

PENGARUH UKURAN *PITCH* PADA *VERTICAL RECTANGULAR RIB TURBULATOR* TERHADAP ALIRAN FLUIDA

Mohamad Derry Afandi, Denny Widhiyanuriyawan, Suharto

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: mohderryst@gmail.com

ABSTRAK

Pemanas air tenaga matahari lebih efektif dengan merubah aliran dari fluida kerjanya menjadi bentuk turbulen seperti penelitian yang dilakukan oleh rahmat (2016) yang meneliti pengaruh penambahan *turbulator* pada instalasi pemanas air tenaga matahari pelat ganda, adanya *turbulator* menambahkan koefisien perpindahan panas dengan meningkatkan pusaran yang terjadi pada fluida dari pemanas air tenaga matahari, tetapi tidak ada penelitian secara khusus tentang *turbulator* yang digunakan sehingga diharapkan dari penelitian ini didapatkan karakteristik pola alirannya.

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah lebar *pitch* pada *turbulator* sebesar 10mm, 15mm, 25mm dengan *gap to height ratio* <1 , >1 dan $=1$. Sudut kemiringan instalasi *turbulator* yaitu 0° ; 10° ; 20° ; 30° ; 40° ; 50° ; 60° ; 70° ; 80° ; 90° serta bilangan Reynold air sebesar 846 dan 1411. Variabel terikat pada penelitian ini adalah jumlah celah yang tervisualisasi pewarna dan juga bentuk pusaran yang tervisualisasi serta variabel terkontrol pada penelitian ini adalah penampang *turbulator* dan debit pewarna. Dari hasil penelitian menunjukkan bilangan Reynolds yang tinggi menyebabkan persentase jumlah celah yang terisi semakin sedikit, semakin lebar *gap* pada *turbulator* membuat bentuk pusaran cenderung elip dan berkembang membesar sedangkan semakin sempit *pitch* membuat bentuk pusaran menjadi menyerupai lingkaran dan berukuran kecil, persentase jumlah celah yang terisi semakin sedikit ketika sudut *turbulator* mencapai 90° dan terjadi fenomena lompatan pada *turbulator* dengan $w/k < 1$ dan *pitch* 10mm.

Kata Kunci: *vertical rectangular turbulator rib*, pusaran, visualisasi, *pitch*.

ABSTRACT

Solar water heater is more effective by changing the flow of fluid to form turbulent as the research conducted by rahmat (2016) who have studied the effect of adding turbulator on the installation of solar water heater doubles plates, the turbulator increase the heat transfer coefficient with increasing vortex that occurs in fluid from the solar water heater, but there is no specifically research about the use of the turbulator, the expect from this study is we can determine the characteristics of the flow pattern.

The variation that used in this study is the width of the pitch of the turbulator of 10mm, 15mm, 25mm with a gap to height ratio <1 , >1 , and $=1$. The tilt angle of turbulator installation is 0° ; 10° ; 20° ; 30° ; 40° ; 50° ; 60° ; 70° ; 80° ; 90° and Reynolds number is 846 and 1411. In this study we can determine the number of loopholes that visualized with dyes and also the vortex forms when it visualized.

The results showed that higher Reynolds number make percentage of the gap that visualized decreased, the widening gap in tubulator create eddies tend elliptic shape and evolving enlarged while the narrower pitch made into a vortex shape resembles a circle and small size. In this study, the percentage of the gap that visualized a significant decrease when angle reaches 90° and occurred dye leap phenomenon on turbulator with $w/k < 1$ and 10mm pitch.

Keywords: *Vertical Rectangular Rib Turbulator, Vortex, Visualized, Gap To Height.*

PENDAHULUAN

Pemanas air tenaga matahari merupakan alat pemanas air yang memanfaatkan energi panas dari sinar matahari. Penggunaan pemanas air tenaga matahari memiliki beberapa keunggulan yaitu perawatannya sangat jarang sekali, instalasi yang sangat mudah diterapkan pada berbagai macam bangunan, tidak merupakan salah satu perangkat yang mendukung penggunaan energi terbarukan dan untuk perangkatnya sangat terjangkau karena merupakan investasi jangka panjang dimana bebas dari biaya berbagai penggunaan alat elektronik dan gas sehingga kita dapat menghemat lebih banyak uang.

Meningkatnya kebutuhan energi thermal yang bersumber pada energi matahari dari tahun – ketahun seperti yang tercatat oleh International Energy Agency Solar Heating and Cooling (IEA SHC) pada akhir tahun 2015 dibutuhkan energi thermal sebesar 435 GW memicu dikembangkannya Pemanas air tenaga matahari yang lebih baik

Pemanas air tenaga matahari dapat lebih efektif dengan merubah aliran dari fluida kerjanya menjadi bentuk turbulen seperti penelitian yang dilakukan oleh rahmat (2016) yang meneliti pengaruh penambahan *turbulator* pada instalasi pemanas air tenaga matahari pelat ganda, pada penelitian tersebut dengan adanya *turbulator* menambahkan koefisien perpindahan panas dengan meningkatkan pusaran atau pusaran yang terjadi pada fluida dari pemanas air tenaga matahari.

Karena digunakan pada plat ganda maka *turbulator* yang dibutuhkan juga harus dirancang secara khusus dan salah satunya berbentuk *vertical rectangular rib* dimana *turbulator* jenis ini dapat diaplikasikan dalam penampang yang begitu besar sehingga dapat pula mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi dalam peralatan. Penelitian ini berfokus pada gambaran secara umum visual pola aliran yang terjadi pada *vertical rectangular rib turbulator* dengan

menggunakan pewarna jika dialiri aliran laminar sesuai dengan perangkat yang ada saat ini, dengan beberapa variasi kemiringan instalasi pemanas air, bilangan Reynolds air dan jarak antar *turbulator*. Diharapkan dari penelitian ini didapatkan karakteristik pola aliran dengan variasi bilangan Reynolds, kemiringan dan jarak antar *turbulator* yang digunakan untuk perangkat pemanas air tenaga matahari.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan secara langsung untuk mendapatkan data sebab dan akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh variasi bilangan Reynolds, kemiringan, *pitch* pada *vertical rectangular rib turbulator* terhadap karakteristik aliran.

Variabel – variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti serta harganya dapat diubah – ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas pada penelitian ini adalah:

- Sudut : 0°; 10°; 20°; 30°; 40°; 50°; 60°; 70°; 80°; 90°.
- Gap to height : 0, >1 dan <1.
- *Pitch* : 10mm , 25mm, 15mm.
- Bilangan Reynolds : 846; 1411.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah:

- Waktu visualisasi aliran

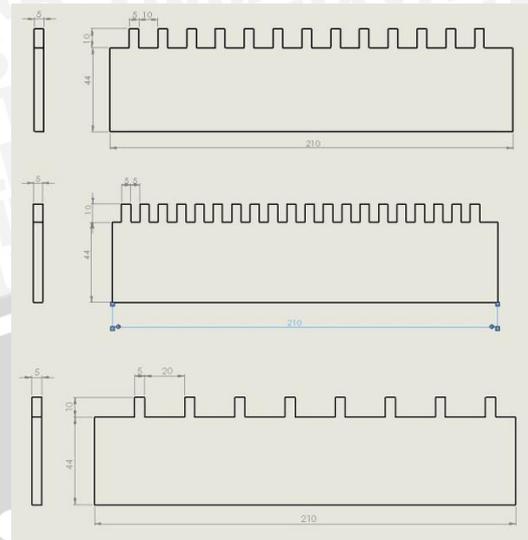
mencapai konstan.

- Jumlah celah yang terisi pewarna.
- Bentuk pusaran

3. Variabel terkontrol

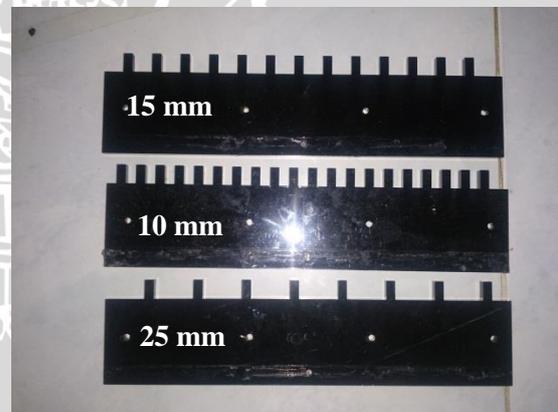
Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dikondisikan konstan. Variabel terkontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah penampang turbulence promoter dan debit pewarna.

Membuat desain *turbulator* sesuai penelitian yang dibutuhkan. Menyiapkan bahan pembuatan *turbulator*, berbahan akrilik bening dan hitam dengan tebal 3mm, dan 5mm, Memotong pola dari akrilik, dengan menggunakan pemotongan laser.. Merangkai bagian – bagian dari pola yang sudah dipotong sehingga membentuk *turbulator*. Memasang saluran masuk dan keluar air dari instalasi *turbulator*. . Kemudian memasang selang pada keran sumber air {PDAM) menuju flowmeter dan dipasangkan pada saluran masuk *turbulator*. kemudian memasang saluran pewarna menuju *turbulator*, .yang dilanjutkan pemasangan tangki penetap ketinggian pewarna. kemudian instalasi *turbulator* yang sudah terangkai dengan frame siap untuk diuji.



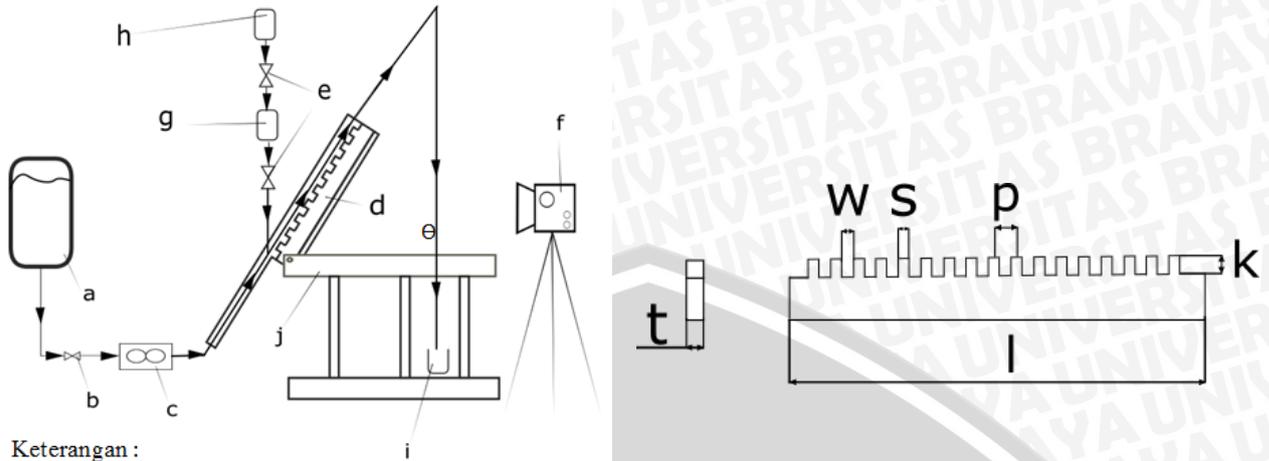
Gambar 1. Desain *turbulator vertical rectangular* dengan variasi lebar *pitch*

Setelah itu dilakukan proses pembuatan *turbulator* dengan akrilik sebagai bahan material *turbulator* dengan menggunakan pemotongan laser, sehingga didapatkan *vertical rectangular rib turbulator* dengan variasi seperti pada gambar 2



Gambar 2. *Turbulator vertical rectangular rib* dengan variasi lebar *pitch*

Setelah semua bahan pembuatan alat siap kemudian disusun dan dirangkai pada peralatan yang dibutuhkan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Keterangan :

- a. Sumber Air (Tanki air)
- b. Keran
- c. Flowmeter
- d. Perangkat Penelitian
- e. Roller Clamp
- f. Kamera
- g. Tangki Pewarna
- h. Tangki Penetap Ketinggian Pewarna
- i. Wadah penampung
- j. frame

Gambar 3. Instalasi Penelitian dan skema umum *turbulator vertical rectangular rib*

Diameter hidrolik pada pipa saluran masuk yang benampang kotak dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Dh = \frac{2 \cdot l \cdot t}{(l + t)}$$

Dimana :

Dh = Diameter hidrolik (mm)

l = Lebar saluran masuk (mm)

t = Tinggi saluran masuk (mm)

Maka diperoleh Diameter hidrolik saluran masuk :

$$Dh = \frac{2 \cdot 5mm \cdot 3mm}{(5 + 3)mm}$$

$$Dh = 3,75mm$$

Fluida yang melewati pipa harus dijaga dalam bentuk aliran laminar maka untuk menentukan kecepatan aliran dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$v = \frac{q}{(l \cdot t)}$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran (m/s)

$Q =$ Bilangan Reynolds air [0,000004167 m³/s]

Sehingga didapatkan :

$$V = \frac{0,000004167}{\frac{\pi(0,00375^2)}{4}}$$

$$V = 0,3771 \text{ m/detik}$$

Untuk menentukan jenis dari aliran yang mengalir pada perangkat penelitian maka perlu ditentukan bilangan Reynoldnya sehingga aliran terjaga pada bentuk laminar dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot Dh}{\mu}$$

Di mana :

Re = Bilangan Reynoldss

ρ = Massa jenis air [998 kg/m³]

v = Kecepatan (m/s)

Dh = Diameter hidrolik saluran masuk (mm)



Maka :

$$Re = \frac{998 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,3771m}{s} \cdot 0,00375m$$

$$Re = \frac{0,001}{0,001} = 1411,31$$

Hydrodynamic entry length pada pipa diperlukan untuk mencari jarak fluida dapat berkembang penuh dalam pipa, karena fluida dikondisikan dalam aliran laminier *Hydrodynamic entry length* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$El = 0,06 \cdot Re \cdot Dh$$

Dimana :

El = *Hydrodynamic entry length* (m)

Re = Bilangan Reynolds

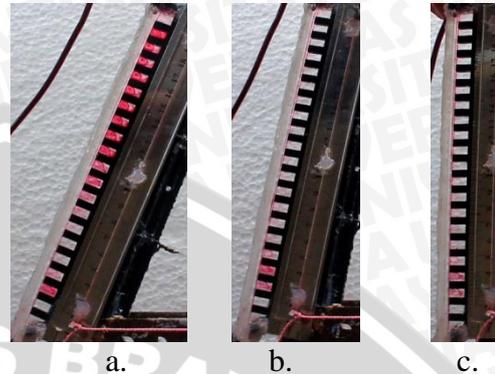
Dh = Diameter hidrolis (m)

Maka didapatkan *Hydrodynamic entry length* sepanjang:

$$El = 0,06 \cdot 1411,31 \cdot 0,00375$$

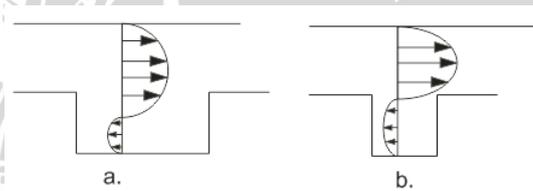
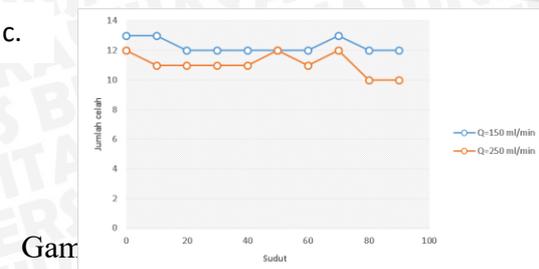
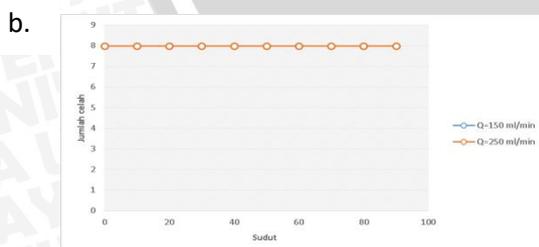
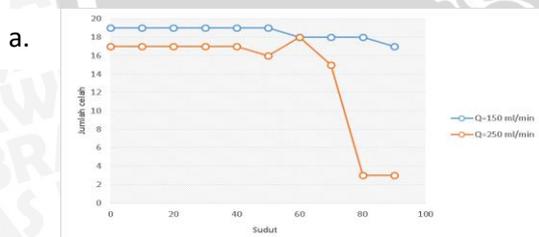
$$El = 0,3175 m$$

turbulator terhadap panjang visualisasi pewarna a. *Turbulator* dengan *pitch* w/h <1. (b) >1. (c) = 0.

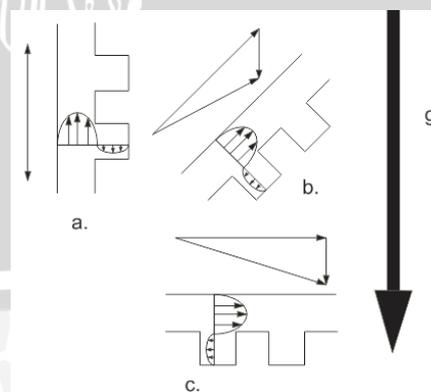


Gambar 5 Fenomena pada *turbulator* dengan w/k <1 dan *pitch* 10mm dengan variasi (a) sudut 70 Re = 1411 (b) sudut 80 Re = 1411 dan (c) sudut 90 Re = 1411.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 6 Profil kecepatan pada (a) *turbulator* dengan w/k >1 dan *pitch* 25mm dan (b) *turbulator* dengan w/k <1 dan *pitch* 10mm .



Gambar 7 Vektor kecepatan pada *turbulator* akibat (a) sudut 90 ° (b) sudut 45 ° dan (c) sudut 0 °.

Terlihat pada gambar 4 (a) bahwa semakin besar nilai bilangan Reynolds maka jumlah persentase jumlah celah yang terisi semakin sedikit dikarenakan kecepatan aliran yang cepat melempar pewarna pada celah yang lebih jauh. Pada gambar 4 (b) terlihat tidak terjadi penurunan persentase jumlah celah disebabkan jarak celah yang lebar sehingga pewarna yang terlempar jauh masih dapat tertampung oleh celah awal dan pada gambar 4 (c) terlihat terjadi penurunan persentase jumlah celah yang penyebabnya sama dengan gambar 4 (a) akibat lemparan aliran fluida yang bergerak lebih cepat.

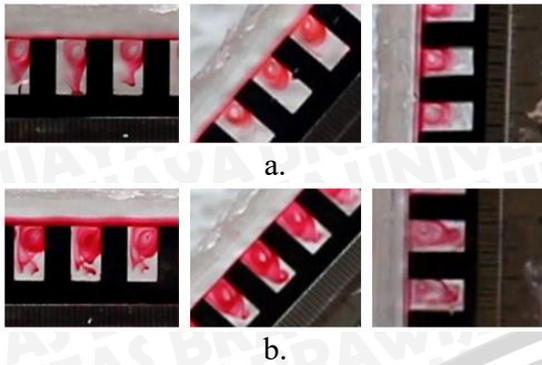
Pada gambar 4 (a) *turbulator* dengan $w/k < 1$ dan *pitch* 10mm juga terlihat bahwa distribusi pewarna yang terjadi memiliki kecenderungan yang sama dimana distribusinya terjadi secara berurutan dimulai dari *rib* pada dekat saluran masuk *turbulator* sampai saluran akhir tetapi pada sudut 70° , 80° , 90° dan $Re = 1411$ terjadi sebuah fenomena distribusi pewarna secara acak seperti yang terlihat pada gambar 5 (a), (b), dan (c) fenomena ini hanya terjadi pada *ribs* yang mempunyai jarak celah 5 mm karena perbedaan penampang yang lebih kecil sehingga kecepatan alirannya semakin besar dimana pernyataan ini sesuai dengan hukum kontinuitas dan pewarna tidak sempat masuk kedalam *ribs* membentuk daerah resirkulasi seperti yang diperlihatkan pada gambar 6, sedangkan pengaruh kemiringan dari fenomena ini disebabkan oleh gaya gravitasi semakin menuju sudut 90° pengaruhnya menjebak pewarna semakin menghilang seperti diperlihatkan pada gambar 7, sehingga membuat vector kecepatan dari suatu aliran tidak memiliki arah menuju celah *ribs* sehingga setelah memasuki 3 *ribs* awal, pewarna terlempar dan tidak memasuki celah sesudahnya ini terlihat pada gambar 5 (b) dan (c).

Pada gambar 4 (b) *turbulator* dengan $w/k > 1$ dan *pitch* 25mm terlihat bahwa distribusi pewarna yang terjadi

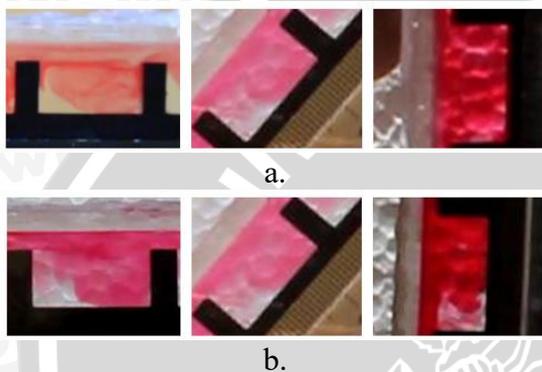
memiliki kecenderungan yang sama dimana distribusinya terjadi secara berurutan dimulai dari *rib* pada dekat saluran masuk *turbulator* hingga saluran akhir pada *turbulator* dengan $w/k > 1$ dan *pitch* 25mm tidak terjadi fenomena seperti pada *turbulator* dengan $w/k < 1$ dan *pitch* 10mm dikarenakan celah antar *ribs* yang panjang sehingga pewarna secara konstan masuk kedalam setiap celah tanpa adanya pengaruh gaya gravitasi dan vektor kecepatan yang terjadi pada celah juga semakin lambat dikarenakan penampang yang lebih luas sehingga pewarna dapat terjebak pada celah dan menghasilkan daerah resirkulasi.

Pada gambar 4 (c) *turbulator* dengan $w/k = 1$ dan *pitch* 15mm terlihat bahwa distribusi pewarna yang terjadi memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan *turbulator* sebelumnya dimana distribusinya terjadi secara berurutan dimulai dari *ribs* pada dekat saluran masuk *turbulator* sampai saluran akhir, tidak terjadi lompatan pewarna pada *turbulator* ini dikarenakan ukuran celah *ribs* masih cukup panjang untuk menjebak pewarna sehingga terjadi pusaran, pada *turbulator* ini gaya gravitasi tidak menimbulkan efek lompatan antar *turbulator* yang jauh.

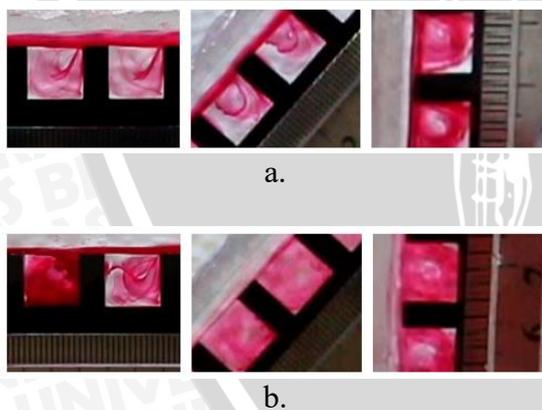
Ketika gambar 4 (a), (b), dan (c) dibandingkan, maka terlihat di *turbulator* dengan $w/k > 1$ dan *pitch* 25mm tidak terjadi penurunan persentase jumlah celah yang terisi pada beberapa kemiringan karena memiliki jarak celah yang paling lebar. Terlihat bahwa semakin banyak *rib* yang digunakan seperti pada *turbulator* dengan $w/k < 1$ maka terjadi penurunan pada saat sudut menuju 90° , hal ini terjadi karena pengaruh gaya gravitasi yang semakin berkurang dan juga kecepatan aliran yang semakin cepat, sehingga tidak sempat masuk mengisi celah.



Gambar 8 Bentuk pusaran pada *turbulator* dengan $w/k < 1$ dan *pitch* 10mm pada (a) $Re = 846$ dan (b) $Re = 1411$.



Gambar 9 Bentuk pusaran pada *turbulator* dengan $w/k > 1$ dan *pitch* 25mm pada (a) $Re = 846$ dan (b) $Re = 1411$.



Gambar 10 Bentuk pusaran pada *turbulator* dengan $w/k = 1$ dan *pitch* 15mm pada (a) $Re = 846$ dan (b) $Re = 1411$.

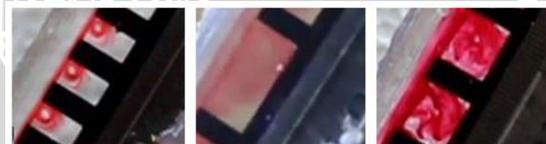
Pola pusaran yang terjadi pada *turbulator* dengan $w/k < 1$ dan *pitch* 10mm memiliki kecenderungan bentuk yang menyerupai antar berbagai sudut hal ini dikarenakan celah antar *turbulator* yang terlalu pendek dan tidak sebanding dengan tingginya sehingga pusaran yang terjadi

hanya pada bagian atas dari celah dan tidak menyebar pada bagian bawah *turbulator*, titik pusat dari pusaran ini terjadi pada daerah yang dekat dengan ujung permukaan *turbulator*.

Turbulator dengan $w/k > 1$ dan *pitch* 25mm pada setiap variasi sudut dan bilangan Reynolds terlihat bahwa pusaran yang tergambaran memiliki kecenderungan bentuk yang sama. Pada *turbulator* ini pusaran cenderung mempunyai bentuk elips dikarenakan jarak *pitch* yang lebar membuat pusaran yang terbentuk berkembang dan mengisi semua bagian dari celah, titik pusat dari pusaran ini terjadi pada samping dekat dengan ujung *turbulator* saluran masuk.

Turbulator dengan $w/k = 1$ dan *pitch* 15mm terlihat pusaran yang tergambaran memiliki kecenderungan bentuk yang sama. Pusaran cenderung berkembang dan mencapai bentuk lingkaran sempurna. Ini dikarenakan lebar celah dan tinggi *rib* mempunyai ukuran yang sama yaitu 10 mm. oleh karena itu pusaran yang terbentuk berpusar hampir disetiap sisi dari celah *rib*, titik pusat pusaran terletak ditengah antara lebar dan tinggi *turbulator* sehingga tidak nampak daerah yang tidak terisi pewarna seperti yang ditunjukkan pada *turbulator* dengan $w/k = 1$ dan > 1 .

Perbandingan antara bentuk pusaran pada ketiga *turbulator* sebagai berikut:



Gambar 11 Perbandingan *turbulator* yang terjadi dengan sudut 50° dan bilangan Reynolds 250mm/min.

Pada gambar 11 *turbulator* dengan $w/k > 1$ dan *pitch* 25mm terlihat bahwa pusaran yang terjadi lebih kecil dari pada kedua *turbulator* lainnya, hal ini dikarenakan jarak celah yang lebih pendek sehingga pusaran tidak mengembang, pada gambar tidak terlihat zona *reattachment* dikarenakan pusaran yang

terbentuk tidak kembali menggabung dikarenakan jarak celah yang masih terlalu pendek meskipun pengujian menggunakan ukuran celah hingga 20 mm yang dilakukan pada *turbulator* dengan $w/k > 1$ dan *pitch* 25mm.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh hasil dari pengaruh *pitch* terhadap *vertical rectangular turbulator* pada aliran fluida, didapatkan bahwa :

1. Pada bilangan Reynolds yang tinggi persentase jumlah celah yang terisi oleh pewarna semakin sedikit karena pewarna masuk pada celah *rib* yang lebih jauh dari ujung saluran masuk, berbeda dengan bilangan Reynolds rendah dimana pewarna masuk di dekat ujung saluran masuk.
2. Dari penelitian yang telah dilakukan, bentuk pusaran yang terjadi pada celah *rib* tergantung pada lebar dari celah *rib*, dimana semakin lebar pusaran yang terjadi akan semakin berkembang membesar dan cenderung berbentuk elips sedangkan pada celah yang sempit membentuk pusaran yang kecil dan terjadi didekat ujung tinggi *rib*.
3. Pada sudut yang tinggi persentase jumlah celah yang terisi pewarna cenderung sedikit dikarenakan adanya pengaruh gaya gravitasi yang memberikan gaya penekanan pada pewarna untuk memasuki celah *rib* yang semakin berkurang.
4. Terjadi fenomena lompatan pada *turbulator* dengan $w/k < 1$ dan *pitch* 10mm dikarenakan panjang celah yang sempit sehingga pewarna tidak sempat masuk pada celah juga adanya pengaruh dari gaya gravitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Okamoto, S., Sheo, S., Nakaso, K., Morishita, H., Namiki, K. 1992. *Effect of Sectional Shape of Rib on Turbulent Shear Flow Over Rows of Two Dimensional Rib On A Ground Plane*. 11th Australasian Fluid Mechanics Conference University of Tasmania Australia.
- [2] Kiml, R., Mochizuki, S., Murata, A. 2001. *Effects of Rib Arrangements on Heat Transfer and Flow Behavior in a Rectangular Rib-Roughened Passage: Application to Cooling of Gas Turbine Blade Trailing Edge*. Journal of Heat transfer, August 2001 Volume 123.
- [3] Han, J. C., and Zhang, Y. M., 1992, "High Performance Heat Transfer Ducts with Parallel, Broken, and V-shaped rib," Int. J. Heat Mass Transf., 35, pp.513–523
- [4] Naphon, P., Nuchjapo, M., Kurujareon, J., *Tube Side Heat Transfer Coefficient and Friction Factor Characteristics of Horizontal Tubes with Helical Rib*, Energy Conservation and Management, 47(2006), 18-19, pp. 3031-3044
- [5] Wiraradi, Rahmat. 2016. Pengaruh *Turbulence Promoter* Terhadap Efisiensi Pemanas Air Tenaga Matahari Pelat Ganda. Malang : Universitas Brawijaya
- [6] Kang, C., Yang, K. 2016. *Characterization of Turbulent Heat Transfer in Ribbed Pipe Flow*. Journal of Heat Transfer ,April 2016 Volume 138.