

STUDI EKSPERIMENTAL PENINGKATAN *HEAT TRANSFER* PADA *HEATER* PIPA KONSENTRIK DENGAN PENAMBAHAN *VORTEX GENERATOR* GUNA MENGATASI *TAILPLANE ICING*

¹Sabas Damanik, ²Gagak Marausna, ³Farid Jayadi

Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

Abstrak

Pesawat merupakan teknologi transportasi udara yang mengalami perkembangan secara signifikan, salah satu komponen yang terpenting dari pesawat yaitu horizontal stabilizer, pada horizontal stabilizer terdapat bagian leading edge horizontal stabilizer yang riskan mengalami terjadi icing diakibatkan faktor cuaca, karena akan mengakibatkan kegagalan fungsi elevator pada system pitch up dan pitch down, sehingga mengurangi performa pesawat ketika terbang. Maka dilakukan penelitian untuk mengatasi icing dengan menggunakan heater. Metode penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental, dengan menggunakan vortex generator type yang berbeda yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan karakteristik perpindahan panas dan perbandingan penurunan tekanan pada heater pipa konsentrik dengan vortex generator type rectangle, delta, dan deltawinglet (delta dan rectangle). Dengan pemanfaatan fluida panas dari heat gun terhadap beberapa vortex generator type. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa type deltawinglet mengalami efisiensi (η) terendah 9,15% dari yang tertinggi type rectangle dengan nilai rata-rata 32,28%, tetapi pada nilai perpindahan kalor konveksi memiliki nilai 19,47 W/m². °K meningkat 17,56%, reynold number dengan nilai 5.157,5 meningkat 22,28%, bilangan nusselt (Nu) dengan nilai 18,79 meningkat 18,36%, penurunan tekanan (ΔP) dengan nilai 4,38 Pa meningkat 32,72%, sehingga dengan nilai efisiensi terendah sudah mendapatkan hasil properties perpindahan panas yang tinggi, jadi vortex generator type yang terbaik terdapat pada deltawinglet.

Kata kunci : *Vortex generator type, deltawinglet, karakteristik perpindahan panas, horizontal stabilizer, leading edge, heater*

Abstract

Aircraft is an air transportation technology that has developed significantly, one of the most important components of the aircraft, namely the Horizontal stabilizer, on the horizontal stabilizer there is a leading edge horizontal stabilizer which is prone to icing due to weather factors, because it will result in failure of the elevator function in the system pitch up and pitch down, thereby reducing aircraft performance when flying. So a research was conducted to overcome icing using a heater. The research method was carried out using experimental methods, using different types of vortex generators which aims to compare the characteristics of heat transfer and the compare of pressure drop in concentric pipe heaters with vortex generator type rectangle, delta, and deltawinglet (delta and rectangle). With the use of heat fluid from the heat gun against several vortex generator types. The results of this study showed that the deltawinglet type experienced efficiency (η) the lowest was 9.15% of the highest rectangle type with an average value of 32.28%, but the convection heat transfer value had a value of 19.47 W/m². °K increased by 17.56%, the reynold number with a value of 5,157.5 increased by 22.28%, the nusselt number (Nu) with a value of 18.79 increased by 18.36%, the pressure drop (ΔP) with a value of 4.38 Pa increased by 32.72%, so that the lowest efficiency value has obtained high heat transfer properties, so the best vortex generator type is found in the deltawinglet.

Keywords: *Vortex generator type, deltawinglet, characteristics of heat transfer, horizontal stabilizer, leading edge, heater*

Pendahuluan

Horizontal stabilizer merupakan salah satu komponen terpenting dari pesawat terbang. Pada *horizontal stabilizer* terdapat banyak gangguan yang menimbulkan *horizontal stabilizer error* atau hilang kendali. Salah satu yang menimbulkan gangguan *horizontal stabilizer* akibat adanya kontaminasi dengan udara, pada ketinggian penerbangan memiliki faktor cuaca dan kelembapan yang

¹ Email Address : sabasdamanik716@yahoo.co.id

Received 01 Juni 2021, Available Online 30 Juli 2021

berbeda sehingga dimana gangguan tersebut terjadi pada *leading edge wing*. Ada pun gangguan yang biasa terjadi di *leading edge wing* yaitu terbentuknya partikel es atau *icing* pada *leading edge wing horizontal stabilizer* yang menimbulkan *tailplane icing* sehingga aliran yang melewati *airfoil turbulen* yang menimbulkan *elevator pitch down* hingga pesawat jatuh. *Anti icing system* berfungsi untuk menjaga *leading edge horizontal stabilizer* agar mencegah terjadinya kontaminasi pada waktu pesawat diudara. Pada umumnya anti *icing* melakukan system pemanasan dengan bantuan listrik, sedangkan sistem pemanasan yang menggunakan energi udara yang bertemperatur tinggi yang berupa kalor dapat digunakan untuk mencegah *Icing* di *horizontal stabilizer*, tetapi faktanya udara yang bertemperatur tinggi tersebut hanya digunakan untuk tenaga dorong (*thrust*) pada pesawat terbang.

Jinlong dan Mun (2020) menyatakan bahwa karakteristik aliran dan perpindahan panas baru dikonfigurasi melengkung-persegi panjang *vortex generators* (VGs) dalam penukar panas pipa sirip bersamaan diselidiki secara numerik. Hasil menunjukkan dua mekanisme utama untuk menekan aliran *resirkulasi* dengan menerapkan VG. Analisis parametrik menunjukkan bahwa peningkatan tinggi dan radius VG meningkatkan *Nusselt number* (Nu) dan faktor gesekan (f). Konfigurasi VG yang optimal untuk kinerja termo-hidraulik adalah diidentifikasi pada rasio tinggi VG 0,8 dan rasio jari-jari 1,55, yang diperoleh *performance evaluation criterion* (PEC) adalah sekitar 1,3-1,5 kali.

Menurut Kristoffer *et al.* (2019), eksperimental ini menyelidiki karakteristik perpindahan panas pada persegi panjang beserta peningkatan perpindahan panas mengembangkan *flag* sebagai generator pusat. Hasil menunjukkan bahwa *flag* yang berkembang di saluran meningkatkan ketidakstabilan aliran dan tingkat turbulensi, kondisi aliran ($4.10^3 < Re_{dh} < 50.10^3$), saluran ukuran ($0,2 \leq \alpha \leq 1,0$), peningkatan bilangan *Nusselt* setinggi 1,34 hingga 1,62 kali. Faktor gesekan, yang diatur oleh mode dan frekuensi *osilasi flag*, menghasilkan setinggi 1,39 hingga 3,56 kali level.

Laporan investigasi menyajikan efek *helical surface disc turbulators* (HSDTs) pada perpindahan panas dan karakteristik penurunan tekanan dalam *double pipe heat exchanger* (DPHE) (Yadav *et al.*, 2018). Pengujian dilakukan dengan pemilihan HSDT dengan tiga rasio diameter yang berbeda ($DR = d_o / D_i = 0,42, 0,475$ dan $0,54$), tiga sudut heliks yang berbeda ($\phi = 20^\circ, 30^\circ$, dan 40°) dan berbagai macam bilangan *reynolds* (3500 - 10500). Perpindahan panas dengan rasio diameter terkecil dan sudut *heliks* yang meningkat menghasilkan bilangan *Nusselt* tertinggi karena faktor gesekan. Hasilnya terjadi maksimal Peningkatan rasio diameter terkecil ($DR = 0,42$) dan sudut heliks ($\phi = 40^\circ$). Itu faktor kinerja termal ditemukan lebih besar dari satu untuk setiap konfigurasi yang dipelajari DPHE menggunakan HSDT.

Menurut Alam *et al.* (2017), lapisan batas thermal, mengakibatkan perpindahan panas tinggi. Penelitian ini menggunakan metode pasif dan metode aktif, tetapi metode pasif lebih dominan dari pada metode aktif karena mudah di aplikasikan pada perpindahan panas. Dari penelitian ini, telah disimpulkan bahwa metode aktif atau pasif telah di rekomendasikan, berdasarkan literature, metode gabungan juga telah direkomendasikan yang mencakup metode aktif dan pasif.

Perangkat perpindahan panas telah digunakan untuk konversi dan pemilihan panas banyak diaplikasikan di industri dan rumah tangga (Maradiya *et al.*, 2017). dapat disimpulkan bahwa perpindahan panas terjadi peningkatan di semua kasus karena pengurangan aliran luas penampang, peningkatan intensitas turbulensi dan peningkatan aliran tangensial yang dibentuk oleh berbagai jenis. Parameter geometris sisipan seperti lebar, panjang, rasio putaran, dan lain-lain. Sangat mempengaruhi peningkatan perpindahan panas, arah *vortex* juga merupakan parameter penting dalam kasus tersebut.

Kasmara (2016) melakukan penelitian tentang eksperimental efektivitas alat penukar kalor *shell helical coil tube* dengan memanfaatkan limbah panas gas buang mesin diesel sebagai pemanas bahan bakar solar. Dari hasil penelitian yang paling ideal untuk mengubah performa mesin diesel semakin naik terdapat pada *shell helical coil tube* dengan rasio *coil* terkecil, sehingga dapat menurunkan kandungan emisi gas buang dan memanfaatkan limbah panas gas buang.

Penggunaan *heater* pipa konsentrik dengan variasi *vortex generator type* berupa geometri *rectangle, delta, dan deltawinglet (delta dan rectangle)* yang ditinjau untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan variasi *vortex generator type* terhadap karakteristik *heat transfer heater* dan pengaruh perubahan variasi *vortex generator type* terhadap penurunan tekanan *heater* yang terjadi di dalam pipa konsentrik menggunakan metode *experimental* dengan membuat sebuah *prototype* untuk mensimulasikan *airfoil contamination* yang terjadi pada *horizontal stabilizer leading edge*.

Landasan Teori

Reynolds Numbers (Re) Dalam Pipa Konsentrik

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya *viskos* yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. 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 (2014) bilangan *reynolds* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Re = \frac{\rho V_o D_t}{\nu \mu} \quad (1)$$

Bilangan Prandtl (Pr) Dalam Pipa Konsentrik

Bilangan *Prandtl* juga merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara ketebalan lapis batas kecepatan dengan ketebalan lapis batas termal. Bilangan *Prandtl* (Pr) merupakan sifat-sifat fluida saja, hubungan antara distribusi suhu dan distribusi kecepatan. Bilangan *prandtl* tidak mengandung skala panjang, dan bilangan *prandtl*-nya lebih kecil dari satu, gradien suhu didekat permukaan lebih landai dari pada gradien kecepatan. Menurut Cengel (2014) persamaan bilangan *prandtl* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} \quad (2)$$

Bilangan Nusselt (Nu) Dalam Pipa Konsentrik

Bilangan *Nusselt* adalah rasio perpindahan panas konveksi dan konduksi terhadap batas dalam kasus perpindahan panas pada permukaan fluida, bilangan *nusselt* merupakan bilangan yang tak berdimensibilangan untuk menentukan karakteristik aliran. Bilangan *nusselt* memiliki persamaan menurut Cengel (2014), seperti persamaan berikut:

$$Nu = 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3)$$

Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Kalor Permukaan (h) Dalam Pipa Konsentrik

Nilai koefisien perpindahan kalor permukaan dalam pipa konsentrik, dapat ditentukan dengan persamaan menurut Cengel (2014), seperti persamaan berikut:

$$h = \frac{Nu K}{dt} \quad (4)$$

Perpindahan Kalor Konveksi (Q) Dalam Pipa Konsentrik

Perpindahan kalor terjadi pada area dalam *leading edge horizontal stabilizer (shell)* dan pipa konsentrik bergantung dalam bentuk geometri dan dimensinya. Studi investigasi karakteristik perpindahan kalor yang terjadi pada heater pipa konsentrik dengan *vortex generator type plan, rectangle, delta, dan deltawinglet*, dengan tujuan untuk *mencegah icing contaminated tail stall* dilakukan dengan cara memperhitungkan jumlah kalor yang menyebar ke area *horizontal stabilizer leading edge*. Jumlah kalor yang menyebar keluar sehingga kalor dilepas yang diasumsikan sama besar dengan jumlah kalor yang dilepaskan oleh gas panas area *dalam leading edge (shell)* secara konveksi melalui *heater* (pipa konsentrik). Penelitian ini mengasumsikan tidak terdapat kehilangan kalor melalui dinding *shell* ke udara luar di sekitarnya. Menurut Cengel (2014) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (5)$$

$$\frac{T_{hi}-T_{ho}}{\frac{\ln(T_{se}-T_{ho})}{T_{se}-T_{hi}}}$$

Propertis fluida gas buang dievaluasi pada temperatur gas buang rata-rata yaitu;

$$T_b = \frac{T_{hi}+T_{ho}}{2} \quad T_s = \frac{T_2+T_3+T_4+T_5+T_6}{5} \quad (6)$$

Pressure Drop (ΔP) Dalam Pipa Konsentrik

Pressure drop atau penurunan tekanan yang terjadi karena *friction factor* pada aliran sehingga dapat mempengaruhi panjangnya suatu aliran yang melewati suatu instalasi dapat terjadi pada pipa konsentrik, menurut Cengel (2014) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta P = f \frac{L_t}{D_t} \rho \frac{V_o^2}{2} \quad (7)$$

Faktor Gesekan (f) Dalam Pipa Konsentrik

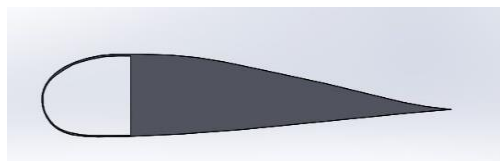
Friction factor memiliki gaya yang saling berlawanan arah dengan arah gerak benda. Terbentuknya gaya diakibatkan sentuhan benda dengan bidang lintasan sehingga akan menimbulkan gesekan antara keduanya ketika benda akan mulai bergerak sampai benda bergerak. Gaya yang dihasilkan ditentukan berdasarkan lapisan kulit permukaan yang memiliki kekasaran seberapa besar pada kedua bidang yang bersentuhan, sehingga semakin kasar permukaan suatu bidang maka nilai gaya geseknya akan semakin besar. Menurut Cengel (2014) persamaan faktor gesekan yaitu :

$$f = (0,0790 \cdot \ln \cdot Re, 1,64)^{-2} \text{ (Laminar)} \quad (8)$$

$$f = \frac{64}{Re} \text{ (Turbulane)}$$

Metode Penelitian

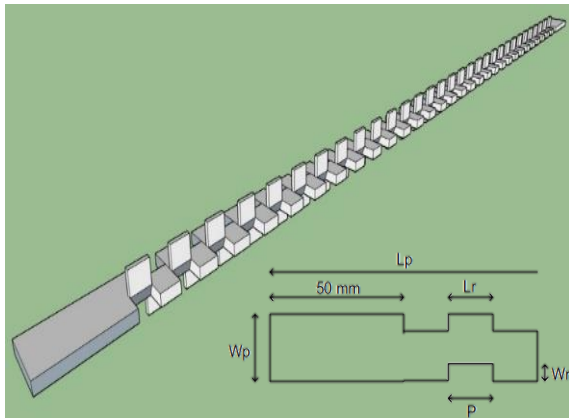
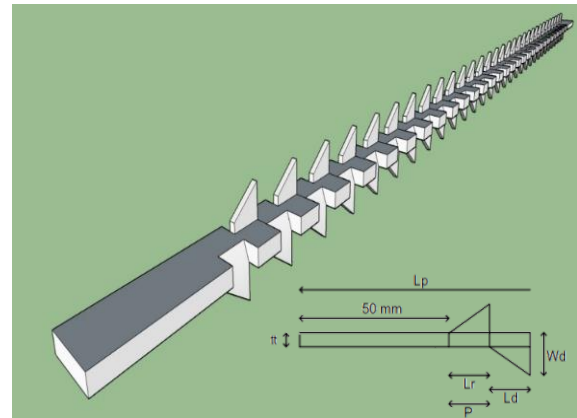
Pengujian *heater* menggunakan *airfoil* bagian *elevator horizontal stabilizer* dengan panjang *chord*.



Gambar 1. Airfoil Horizontal Stabilizer

Tabel 1. Geometri Vortex Generator Type

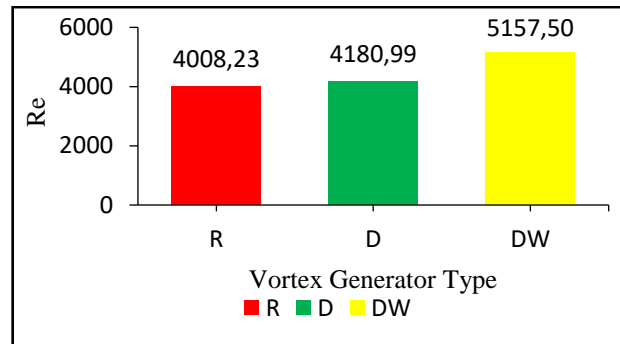
Keterangan	Rectangle	Delta	Deltawinglet
L_p (mm)	435	435	435
W_p (mm)	15	15	15
L_r (mm)	10	-	10
tebal tube, t_i (mm)	0,75	0,75	0,75
Pitch (mm)	10	10	10
W_r (mm)	5	-	5
L_d (mm)	-	10	10
W_d (mm)	-	5	5
Initial	R	D	DW
N	64	66	66

**Gambar 2. Geometri Rectangel****Gambar 3. Geometri Delta**

Prinsip kerja alat *heat transfer* pada *heater* pipa konsentrik yakni terdapat fluida yang bekerja yaitu udara bertemperature tinggi yang berasal dari udara panas yang terdapat pada APU, yang di asumsikan dengan *heat gun*, beban *heat gun* yang di berikan 0°C , 100°C , 175°C , 230°C , udara yang bertemperature tinggi akan melewati *tube side*, melewati alat ukur tekanan udara menggunakan manometer U digunakan untuk mengukur tekanan statis pada *tube in* dan *tube out*, dari nilai tekanan statis dapat dicari nilai koefisien perpindahan kalor menggunakan prinsip Bernoulli. Ketika udara bertemperature tinggi melewati *type vortex generator (rectangle, delta, deltawinglet)* udara bertemperature tinggi akan berpindah ke wing secara konveksi, sehingga wing akan menjadi panas, proses *icing* pun akan terhambat, pada saat udara di *tube* yang berada di *type vortex generator* udara akan di ukur temperature nya dari T1 sampai T7, sehingga akan mengetahui rata-rata temperature yang berpindah secara konveksi, Lalu udara yang melintas di *tube* setelah mencapai ujung akan menjadi udara bertemperature rendah, sebelum dan setelah lewati *vortex generator* udara juga di ukur temperature nya pada T_i dan T_o , udara keluar udara sampai *tube* akhir akan di ukur kecepatan aliran udaranya menggunakan anemometer.

Hasil dan Pembahasan

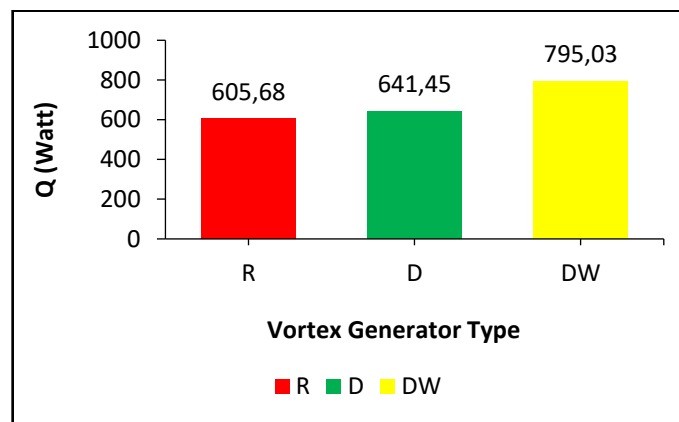
Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap *Reynolds Number* (Re) Di Dalam Pipa Konsentrik



Gambar 4. Grafik Pengaruh Perbedaan *Vortex Generator Type* Terhadap *Reynolds Number*

Gambar 6 memperlihatkan bahwa pada *vortex generator type deltawinglet* memiliki rata-rata bilangan *reynold* paling besar yaitu 5.157,5. Jika dibandingkan dari ketiga perbedaan *vortex generator type*, maka yang memiliki nilai rata-rata *reynolds number* yang paling kecil yaitu *rectangle* dengan nilai rata-rata *reynold number* 4.008,23. Peningkatan rata-rata bilangan *reynolds* yang terjadi antara *rectangle* (R) *deltawinglet* (DW) sebesar 22,28%. Sehingga pengaruh dari perbedaan pada setiap *vortex generator type* akan mempengaruhi karakteristik dari aliran pada pipa konsentrik, yang dapat menghasilkan aliran yang turbulen.

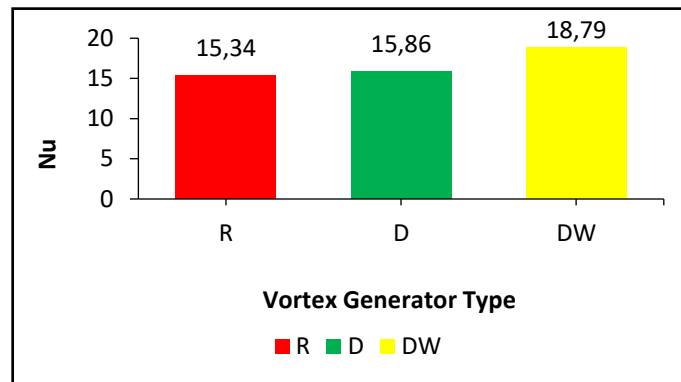
Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap Perpindahan Kalor (Q) Di Dalam Pipa Konsentrik



Gambar 5. Grafik Pengaruh Perbedaan *Vortex Generator Type* Terhadap Perpindahan Kalor

Pada Gambar 7 memperlihatkan pada *vortex generator type deltawinglet* memiliki rata-rata perpindahan kalor terbesar. Jika dibandingkan dengan rata-rata perpindahan kalor terkecil pada *rectangle* terjadi peningkatan perpindahan kalor sebesar 23,82% terhadap *deltawinglet*, dan terjadi peningkatan 5,58% terhadap *delta*. Terlihat bahwa nilai kalor tertinggi terdapat pada *deltawinglet* dengan rata-rata 795,03 Watt, nilai kalor yang tertinggi berikutnya pada *delta* dengan rata-rata 641,45 Watt, dan nilai kalor terendah terdapat pada *rectangle* dengan rata-rata 605,68 Watt. Dari hasil tersebut pada *deltawinglet* yang bagus dalam menimbulkan aliran turbulen yang dapat meningkatkan perpindahan kalor pada pipa konsentrik.

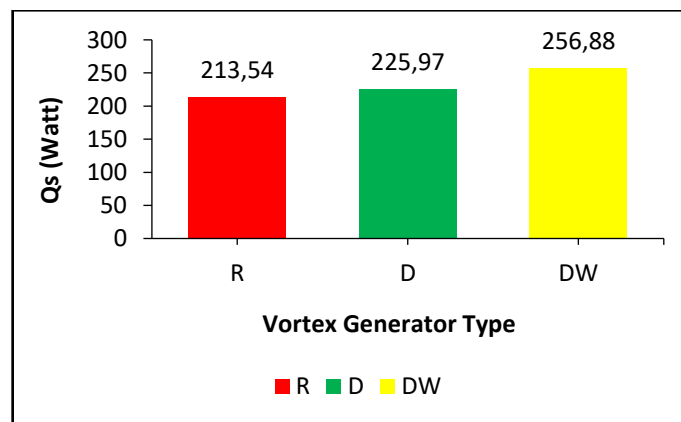
Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap Bilangan *Nusselt* (Nu) Di Dalam Pipa Konsentrik



Gambar 6. Grafik Pengaruh Perbedaan *Vortex Generator Type* Terhadap Bilangan Nussleat

Pada Gambar 8 memperlihatkan nilai rata-rata bilangan *nusselt* tertinggi adalah *deltawinglet*. Terjadi peningkatan bilangan *nusselt* sebesar 18,36%, ketika dibandingkan dengan rata-rata bilangan *nusselt* terkecil pada *rectangle*. Terlihat bahwa nilai rata-rata *nusselt* terbesar yaitu 18,79 yang dimiliki oleh *deltawinglet*, sedangkan nilai rata-rata *nusselt* terkecil yaitu 15,34 yang dimiliki oleh *rectangle*. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa setiap perbedaan *vortex generator type* dapat menciptakan aliran turbulen yang meningkat, semakin banyak gangguan pada *vortex generator type* dapat menghasilkan aliran turbulen pada pipa konsentrik yang sangat bermanfaat untuk memaksimalkan terjadinya pertukaran kalor.

Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap Kalor Menyeluruh (Q_s) Di Dalam Pipa Konsentrik

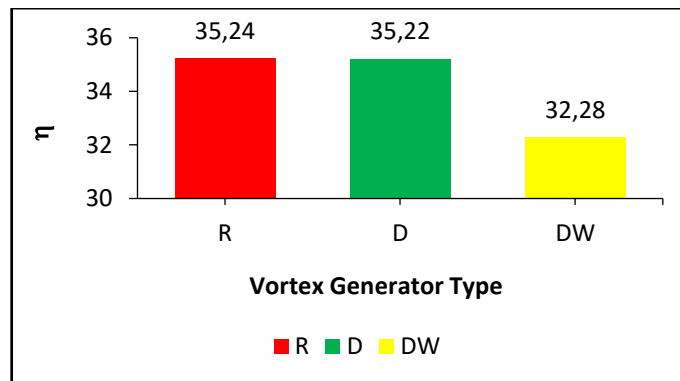


Gambar 7. Grafik Pengaruh Perbedaan *Vortex Generator Type* Terhadap Perpindahan Kalor Menyeluruh

Pada Gambar 9 memperlihatkan *vortex generator type deltawinglet* memiliki rata-rata perpindahan kalor menyeluruh terbesar. Jika dibandingkan dengan rata-rata perpindahan kalor menyeluruh terkecil pada *rectangle* terjadi peningkatan perpindahan kalor menyeluruh sebesar 16,87% terhadap *deltawinglet*, sedangkan pada *delta* mengalami peningkatan 5,5% dari rata-rata perpindahan kalor menyeluruh terkecil pada *rectangle*. Terlihat bahwa nilai perpindahan kalor menyeluruh tertinggi terdapat pada *deltawinglet* dengan rata-rata 256,88 Watt, nilai perpindahan kalor menyeluruh tertinggi kedua terdapat pada *delta* dengan rata-rata 225,97 Watt, dan nilai kalor menyeluruh terendah terdapat pada *rectangle* dengan rata-rata 213,54 Watt. Dari hasil tersebut pada *deltawinglet* mengalami perpindahan kalor menyeluruh secara merata dari *inlet* ke *outlet* pada permukaan *airfoil*

dapat menimbulkan aliran turbulen yang dapat meningkatkan perpindahan kalor menyeluruh pada pipa konsentrik.

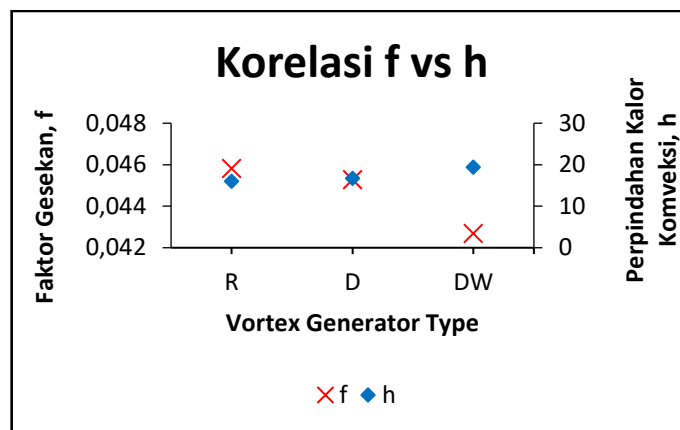
Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap Efisiensi (η) Di Dalam Pipa Konsentrik



Gambar 8. Grafik Pengaruh Perbedaan *Vortex Generator Type* Terhadap Efisiensi

Pada Gambar 10 memperlihatkan *vortex generator type delta* memiliki beban rata-rata efisiensi terbesar, jika dibandingkan dengan beban rata-rata efisiensi terkecil pada *deltawinglet* terjadi penurunan efisiensi sebesar 9,15% terhadap *rectangle*. Terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada *vortex generator type rectangle* dengan rata-rata 35,24%, nilai efisiensi tertinggi kedua terjadi pada *delta* dengan rata-rata 35,22%, dan nilai efisiensi terendah terdapat pada *deltawinglet* dengan rata-rata 32,28%.

Korelasi Perubahan Geometri pada Perpindahan Kalor Konveksi (h) Terhadap *Friction Factor* (f) Di Dalam Pipa Konsentrik

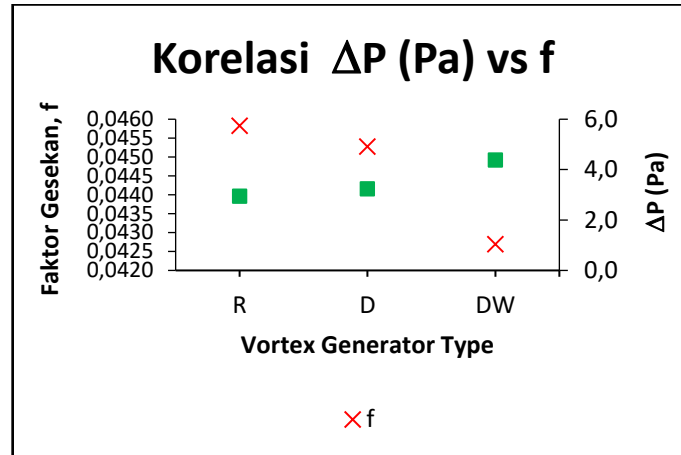


Gambar 9. Grafik Pengaruh Faktor Perpindahan Kalor Konveksi (h) Terhadap *Friction Factor* (f)

Pada Gambar 11 memperlihatkan perbedaan *vortex generator type* dapat mempengaruhi peningkatan secara perlahan pada perpindahan kalor konveksi (h), berbanding terbalik dengan *friction factor* (f), pada faktor gesekan mengalami penurunan secara fluktuatif. Telihat pada *vortex generator type rectangle* *friction factor* bernilai 0,046% dengan nilai perpindahan kalor konveksi 16,049 W/m².°K, pada *vortex generator type delta* *friction factor* bernilai 0,045%, dengan nilai perpindahan kalor konveksi 16,767 W/m².°K, dan pada *deltawinglet* *friction factor* bernilai 0,043% dengan nilai perpindahan kalor konveksi 19,468 W/m².°K. dapat dilihat yang terbaik terdapat pada *vortex*

generator type deltawinglet, karena jika perpindahan kalor konveksi meningkat maka nilai *friction factor* akan kecil, karena *friction factor* yang terjadi pada *vortex generator type deltawinglet* kecil sehingga *vortex generator type deltawinglet* dapat bertahan lebih lama dibanding *vortex generator type* yang lain.

Korelasi Perubahan Geometri Terhadap *Preassure Drop* (ΔP) Terhadap *Friction Factor* (*f*) Di Dalam Pipa Konsentrik



Gambar 10. Grafik Pengaruh Faktor *Pressure Drop* (ΔP) Terhadap *Friction Factor* (*F*)

Pada Gambar 12 memperlihatkan perbedaan *vortex generator type* dapat mempengaruhi peningkatan secara perlahan pada *preassure drop* (ΔP), berbanding terbalik dengan *friction factor* (*f*), pada *friction factor* (*f*) mengalami penurunan secara fluktuatif. Pada *rectangle* nilai *pressure drop* 2,95 Pa dengan nilai *friction factor* 0,046%, pada *delta* nilai *pressure drop* 3,25 Pa, dengan nilai *friction factor* 0,045%, dan pada *deltawinglet* nilai *pressure drop* 4,385 Pa, dengan nilai *friction factor* 0,043%. Jadi terlihat bahwa yang terbaik pada variasi *vortex generator type deltawinglet*, yang dimana jika nilai *pressure drop* meningkat maka nilai *friction factor* kecil, dan *vortex generator type deltawinglet* dapat bertahan lebih lama di banding *vortex generator type* yang lain, karena mengalami *friction factor* yang kecil.

Kesimpulan

1. Perbedaan *vortex generator type* dapat mempengaruhi aliran udara, karena nilai *Re* yang terbentuk pada penelitian ini pada range $Re > 4000$, aliran bisa disebut aliran turbulen sehingga dapat memaksimalkan terjadinya perpindahan kalor secara konveksi. Dari ketiga *vortex generator type* pada *type rectangle* mengalami efisiensi (*h*) tertinggi yaitu 35,24%, sedangkan pada *deltawinglet* mengalami penurunan sebesar 9,15%, *deltawinglet* pada nilai efisiensi tidak setinggi *rectangle*, tetapi pada *deltawinglet* nilai kalor konveksi 19,47 W/m².°K mengalami peningkatan 17,56% terhadap *rectangle*, *reynold number* pada *deltawinglet* 5.157,5 mengalami peningkatan 22,28% terhadap *rectangle*, bilangan *nusselt* (*Nu*) pada *deltawinglet* 18,79 mengalami peningkatan 18,36% terhadap *rectangle*, begitu juga dengan kalor (*Q*) mengalami peningkatan 23,82% terhadap *rectangle*, jadi dari hasil analisa di atas menghasilkan kesimpulannya yang terbaik terdapat pada *deltawinglet*, karena hanya dengan nilai efisiensi kecil tetapi dapat menghasilkan karakteristik *heat transfer heater* yang bagus.
2. Perbedaan *vortex generator type* dapat mempengaruhi aliran udara terhadap penurunan tekanan *heater*, dari ketiga *vortex generator type deltawinglet* merupakan yang terbaik, karena pada

deltawinglet mengalami tingkat gesekan yang rendah dengan rata-rata *friction factor* 0,043% lebih rendah 7,33% dari *rectangel*, dan pada *deltawinglet* mengalami *preassure drop* meningkat dari *vortex generator* yang lain rata-rata *preassure drop* 4,38 Pa, meningkat 32,72% dari *rectangle*, dari data tersebut dapat dilihat dengan *friction factor* rendah akan menghasilkan *preassure drop* yang tinggi. Sehingga *vortex generator type* yang dapat mempengaruhi aliran udara terhadap penurunan tekanan *heater* yang terbaik *vortex generator type deltawinglet*.

Daftar Notasi Dan Simbol

Bilangan Tak Berdimensi

f	= <i>friction factor</i>
Nu	= bilangan <i>Nusselt</i>
Pr	= bilangan <i>Prandtl</i>
Re	= bilangan <i>Reynold</i>

Notasi

A	= luas <i>tube</i> (m^2)
C_p	= <i>specific heat</i> ($J/kg \cdot ^\circ K$)
D_t	= diameter <i>tube</i> (m)
h	= koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)
k	= <i>thermal conductivity</i> ($W/m \cdot ^\circ K$)
Q	= kalor yang dilepaskan fluida panas (W)

Simbol-simbol Yunani

ΔP	= <i>pressure drop</i> (Pa)
m	= luas aliran massa (m^2)
\dot{m}	= <i>mass flow rate</i> (kg/s)
ρ	= <i>density of air</i> (kg/m^3)
ν	= <i>kinetic viscosity</i> (m^2/s)
μ	= <i>dynamic viscosity</i> (m^2/s)
D_c	= diameter <i>coil</i> (m)
Re	= Bilangan Reynolds
V_o	= kecepatan gas panas (m/s)
$\nu\mu$	= <i>kinematic viscosity</i> (m^2/s)
Pr	= bilangan <i>Prandtl</i>
D_t	= diameter dalam pipa konsentrik (m)
Tl_i	= temperature gas panas masuk <i>shell</i> ($^\circ C$)
To_o	= temperature gas panas keluar <i>shell</i> ($^\circ C$)
ΔP	= penurunan tekanan (Pa)
L_t	= panjang <i>tube</i> (m)
V_o	= laju aliran gas (m/s)
Q_s	= Kalor menyeluruh
η	= Efisiensi

Daftar Pustaka

- Cengel, Y. A. *Heat and Mass Transfer* 5nd ed, New York: McGraw Hill, 2015.
- Fitrikananda, B. P. "Airbleed Indicator Faultilluminate Akibat Gangguan Pada Pressure Regulator Pada Sistem De-Icing Pesawat Atr 42-500". *INDEPT*, vol. 6, no. 2, pp. 1–5, 2016.
- Kambrany, M., Farid, A., dan Finahari, N. "Pengaruh Filter Udara Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pada Motor Matic". *Proton*, vol. 6, no. 1, pp. 42–47, 2014.

- Kasmara, J dan Marausna, G., “Investigasi Eksperimental *Anti-Icing System* dengan Memanfaatkan Kalor Dari Gas Buang *Engine Pesawat Terbang*”, *Jurnal Teknik, Elektronik*, no. 1, vol. 6, pp. 40-48, 2020.
- 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*. Program Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada (UGM). Yogyakarta.
- Li, H., Huang, H., Xu, G., Wen, J., & Wu, H. (2017). Performance analysis of a novel compact air-air heat exchanger for aircraft gas turbine engine using LMTD method. *Applied Thermal Engineering*, 116, 445–455.
- Naveenkumar, R., Ramesh Kumar, S., Giridharan, R., dan Senthil Kumaran, S. “Thermal Performance Enhancement in a Plain Tube Fitted With Perforated Twisted Tape Insert Using Water Based Al₂O₃ Nanofluid”. *Materials Today: Proceedings*, vol. 22, pp. 2274–2282, 2020.
- Ravi Kumar, N. T., Bhramara, P., Kirubeil, A., Syam Sundar, L., Singh, M. K., dan Sousa, A. C. M. “Effect Of Twisted Tape Inserts On Heat Transfer, Friction Factor Of Fe₃O₄ Nanofluids Flow In A Double Pipe U-Bend Heat Exchanger”. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 95, pp. 53–62, 2018.
- T. Istanto, “Studi Eksperimental Karakteristik Perpindahan Kalor dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Modifikasi Sisipan Pita Terpilin,” *Jurnal Energi Dan Manufaktur* vol.6, no. 1, pp. 9–18, 2014.