah distribusi tekanan pada silinder tunggal dan distribusi tekanan pada silinder sirkular tunggal dengan penambahan *square* dan *circular turbulator*. Nilai distribusi koefisien tekanan diperoleh dari pembacaan dua *pressure tap* yang diletakkan pada sudut kontur 0⁰ dan 180⁰ dengan pengambilan data setiap interval 5⁰. Dalam analisa distribusi tekanan digunakan persamaan 2:

$$C_p = \frac{p_c - p_\infty}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2} \quad (2)$$

dimana :

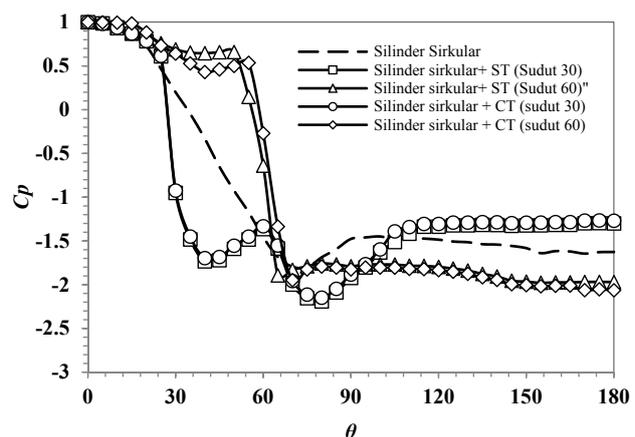
p_c = Tekanan statis pada kontur lokal

p_∞ = Tekanan statis aliran bebas

$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2$ = Tekanan dinamis aliran bebas

Pada gambar 3 terlihat distribusi tekanan yang terjadi sepanjang aliran melintasi silinder sirkular tunggal serta silinder sirkular dengan penambahan *square* dan *circular turbulator*. Dari gambar bisa dilihat bahwa titik stagnasi terjadi pada sudut 0⁰ dengan menghasilkan C_p dengan nilai 1. Pada silinder sirkular tunggal, aliran fluida dari titik stagnasi mengalami percepatan hingga kecepatan maksimal, ditandai dengan menurunnya C_p hingga tekanan minimum -1,79 pada sudut 70⁰. Terjadinya percepatan aliran ini disebabkan karena penyempitan *stream tube* dari titik stagnasi hingga pada titik dengan tekanan minimum, dalam artian aliran melalui daerah *favourable*. Setelah sudut 70⁰ aliran fluida mengalami perlambatan akibat *friction*, ini ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan meningkat dan mencapai nilai tertingginya pada sudut 90⁰. Pada sudut 90⁰ ini, aliran mengalami separasi. Titik separasi silinder sirkular tunggal ditandai dengan mulai mendatarnya distribusi koefisien tekanan.

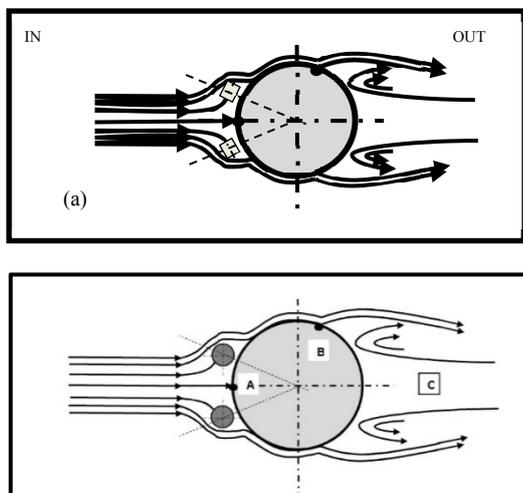
Separasi diakibatkan oleh momentum aliran yang tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga aliran mengalami pemisahan dari kontur bodi silinder sirkular. Dibelakang titik separasi, terdapat *shear layer* serta terbentuk *wake*. Pada eksperimen ini didapatkan nilai koefisien tekanan *base* (C_{PB}) sebesar -1.5 untuk silinder sirkular tunggal.



Gambar 3. Distribusi Tekanan

Berbeda halnya dengan distribusi tekanan pada silinder sirkular tunggal. Pada silinder sirkular dengan penambahan *square* dan *circular turbulator* sudut 30⁰, terlihat adanya fenomena *reattachment*, penundaan titik separasi serta nilai koefisien tekanan *base* (C_{PB}) yang lebih besar dari

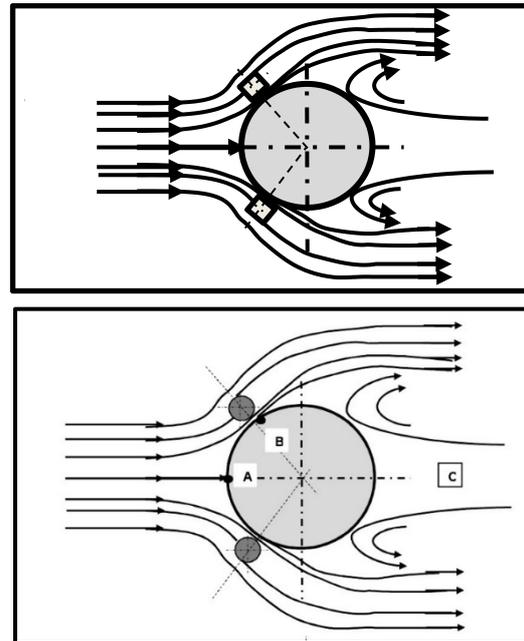
silinder sirkular tunggal. Distribusi koefisien tekanan mengalami penurunan pada silinder sirkular tunggal dengan penambahan *turbulator* hingga sudut 40° . Turunnya nilai distribusi kecepatan ini menandakan adanya sebuah percepatan aliran fluida. Setelah sudut 40° aliran fluida mengalami perlambatan akibat *friction*, ini ditandai oleh nilai distribusi koefisien tekanan meningkat dan mencapai nilai tertingginya pada sudut 60° . Pada sudut ini, aliran mengalami separasi. Setelah mengalami separasi, aliran kemudian menempel kembali pada kontur *body* silinder sirkular (*reattachment*) sehingga terjadi *mixing* antara *shear layer* yang terlepas dari turbulator dengan *boundary layer* silinder sirkular tunggal. Kemudian aliran tersebut mengalami percepatan hingga sudut 80° akibat momentum aliran yang besar. Setelah sudut 80° ini, aliran mengalami deselerasi atau perlambatan akibat *friction*, hingga akhirnya mengalami separasi aliran pada sudut 110° untuk silinder sirkular dengan penambahan *square turbulator*. Sedangkan titik separasi pada silinder sirkular dengan penambahan *circular turbulator* terjadi pada sudut 105° . Untuk melihat pola aliran pada silinder sirkular dengan penambahan turbulator, dapat dilihat topologi aliran pada gambar 4.



Gambar 4. Topologi aliran dengan turbulator pada sudut 30° a) *square* turbulator, b) *circular* turbulator

Sedangkan distribusi tekanan pada silinder sirkular dengan penambahan *square* dan *circular turbulator* menunjukkan separasi aliran terjadi pada sudut 75° (gambar 3). Adapun nilai koefisien tekanan *base* bernilai -1,90. Ini menunjukkan penggunaan dari *square* dan *circular turbulator* tidak efektif lagi pada sudut 60° . Untuk melihat

pola aliran pada silinder sirkular tunggal dengan penambahan *square* dan *circular turbulator* sudut 60° , dapat dilihat topologi aliran pada gambar 5.



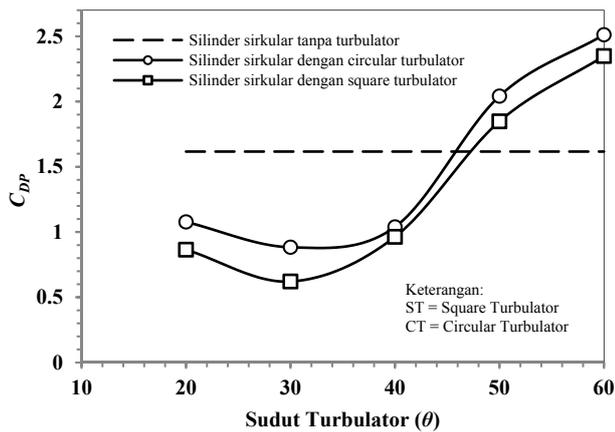
Gambar 5. Topologi aliran dengan turbulator pada sudut 60° a) *square* turbulator, b) *circular* turbulator

C. Koefisien Drag Pressure

Koefisien *drag pressure* merupakan bilangan tak berdimensi yang terdapat pada gaya *drag*. Koefisien *drag pressure* dalam eksperimen ini didapatkan dari integrasi numerik distribusi koefisien tekanan pada silinder sirkular. Kemudian dengan menggunakan rumus maka didapatkan perhitungan koefisien *drag pressure* (C_{Dp}). Rumus yang digunakan adalah persamaan 3:

$$C_{Dp} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta \quad (3)$$

Nilai koefisien *drag pressure* berkaitan erat dengan nilai distribusi koefisien tekanan (C_p). Pada gambar 6 merupakan grafik nilai koefisien *drag pressure* (C_{Dp}) pada silinder sirkular tunggal serta silinder sirkular dengan penambahan *square* dan *circular turbulator*. Nilai koefisien *drag pressure* (C_{Dp}) dari penggunaan *turbulator* lebih kecil pada sudut $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ dan 40° , dibandingkan dengan nilai koefisien *drag pressure* (C_{Dp}) dari silinder sirkular tunggal. Sedangkan pada *turbulator* dengan sudut $\alpha = 50^\circ$ dan 60° , nilai C_{Dp} yang dihasilkan lebih besar daripada nilai C_{Dp} silinder sirkular tunggal. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya besarnya sudut dari *turbulator*, maka *blockage ratio* yang dihasilkan semakin besar, sehingga nilai C_{Dp} semakin besar.



Gambar 6. Drag coefficient pressure

Untuk lebih jelasnya mengenai nilai koefisien drag pressure (C_{Dp}) masing-masing konfigurasi. Tabel 4 menunjukkan nilai C_{Dp} untuk silinder sirkular serta silinder sirkular dengan penambahan *square* dan *circular turbulator*. Pada tabel terlihat penggunaan dari *square turbulator* memiliki nilai C_{Dp} paling kecil. Penempatan *square* dan *circular turbulator* paling efektif diletakkan pada sudut 30° dengan nilai C_{Dp} terendah. Ini membuktikan penggunaan *turbulator* efektif mengurangi nilai C_{Dp} pada silinder sirkular tunggal.

Tabel 4. Nilai C_{Dp} silinder sirkular dengan tambahan *square turbulator* (ST) dan *circular turbulator* (CT)

| Posisi Sudut Turbulator | Koefisien Drag Pressure (C_{Dp}) | | |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Silinder Sirkular | Silinder Sirkular + ST | Silinder Sirkular + CT |
| - | 1.62 | - | - |
| sudut 20° | - | 0.86 | 1.08 |
| sudut 30° | - | 0.62 | 0.88 |
| sudut 40° | - | 0.96 | 1.04 |
| sudut 50° | - | 1.85 | 2.04 |
| sudut 60° | - | 2.35 | 2.51 |

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

Penempatan *square* dan *circular turbulator* dengan sudut $\alpha = 20^\circ$, 30° dan 40° efektif mereduksi *pressure drop* dan C_{Dp} . Reduksi *pressure drop* dan C_{Dp} tidak efektif lagi ketika *turbulator* dipasang pada sudut $\alpha = 50^\circ$ dan 60° . Hal ini diakibatkan pada sudut $\alpha = 20^\circ$, 30° dan 40° , *shear layer* yang terlepas dari *square* dan *circular turbulator* mampu mengakitasi *boundary layer* dari silinder sirkular tunggal. Sehingga mempercepat transisi *boundary layer* dari laminar ke turbulen pada silinder sirkular tunggal. Sedangkan pada sudut $\alpha = 50^\circ$ dan 60° , *shear layer* yang dihasilkan *turbulator* terdefleksi

kesisi luar silinder sirkular tunggal dan tidak mampu *reattachment* terhadap silinder sirkular tunggal. Hal ini mengakibatkan titik separasi dari silinder sirkular tunggal terjadi lebih awal dan *wake* yang dihasilkan oleh silinder sirkular tunggal lebih lebar. kondisi *wake* yang lebih lebar mengindikasikan gaya hambat juga besar pada silinder sirkular. Sehingga dengan meningkatnya gaya hambat pada silinder sirkular tunggal maka juga akan meningkatkan *pressure drop* pada saluran. Selain itu, dibandingkan dengan penggunaan *circular turbulator*, penggunaan *square turbulator* lebih efektif mereduksi nilai *pressure drop* dan nilai C_{Dp} . Reduksi nilai *pressure drop* dan C_{Dp} terbaik pada silinder sirkular dengan penambahan *square turbulator* terjadi pada sudut 30° . Penggunaan dari *square turbulator* menghasilkan momentum aliran yang lebih besar dibandingkan penambahan *circular turbulator* pada silinder sirkular tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Yuvenda, "Karakterisasi Performa Mesin Sistem Dual Fuel Menggunakan Pressure Reducer Adaptive Dengan Variasi Konstanta (K) Pegas Helix Tekan Dan Tekanan," no. 2014, pp. 1–8, 2015.
- [2] D. Yuvenda, B. Sudarmanta, and E. Alwi, "Analisis Kekuatan Pegas Pressure Reducer Sebagai Penurunan Tekanan Pada Mesin Duel Fuel," vol. 17, no. 2, 2017.
- [3] P. J. Pritchard and J. C. Leylegian, *Introduction to Fluid Mechanics*, Eighth Edi. John Wiley & Sons, INC, 2011.
- [4] H. J. Niemann and N. Hölscher, "A review of recent experiments on the flow past circular cylinders," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 33, pp. 197–209, 1990.
- [5] P. D. Weidman, "Wake Transition and Blockage Effects on Cylinder Base Pressures," California Institute of Technology, 1968.
- [6] W. H. Bell, "Turbulence vs drag-some further considerations," *Ocean Eng.*, vol. 10, pp. 47–63, 1983.
- [7] P. W. Bearman and T. Morel, "Effect of free stream turbulence on the flow around bluff bodies," *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 20, pp. 97–123, 1983.
- [8] A. Daloglu, "Pressure drop in a channel with cylinders in tandem arrangement," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 35, pp. 76–83, 2008.
- [9] M. M. Alam, H. Sakamoto, and M. Moriya, "Reduction of fluid forces acting on a single circular cylinder and two circular cylinders by using tripping rods," *J. Fluids Struct.*, vol. 18,

- pp. 347–366, 2003.
- [10] W. A. Widodo and R. P. Putra, “Reduction of drag force on a circular cylinder and pressure drop using a square cylinder as disturbance body in a narrow channel,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 493, pp. 192–197, 2014.
- [11] Putra, Randi Purnama, Sutardi, and Wawan Aries Widodo. "The study on the effect of inlet disturbance body insertion on the flow pressure drop in a 90° square elbow." In AIP Conference Proceedings, vol. 1983, no. 1, p. 020016. AIP Publishing, 2018.
- [12] M. Ozgoren, “Flow structure in the downstream of square and circular cylinders,” *Flow Meas. Instrum.*, vol. 17, pp. 225–235, 2006.

Biodata Penulis

Randi Purnama Putra, lahir di Padang, 28 Juli 1988. Sarjana Pendidikan Teknik Otomotif dari Universitas Negeri Padang, lulus 2011. Tahun 2013 memperoleh gelar Magister Teknik Mesin Bidang Keahlian Rekayasa Konversi Energi pada Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Staf pengajar pada Jurusan Teknik Otomotif FT UNP sejak tahun 2013-sekarang. Beberapa tema unggulan dalam penelitian penulis antara lain internal flow, aerodinamika kendaraan dan motor bakar dll.

Bahrul Amin, lahir di Palembang, 12 Februari 1963. Merupakan staf pengajar di jurusan Teknik

Otomotif FT UNP mulai dari tahun 1986 hingga Sekarang. Penulis menamatkan pendidikan level sarjana di prodi Pendidikan Teknik Otomotif UNP dan Prodi Teknik Mesin di STTP Padang. Jenjang Magister Pendidikan di prodi Pendidikan Teknologi Kejuruan Universitas Negeri Padang. Beberapa tema unggulan dalam penelitian penulis antara lain mekanika fluida, motor bensin, dan pendidikan teknologi kejuruan dll.

Dori Yuvenda, lahir di Bukittinggi, 1 November 1988. Merupakan staf pengajar di jurusan Teknik Otomotif FT UNP mulai dari tahun 2015 hingga Sekarang. Penulis menamatkan pendidikan level sarjana di prodi Pendidikan Teknik Otomotif FT UNP dan Jenjang Magister Teknik di prodi Teknik Mesin Bidang Keahlian Rekayasa Konversi Energi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Beberapa tema unggulan dalam penelitian penulis antara lain motor bakar, mekanika fluida dll.

Nuzul Hidayat, lahir di Tigo Suku, 16 Januari 1987. Merupakan staf pengajar di jurusan Teknik Otomotif FT UNP mulai dari tahun 2013 hingga Sekarang. Penulis menamatkan pendidikan level sarjana di prodi Pendidikan Teknik Otomotif FT UNP dan Jenjang Magister Teknik di prodi Teknik Mesin Bidang Keahlian Rekayasa Konversi Energi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Beberapa tema unggulan dalam penelitian penulis antara lain mekanika fluida, motor diesel dll.