

# ANALISIS HEAT TRANSFER ANTI ICING DEVICE SEBAGAI PEMANAS LEADING EDGE WING DENGAN MEMANFAATKAN PANAS GAS BUANG DARI ENGINE

<sup>1</sup>Bryan Adi Nugraha, <sup>2</sup>Joni Kasmara, S.T., M.Eng, <sup>3</sup>Gaguk Marausna, S.T., M.Eng.  
Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

## Abstrak

Apabila terjadinya airfoil contaminating berupa icing atau penumpukan partikel es pada leading edge wing dapat menimbulkan hilangnya produksi gaya angkat pada sayap pesawat yang dikarenakan faktor cuaca dan kelembaban pada ketinggian tertentu. Untuk mencegah terjadinya icing, yaitu dengan menggunakan anti icing device guna mencegah terjadinya icing. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh geometri pada rasio diameter coil terhadap performa alat heater yang menggunakan panas gas buang engine dan pengaruh geometri heater terhadap efektivitas heater dalam memanaskan airfoil contamination pada leading edge wing. Penelitian ini menggunakan engine genset 1 silinder berkapasitas 2000 Watt dengan variasi beban menggunakan lampu pijar dengan total beban 500 Watt serta menggunakan profil airfoil yang dikondisikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan geometri coil akan mempengaruhi parameter performa dari alat heater. Parameter performa heater meningkat dengan semakin kecilnya rasio diameter coil. Pemanasan yang memanfaatkan limbah panas gas buang engine dengan menggunakan alat heater helical coil tube feedback memberikan peningkatan performa dan efektivitas dalam melakukan pemanasan leading edge wing dalam mencegah terjadinya kontaminasi. Maka kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan alat heater helical coil tube feedback dengan rasio diameter terkecil adalah yang terbaik dalam meningkatkan parameter performa dan efektivitas heater.

**Kata kunci :** Efektivitas, Heater, Helical Coil Tube Feedback, Panas Gas Buang, Airfoil Contaminating

## Abstract

If the occurrence of airfoil contaminating in the form of icing or accumulation of ice particles on the leading edge wing can cause loss of lift force production on the wing of the aircraft due to weather and humidity factors at a certain height. To prevent icing, by using anti-icing devices to prevent icing. The purpose of this study is to study the geometry of the coil diameter ratio to the performance of a heating device that uses engine exhaust heat and the use of geometric heaters to the efficiency of the heater in heating airfoil contamination on the leading edge wings. This study uses a 1cylinder engine generator with a capacity of 2000 Watt with variations in load using incandescent lamps with a total load of 500 Watts and using a conditioned airfoil profile. The results showed that the change in coil geometry would affect the performance parameters of the heater. Heating performance parameters increase with decreasing coil diameter. Heating utilizing hot gas engine waste using a helical coil heating feedback tube provides improved performance and the need to conduct leading edge wing heating in an effort to increase contamination. So, the conclusion of this study shows that the feedback helical coil tube heater with the best diameter ratio in improving the parameters of the performance and utilization of the heater.

**Keywords :** Effectivity, Heater, Feedback Helical Coil Tube, Exhausted Gas Heat, Airfoil Contaminating.

## Pendahuluan

Pada dunia penerbangan, keselamatan merupakan salah satu faktor yang paling penting, dimana jika terjadi kesalahan kecil saja pada pesawat dapat menyebabkan pesawat tersebut jatuh. Karena faktor keselamatan tersebut penting maka, perlu dijaga sayap (*wing*) dari gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan hilangnya produksi gaya angkat yang dihasilkan. Salah satunya adalah terjadinya gangguan pada sayap akibat adanya kontaminasi saat pesawat tersebut sedang terbang. Faktor cuaca dan kelembaban dapat memicu terjadinya gangguan pada ketinggian tertentu dimana gangguan tersebut terjadi pada *leading edge* sayap. Bentuk gangguan tersebut terjadinya *icing* atau penumpukan

<sup>1</sup> Email Address : [bryan.adi76@gmail.com](mailto:bryan.adi76@gmail.com)

Received 3 Desember 2020, Available Online 30 Desember 2020

partikel es pada *leading edge* sehingga terjadinya gangguan aliran yang melewati permukaan bagian atas sayap dan permukaan bagian bawah sayap. Gangguan ini disebut *icing*, dimana aliran menjadi turbulen, hal ini tidak boleh terjadi karena dapat menyebabkan aliran terganggu pada bagian atas sayap hingga dapat menyebabkan pesawat tersebut jatuh, oleh karenanya *leading edge* dari *wing* harus bebas dari kontaminasi. *Anti icing* adalah metode yang digunakan pada saat pesawat tersebut sedang terbang untuk menjaga agar *leading edge* sayap tidak terjadi kontaminasi.

*Anti icing* yang banyak digunakan saat ini, meskipun sedikit tetapi dapat membebani *engine*. Salah satunya menggunakan energi listrik yang bersumber dari *engine* itu sendiri. Hal itu tentu merupakan sebuah kerugian karena membebani *engine* tersebut. Oleh karena itu diperlukan sumber panas yang tidak membebani *engine* dengan memanfaatkan energi yang sudah tak terpakai yaitu panas dari gas buang *engine* itu sendiri. Terkait *maintenance*, memastikan semua komponen dapat bekerja dengan baik. Salah satunya ialah dengan menjaga sayap agar dapat tetap menghasilkan daya angkat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh geometri pada rasio diameter *coil* terhadap performa alat heater yang menggunakan panas gas buang *engine* dan pengaruh geometri *heater* terhadap efektivitas *heater* dalam memanaskan *airfoil contamination* pada *leading edge wing*.

Ayare (2017) meneliti tentang dua jenis penukar panas: tabung *coil* lurus dan heliks. Koil helikspenukar panas telah dicoba dan dianalisis padadasar perbedaan suhu rata-rata log (LMTD), panas koefisien transfer dan nomor Reynolds. Ditemukan hasil, bahwa penukar panas koil heliks ialah yang efisien dan koefisien perpindahan panas keseluruhan meningkat seiring dengan laju aliran massa. Vishvakarma (2016) melakukan penelitian tentang perpindahan panas melalui alat penukar kalor *helical coil* karena kesederhanaan dalam pembuatan. Menggunakan metodologi analisis CFD dari penukar panas, efek mempertimbangkan sifat fluida aktual alih-alih nilai konstan ditetapkan. Hasil pada penelitian ini diketahui bahwa spesifikasi suhu konstan atau kondisi batas fluks panas konstan untuk penukar panas aktual tidak menghasilkan pemodelan yang tepat. Oleh karena itu, penukar panas dianalisis dengan mempertimbangkan perpindahan panas konjugat dan sifat bergantung suhu dari media perpindahan panas.

Kasmara (2016) melakukan penelitian tentang pemanfaatan Limbah Panas Gas Buang Mesin Diesel Sebagai Pemanas Bahan Bakar Solar menggunakan alat *heat exchanger shell helical coil tube*. Ditemukan hasil yaitu, penggunaan alat *heat exchanger shell helical coil tube* dengan rasio *coil* terkecil ialah yang paling ideal dalam meningkatkann performa mesin diesel dan dapat memaksimalkan pemanfaatan limbah panas gas buang untuk memanaskan bahan bakar solar dan dapat menurunkan emisi gas buang. Zainuddin (2016) melakukan penelitian tentang pemanfaatan kembali limbah panas dari mesin diesel menggunakan alat penukar kalor *shell helical coil multi tube* sebagai pemanas untuk mengeringkan gabah. Ditemukan hasil penelitian ialah, 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.

Dalam mengeringkan gbah basis basah 14% pada suhu udara 70,4 °C dibutuhkan panas 18932,03kJ dan panas yang tersedia 12065,69 kJ/h dengan laju aliran massa udara 0,0828 kg/s waktu pengeringan 1 jam, 33 menit.

## Landasan Teori

### Airfoil Contamination

*Airfoil contamination* adalah sebuah kondisi dimana terjadi pengaruh dan dampak dari interaksi antara *airfoil* dengan udara yang mengalir melewatinya. Beberapa benetuk kontaminasi yang paling

umum adalah es, salju dan embun beku (bunga es). Bentuk kontaminasi tersebut jika menumpuk pada airfoil akan mengurangi kapasitas daya angkatnya, dikarenakan es yang menumpuk dapat merubah bentuk airfoil yang mengganggu aliran udara dan membuatnya menjadi kurang efisien. Jika tumpukan es dibiarkan menempel pada pesawat selama penerbangan, bobot pesawat akan meningkat sementara kemampuan untuk menghasilkan daya angkat menurun.

### Anti icing

*Anti icing* merupakan alat yang digunakan untuk mencegah terjadinya icing, salah satunya pada *leading edge wing*. Pada saat ini jenis alat pencegahan terjadinya *icing* yang digunakan pada pesawat terbang komersial yaitu, *electric heater, bleed air anti icing, glycol based fluid*.

### Heater

Alat pemanas atau *heater* adalah alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara memancarkan kalornya ke fluida lain. Alat pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pemanas atau *heater* jenis *copper heating coil element tipe helical coil tube feedback*. Penggunaan *helical coil tube feedback* dapat meningkatkan efektivitas perpindahan kalor. Ini dikarenakan ketika fluida mengalir pada dalam lintasan pipa yang berbentuk kurva, aliran sekunder terbentuk akibat adanya gaya sentrifugal. Aliran sekunder ini, dapat secara signifikan meningkatkan laju perpindahan kalor dan terdapat lintasan balik pipa yang melewati *coil* sehingga dapat memanaskan *coil* kembali.

### Reynolds Number (Re<sub>i</sub>)

Bilangan ini digunakan untuk menentukan jenis aliran yang berbeda, seperti laminar, turbulen atau transisi serta bilangan ini merupakan salah satu bilangan tak berdimensi. Menurut Cengel (2003), bilangan *Reynolds* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Re_i = \frac{V_g \times D_c}{\nu_h} \quad (1)$$

### Dean Number (De<sub>i</sub>)

Bilangan *Dean* merupakan parameter yang melibatkan rasio kelengkungan yang merupakan salah satu ciri dari aliran sekunder yang muncul karena adanya aliran yang melewati saluran lengkung. Timbulnya aliran sekunder terjadi akibat adanya ketidakseimbangan antara gaya sentrifugal dengan tekanan saat fluida mengenai dinding sisi terluar bagian dalam saluran pipa. Aliran sekunder menciptakan efek turbulensi sehingga aliran fluida menjadi turbulen. Aliran sekunder memiliki peranan yang sangat penting karena timbulnya aliran sekunder akan menambah faktor gesekan, tapi juga menambah laju perpindahan kalor. Faktor gesekan dapat menyebabkan aliran menjadi lambat untuk mengalir, sedangkan manfaat dari aliran sekunder dapat digunakan untuk melepas kalor. Menurut Cengel (2003), apabila aliran melewati saluran yang melengkung maka nilai bilangan *Dean* dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$De_i = Re_i \left( \frac{Dt}{Lt} \right)^{1/2} \quad (2)$$

### Nusselt Number (Nu<sub>i</sub>)

Bilangan Nusselt adalah bilangan untuk menentukan karakteristik aliran proses perpindahan panas yang berhubungan dengan rasio resistansi termal konduksi terhadap resistansi termal konveksi dari fluida. Menurut Cengel (2003) jika alirannya di dalam *tube* adalah turbulen maka nilai bilangan Nusselt dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Nu_i = 0,023 \times Re_i^{0,8} \times Pr_i^{0,4} \quad (3)$$

### **Koefisiensi perpindahan kalor konveksi dalam tube ( $h_i$ )**

Nilai koefisien perpindahan kalor konveksi dalam *tube*, menurut Cengel (2003) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$h_i = \frac{Nu_i \times Ki}{dt} \quad (4)$$

### **Perpindahan Kalor (Q)**

Jumlah kalor yang terpancarkan atau dilepas diasumsikan sama besar dengan jumlah kalor yang dilepaskan oleh gas buang dalam area dalam leading edge (*shell*) secara konveksi melalui *heater* (*helical coil tube*). Analisa ini juga mengasumsikan tidak terdapat kehilangan kalor melalui dinding selongsong (*shell*) ke udara luar lingkungan sekitarnya. Laju perpindahan kalor yang dilepas oleh fluida panas (gas buang) dalam selongsong (*shell*). Menurut Cengel (2003) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = h_i \times A_s \times \Delta T_{lm} \quad (5)$$

### **Pressure Drop**

*Pressure drop* atau penurunan tekanan yang terjadi pada *tube* karena faktor gesekan yang terjadi pada aliran dapat mempengaruhi panjangnya suatu aliran yang melewati suatu instalasi, menurut Sidik Kakac (2002) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta P = f_c \frac{L_t}{D_t} \rho \frac{V_g^2}{2} \quad (6)$$

### **Efektivitas ( $\epsilon$ ) Heater**

Agar analisis lebih mudah untuk dilakukan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektivitas *heater* dalam melepaskan sejumlah kalor tertentu. Menjadikan parameter yang menunjukkan performa dari suatu alat pemanas adalah efektivitas. Menurut Cengel (2003), efektivitas suatu alat *heater* dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{T_{si} - T_w}{T_w} \times 100 \% \quad (7)$$

### **Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian efektivitas *heater jenis helical coil tube feedback* yang mempunyai geometri sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, diletakkan pada profil *airfoil* dengan Panjang *chord* 58cm dan *thickness* 14 cm yang disemprotkan air es menggunakan *sprayer* untuk pengkondisian terjadinya *icing* pada saat pesawat sedang terbang. Sumber panas yang digunakan pada pengujian ini menggunakan gas buang dari mesin genset merk honda dengan kapasitas 2000

W. pada pengujian ini divariasikan dengan beban yang di bebaskan kepada genset guna mengkondisikan variasi putaran *engine* pesawat dalam siklus penerbangan, mulai dari beban 100 W, 200 W, 300 W, 400 W, hingga 500 W.

Dalam proses manufaktur, heater terbuat dari pipa tembaga yang di bentuk menggunakan alat pengkondisian menjadi berbentuk *helical*, kemudian pada profil *airfoill* terbuat dari plat aluminium 2 mm yang kemudian di bentuk sedemikian rupa menjadi sebuah profil *airfoil*.

Tabel 1. Geometri heater

Heater	Rasio Diameter	$D_t$ (in)	$D_c$ (in)	P (in)	$n_c$ Banyak	$L_c$ (m)	$L_t$ (m)
	Coil	Diameter Tube	Diameter Coil	Pitch	Lilitan	Panjang Coil	Panjang Tube
1	11	3/8	4	1 <sup>2</sup> / <sub>7</sub>	11	0,355	4,9
2	13,1	5/16	4	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	9	0,330	4,1
3	16,5	1/4	4	1	12	0,295	4,9

### Proses Pengujian

Sebelum dilakukan pengujian dan pengambilan data semua alat dipastikan terlebih dahulu dapat bekerja dengan baik dan dirakit sesuai instalasi sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3. Setelah semua alat dan komponen sudah dirakit, semua alat di uji coba dan memeriksa memastikan bahwa tidak ada terjadi kebocoran pada instalasi. Apabila tidak terjadi kebocoran, dilanjutkan ke proses pengujian dan pengambilan data dengan langkah sebagai berikut :

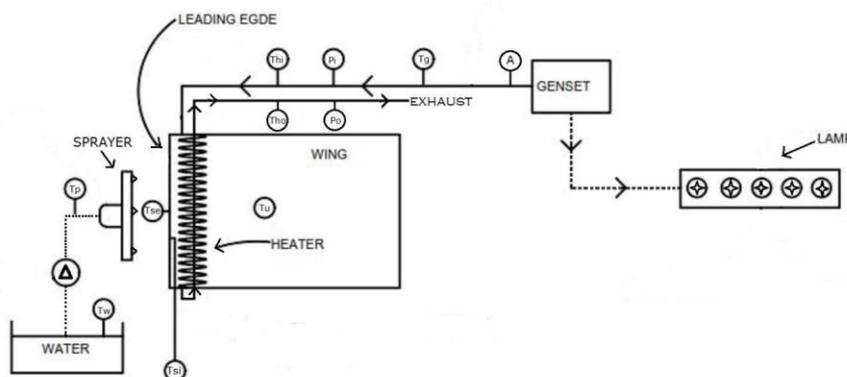
- Menjalankan genset 2 menit, mengukur dan mengambil data kecepatan aliran gas buang ( $V_g$ ) dan temperatur gas buang ( $T_g$ ), dengan kondisi :
  - Tanpa beban = 0 W
  - Beban = 100 W, 200 W, 300 W, 400 W dan 500 W.
- Pengujian heater 1, menjalankan genset kemudian mengukur dan mengambil data pada *heater* 1 kondisi *sprayer* tanpa beban dan dengan beban 100 W, 200 W, 300 W, 400 W hingga 500 W. Pada setiap beban dilakukan 3 kali pengambilan data. Data yang diambil yaitu,  $T_{hi}$ ,  $T_{ho}$ ,  $T_g$ ,  $T_{se}$ ,  $T_{si}$ ,  $T_u$ ,  $T_p$ ,  $T_w$ ,  $V_g$ ,  $P_g$ .
- Selanjutnya dilakukan pengujian heater 2 dan 3 seperti pada poin 2.



Gambar 1. Pengkondisian airfoil contamination menggunakan sprayer



Gambar 2. Helical coil tube feedback



Gambar 3. Skema instalasi rangkaian pengujian

Keterangan :

A = Anemometer pada jalur gas buang

Tg = Termokopel pada jalur gas buang

Thi = Termokopel pada jalur gas buang masuk heater

Tho = Termokopel pada buang masuk heater

Tse = Termokopel pada luar airfoil

Tsi = Termokopel pada surface leading edge

Tp = Termokopel pada jalur pompa air

Tu = Termokopel pada bagian atas airfoil

Tw = Termokopel pada air

Pi = Pressure gauge in

Po = Pressure gauge out

★ = Lampu pijar 100 W

▲ = Pompa Air

— = Jalur pipa gas buang

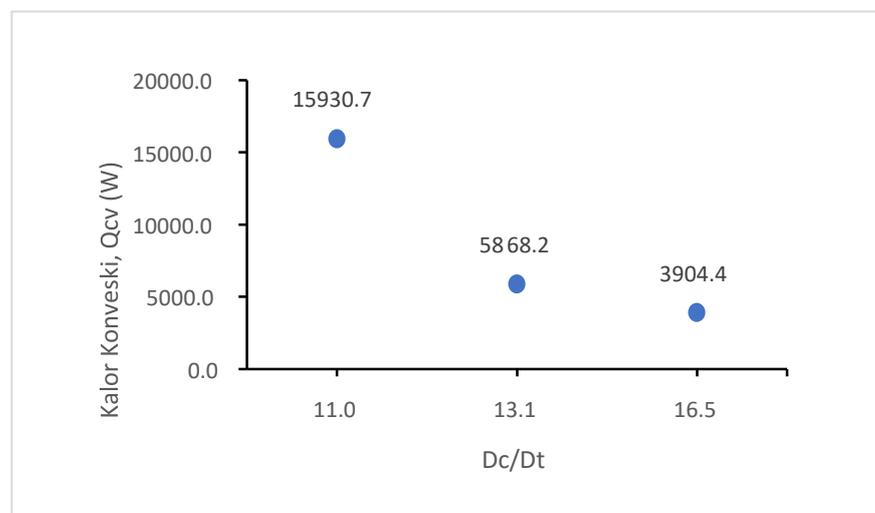
--- = Jalur keistrikan

..... = Jalur pipa air

## Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap Kalor Konveksi ( $Q_{cv}$ ) Di Dalam Tube

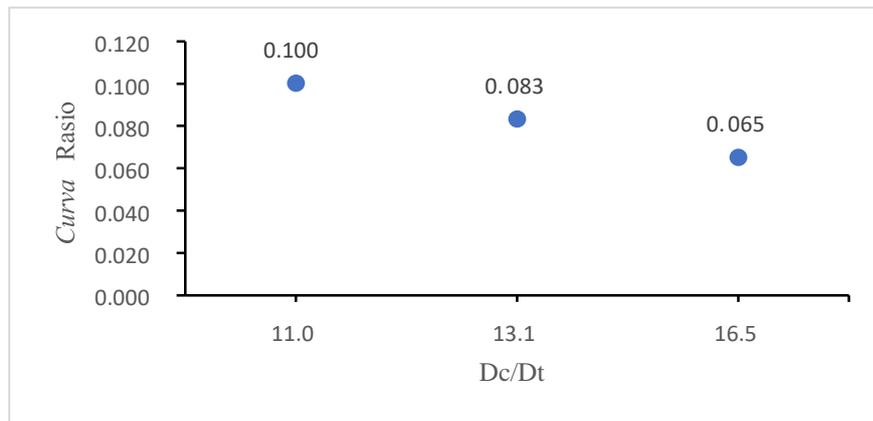
Nilai rata-rata kalor konveksi terbesar terjadi pada rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) 11 sebesar 15930,7 W. Bila dibandingkan dengan nilai rata-rata kalor konveksi terkecil pada rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) 16,5 terjadi penurunan koefisien perpindahan kalor konveksi sebesar 75,5 %. Jadi semakin kecil rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) maka akan semakin besar terjadi peningkatan kalor konveksi di dalam *tube* ( $Q_{cv}$ ). Pada rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) 11 lebih baik karena semakin besar kalor konveksi akan semakin besar pula interaksi perpindahan kalor jika dibandingkan dengan diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) 16,5 dan ( $D_c/D_t$ ) 13,1.



Gambar 4. Grafik pengaruh perubahan rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) Terhadap kalor konveksi ( $Q_{cv}$ ) di dalam tube

### Pengaruh Rasio Diameter Coil (Dc/Dt) Terhadap Curva Rasio ( $\delta$ )

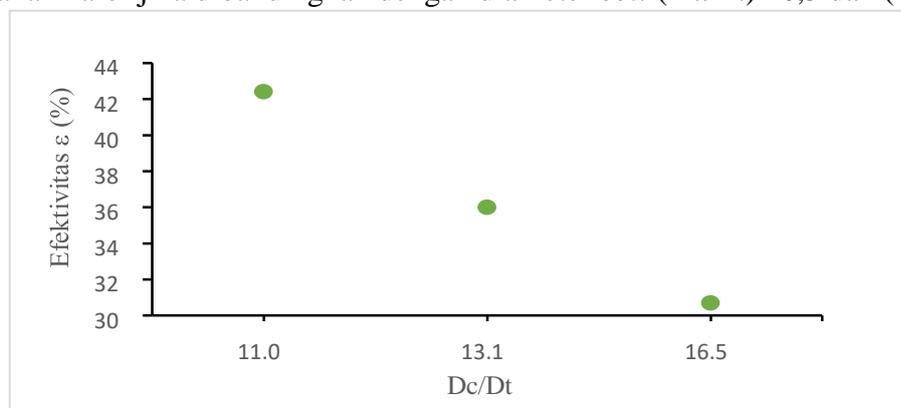
Nilai *curva* rasio ( $\delta$ ) terbesar ada pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 11 dengan nilai 0,100, bila dibandingkan dengan nilai *curva* rasio ( $\delta$ ) terendah pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 16,5 adanya selisih sebesar 35 % dengan nilai 0,065. Jadi semakin kecil rasio diameter *coil* (Dc/Dt) akan semakin besar peningkatan nilai *curva* rasio. Pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 11 lebih baik karena nilai *curva* rasio ( $\delta$ ) lebih besar yang dimana keadaan tersebut akan meningkatkan eksistensi aliran sekunder yang dapat membuat interaksi perpindahan kalor lebih optimal jika dibandingkan dengan diameter *coil* (Dc/Dt) 13,1 dan (Dc/Dt) 11.



Gambar 5. Grafik pengaruh rasio diameter *coil* (Dc/Dt) Terhadap *Curva* rasio

### Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap Efektivitas ( $\epsilon$ ) Heater

Nilai rata-rata efektivitas ( $\epsilon$ ) *heater* dengan *spray* terbesar terjadi pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 11 sebesar 42,4 %, bila dibandingkan dengan nilai rata-rata efektivitas ( $\epsilon$ ) *heater* terkecil pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 16,5 terjadi penurunan efektivitas ( $\epsilon$ ) *heater* sebesar 27,6 %. Jadi semakin kecil rasio diameter *coil* (Dc/Dt) akan semakin besar peningkatan efektivitas ( $\epsilon$ ) *heater*. Pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 11 lebih baik karena bertambahnya efektivitas *heater* dalam melakukan proses perpindahan kalor jika dibandingkan dengan diameter *coil* (Dc/Dt) 16,5 dan (Dc/Dt) 13,1.



Gambar 5. Grafik pengaruh perubahan rasio diameter *coil* (Dc/Dt) Terhadap *Curva* rasio

## Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan menganalisa hasil pengujian alat *heater* pada *helical coil feedback* dengan memanfaatkan *thermal gas* buang dari *engine*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perubahan geometri *coil* akan mempengaruhi koefisien perpindahan kalor dimana *curva* rasio dapat meningkatkan intensitas aliran sekunder menciptakan efek turbulensi dan meningkatkan koefisien perpindahan kalor serta memaksimalkan kalor yang dilepas. Terlihat yang terbaik pada *heater* 1 dengan rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) 11 memiliki *curva* rasio 0,100 dan memiliki koefisien perpindahan kalor rata-rata sebesar  $1806,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Jadi semakin besar rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) dan semakin besar *curva* rasio maka semakin besar koefisien perpindahan kalor.
2. Perubahan geometri *coil* akan mempengaruhi efektivitas dari *heater* tersebut dimana *curva* rasio dapat meningkatkan kalor konveksi ( $Q_{cv}$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa naiknya kalor konveksi ( $Q_{cv}$ ) akibat adanya aliran sekunder. Terlihat yang terbaik ada pada *heater* 1 dengan rasio diameter *coil* ( $D_c/D_t$ ) 11 memiliki kalor konveksi ( $Q_{cv}$ ) rata-rata sebesar  $15930,7 \text{ W}$  dan memiliki efektivitas  $42,4 \%$ .

## Daftar Pusaka

- Ayare, A. A., dan Anjarlekar, S. D. (2017). Experimental Study on Helical Coil Heat Exchanger. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 7(5): 56-59.
- Cengel, Y. A. 2003. *Heat Transfer*. 2<sup>nd</sup> ed. McGraw Hill. New York.
- Kakac, S., and H. Liu. 1997. Heat Exchanger Selection. *Rating and Thermal Design*, CRC Press : 28 – 97.
- Kasmara, J. (2016). 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.
- Vishvakarma, S., S. Kumbhare dan K.K. Thakur (2016). A Review On Heat Transfer Through Helical Coil Heat Exchangers. *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology* 5(8): 608-612.
- Zainuddin, Jufrizal, dan Eswanto. (2016). 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* 15(2): 1-7.