

Efek Variasi Jumlah *Conical Strip Inserts* pada Perpindahan Panas di dalam *Tube* dengan Aliran Satu Fase

Syaifullah Hamim Thohari^{1*}, M Anis Mustaghfirin², Burniadi Moballa³

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: syaifullah.hamim@gmail.com^{1*}; mustaghfirin@ppns.ac.id^{2*}; burniadi@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - Characteristic of circular tube fitted with multiple conical strip inserts is investigated. Previous studies related with present study heat transfer found that addition single conical strip inserts make nusselt number increase. Unfortunately, it is also increase pressure drop value. This work improve their work by adding number of conical strips inserts. The modification model become 4 variation number of conical strip inserts ($n = 2, 3, 4, \text{ and } 5$) with a kind of central angle of 20° , the result show that the best performance is achieved by 2 strips.

Keywords: Conical strips inserts, Friction factor, Nusselt number, Performance Evaluation Criteria (PEC), and Single phase.

Nomenclature

Nu	bilangan Nusselt
Re	bilangan Reynolds
n	Jumlah <i>conical strips inserts</i>
α	central angle ($^\circ$)
T	Temperatur (K)
u	kecepatan pada sumbu x (m/s)
v	kecepatan pada sumbu y (m/s)
w	kecepatan pada sumbu z (m/s)
c_p	panas spesifik (kJ/kg-K)
ρ	densitas fluida (kg/m ³)
λ	konduktivitas thermal (W/m-K)
ε	turbulent dissipation rate (m ² /s ³)
D_t	diameter tube (m)
θ	sudut <i>conical strip inserts</i> ($^\circ$)
p	pressure (bar)
L	panjang tube (m)
Lc	panjang rod (m)
q	heat flux (W/m ²)
R	radius dalam tube (m)
r	jarak radial (m)
u_c	kecepatan pada sumbu inti (m/s)
T_c	temperatur pada sumbu inti (m/s)

1. PENDAHULUAN

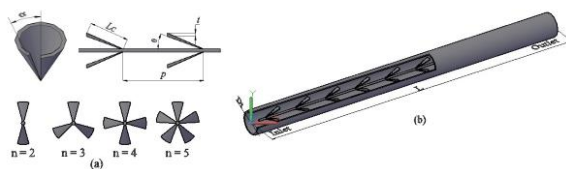
Para peneliti di seluruh dunia telah melakukan upaya besar untuk mengembangkan teknik peningkatan perpindahan panas, yang diklasifikasikan sebagai pasif atau aktif. Untuk teknik pasif, secara aplikatif dari energi eksternal tidak diperlukan. Oleh karena itu, mereka lebih sering menerapkan teknik tersebut dalam kondisi aktif. Berbagai jenis teknik seperti *inserts twisted tape, conical rings, porous media inserts,*

dan lain-lain telah dipelajari. Diantara sekian banyak teknik peningkatan perpindahan panas untuk aliran dalam tube diatas, *conical strips inserts* adalah salah satu penelitian yang sedang banyak dibicarakan karena memberikan efek perpindahan panas yang cukup baik [1].

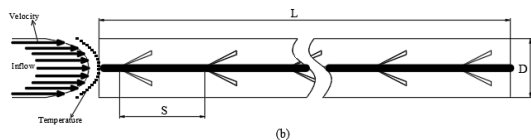
Telah dilakukan beberapa penelitian tentang pengaruh *conical strip inserts* pada objek pipa konsentrik diantaranya yaitu melakukan penelitian tentang peningkatan perpindahan panas secara konveksi pada tube yang dipanasi oleh constant *heat flux* dengan *passive method*, beberapa *conical rings* digunakan sebagai turbulator yang dilekatkan untuk pengujian pada tube. *Conical rings* dengan variasi 3 rasio diameter yang berbeda yaitu ($d/D = 0,5; 0,6; 0,7$) [2]. Dilakukan analisa secara eksperimen efek dari PCR pada perpindahan panas konveksi, *friction factor, thermal performance*. Untuk variasi PCR menggunakan 3 *ratio pitch* yang berbeda ($PR = p/D = 4, 6, 12$) dan tiga lubang yang berbeda ($n = 4, 6, 8$) [3]. Dilakukan upaya untuk meningkatkan perpindahan panas tanpa peningkatan tekanan yang signifikan, di dalam jurnal ini pula mengembangkan turbulator strip berbentuk cone. Karakteristik laju perpindahan panas, daya tahan, dan keseluruhan kinerja termohidrolik aliran turbulen dalam tabung melingkar yang disisipi *conical strip inserts* pada jurnal ini diteliti menggunakan studi numerik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *friction factor* maksimal dari tabung yang dimodifikasi meningkat sebanyak 10 kali ($f = 0,062 - 0,36$); sedangkan nilai *Nusselt* bertambah 5 kali (Nu

98.35 - 400.41) dari *smooth tube* [4]. Dilakukan modifikasi penelitian sebelumnya tentang *conical ring* (CR) menjadi *hexagonal conical rings* (HCR) yang akan digunakan sebagai pemicu aliran turbulen untuk memproduksi aliran *vortex* yang dimana bertujuan meningkatkan laju perpindahan panas di dalam tube *heat exchanger*. Untuk mengurangi *pressure losses* bentuk dari V-HCR dibuat dengan bidang simetris dari *cone*, dengan variasi *attack angle* (30°, 45°, dan 60°). Pourramezan, dkk Pada jurnal ini melakukan investigasi simulasi numerik dari karakteristik *thermo-hydraulic* dari aliran turbulen di dalam *sirkular tube* dengan adanya *twisted conical insert* [5].

Pada penelitian ini akan dilakukan studi numerik pengaruh *conical strip inserts* pada tube dengan menggunakan sebuah metode yaitu Metode numerik dengan variasi *central angle* ($\alpha = 20^\circ$) dan jumlah *conical strips inserts* ($n = 2, 3, 4, \text{ dan } 5$) yang bertujuan untuk meningkatkan turbulensi aliran di dalam tube sehingga perpindahan panas di dalam tube meningkat.



Gambar 1. (a) Model geometri conical strips inserts



Gambar 2. Gambar skema tube yang terdapat conical strips inserts.

2. METODOLOGI

2.1. Model geometri

Model geometris dari *conical strips inserts* dan diagram skematik tube dengan *conical strips inserts* ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam penelitian ini strip berbentuk kerucut yang terbuat dari potongan kerucut. Parameter untuk geometri antara lain : diameter tabung (Dt) adalah 19,6 mm, sudut kemiringan (θ) adalah 90° , pitch strip berbentuk kerucut (p) adalah 30 mm, panjang *conical strips inserts* (L_c) adalah 16 mm, ketebalan conical strips (t) adalah 1 mm. *Conical strips inserts* melekat pada rod dengan diameter 1 mm. Panjang tube untuk simulasi (L) adalah 300 mm. Untuk menghasilkan tabung tiga dimensi masing-masing, menyisipkan dengan empat nomor yang berbeda dari strip kerucut di lokasi tertentu ($n = 2, 3, 4, \text{ dan } 5$) dipelajari dalam pekerjaan saat ini. Untuk menyelidiki pengaruh sudut sentral pada kinerja perpindahan panas dan dengan mempertimbangkan bahwa pembatasan n

$x \alpha < 360$, menyisipkan dengan sudut sentral ($\alpha = 20^\circ$). Konduksi panas di *strip* berbentuk *conical* dan *rod* diabaikan. Ketebalan dinding tabung padat tidak dipertimbangkan.

2.2. Persamaan dasar

Udara dipilih sebagai fluida kerja dalam pekerjaan ini. Asumsi berikut dibuat untuk model komputasi: 1. fluida adalah newtonian, mampat, isotropik, dan kontinyu. Sifat fisik dari cairan adalah konstan dan diatur untuk menjadi : $\rho = 1,18415 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1,85 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$, $C_p = 1003,62 \text{ J/kg K}$, and $q = 30,28 \text{ W/m}^2$; 2. sisipan kaku (deformasi dan getaran *insert* diabaikan); dan 3. *strips* didefinisikan sebagai *stiff*, radiasi *thermal*, dan gravitasi tidak dipertimbangkan.

Medan aliran dalam penelitian ini adalah tiga dimensi, *turbulent*, dan *steady*. Persamaan (1) kontinuitas, (2) momentum, dan (3) energi untuk aliran fluida diberikan sebagai berikut:

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla (\rho U) = 0, \quad (1)$$

Persamaan momentum :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right], \quad (2)$$

Persamaan energi :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j C_p T - k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} + \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right], \quad (3)$$

Pada penelitian ini digunakan model turbulen RANS $k - \epsilon$ (*reynolds average navier stokes*), diberikan persamaan (4) dan (5) sebagai berikut:

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon, \quad (4)$$

$$\frac{\partial (\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\epsilon}^* \epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}, \quad (5)$$

Semua persamaan yang digunakan diselesaikan dengan menggunakan perangkat lunak atau software CFD, yang didasarkan pada metode numerik. Algoritma digunakan untuk mendapatkan solusi sebagai hubungan antara tekanan dan kecepatan.

2.3. Boundary condition

Pada dinding tube, *constant heat flux* telah didefinisikan. Untuk menentukan *inlet boundary* digunakan persamaan (6) untuk menentukan

velocity-inlet dan persamaan (7) untuk menentukan *temperature-inlet*. Untuk aliran keluar menggunakan *region pressure-outlet* dan *no-slip condition* yang diterapkan pada *wall* dan *surface* pada *conical strips inserts*. Efek konduksi dan radiasi dari *conical strips inserts* pada penelitian ini diabaikan.

Inlet velocity condition :

$$u = u_c \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right), \quad (6)$$

Inlet temperature :

$$T = T_c + \frac{qR}{\lambda} \left[\left(\frac{r}{R}\right)^2 - \frac{1}{4} \left(\frac{r}{R}\right)^4 \right], \quad (7)$$

Dimana u_c dan T_c adalah *velocity* dan temperatur pada sisi tengah dari sisi masuk *tube*. Sedangkan untuk R adalah radius bagian dalam *tube*, r adalah jarak radial, dan q adalah *heat flux* pada *wall tube*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Grid generation and independence test

Geometri grid dari model tiga dimensi untuk domain komputasi dibuat menggunakan perangkat lunak CFD. Sistem grid yang digunakan dalam pekerjaan numerik ini ditunjukkan pada Gambar. 2.3 Untuk mensimulasikan efek lapisan batas secara akurat, grid yang sangat halus, diadopsi di wilayah dekat dinding tube. Selain itu, perbaikan grid lokal diterapkan di wilayah dekat permukaan insert berbentuk kerucut. *Tetrahedral grid* adalah *mesher* yang dihasilkan untuk memproyeksikan aliran fluida di wilayah inti.

Grid independence test dilakukan untuk mendapatkan ukuran mesh yang sesuai, dengan ($n=1$ dan $\alpha=90$), dan dengan menggunakan *Reynolds number* 24000. Terdapat 3 jenis grid system dengan jumlah grid yang berbeda diantaranya adalah (1036784, 2045979, dan 3337632) . Hasil dari *grid independence* adalah pada 2045979 *grids*, untuk hasil detail ditunjukkan pada tabel 1. Hasil tersebut sudah baik untuk menyelesaikan simulasi *conical strips inserts*. Untuk hasil *volume mesh* dapat dilihat pada gambar 3.

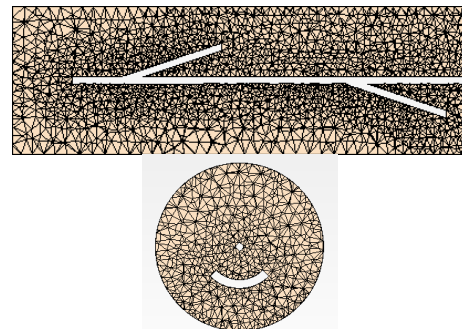
3.2. Variasi central angle dengan jumlah conical strips inserts

Pada penelitian ini dilakukan variasi dengan penambahan jumlah *conical strips inserts* ($n=2$) buah. Serta dilakukan modifikasi *central angle* dengan $\alpha = 20^\circ$. Diharapkan dengan modifikasi yang digunakan dapat menambah *performance* dari turbulator *conical strips inserts* yang digunakan oleh Wei Liu. Parameter data yang menjadi komparasi pada variasi ini adalah nilai *nusselt number* *friction factor*, serta *performance evaluation criteria*. Untuk mendapatkan nilai *nusselt number* didapat dari *exporting XYZ*

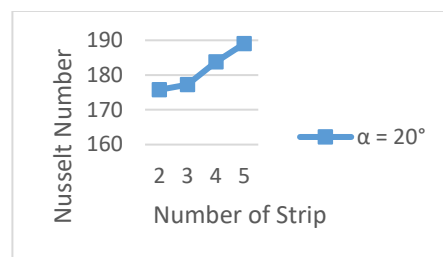
internal tabel dari software CFD, sedangkan untuk nilai *friction factor* perlu melakukan perhitungan dari data *pressure drop* yang dihasilkan dari *report* software CFD.

Tabel 1. Perbandingan *Grid Independence*

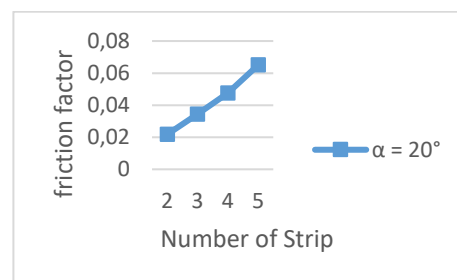
Jumlah grid	Kecepatan simulasi/iterasi	Simulasi	Nusselt number	Error (%)
1036784	1,04 menit	171.2510111	178.429	4.022882435
2045979	1,46 menit	179.8070124	178.429	0.766384126
3337632	2,34 menit	179.5640211	178.429	0.632098286



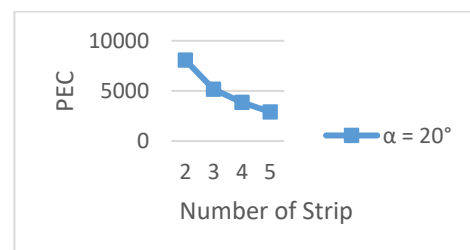
Gambar 3. (a) Model geometri conical strips inserts, (b) Gambar skema tube yang terdapat conical strips inserts.



Gambar 4. Hasil variasi nusselt number dengan jumlah conical strips inserts.

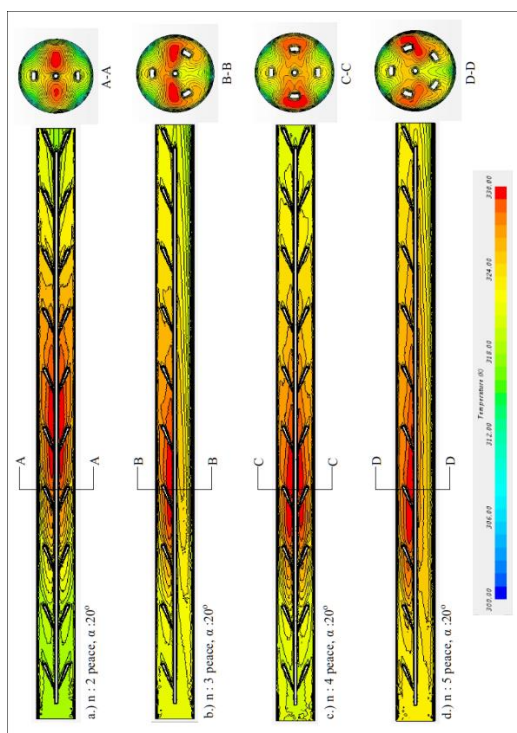


Gambar 5. Hasil variasi friction factor dengan jumlah conical strips inserts.



Gambar 6. Hasil variasi performance evaluation criteria dengan jumlah conical strips inserts.

Hasil simulasi variasi *nusselt number*, *friction factor*, dan *PEC* terhadap jumlah *conical strips inserts* ditampilkan pada Gambar 4, menunjukkan bahwa dengan bertambahnya jumlah *conical strips inserts* maka nilai *nusselt number* akan semakin meningkat. Sebaliknya, jika jumlah *conical strips inserts* sedikit maka nilai *nusselt number* menurun. Untuk variasi *central angle* semakin kecil sudut yang digunakan, maka semakin besar nilai *nusselt number*. Maka hasil terbaik untuk variasi *nusselt number* didapat pada variasi $n = 5$ dan $\alpha = 20^\circ$. Pada Gambar 5 menunjukkan hasil modifikasi design terbaik *friction factor conical strips inserts* pada $n = 2$ dan $\alpha = 20^\circ$ memiliki nilai yang hampir sama dengan modifikasi *conical strips inserts* pada $n = 5$ dan $\alpha = 20^\circ$, tetapi nilai *nusselt number* pada $n = 5$ dan $\alpha = 20^\circ$ sangat rendah karena terjadi sedikit vortex yang mengakibatkan aliran tidak berturbulen. Pada gambar 5 menunjukkan nilai *performance evaluation criteria* yang didapat dari nilai *nusselt number* dibanding dengan nilai *friction factor*. Didapat nilai *performance evaluation criteria* terbaik pada modifikasi $n = 2$ dan $\alpha = 20^\circ$, karena nilai *nusselt number* tinggi pasti akan diikuti dengan *friction factor* yang tinggi pula. Berikut ini akan ditampilkan perbandingan hasil kontur temperatur pada gambar-7.



Gambar 7. Kontur temperatur (a) $n : 2$ piece, $\alpha : 20^\circ$, (b) $n : 3$ piece, $\alpha : 20^\circ$, (c) $n : 4$ piece, $\alpha : 20^\circ$, (d) $n : 5$ piece, $\alpha : 20^\circ$.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, perpindahan panas dan performa *conical strips inserts* telah diinvestigasi

dengan simulasi numerik. Ditemukan bahwa *multiple conical strips inserts* lebih baik daripada *single conical strips inserts*. Selain itu, efek dari jumlah *conical strips inserts* dan *central angle* pada *nusselt number*, *friction factor*, dan *performance evaluation criteria* telah dipelajari. Berdasarkan hasil simulasi, kesimpulan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Multiple conical strips inserts* membentuk longitudinal vortex pada aliran dalam tube yang menghasilkan jalur aliran yang panjang dan membuat fluida bercampur antara *boundary* dan *core region* yang menyebabkan meningkatnya perpindahan panas.
2. Kedua nilai *nusselt number* dan *friction factor* meningkat dengan meningkatnya jumlah dari *conical strips* dan *central angle*, tetapi *performance evaluation criteria* meningkat dengan menurunnya jumlah dari *conical strips inserts* dan menurunnya nilai *central angle*. Performa modifikasi tertinggi didapat dari $n = 2$ dan 20° *central angle* pada bilangan Reynolds >18000 .
3. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya, tube dengan *multiple conical strips inserts* dapat menghasilkan *heat transfer* yang tinggi dan *pressure drop* yang rendah, sehingga didapatkan performa perpindahan panas yang tinggi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bergles A E 2002 ExHFT for fourth generation heat transfer technology *Exp. Therm. Fluid Sci.* **26** 335–44
- [2] Promvong P 2008 Heat transfer behaviors in round tube with conical ring inserts *Energy Convers. Manag.* **49** 8–15
- [3] Kongkaitpaiboon V, Nanan K and Eiamsa-ard S 2010 Experimental investigation of heat transfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-rings *Int. Commun. Heat Mass Transf.* **37** 560–7
- [4] Fan A, Deng J, Guo J and Liu W 2011 A numerical study on thermo-hydraulic characteristics of turbulent flow in a circular tube fitted with conical strip inserts *Appl. Therm. Eng.* **31** 2819–28
- [5] Sripattanapipat S, Tamna S, Jayranaiwachira N and Promvong P 2016 Numerical Heat Transfer Investigation in a Heat Exchanger Tube with Hexagonal Conical-ring Inserts *Energy Procedia* **100** 522–5