

Investigasi Eksperimental *Anti-Icing System* dengan Memanfaatkan Kalor Dari Gas Buang *Engine* Pesawat Terbang

Joni Kasmara^{1)*}, Gaguk Marausna²⁾

^{1),2)} *Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Indonesia*

Abstrak

Dunia penerbangan merupakan bidang bisnis dengan resiko yang tinggi. Aspek keselamatan menjadi prioritas utama untuk mencegah kerugian materil maupun non materil akibat bahaya yang muncul dalam fase penerbangan. Kehilangan gaya angkat adalah salah satu contoh bahaya yang muncul karena kegagalan wing memproduksi gaya angkat. Terjadinya kehilangan gaya angkat dapat disebabkan oleh perubahan bentuk wings terutama pada bagian leading edge akibat kontaminasi. Kontaminasi terjadi dalam bentuk penumpukan partikel es pada leading edge dan mengubah aliran udara yang melewati wing menjadi aliran turbulen. Diperlukan sebuah perangkat anti icing untuk mengatasi permasalahan kontaminasi tersebut dengan memanfaatkan gas buang engine agar dapat mengurangi konsumsi daya listrik yang digunakan dalam sistem pemanas untuk leading edge. Desain anti icing dengan helical coil sebagai komponen utama penukar kalor diamati dengan menggunakan metode eksperimen untuk mempelajari pengaruh variabel rasio diameter coil terhadap karakteristik perpindahan kalor dan efisiensi penukar kalor. Hasil penelitian menunjukkan perubahan geometri pada rasio diameter coil dapat meningkatkan intensitas aliran sekunder, menciptakan efek turbulensi dan meningkatkan koefisien perpindahan kalor serta mempengaruhi perubahan parameter performa dari heater.

Kata kunci: *anti-icing, penukar kalor, pesawat, helical coil, heater*

Abstract

Aviation is a high-risk business field. Safety aspects are a top priority to prevent material and non-material losses due to hazards that arise during the flight phase. The stall is one example of a danger that occurs due to the failure of the wing to produce lift. The stall is affected by changes in the wings shape, particularly at the leading edge due to contamination. Contamination occurs in the form of ice particles on the leading edge and regenerates the airflow passing through the wing into turbulent flow. An anti-icing device is needed to overcome this contamination problem by utilizing engine exhaust gas to reduce the consumption of electrical power used in the heating system for the leading edge. Anti-icing design with the helical coil as the main component of the heat exchanger. An experimental method is using to study the effect of the coil diameter ratio on heat transfer characteristics and heat exchanger efficiency. The results showed that the coil diameter ratio affects increasing the secondary flow intensity, creates turbulence flow, increases the heat transfer coefficient, the performance parameters of the heater.

Keywords: *anti-icing, heat exchanger, aircraft, helical coil, heater*

Pendahuluan

Aspek keselamatan menjadi prioritas utama di dalam dunia penerbangan untuk menghindari terjadinya kerugian materil maupun non materil. Kegagalan *wing* memproduksi gaya angkat pada fase penerbangan memunculkan resiko terhadap terjadinya *stall* (hilangnya gaya angkat) dan dapat menyebabkan kecelakaan pesawat. Hilangnya gaya angkat pada pesawat dapat terjadi karena kontaminasi pada *leading edge*. Kontaminasi terbentuk karena penumpukan partikel es sehingga mempengaruhi performa aerodinamika *wing* akibat aliran yang melewati permukaan *wing* menjadi

* E-mail address: joni.kasmara@sttkd.ac.id
Available online 31 July 2020, Vol. 6, No. 1

turbulen. *Antiicing* diperlukan sebagai perangkat yang dapat mencegah terjadinya kontaminasi tersebut. Desain *antiicing* memanfaatkan gas buang *engine* menjadi salah satu alternatif pemanfaatan energi yang tidak terpakai (*wasteheat*).

Prinsip kerja *anti icing* adalah mentransfer energi dari gas buang *engine* menuju *wing* dan udara ambien yang bersinggungan dengan *wing* sehingga udara ambien yang menerima kalor tidak mengalami perubahan fase menjadi es. Ada berbagai bentuk alat penukar kalor antara lain *shell and tube*^[1] dan *helicalcoil* yang memiliki karakteristik meningkatkan laju koefisien perpindahan kalor seiring dengan meningkatnya laju aliran massa^[2].

Faktor temperatur dan media perpindahan kalor turut mempengaruhi performa dari *helicalcoil*^[3]. Pemanfaatan energi termal dari gas buang *engine* telah diteliti untuk diaplikasikan sebagai *dryer* di industri pertanian^[4] maupun di bidang otomotif^[5]. Peningkatan transfer kalor pada alat penukar kalor dapat ditingkatkan dengan menambahkan *fin* pada *tube*^[6]. Peningkatan laju perpindahan kalor juga dapat ditingkatkan melalui modifikasi aliran laminar menjadi turbulen dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang muncul ketika fluida melewati sisi lengkung *helicalcoil*^[7].

Landasan Teori

Performa *antiicing* erat kaitannya dengan aliran fluida di dalam *heater*. Pada *heater* jenis *helicalcoil*, karakteristik aliran gas buang *engine* di dalam *helical coil* diamati dengan Persamaan 1-7^[8].

Aliran fluida untuk jenis laminar, transisi, dan turbulen ditentukan dari besaran bilangan Reynold:

$$Re = \frac{V_g D_c}{\nu} \quad (1)$$

Rasio kelengkungan yang merepresentasikan ciri aliran sekunder karena fluida bergerak dilintasan melengkung diwakili dengan parameter bilangan Dean:

$$De = Re \left(\frac{D_t}{L_t} \right)^{0.5} \quad (2)$$

Dengan karakteristik termal bilangan Prandtl:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} \quad (3)$$

Untuk aliran turbulen digunakan persamaan untuk menghitung bilangan Nusselt:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (4)$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi:

$$h = \frac{Nu k}{D_t} \quad (5)$$

Laju perpindahan kalor dari *helicalcoil* ke bagian dalam *leadingedge*:

$$Q = h A_s \Delta T \quad (6)$$

Dengan selisih temperatur rata-rata masuk dan keluar:

$$\Delta T = \frac{T_1 - T_5}{\ln(T_3 - T_5) / (T_3 - T_1)} \quad (7)$$

Performa *helicalcoil* juga perlu ditinjau dengan mengamati faktor gesekan aliran yang mempengaruhi terjadinya penurunan tekanan dengan menggunakan Persamaan 8^[9]:

$$\Delta P = f_c \frac{L_t}{D_t} \rho \frac{V_g^2}{2} \quad (8)$$

Efektivitas *heater*:

$$\varepsilon = \frac{T_3 - T_6}{T_6} 100\% \quad (9)$$

Metode Penelitian

Sebuah prototipe *wing* berbahan aluminium dengan ketebalan 1 mm dibentuk menjadi sebuah profil *airfoil* skala laboratorium sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. *Airfoil* memiliki panjang *chord* 580 mm dan *thickness* 140 mm. Pada sisi *wing* dibuatkan penutup agar lebih mendekati dengan profil *wing* asli dari sebuah pesawat. Pipa tembaga digunakan sebagai bahan pembuatan *helical coil* karena kelebihanannya memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi sehingga mudah memindahkan kalor. *Helical coil* divariasikan dalam 3 bentuk karakteristik geometri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 1. Jenis *helicalcoil* dipilih karena dapat meningkatkan luas permukaan perpindahan kalor dengan memperpanjang lintasan aliran fluida di dalam *tube* namun memperpendek panjang *coil* secara keseluruhan. Sebanyak 5 buah lampu pijar sebesar 100 W disusun paralel ditunjukkan pada Gambar 3 untuk memberikan pembebanan pada mesin genset yang digunakan untuk menghasilkan gas buang *engine*. Kondisi pembebanan diberikan untuk mensimulasikan kondisi *engine* pesawat. Pembebanan divariasikan dari 0 W (tanpa beban), 100 W, 200 W, 300 W, 400 W, dan 500 W pada instalasi alat uji ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Instalasi *Heater Helical Coil* pada Prototipe *Wing*



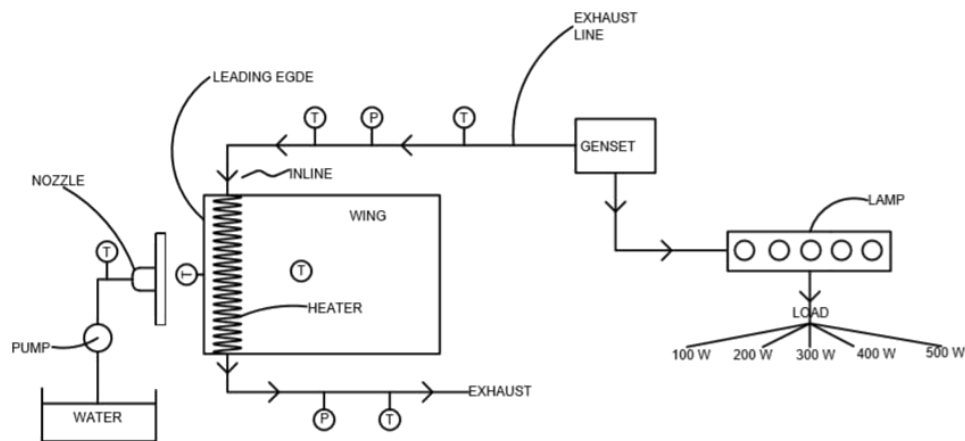
Gambar 2. Helical Coil Tube

Gambar 3. Pembebanan Lampu Pijar

Tabel 1. Karakteristik Geometri Seksi Uji Alat Penelitian

NoCoil	D_c (mm)	D_t (mm)	D_c/D_t	Pitch (mm)	n_c	L_c (mm)	L_t (mm)
1	63.5	7.94	8.03	10	24	280	4790
2	76.2	7.94	9.65	10	18	280	4310
3	88.9	7.94	11.25	10	15	280	4190

Prosedur pengujian yang dilakukan dengan kondisi tanpa *spray* adalah mengambil data *heater 1* dalam rentang waktu pengambilan data 2 menit dengan data yang diambil kecepatan aliran gas buang (V_g) dan temperatur gas buang (T_5). Kemudian dilanjutkan 15 menit dengan data yang diambil Th_i , Th_o , T_g , T_{se} , T_{si} , T_u , T_p , T_w , V_g , P_g . Prosedur yang sama digunakan untuk kondisi dengan *spray*. Setelah selesai melakukan pengujian pada *heater 1*, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap *heater 2* dan *heater 3*.



Gambar 4. Skema Instalasi Alat Pengujian

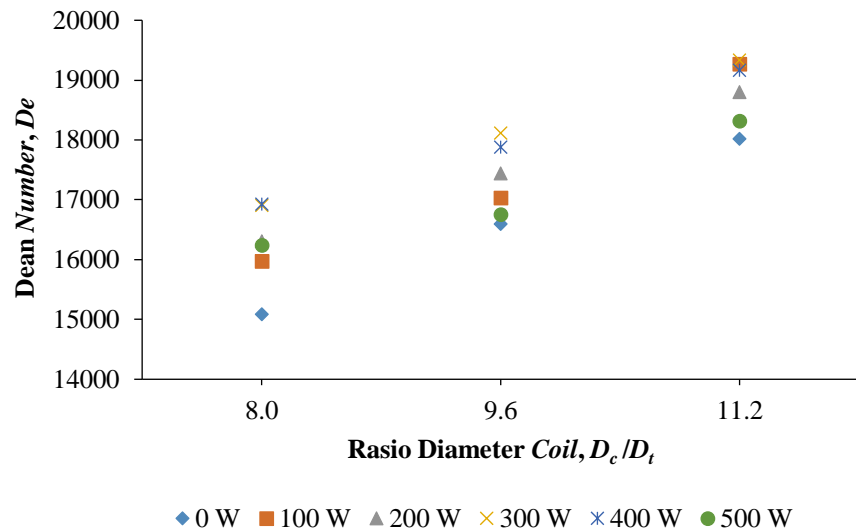
Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini efektivitas dari *antiicing* berupa *heater* dengan geometri *helicalcoil* merupakan suatu indikator seberapa efektif *device* tersebut dalam fungsinya untuk mengatasi terjadi *icing* pada *leadingedgewing*. Efektivitas mempunyai korelasi dengan performa dari *heaterantiicing*. Performa *heaterantiicing* diindikasikan dengan bilangan Dean (De), bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu), koefisien perpindahan kalor (h), efisiensi (ϵ), dan *pressure drop* (ΔP).

Pengaruh Perubahan Geometri terhadap Bilangan Dean di Dalam Tube

Pada Gambar 5 memperlihatkan bertambahnya rasio diameter *coil* (D_c/D_t) akan meningkatkan aliran sekunder di dalam *tube* yang dipresentasikan dengan bilangan Dean. Bilangan Dean merupakan parameter yang melibatkan rasio kelengkungan yang merupakan ciri aliran sekunder yang timbul karena aliran melewati saluran lengkung. Nilai rata-rata bilangan Dean terbesar terjadi pada rasio diameter coil 11.2 sebesar 18819.7, bila dibandingkan dengan nilai rata-rata bilangan Dean terkecil

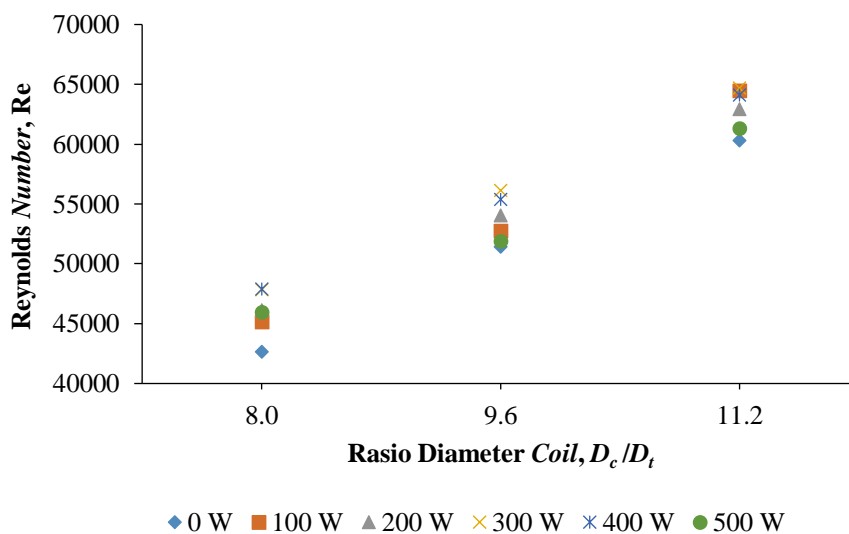
pada rasio diameter coil 8.0 terjadi peningkatan bilangan Dean sebesar 15.9 %. Jadi semakin besar rasio diameter coil akan semakin besar terjadi peningkatan bilangan Dean di dalam *tube*.



Gambar 5. Pengaruh Rasio Diameter *Coil* terhadap Bilangan Dean

Pengaruh Perubahan Geometri terhadap Bilangan Reynolds di Dalam Tube

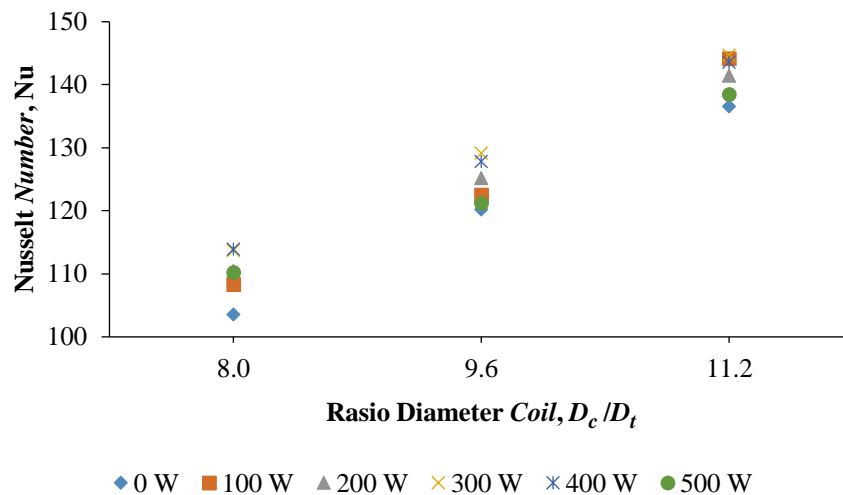
Pada Gambar 6 menunjukkan perubahan rasio diameter *coil* akan mempengaruhi perubahan kecepatan aliran gas buang yang dipresentasikan dengan bilangan Reynolds di dalam *coiltube*. Nilai rata-rata bilangan Reynolds terbesar terjadi pada rasio diameter *coil* 11.2 sebesar 62972.8, bila dibandingkan dengan nilai rata-rata bilangan Reynolds terkecil pada rasio diameter *coil* 8.0 terjadi peningkatan bilangan Reynolds sebesar 37.1 %. Jadi semakin besar rasio diameter *coil* akan semakin besar terjadi peningkatan bilangan Reynolds di dalam *tube* dimana alirannya adalah turbulen.



Gambar 6. Pengaruh Rasio Diameter *Coil* terhadap Bilangan Reynolds

Pengaruh Perubahan Geometri terhadap Bilangan Nusselt di Dalam Tube

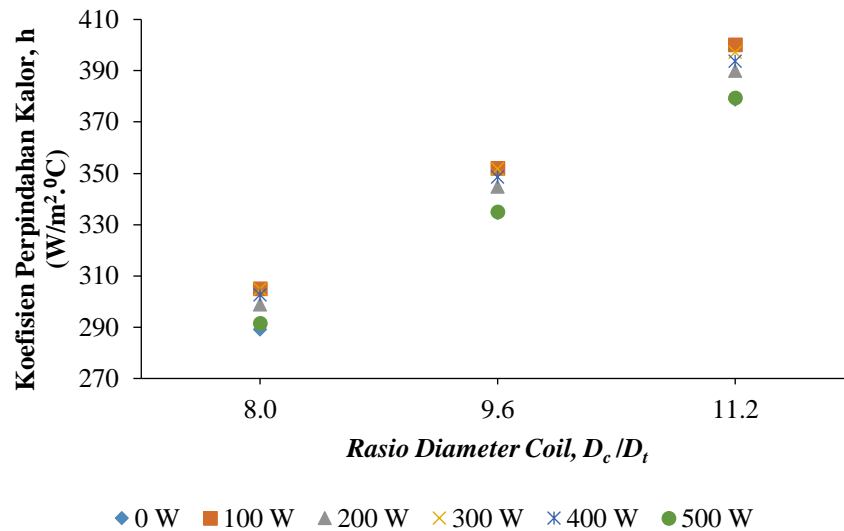
Pada Gambar 7 diketahui bahwa bilangan Nusselt meningkat dengan bertambahnya rasio diameter *coil*. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya rasio diameter *coil* akan menambah luas permukaan perpindahan kalor dan akan meningkatkan intensitas aliran sekunder di dalam *tube*. Peningkatan intensitas aliran sekunder menyebabkan persinggungan fluida dengan dinding *tube* menjadi lebih lama sehingga kalor yang diserap menjadi lebih banyak dan bilangan Nusselt di dalam *tube* meningkat berbanding lurus dengan peningkatan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam *tube*. Terlihat bahwa nilai rata-rata tertinggi untuk bilangan Nusselt pada penggunaan rasio diameter *coil* 11.2 adalah 141.5, bila dibandingkan dengan bilangan Nusselt terendah pada penggunaan rasio diameter *coil* 8,03 terjadi peningkatan sebesar 28.6 %. Jadi semakin besar rasio diameter *coil* akan semakin besar terjadi peningkatan bilangan Nusselt di dalam *tube*.



Gambar 7. Pengaruh Rasio Diameter Coil terhadap Bilangan Nusselt

Pengaruh Perubahan Geometri terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi di Dalam Tube

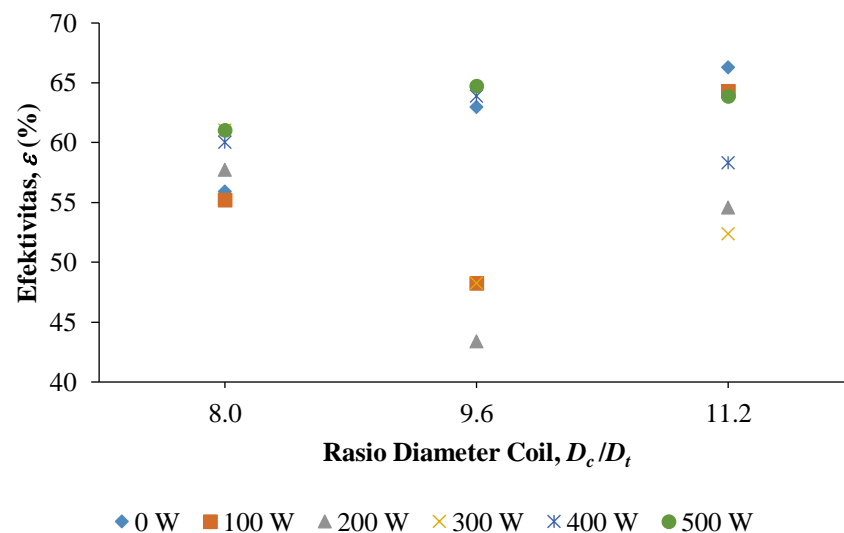
Pada Gambar 8 diketahui bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi naik dengan bertambahnya rasio diameter *coil*. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya rasio diameter *coil* dan bertambahnya kecepatan aliran gas buang akan meningkatkan intensitas aliran sekunder. Peningkatan intensitas aliran sekunder menyebabkan persinggungan fluida dengan dinding *tube* menjadi lebih lama sehingga kalor yang diserap menjadi lebih banyak dan koefisien perpindahan kalor konveksi meningkat. Nilai rata-rata tertinggi untuk koefisien perpindahan kalor konveksi pada penggunaan rasio diameter *coil* 11.2 adalah $390 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, bila dibandingkan dengan koefisien perpindahan kalor terendah pada rasio diameter *coil* 8.0 terjadi peningkatan sebesar 30.6 %. Jadi semakin besar rasio diameter *coil* akan semakin besar terjadi peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam *tube*.



Gambar 9. Grafik pengaruh rasio diameter coil terhadap koefisien perpindahan kalor

Pengaruh Perubahan Geometri terhadap Efisiensi Heater

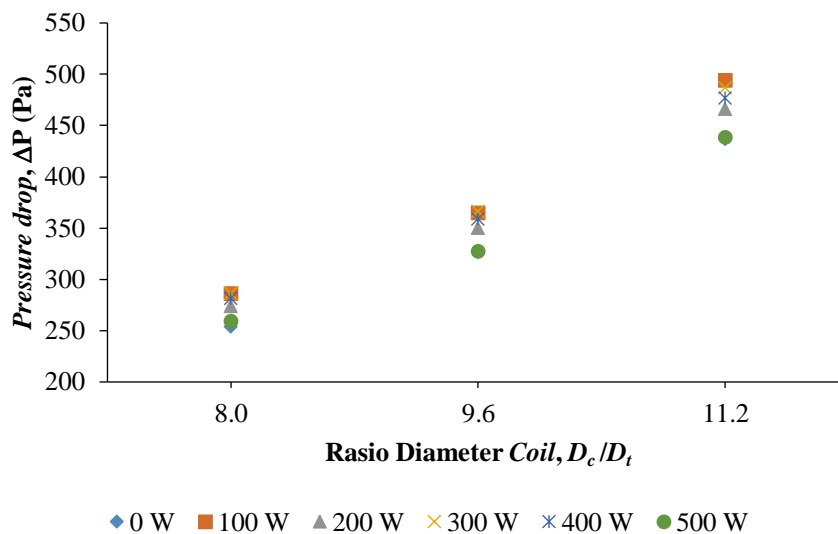
Pada Gambar 10 menunjukkan pengaruh perubahan rasio diameter *coil* terhadap efisiensi *heater*. Efisiensi *heater* mempresentasikan kemampuan atau performa dari suatu *heater* dalam melakukan proses pemanasan. Semakin besar nilai rasio diameter *coil* maka semakin efektif *heater* tersebut melakukan proses pemanasan. Nilai rata-rata tertinggi untuk efisiensi heater pada penggunaan rasio diameter *coil* 11.2 adalah 59.9 %, bila dibandingkan dengan efisiensi terendah pada penggunaan rasio diameter *coil* 8.0 terjadi peningkatan sebesar 2.5 %. Jadi semakin besar rasio diameter *coil* akan semakin besar terjadi peningkatan efisiensi penukar kalor.



Gambar 10. Pengaruh Rasio Diameter Coil terhadap Efisiensi Heater

Pengaruh Perubahan Geometri terhadap *Pressure Drop* (ΔP) di Dalam *Tube*

Pada Gambar 11 menunjukkan grafik pengaruh perubahan geometri rasio diameter *coil* terhadap *pressure drop* di dalam *tube* pada berbagai beban. Dari gambar diketahui bahwa semakin besar rasio diameter *coil* akan semakin meningkat *pressure drop* di dalam *tube*. Ketika fluida mengalir dalam lintasan *tube* yang berbentuk *helical*, akan terjadi aliran sekunder yang disebabkan oleh gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal ini memiliki kemampuan menciptakan efek turbulensi dan meningkatkan laju perpindahan kalor yang signifikan. Tetapi dengan meningkatnya efek turbulensi aliran di dalam *tube* juga akan meningkatkan *pressure drop* karena semakin panjangnya lintasan ketika fluida mengalir di dalamnya. Pada grafik terlihat nilai rata-rata tertinggi *pressure drop* pada penggunaan rasio diameter *coil* 11.2 adalah 466.9 Pa, bila dibandingkan dengan *pressure drop* terendah pada penggunaan rasio diameter *coil* 8.0 terjadi peningkatan sebesar 70.4 %. Jadi semakin besar rasio diameter *coil* akan semakin besar terjadi peningkatan *pressure drop* di dalam *tube*.



Gambar 11 Pengaruh Rasio Diameter *Coil* terhadap *Pressure Drop* di Dalam *Tube*

Kesimpulan

Perubahan geometri pada rasio diameter coil dapat meningkatkan intensitas aliran sekunder, menciptakan efek turbulensi dan meningkatkan koefisien perpindahan kalor. Hal tersebut juga akan mempengaruhi perubahan parameter performa dari *heater*. Bila dibandingkan rasio diameter *coil* terbesar 11.2 dengan rasio diameter *coil* terkecil 8.0 terjadi peningkatan bilangan Dean rata-rata sebesar 15.9%, bilangan Reynolds rata-rata sebesar 37.1%, bilangan Nusselt rata-rata sebesar 28.6%, koefisien perpindahan kalor rata-rata sebesar 30.6%, efisiensi rata-rata sebesar 2.5% dan *pressure drop* akibat semakin panjang lintasan yang dilalui gas buang sebesar 70%.

Daftar Notasi

- A_s : surface area (m^2)
 c_p : specific heat ($J/kg \cdot ^\circ C$)
 De : bilangan Dean
 D_c : diameter *coil* (m)
 D_t : diameter *tube* (m)
 f_c : faktor gesekan *coil*

h	: koefisien perpindahan kalor permukaan di dalam <i>tube</i> ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
k	: <i>thermal conductivity</i> ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)
L_c	: panjang <i>coil</i> (m)
L_t	: panjang total <i>tube</i> (m)
Nu	: bilangan Nusselt di dalam <i>tube</i>
n_c	: banyak lilitan pada <i>coil</i>
P_i	: tekanan gas buang pada <i>inletheater</i> (Pa)
P_o	: tekanan gas buang pada <i>outlet heater</i> (Pa)
Pr	: bilangan Prandtl
Re	: bilangan Reynold
T_{hi}	: temperatur panas gas buang pada <i>inletheater</i> ($^\circ\text{C}$)
T_{ho}	: temperatur panas gas buang pada <i>outletheater</i> ($^\circ\text{C}$)
T_g	: temperatur panas gas buang dari <i>exhaust manifold</i> genset ($^\circ\text{C}$)
T_{se}	: temperatur <i>surface</i> sisi luar <i>leading edge</i> ($^\circ\text{C}$)
T_{si}	: temperatur <i>surface</i> sisi dalam <i>leading edge</i> ($^\circ\text{C}$)
T_u	: temperatur <i>surface</i> bagian atas airfoil ($^\circ\text{C}$)
T_p	: temperatur air yang di pompakan untuk <i>spray</i> ($^\circ\text{C}$)
T_w	: temperatur air untuk <i>spray</i> ($^\circ\text{C}$)
V_g	: kecepatan aliran gas buang (m/s)
P_g	: tekanan gas buang (Pa)
ΔT	: selisih temperatur rata-rata logaritma ($^\circ\text{C}$)
ΔP	: penurunan tekanan (Pa)
ε	: efektivitas heater (%)
μ	: viskositas dinamik fluida panas ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$)
ν	: viskositas kinematik fluida panas (m^2/s)
ρ	: density fluida (kg/m^3)

Daftar Pustaka

- [1] Sudrajat, J., "Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem COG Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau", *Jurnal Teknik Mesin*, no. 6(3), pp. 174-181, 2017.
- [2] Ayare, A. A., and Anjarlekar, S. D., "Experimental Study on Helical Coil Heat Exchanger", *International Journal of Scientific and Research Publications*, no. 7(5), pp. 56-59, 2017
- [3] Vishvakarma, S., S. Kumbhare and K.K. Thakur, "A Review On Heat Transfer Through Helical Coil Heat Exchangers" *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology*, no. 5(8), pp. 608-612, 2016.
- [4] Zainuddin, Jufriзал, and Eswanto, "Pemilihan Kapasitas Panas Dan Temperatur Udara Alat Penukar Kalor Shell Helical Coil Multi Tube Untuk Kebutuhan Pengering Gabah Tipe Rotari Dengan Memanfaatkan Thermal Gas Buang Mesin Diesel". *Mekanika*, no. 15(2), pp. 1-7, 2016.
- [5] Kasmara, J., "Studi Eksperimental Efektivitas Alat Penukar Kalor Shell Helical Coil Tube dengan Memanfaatkan Limbah Panas Gas Buang Mesin Diesel Sebagai Pemanas Bahan Bakar Solar" *Tesis S2 Teknik Mesin Universitas Gajah Mada (UGM)*, Yogyakarta, 2016.
- [6] Smusz, R., "Analytical and experimental analysis of tube coil heat exchanger", *European Thermal-Sciences Conference*, no. 745(3), pp. 1-6, 2016.
- [7] Sreejith, Ram, T.R.S., Jaivin, Varghese, Francis, M., Mossas, Nidhin, Nithil, and Sushmitha, "Experimental Investigation of a Helical Coil Heat Exchanger", *International Journal of Engineering And Science*, no. 5(8), pp. 1-5, 2015.
- [8] Cengel, Y. A. *Heat and Mass Transfer* 5nd ed, New York: McGraw Hill, 2015.