

**NASKAH PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH**

**KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN  
TEKANAN *PIN FIN COOLING* SUSUNAN SEGARIS PADA  
TRAILING EDGES SUDU TURBIN GAS**



Tugas Akhir Ini Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana S-1  
Pada Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh :

**ADNAN ARIF FAISHAL**

**NIM : D200 110 079**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Naskah publikasi yang berjudul "Karakteristik Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan *Pin-Fin* Ellips Susunan Segaris Untuk Sistem Pendingin Internal Pada Sudu Turbin Gas" telah disetujui Pembimbing dan disahkan Ketua Jurusan sebagai syarat untuk memperoleh derajat S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

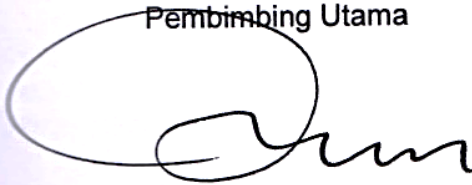
Dipersiapkan oleh :

Nama : **ADNAN ARIF FAISHAL**  
NIM : **D200 11 0079**

Disetujui pada :

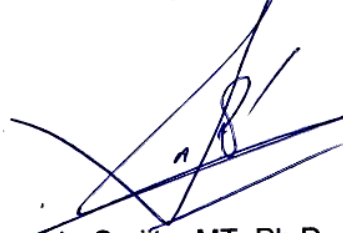
Hari : *Selasa*  
Tanggal : *2 Februari 2016*

Pembimbing Utama



Marwan Effendy, ST.,MT.,Ph.D

Pembimbing Pendamping



Ir. Sajiito, MT.,Ph.D

Ketua Jurusan



Tri Widodo Besar Riyadi, ST.,M.Sc.,Ph.D

# KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN *PIN FIN COOLING* SUSUNAN SEGARIS PADA *TRAILING EDGE* SUDU TURBIN GAS

**Adnan Arif Faishal, Marwan Effendy, Sarjito**  
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura.  
Email : adnan.arif693@gmail.com

## ABSTRAKSI

Penelitian dengan metode CFD ini membahas mengenai sistem pendingin pada turbin gas, model eksperimen terdiri dari tujuh barispin fin dengan susunan segaris. Simulasi dibagi dalam dua tipe, yaitu *warm test* dan *cold test*, *warm test* dilakukan pada kondisi isothermal dan digunakan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas, sedangkan *cold test* dilakukan dengan kondisi adiabatik digunakan untuk mengetahui faktor gesekan.

Penelitian dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama merupakan tahap validasi, dimana pada tahapan ini disimulasikan pin fin dengan konfigurasi selang-seling berdasarkan penelitian terdahulu. Tiga tipe *mesh* masing masing *mesh A* ( $\Delta y^+ = 11.83$ ) *mesh B* ( $\Delta y^+ = 4.53058$ ) dan *mesh C* ( $\Delta y^+ = 1.23$ ), akan disimulasikan dan hasilnya dibandingkan. Pada tahap kedua *mesh* dengan tingkat kesalahan terendah akan digunakan pada pengujian dengan konfigurasi pin fin segaris. Pada dua tahapan percobaan tersebut digunakan persamaan  $k-\epsilon$  sebagai *turbulence model*

Hasil penelitian menunjukkan *mesh C* yang memiliki  $\Delta y^+ = 1.23$  menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian terdahulu yang memiliki konfigurasi selang-seling, sehingga *mesh C* akan digunakan pada pengujian pin berkonfigurasi segaris. Jika konfigurasi segaris dan selang-seling dibandingkan, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi pin fin selang-seling memiliki nilai koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan yang lebih besar dari pada pin fin berkonfigurasi segaris. Nilai penurunan tekanan pada kedua konfigurasi menunjukkan tren kenaikan ketika angka Reynolds meningkat, sedangkan nilai koefisien perpindahan panas mengalami fluktuasi pada tiap susunan pin fin, hal ini terjadi karena luas penampang perpindahan panas dan angka Reynolds yang memiliki nilai beragam.

**Kata Kunci** : ***Computational Fluid Dynamics; Pin-fin Cooling; Koefisien perpindahan panas.***

# **A CFD PREDICTION OF “HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND PRESSURE LOSS” OF THE INLINE PIN-FINS COOLING OF GAS TURBINE BLADE**

**Adnan Arif Faishal, Marwan Effendy, Sarjito**

Department of Mechanical Engineering, Universitas Muhammadiyah  
Surakarta

Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura.

Email : adnan.arif693@gmail.com

## **ABSTRACT**

This CFD study presents the performance evaluation of a blade cooling passage. An experimental model with seven-row of inline circular pin-fins is chosen in this study. Simulations consider two types; i.e. ‘warm’ test with isothermal wall condition and ‘cold’ test with adiabatic wall condition respectively, in order to evaluate flow and thermal characteristics such as heat transfer coefficient (HTC) and friction factor (f).

The steady RANS with k-epsilon turbulence model was carried out by two-stages investigating: firstly, validation of an existing circular staggered array of pin-fin cooling that has been experimentally studied by other researcher. Three types structured mesh from coarse ( $\Delta y^+ = 11.83$ ) to fine ( $\Delta y^+ = 1.23$ ) were applied for validation. Secondly, further investigation of the circular pin-fin cooling with in-line array was simulated by adopting the same scenario of mesh generation based on the optimum result from validation stage. Simulations were performed by keeping the same initials and boundary conditions as experiment, and varying Reynolds number between 9.000 and 36.000.

The result indicates that the CFD predicted data can be considered acceptable by generating mesh up to 1.6 million elements with fine resolution ( $\Delta y^+ = 1.23$ ). The CFD predicted HTC and pressure loss are in good agreement with available experimental data, though over-prediction data is clearly seen after the second pin-fin row for warm simulation. By comparing the pin-fin array between “staggered” and “in-line”, it was found that the HTC of staggered array is higher than the in-line orientation. It is due to the staggered layout causes to intensify the coolant flow around the pin-fin. The HTC of pin-fins surface increases moderately along the cooling passage due to the increase of flow turbulence that caused by contraction channel and increasing Reynolds number. Whilst, the friction factor decreases gradually along the cooling passage.

***Key words : Pin-fin cooling; Computational fluid dynamics; Heat transfer coefficient***

## A. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Turbin gas adalah suatu penggerak mula yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja. Di dalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan roda turbin, sehingga menghasilkan daya. Putaran dari rotor turbin diakibatkan oleh adanya gas bertekanan yang melewati sudu-sudu turbin. Gas dengan tekanan tinggi didapatkan dari pembakaran bahan bakar dengan udara, sesaat sebelum masuk turbin. Ekspansi udara hasil proses pembakaran inilah yang digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin.

Untuk mencapai efisiensi termal yang tinggi dan tenaga maksimal, turbin gas membutuhkan temperatur yang tinggi. Hal ini mengakibatkan permukaan sudu turbin memiliki temperatur yang tinggi pula. Menurut Han (2004), temperatur pada permukaan sudu turbin sekitar 1200-1500°C.

*Trailing Edge* merupakan bagian yang penting pada sudu turbin gas karena terkena beban termal yang tinggi, sehingga dibutuhkan sebuah sistem pendinginan yang efektif untuk menjaga sudu turbin agar tidak cepat rusak dan turbin gas tetap memiliki efisiensi yang tinggi. Sistem pendingin yang digunakan pada turbin gas adalah dengan menggunakan cairan dan udara. Cairan yang digunakan adalah minyak pelumas, sedangkan udara didapat dari kompresor dibagian depan mesin jet, udara ini dialirkan melalui lubang-lubang kecil yang ada pada bagian dalam *blades* turbin, selanjutnya untuk meningkatkan transfer panas, pada bagian *trailing edge* dibuat sebuah susunan lubang-

lubang. Sistem pendinginan menggunakan lubang-lubang kecil pada *trailing edge* sudu turbin ini disebut dengan *pin fin cooling*.

Aspek yang mempengaruhi kinerja pin fin adalah susunannya. Susunan pin fin sangat berpengaruh pada kemampuan untuk memindahkan panas, berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan sebuah penelitian agar didapat susunan pin fin yang dapat bekerja secara efektif.

Aspek yang mempengaruhi kinerja pin fin adalah susunannya. Susunan pin fin sangat berpengaruh pada kemampuan untuk memindahkan panas, berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan sebuah penelitian agar didapat susunan pin fin yang dapat bekerja secara efektif

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besarnya nilai koefisien perpindahan panas pada dinding pin dari *pin fin cooling* berbentuk lingkaran dengan susunan segaris
2. Mengetahui pengaruh angka Reynolds terhadap nilai penurunan tekanan dari susunan *pin fin cooling* berbentuk lingkaran dengan susunan segaris
3. Mengetahui perbandingan nilai koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan pada susunan segaris dan selang-seling

### Batasan Masalah

1. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada percobaan yang dilakukan Tarchi dkk (2008).
2. Propertis-propertis udara didapat dari tabel *air ideal gas* pada temperatur 20 dan 55.1 °C
3. *Reynolds Number* yang digunakan adalah antara 9000 - 36000

4. Proses komputasi menggunakan bentuk – bentuk yang telah dimodifikasi berdasarkan penelitian Tarchi dkk (2008)
5. Penelitian hanya dilakukan pada *pin fin cooling* dibagian *trailing edge* dan tidak melibatkan proses pendinginan lain.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

Tarchi dkk (2008), melakukan penelitian untuk mengetahui koefisien perpindahan panas dan faktor gesekan pada *pin fin cooling* berbentuk elips susunan horisontal dan vertikal, serta pin fin bundar susunan selang-seling. Penelitian tersebut dilakukan pada angka Reynolds antara 9000-36000. Hasil penelitiannya menunjukkan perbedaan susunan pin fin akan menghasilkan distribusi koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan yang tidak seragam. Pada pin fin berbentuk lingkaran dengan konfigurasi berselang didapatkan nilai tertinggi dari koefisien perpindahan panas adalah 364.522 W/m<sup>2</sup>K pada pin ke-7 sedangkan nilai terendahnya adalah 256.051 W/m<sup>2</sup>K pada pin ke-1. Pada penelitian penurunan tekanan nilai tertingginya adalah 41 pada angka Reynolds terendah, dimana penurunan tekanan berbanding terbalik dengan angka Reynolds, semakin tinggi angka Reynolds maka penurunan tekanannya akan semakin rendah.

Qitou dkk (2015) melakukan penelitian pada *pin fin cooling* dengan konfigurasi selang-seling dengan bentuk lingkaran pada trailing edges sudu turbin gas. Penelitian menggunakan Ansys CFX dengan *unstructured mesh*, *turbulence modeling* yang digunakan adalah

*realizable k-ε model*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas dan faktor gesekan. Hasil penelitian pada tiap pin menunjukkan peningkatan angka Nusselt, akibat naiknya bilangan Nusselt akan menyebabkan nilai koefisien perpindahan panas akan meningkat.

Gaoliang dkk (2014) menguji karakteristik perpindahan panas pada pin berbentuk bundar konfigurasi segaris dengan tiga tipe pendinginan yang berbeda. *Reynolds average Navier-Stokes equation* dan *Shear Stress Transport (SST)* digunakan sebagai model turbulensi. Angka Reynolds yang digunakan adalah 10.000, 20.000, 30.000, 40.000 dan 50.000. Hasil penelitian menunjukkan angka Reynolds semakin meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Nusselt. Jika angka Reynolds meningkat dan angka Nusselt meningkat maka faktor gesekan akan mengalami penurunan. Pada pengujian koefisien perpindahan panas parameter yang digunakan adalah angka Nusselt, dimana angka Nusselt mencapai puncaknya pada pin ke-5 atau bagian paling akhir pada saluran.

## C. LANDASAN TEORI

### **Computational Fluid Dynamics**

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah metode perhitungan aliran fluida dengan menggunakan pendekatan numerik. Metode ini dikembangkan karena dalam perhitungan aliran fluida dibutuhkan perhitungan yang berulang-ulang sesuai dengan berubahnya variabel pada sistem. Karena proses ini membutuhkan proses yang lama maka dikembangkan suatu metode yang dapat mengkalkulasi kebutuhan

untuk pemodelan aliran fluida ini. Dengan cara ini, CFD dapat memberikan pemodelan baik aliran fluida maupun aliran termal.

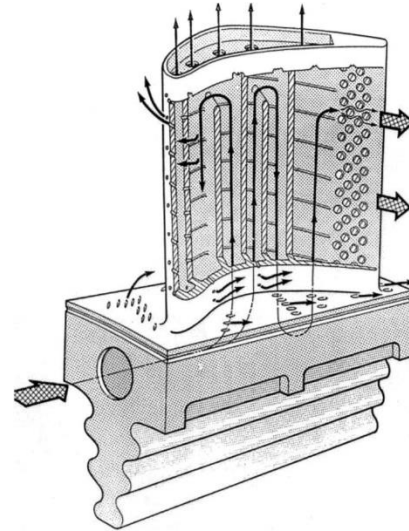
Cara kerja software berbasis CFD terdiri dari *pre-processor*, *processor/solver* dan *post processor*. *Pre-processor* berisi masukan mengenai permasalahan fluida akan dianalisa dan perubahan masukan tersebut menjadi bentuk yang dapat diselesaikan oleh *solver*. Pada tahap *pre-processor* dilakukan pendefinisian daerah yang diamati (domain), pembuatan grid, pembagian domain menjadi bagian-bagian kecil sub-domain yang tidak bertindihan (sel-sel), pemilihan fenomena fisik dan kimia yang akan dimodelkan, penentuan sifat-sifat fluida dan menentukan spesifikasi kondisi batas dan kondisi awal. *Pre-processor* merupakan titik kritis karena penentuan semua parameter akan mempengaruhi keakuratan hasil simulasi.

*Processor* adalah suatu proses komputasi numerik yang dilakukan oleh software CFD dimana setiap software CFD memiliki persamaan diskrit yang berbeda sesuai dengan kecanggihan software. Terdapat tiga utama penyelesaian numerik CFD, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*. Langkah-langkah solver secara garis besar adalah melakukan perkiraan variabel aliran yang belum diketahui dengan suatu fungsi sederhana, diskritisasi dengan mensubstitusi perkiraan tersebut pada persamaan pengatur dan melakukan perhitungan matematis yang berulang, dan melakukan penyelesaian dari persamaan pengatur.

*Post-processor* adalah tahapan akhir dari proses simulasi yang

menampilkan hasil perhitungan solver secara grafis meliputi tampilan domain grid, vektor, kontur, permukaan 2D atau 3D, manipulasi tampilan (translasi, rotasi dan lain-lain) dan tampilan berwarna.

### **Pin Fin Cooling pada Trailing Edge Sudu Turbin Gas**



**Gambar 1** Pin Fin Cooling pada Trailing Edge Sudu Turbin Gas (Al-Hadhrani, 2011)

Trailing edge adalah bagian belakang sudu tempat bersatunya udara setelah melewati permukaan atas dan bawah sudu. Trailing edge berfungsi sebagai pengendali dan penambah kekuatan putaran dengan mengubah momentum. Pada turbin gas trailing edge adalah tempat bersatunya udara dengan temperatur tinggi hasil pembakaran, pada bagian ini dipasang sebuah sistem pendingin yang berfungsi untuk meningkatkan perpindahan panas, sehingga memungkinkan sudu beroperasi dalam temperatur tinggi tanpa mengalami kerusakan serta meningkatkan efisiensi termal dan daya output. Proses pendinginan

dimulai dari slot ujung sudu, atau melalui saluran *pin fin cooling* kemudian keluar dari slot sepanjang trailing edge.

**Angka Reynolds**

Pada percobaan yang dilakukan oleh Tarchi dkk (2008), penentuan angka Reynolds didasarkan pada dua cara. Pertama penentuan angka Reynolds pada area masuk (L0), sedangkan yang kedua adalah angka Reynolds pada daerah disekitar pin.

$$Re_{L0} = \frac{\dot{m}D_{hL0}}{A_{L0}\mu} \dots\dots\dots(1)$$

$$Re_d = \frac{\dot{m}D_{pin}}{A_{min}\mu} \dots\dots\dots(2)$$

D<sub>hL0</sub> adalah diameter hidrolik dari saluran masuk dengan area penampang A<sub>L0</sub>, A<sub>min</sub> adalah luas area diantara dua pin dan merupakan jarak antara dinding pin dengan pin yang lain.

**Penurunan Tekanan**

Mengacu pada percobaan yang dilakukan oleh Tarchi dkk (2008). Tekanan diukur disepanjang saluran pada suhu kamar. Tekanan statis diukur dari berbagai titik, dimulai dari saluran masuk sampai saluran keluar *pin fin cooling*. Tekanan yang diukur pada setiap daerah akan digunakan untuk menghitung faktor gesekan. Faktor gesekan ditentukan dari nilai pengukuran penurunan tekanan (ΔP), menggunakan persamaan :

$$f = \frac{\Delta P_0}{\left(\frac{1}{2}\right)\rho v^2} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana Δ P<sub>0</sub> adalah total perbedaan tekanan diantara bagian awal dan akhir dari bagian tengah *pin fin cooling*. Tekanan total dihitung untuk menentukan tekanan dinamis dari rata-rata tekanan statis disetiap daerah.

**Koefisien Perpindahan Panas**

Koefisien pindah panas yang digunakan dalam perhitungan pindah panas konveksi. Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (baik cairan maupun gas) karena perbedaan suhu di antara keduanya.

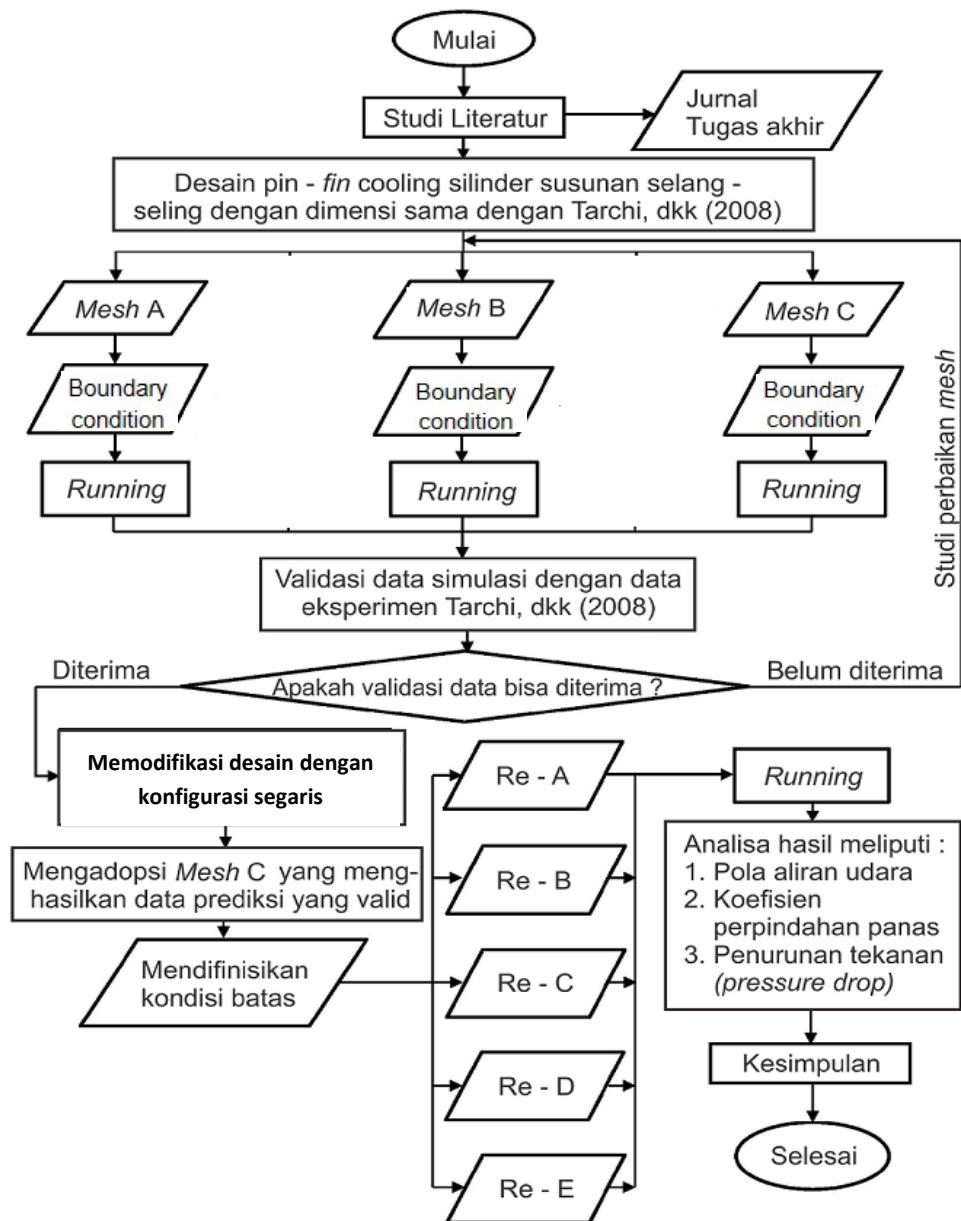
$$h = \frac{\Delta Q}{A.\Delta T} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- ΔQ =panas yang masuk atau panas yang keluar (W)
- h =koefisien pindah panas (W/m<sup>2</sup>K)
- A =luas permukaan pindah panas (m<sup>2</sup>)
- ΔT = perbedaan temperatur (K)

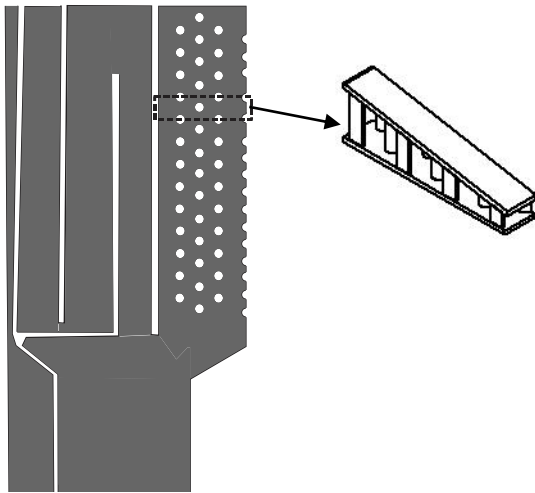


## D. METODE PENELITIAN



Gambar 2 Diagram alir penelitian

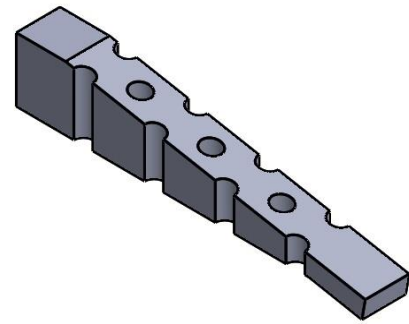
## Desain dan Geometri pin fin Tarchi dkk (2008)



**Gambar 3** Pin Fin Cooling (Qitou,2015)

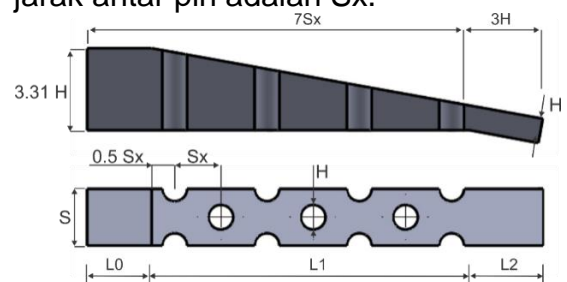
Gambar 3 merupakan bagian dalam dari sebuah blade turbin gas. Bagian yang ada didalam kotak adalah *pin fin cooling* pada *trailing edge*, sedangkan bagian yang ditandai dengan garis putus-putus adalah model yang akan digunakan sebagai domain simulasi. Pemilihan model yang sedemikian rupa bertujuan untuk menghemat waktu simulasi, dimana waktu simulasi berkaitan erat dengan tinggi atau rendahnya biaya yang diperlukan dalam proses komputasi.

Model potongan asli dari gambar diatas selanjutnya diubah menjadi bentuk seperti pada gambar 4 Tujuan penyederhanaan bentuk adalah untuk mendefinisikan *boundary condition* sehingga proses komputasi dapat dengan mudah dilakukan. Selain mengubah bentuk, model komputasi dibagi kedalam 3 area yaitu  $L_0$ ,  $L_1$ , dan  $L_2$ .



**Gambar 4** Gambar model yang telah disederhanakan berdasarkan percobaan Tarchi (2008)

Pin fin terdiri dari 7 baris susunan yang berselang dengan diameter  $D = H = 5,6$  mm. *Spanwise pitch*  $S/D = 2.3$  mm dan *streamwise pitch*  $S_x/D = 1.86$  mm.  $L_1$  dan  $L_2$  berturut turut memiliki panjang  $7S_x$  dan  $3H$ , Tinggi  $L_0$  adalah  $3.31 H$ , lebar  $L_0$  adalah  $S$ . Diameter pin =  $H$ , jarak antar pin adalah  $S_x$ .



**Gambar 5** Geometri Pin Fin Cooling berselang pada percobaan Tarchi dkk (2008)

Model digambar menggunakan Solidworks 2014, kemudian disimpan menggunakan ekstensi STEP. Ekstensi ini selanjutnya akan diekspor pada tahapan berikutnya.

### Meshing

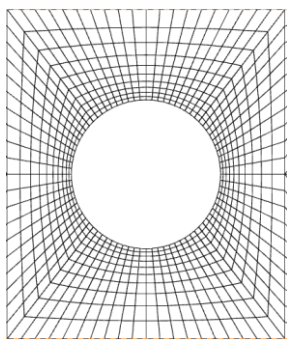
Pada tahap validasi akan dibuat tiga tipe mesh yaitu mesh A, mesh B dan Mesh C, dimana tipe mesh yang

memiliki rasio kesalahan terendah terhadap percobaan tarchi (2008) akan dipilih dan diadopsi. Pada tabel 1

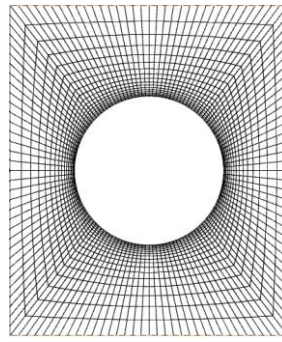
ditampilkan karakteristik tiga jenis mesh yang akan dicoba

**Tabel 1** Karakteristik *mesh*

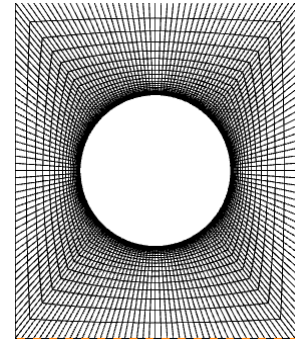
<i>Description</i>	<i>Mesh A</i>	<i>Mesh B</i>	<i>Mesh C</i>
<i>Number of Nodes</i>	144438	675850	1643026
<i>Number of Element</i>	128000	628864	1557376
$\Delta y^+$ endwall (average)	13.6955	4.53058	1.60885
$\Delta y^+$ pin fin (average)	11.8362	3.25338	1.23062



*Mesh A*



*Mesh B*

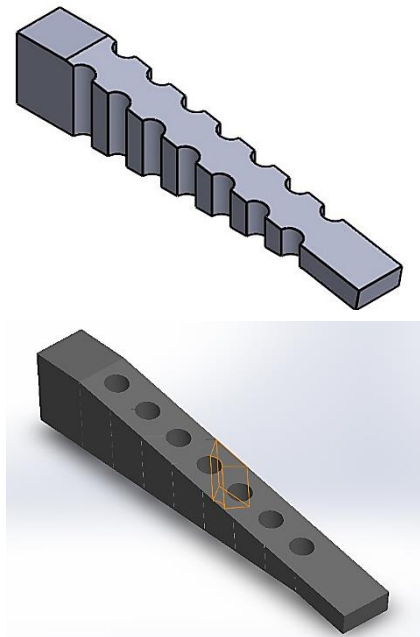


*Mesh C*

**Gambar 6** Tipe *mesh*

**Tahap Riset dengan Variasi Susunan**

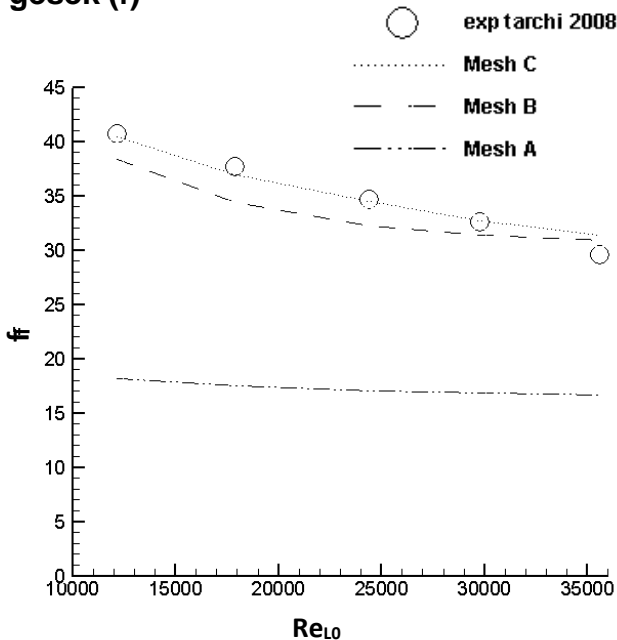
Variasi dilakukan dengan mengubah susunan lubang pin fin, jika pada eksperimen yang dilakukan oleh Tarchi (2008) lubang – lubang pin diletakkan berselang, pada penelitian ini lubang pin fin diletakkan sejajar. Peletakan lubang – lubang pin fin yang sejajar akan berdampak pada jenis potongan yang berbeda. Pada potongan A lubang pin fin diletakkan pada dinding kiri dan dinding kanan, sehingga lubang pin hanya terlihat setengah lingkaran, sedangkan pada potongan tipe B, lubang fin diletakkan ditengah tengah antara dinding kanan dan dinding kiri.



**Gambar 7** Dua tipe potongan

## E. VALIDASI DATA, HASIL DAN PEMBAHASAN

### Validasi data pada pengujian faktor gesek (f)

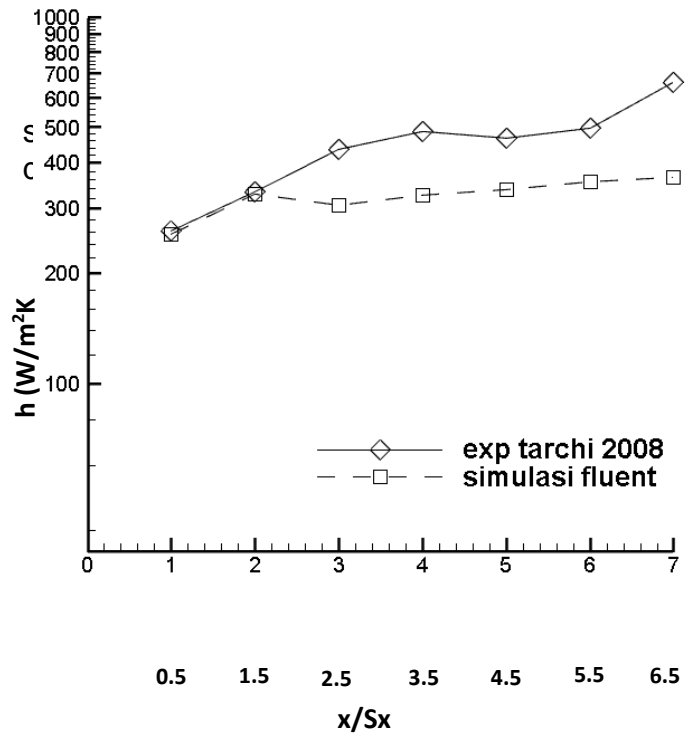


**Gambar 8** Perbandingan Nilai  $f$  dan  $Re$  hasil simulasi pada tiga tipe *mesh*

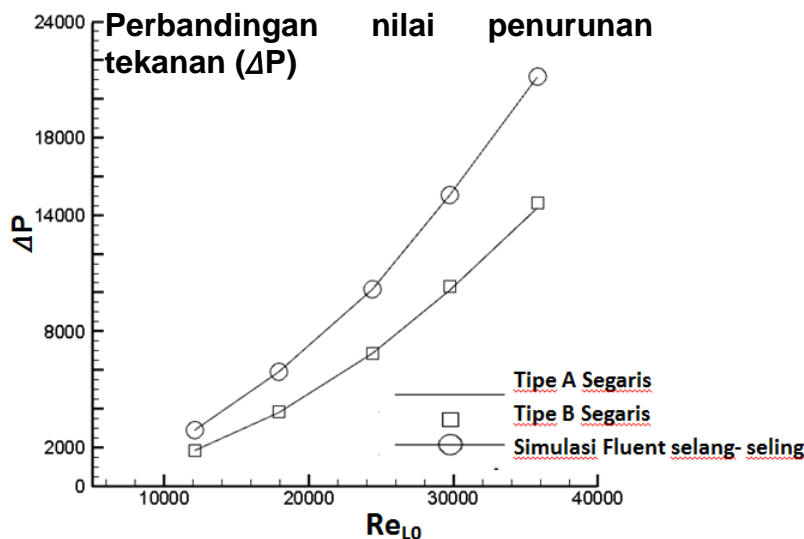
Dapat dilihat pada 3 jenis *mesh* yang telah dilakukan simulasi *mesh* tipe A menghasilkan nilai yang terpaut cukup jauh, sedangkan *mesh* tipe C memiliki nilai yang nyaris sama dengan hasil eksperimen Tarchi (2008), sehingga *mesh* tipe C dapat digunakan pada seluruh proses simulasi.

### Validasi data pada percobaan koefisien perpindahan Panas

Gambar 9 merupakan validasi percobaan koefisien perpindahan panas, data yang dibandingkan adalah data hasil eksperimen Tarchi dkk (2008) dan data hasil simulasi menggunakan Ansys, keduanya memiliki tren hasil percobaan yang



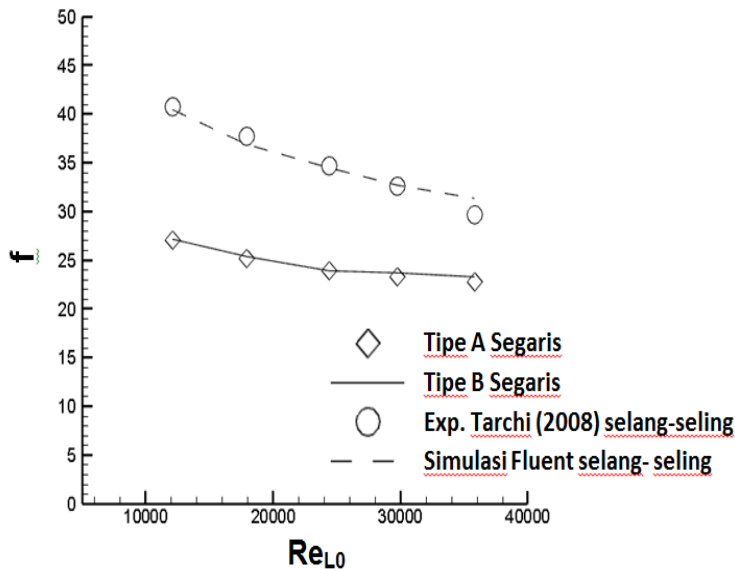
**Gambar 9** Koefisien perpindahan panas di daerah disekitar pin pada eksperimen Tarchi (2008) dan simulasi dengan CFD



**Gambar 10** Pengaruh angka Reynolds terhadap nilai penurunan tekanan pada pin fin berselang dan segaris

Hasil percobaan menunjukkan nilai penurunan tekanan berbanding lurus dengan bertambahnya angka Reynolds, semakin tinggi angka Reynolds semakin tinggi nilai penurunan tekanan yang terjadi. Kelakuan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) terhadap angka Reynolds ini serupa dengan hasil penelitian Sunil et.al (2014) dan Tarchi (2008). Jika ditinjau dari rumus untuk mengetahui nilai penurunan tekanan dimana kecepatan fluida ( $v$ ) berhubungan langsung dengan besarnya angka Reynolds.

### Perbandingan nilai koefisien gesek



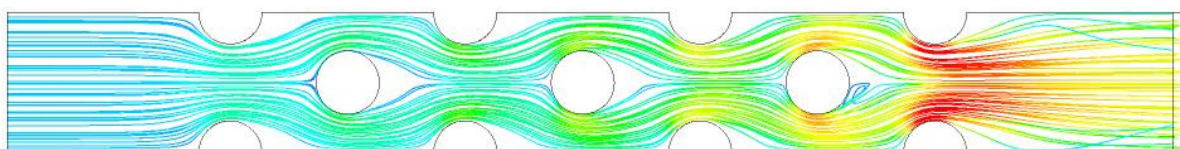
**Gambar 11** Perbandingan nilai koefisien gesek terhadap angka Reynolds pada pin fin berselang dan segaris

Gambar 11 menunjukkan dua jenis susunan pin fin yang memiliki karakteristik perbandingan yang

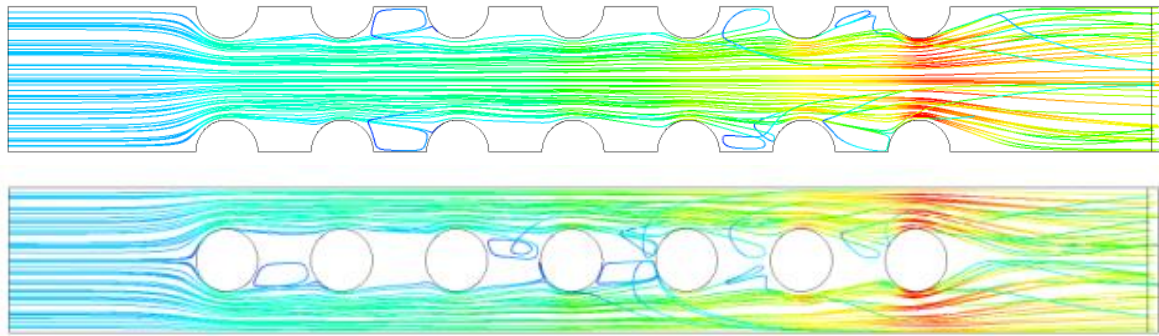
sama, dimana bilangan Reynolds berbanding terbalik dengan nilai koefisien gesek ( $f$ ) semakin meningkat bilangan Reynolds maka nilai  $f$  semakin menurun. Hal ini terjadi karena semakin tinggi bilangan Reynolds turbulensi aliran yang terjadi pada penampang semakin tinggi, akibatnya kecepatan akan semakin tinggi. Ketika kecepatan fluida tinggi dan penurunan tekanan tinggi nilai *friction factor* ( $f$ ) akan rendah

Perbedaan antara keduanya terletak pada nilai maksimumnya. Nilai maksimum pada pin fin dengan konfigurasi berselang adalah 40,397 dan nilai minimumnya adalah 31,270. Sedangkan pada percobaan pin fin dengan konfigurasi segaris nilai maksimum dan minimumnya berturut-turut adalah 27,057 dan 22,810. Perbedaan ini disebabkan pada konfigurasi berselang, aliran fluida mengalami turbulensi yang acak, sedangkan pada susunan segaris aliran udara hanya sedikit mengalami turbulensi, hal ini disebabkan pin fin diletakkan dengan posisi yang teratur, akibatnya fluida yang mengalir di dalam saluran tidak banyak bergerak dan memiliki aliran yang teratur pula. Aliran udara yang tidak banyak mengalami turbulensi ini akan berakibat terhadap minimnya gesekan yang terjadi antara udara dengan lubang-lubang pin serta permukaan dinding.

Berikut ditampilkan aliran yang terjadi saat kedua konfigurasi dalam kondisi angka Reynolds maksimum.

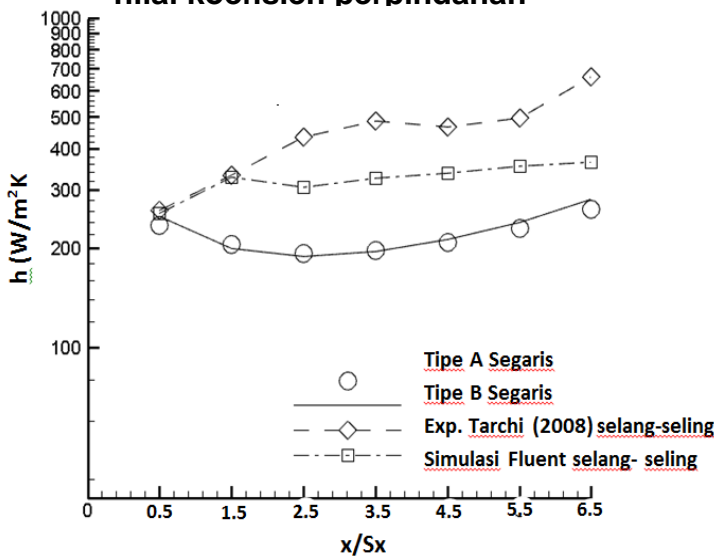






**Gambar 11** Karakteristik aliran

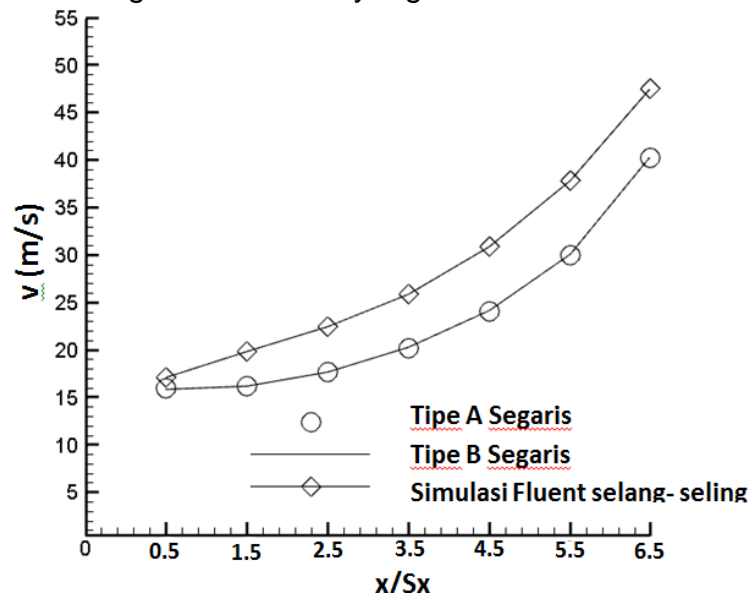
**Perbandingan nilai koefisien perpindahan**



**Gambar 12** Koefisien perpindahan panas pada daerah disekitar pin pada dua jenis konfigurasi

Gambar 4.8 diatas menunjukkan nilai koefisien perpindahan panas pada setiap lubang pin. Pada bagian awal atau pin pertama nilai koefisien perpindahan panas nyaris menunjukkan angka yang sama, namun saat memasuki pin ke 2 kedua konfigurasi pin fin menunjukkan tren yang berbeda, jika pada susunan berselang menunjukkan nilai yang meningkat, hal sebaliknya terjadi pada pin fin susunan segaris. Karakteristik

aliran fluida ini akan mencapai puncak ketika fluida memasuki lingkaran pin ke-7, dimana pada pin ke-7 bentuk penampang semakin mengecil, sehingga kecepatan fluida akan mengalami peningkatan. Berikut ini ditampilkan perbandingan kecepatan udara pada area pin dari dua konfigurasi susunan yang berbeda

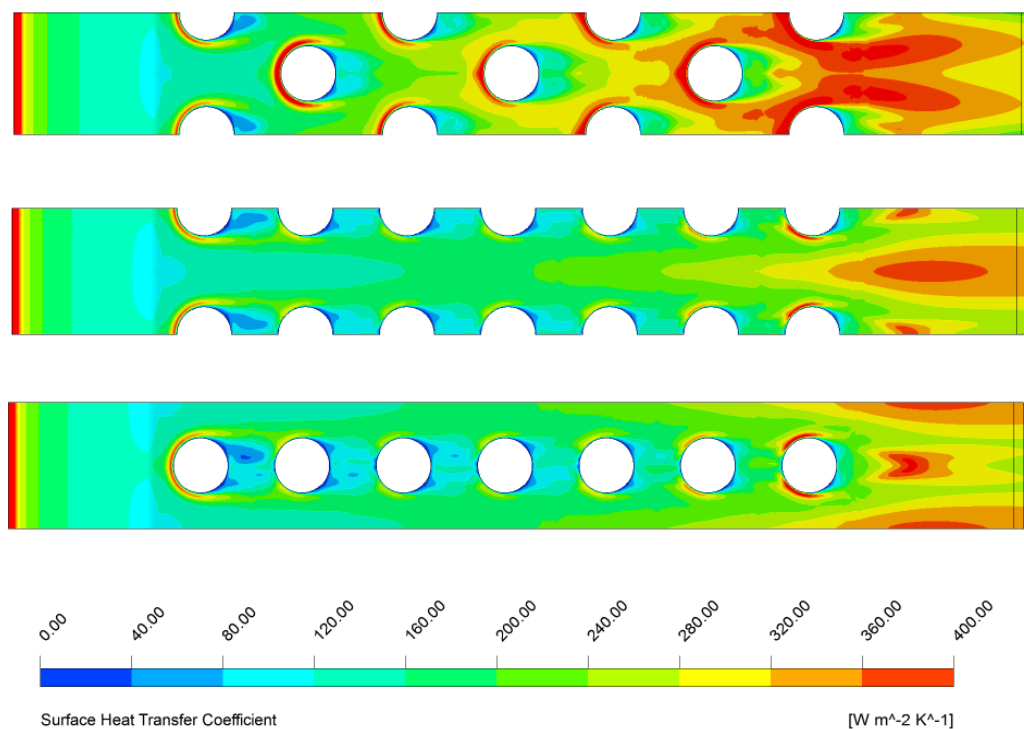


**Gambar 13** kecepatan udara pada area disekitar pin fin pada dua jenis konfigurasi

Gambar 4.9 ditampilkan perbandingan kecepatan udara

disekitr pin pada dua jenis susunan yang berbeda, susunan selang-seling memiliki nilai kecepatan udara pada area disekitar pin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan susunan yang segaris, namun kedua jenis konfigurasi baik susunan selang-seling dan segaris kecepatan udaranya akan menunjukan peningkatan, hal ini disebabkan oleh luas saluran penampang yang semakin menyempit pada bagian akhir. Kecepatan udara ( $v$ ) yang besar akan menyebabkan bertambahnya bilangan Reynolds. Semakin besar kecepatan udara ( $V$ ), maka semakin

besar pula bilangan Reynolds ( $Re$ ) dan juga sebaliknya bahwa semakin kecil kecepatan udara ( $V$ ), maka semakin kecil pula bilangan Reynolds. Kecepatan udara ( $V$ ) yang besar akan menyebabkan laju aliran massa fluida panas ( $\dot{m}$ ) (Nicolas.T:2010). Besarnya bilangan Reynolds berbanding lurus dengan besarnya nilai  $\dot{m}$ , sedangkan nilai  $\dot{m}$  berkaitan erat dengan nilai laju pembangkitan panas per satuan volume ( $Q$ ), dimana nilai  $Q$  berbanding lurus dengan besarnya koefisien perpindahan panas



**Gambar 14** Distribusi koefisien perpindahan panas

## KESIMPULAN

Dalam tugas akhir ini telah dilakukan simulasi terhadap pin fin dengan konfigurasi segaris dengan dua tipe potongan berbeda. Dari hasil

simulasi dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Nilai koefisien perpindahan panas dengan susunan segaris pada tiap pin masing-masing adalah 235.49

W/m<sup>2</sup>K, 205.717 W/m<sup>2</sup>K, 192.655  
W/m<sup>2</sup>K, 196.819 W/m<sup>2</sup>K, 208.708  
W/m<sup>2</sup>K, 230.079 W/m<sup>2</sup>K, 263.063  
W/m<sup>2</sup>K.

2. Besarnya angka Reynolds akan mempengaruhi nilai penurunan tekanan, semakin besar angka Reynolds turbulensi akan semakin besar, akibatnya nilai penurunan tekanan akan meningkat. Pada pin fin dengan konfigurasi segaris nilai penurunan tekanan terendah adalah

1826,12 N/m<sup>2</sup> pada angka Reynolds 12,146, sedangkan angka tertingginya adalah 14.386,09 N/m<sup>2</sup> pada bilangan Reynolds 35,830

3. Jika kedua konfigurasi dibandingkan, pin fin dengan konfigurasi segaris memiliki nilai penurunan tekanan yang lebih rendah, sedangkan pin fin konfigurasi selang-seling memiliki nilai koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahsan, Amimul., 2011., *Evaporation Condensation And Heat Transfer.*, InTech., Croatia.
- Al-Hadhrami, Luai., Shaahid., Al-Mubarak, Ali, 2011., *Jet Impingement Cooling in Gas Turbines for Improving Thermal Efficiency and Power Density*, Associate University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia.
- Anonim., *Manual Book : ANSYS Mechanical User's Guide*, Ansys Inc, USA.
- A, Rangwala., 2005., *Turbo-Machinery Dynamic.*, Mc Graw Hill., New York.
- Chamoli, Sunil., Chauhan, Thakur .,Ranchan., 2011., *Numerical Analysis of Heat Transfer and Thermal Performance Analysis of Surface with Circular Profile Fins.*, IJES Vol.1 No.1 2011 PP.11-18.
- Elder, Erin N., 2013., *Measurements Of Internal And External Heat Transfer For Turbine Blade Application.*, Virginia Tech., USA.
- Faruk, Umar., Kamiran., 2012., *Analisis Pengaruh Aliran Turbulen Terhadap Karakteristik Lapisan Batas Pada Pelat Datar Panas.*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.
- Han, Je-Chin., Wright, Lesley., 2004., *Enhanced Internal Cooling of Turbine Blades and Vanes.*, Turbine Heat Transfer Laboratory Department of Mechanical Engineering Texas A&M University College Station., USA
- Hwang, J. J., Cheng, C. S., 2001., *Impingement cooling in triangular ducts using an array of side-entry wall jets.*, International Journal of Heat and Mass Transfer.



- Liao, Gaoliang., Xinjun, Wang., 2014., *Numerical Comparison of Thermal Performance of In-Line Pin-Fins In a Wedge Duct With Three Kinds of Coolant.*, Institute of Turbomachinery, Xi'an Jiaotong University., China.
- Munson, Bruce., 2002., *Fundamentals of Fluids Mechanic.*, John Wiley and Son Inc.
- Nooruddin, Turk., Greg., 2000., *Interior/Exterior Classification of Polygonal Models.*, Proceedings IEEE Visualization 2000., Salt Lake City.
- Sahendra, 2011., *Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan dari Sirip - Sirip Pin Berlubang Susunan Selang-Seling Dalam Saluran Segiempat.*, Universitas Sebelas Maret., Surakarta.
- Sahilkapila., 2013., *Blade Cooling System.*, 26 November 2015., [https://en.wikipedia.org/wiki/Turbine\\_blade\\_](https://en.wikipedia.org/wiki/Turbine_blade_)
- Tarchi, Lorenzo., Facchini, B., Zecchi, S., 2008., *Experimental Investigation of Innovative Internal Trailing Edge Cooling Configurations with Pentagonal Arrangement and Elliptic Pin Fin.*, Universit`a di Firenze., Italy.
- Zhou, Qitao., Xinmei, Wang., 2015., *Computer-Aided Simulations of Convective Heat Transfer in a Wedged Channel with Pin-Fins at Various Outlet Arrangements and Nonuniform Diameters.*, School of Mechanics, Civil Engineering and Architecture, Northwestern Polytechnical Unive