

STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMA ANTI-ICING PICCOLO TUBE WITH TWISTED DENGAN MEMANFAATKAN THERMAL GAS BUANG DARI ENGINE

¹Danang Prasetyo, ²Gaguk Marausna, ³Joni Kasmara

Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

Abstrak

Hilangnya gaya angkat pada pesawat bisa terjadi karena *airfoil contamination* berupa *icing* atau penumpukan partikel es pada *leading edge wing* yang dikarenakan faktor cuaca dan kelembaban pada ketinggian tertentu. Untuk mencegah terjadinya *icing*, yaitu dengan menggunakan *anti icing* guna mencegah terjadinya *icing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh geometri pada rasio diameter *tube* yang diberi *hole* terhadap performa *heater* yang memanfaatkan panas gas buang dari *engine* dan pengaruh geometri *heater* terhadap efisiensi *heater* dalam mencegah terjadinya *airfoil contamination* pada *leading edge wing*. Penelitian ini menggunakan *engine* genset 1 silinder berkapasitas 2000 W dengan variasi beban menggunakan lampu pijar dengan total beban 500 W serta menggunakan profil *wing* yang dikondisikan. Perubahan geometri *twist* pada *heater* dengan penambahan *hole* dapat menciptakan aliran turbulen, meningkatkan proses perpindahan kalor, dan meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi pada *tube*. Dari tiga geometri *twist ratio* 1.5, 2.27, 2.45 yang paling baik dalam melepaskan kalor yaitu *twist ratio* 2.45 dengan nilai perpindahan kalor konveksi pada beban rata-rata terbesar. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan alat berupa *piccolo tube with twisted* dengan rasio diameter terbesar adalah yang terbaik dalam meningkatkan parameter performa dan efisiensi *heater*. Perubahan geometri *twist* akan mempengaruhi efisiensi dari *heater*.

Kata kunci: Efisiensi, *Heater*, *Twisted*, Panas Gas Buang, *Anti icing*.

Abstract

Loss of lift force on the aircraft can occur due to airfoil contamination in the form of icing or the accumulation of ice particles on the leading edge wing due to weather and humidity factors at a certain altitude. To prevent the occurrence of icing, namely by using anti-icing to prevent the occurrence of icing. The purpose of this study was to find out the influence of geometry on the ratio of tube diameter given holes to heater performance that utilizes exhaust gas heat from the engine and the influence of heater geometry on heater efficiency in preventing airfoil contamination in the leading edge wing. This study used a 2000 W 1-cylinder generator engine with load variation using incandescent lamps with a total load of 500 W and using a conditioned wing profile. Twist geometry changes in heaters with the addition of holes can create turbulent flow, improve heat transfer process, and increase the coefficient of convection heat transfer on the tube. Of the three twist ratio geometry 1.5, 2.27, 2.45 is best at releasing heat is twist ratio 2.45 with convection heat transfer value at the largest average load. Conclusion of this study shows that the use of tools in the form of piccolo tube with twisted with the largest diameter ratio is best in improving the parameters of heater performance and efficiency. Changes in twist geometry will affect the efficiency of the heater.

Keywords: Efisiensi, *Heater*, *Twisted*, Heat Exhaust Gas, *Anti icing*.

Pendahuluan

Pada umumnya hujan dan cuaca buruk adalah musuh bagi setiap penerbangan pesawat udara, selain itu suhu yang berubah juga sangat mengganggu penerbangan. Pola suhu udara dan tekanan udara berbeda untuk setiap tempat (bervariasi). Maka gangguan tersebut akan dapat diantisipasi sehingga pesawat akan terhindar dari kecelakaan. Suhu dan tekanan udara merupakan unsur cuaca yang vital bagi operasi penerbangan. Dan selain itu suhu dan hujan juga menyebabkan terjadinya *Icing* pada setiap bagian pesawat dari *fuselage* sampai dengan *engine*

¹Email Address : danangprasetyo1999@gmail.com

Received 1 Februari 2021, Available Online 30 Juli 2021

Faktor cuaca dan kelembaban dapat memicu terjadinya gangguan pada ketinggian tertentu dimana gangguan tersebut terjadi pada *leading edge*. Bentuk gangguan tersebut terjadinya penumpukan partikel es pada *leading edge* sehingga terjadinya gangguan aliran yang melewati permukaan bagian atas *wing* dan permukaan bagian bawah *wing*. Gangguan ini disebut *icing*, dimana aliran yang melewati *wing* menjadi *turbulen*. Hal ini tidak boleh terjadi pada *wing* karena dapat menyebabkan penurunan tekanan pada bagian atas *leading edge*, oleh karenanya *leading edge* dari *wing* harus bebas dari kontaminasi.

Anti icing system adalah sistem yang digunakan untuk menjaga *leading edge wing* agar tidak terjadi kontaminasi pada saat pesawat yang sedang terbang. Selama ini *anti icing* yang menggunakan pemanas atau *heater* dimana dalam bekerjanya membutuhkan energi listrik sebagai sumbernya. Hal ini tentu merugikan karena membebani kerja *engine*, sedangkan ada energi berupa kalor yang selama ini hanya digunakan sebagai tenaga dorong (*thrust*) dapat juga digunakan untuk mengurangi kontaminasi. Analisa ini difokuskan pada uji *performa heater piccolo type* untuk mengantisipasi terjadinya *icing* pada *leading edge* ketika pesawat sedang melakukan penerbangan

Landasan Teori

Anti Icing

Anti icing dirancang untuk menjaga agar es di atmosfer tidak menumpuk di permukaan pesawat, seperti sayap, baling-baling, bilah rotor, dan *intake* mesin. Jika es dibiarkan menumpuk hingga ketebalan yang signifikan, es itu dapat mengubah bentuk *airfoil* dan permukaan kontrol penerbangan. *Anti icing* mencegah pembentukan es, atau memungkinkan pesawat untuk melelehkan es sebelum dapat tumbuh hingga ketebalan yang berbahaya.

Tegangan Permukaan

Tuckerman dan Pease seperti yang dikutip Belchi (2014) menyampaikan koefisien pertukaran panas akan bernilai lebih tinggi seiring dengan pengurangan diameter pipa yang digunakan, tegangan permukaan memberikan pengaruh terhadap pola aliran yang terbentuk namun tidak berpengaruh terhadap kenaikan nilai *pressure drop*.

Perpindahan kalor (Q)

Perpindahan kalor yang terjadi pada alat penukar kalor *shell and tube* sangat tergantung pada bentuk geometri dan dimensinya. Menurut Cengel (2015), analisa perpindahan kalor dalam sisi *tube* dilakukan dengan memperhitungkan jumlah kalor yang dilepas oleh gas buang yang mengalir didalam *tube side*.

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad (1)$$

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

$$T_h = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} \quad (2)$$

Reynold Number

Reynold Number merupakan bilangan berdimensi yang digunakan untuk menunjukkan bentuk dari suatu aliran. Menurut Cengel (2015) dimana terdapat ketentuan aliran, yang mengalir < 2300 merupakan aliran laminar, aliran dengan $2300 < Re < 10000$ merupakan aliran transisi, dan aliran dengan $Re > 10000$ merupakan aliran turbulen.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (3)$$

Bilangan *Nusselt*

Bilangan *Nusselt* adalah rasio resistansi termal konduksi terhadap resistansi thermal konveksi dari fluida. Menurut Cengel (2015), jika alirannya adalah turbulen maka nilai bilangan *Nusselt* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (4)$$

dimana syaratnya: $0.7 \leq Pr \leq 16$, $Re > 10000$ dan 0,3 untuk pemanas sedangkan 0,4 untuk pendingin

Koefisien perpindahan kalor

Nilai koefisien perpindahan kalor, menurut Cengel (2015) dapat ditentukan dengan persamaan;

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

Efisiensi

Menurut Cengel (2015), Agar Analisis lebih mudah untuk dilakukan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efisiensi *heater* dalam melepaskan sejumlah kalor tertentu;

$$\eta = \frac{T_{si} - T_w}{T_w} 100 \% \quad (6)$$

Metode penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga proses yaitu manufaktur, pengujian dan analisis data. Dalam proses manufaktur menggunakan *prototype airfoil* dengan variasi *piccolo tube with twisted tape insert* dengan memanfaatkan gas buang dari *engine* yang disimulasikan menggunakan mesin genset, material dari *airfoil* menggunakan aluminium dan material *tube* menggunakan pipa stenlis dengan dimensi sesuai pada Tabel 1 dan pada Gambar 1. Dengan menambahkan *twisted tape insert* yang menggunakan material aluminium sebagai gangguan didalam *tube* dengan beberapa variasi geometri *twist* sesuai pada Tabel 2 dan pada Gambar 2. Untuk analisa dilakukan dengan proses pengujian, data-data yang didapatkan dari hasil pengujian kemudian akan diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

Tabel 1. Geometri *heat exchanger shell and tube*

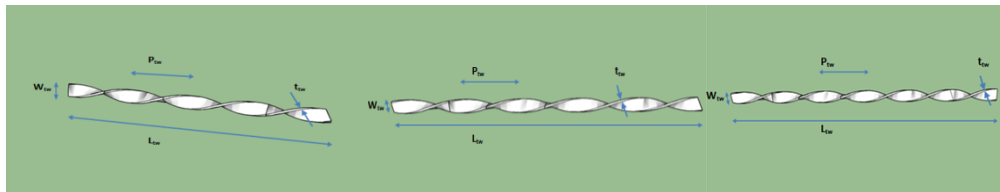
No	Parameter	Satuan (mm)
1.	Panjang chord	580
2.	<i>Thickness</i>	140
3.	Jarak <i>hole</i>	10
4.	Panjang tube (Lt)	450
5.	Diameter dalam tube (Dti)	15.7
6.	Diameter luar tube (Dto)	19.3
7.	Diameter <i>hole</i> (Dh)	1
8.	Jarak tube ke <i>leading edge</i>	53

Tabel 2. Variasi geometri *twisted tape insert*

No	Variasi <i>twisted</i>	δ (mm)	d (mm)	H (mm)	P/W (mm)
1	<i>Twisted 3</i>	0.5	15.2	122.7	2.45
2	<i>Twisted 5</i>	0.5	16.1	113.3	2.27
3	<i>Twisted 6</i>	0.5	14.4	77	1.54

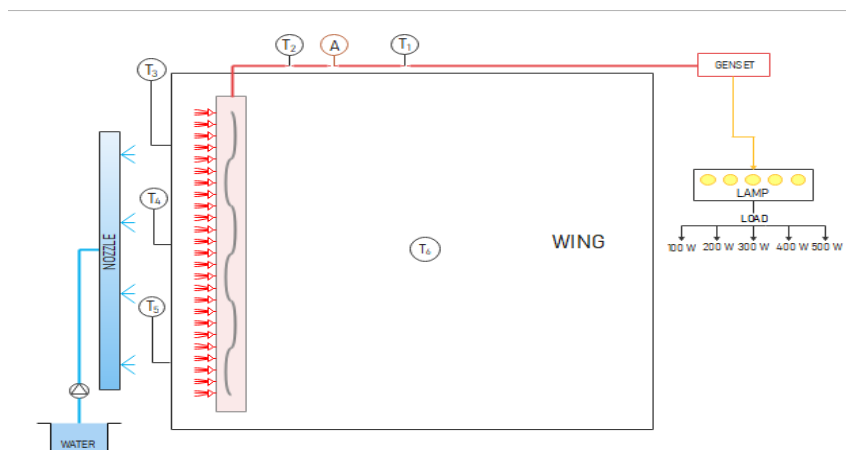


Gambar 1. Geometri *airfoil*



Gambar 2. Variasi *twist tape insert*

Penelitian ini menggunakan skema perencanaan guna mempermudah untuk memahami pengambilan data, berikut skema penelitian:



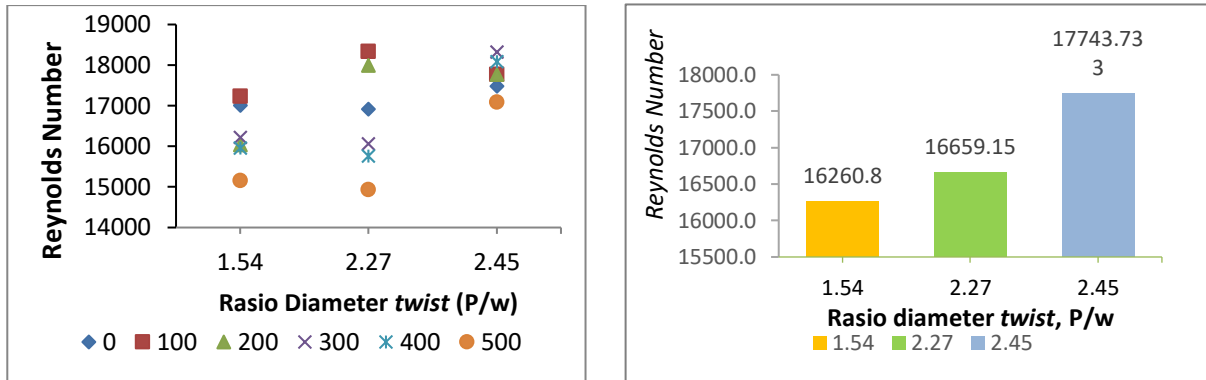
Gambar 3. Skema instalasi rangkaian penelitian

Hasil Dan Pembahasan

Pengaruh perubahan variasi geometri *twisted* terhadap bilangan Reynolds (Re)

Nilai rata-rata bilangan Reynolds terbesar pada rasio diameter *twist 3* (2,45) sebesar 17743,73 yang menunjukkan bahwa pada semua rasio diameter *twist* memiliki aliran turbulen. Nilai rata-rata bilangan Reynolds terkecil pada rasio diameter 1.54 dengan nilai 16260,8 terjadi peningkatan

bilangan Reynolds sebesar 8,3%. Jadi semakin besar rasio diameter *twist* akan semakin besar terjadi peningkatan bilangan Reynolds di dalam *tube*.



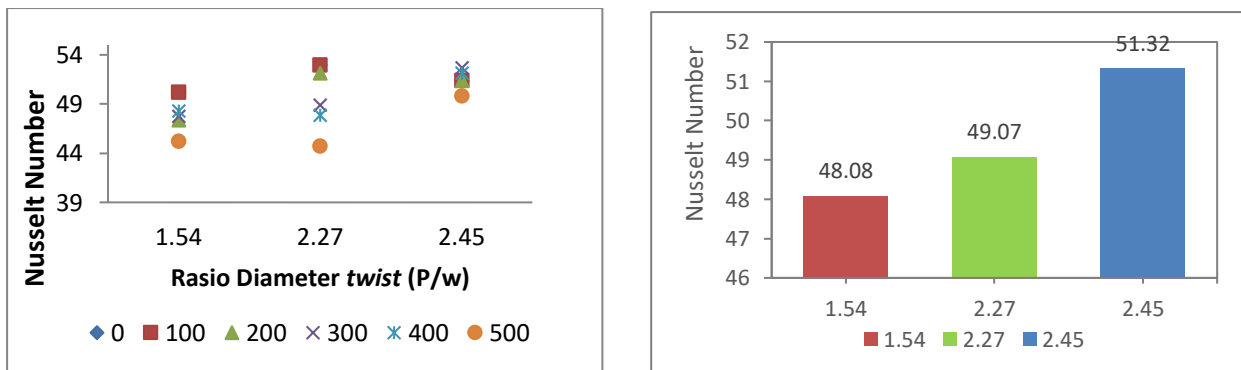
Gambar 4. Grafik bilangan Reynolds pada *tube*

Nilai rata-rata bilangan Reynolds terbesar pada rasio diameter *twist* 3 (2,45) sebesar 17743,73 yang menunjukkan bahwa pada semua rasio diameter *twist* memiliki aliran turbulen. Nilai rata-rata bilangan Reynolds terkecil pada rasio diameter *twist* 1.54 dengan nilai 16260,8 terjadi peningkatan bilangan Reynolds sebesar 8,3%. Jadi semakin besar rasio diameter *twist* akan semakin besar terjadi peningkatan bilangan Reynolds di dalam *tube*.

Pada gambar 4. Memperlihatkan pada diameter *twist* 2.45 lebih baik karena nilai bilangan Reynolds lebih besar yang dimana akan meningkatkan interaksi perpindahan panas jika dibandingkan dengan diameter *twist* 2.27 dan 1.54.

Pengaruh perubahan variasi geometri *twisted* terhadap bilangan Nusselt di dalam *tube* (Nu)

Nilai rata-rata bilangan Nusselt terbesar terjadi pada rasio diameter *twist* 2.45 sebesar 52.63. Nilai rata-rata bilangan Nusselt terkecil pada rasio diameter *twist* 1.54 terjadi peningkatan bilangan Nusselt sebesar 6.31%. Jadi semakin besar rasio diameter *twist* akan semakin besar bilangan Nusselt didalam *tube* (Nu). Nilai Reynold sangat mempengaruhi terjadinya peningkatan nilai Nusselt.



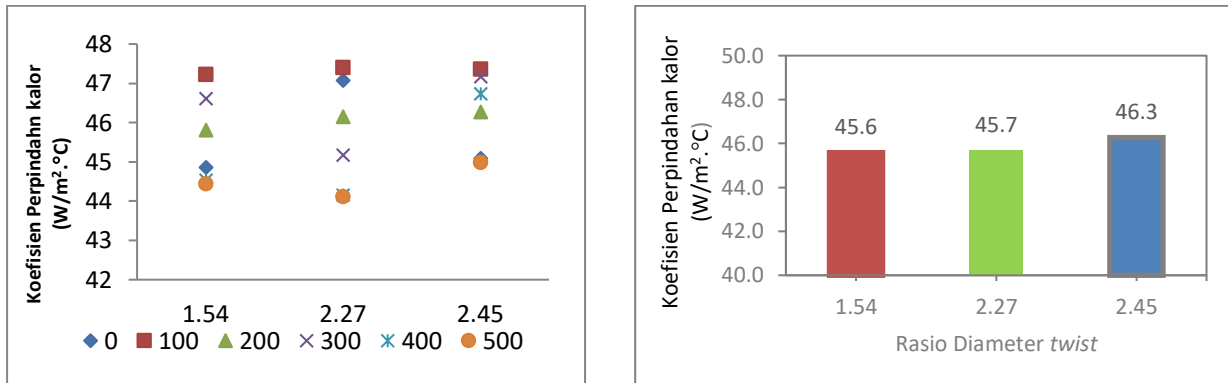
Gambar 5. Grafik bilangan Nusselt di dalam *tube*

Pada Gambar 5, memperlihatkan pada rasio diameter *twist* 2.45 lebih baik karena bilangan Nusselt akan meningkatkan intensitas aliran sekunder jika dibandingkan dengan diameter yang lain.

Pengaruh perubahan variasi geometri *twisted* terhadap koefisien perpindahan kalor (h)

Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor terbesar terjadi pada rasio diameter *twist* 2.45 sebesar 46.3 W/m².°C. Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor terkecil pada rasio diameter *twist* 1.54 terjadi

penurunan koefisien perpindahan kalor sebesar 1.4 %. Jadi semakin besar diameter *twist* akan semakin besar penurunan koefisien perpindahan kalor di dalam *tube*.

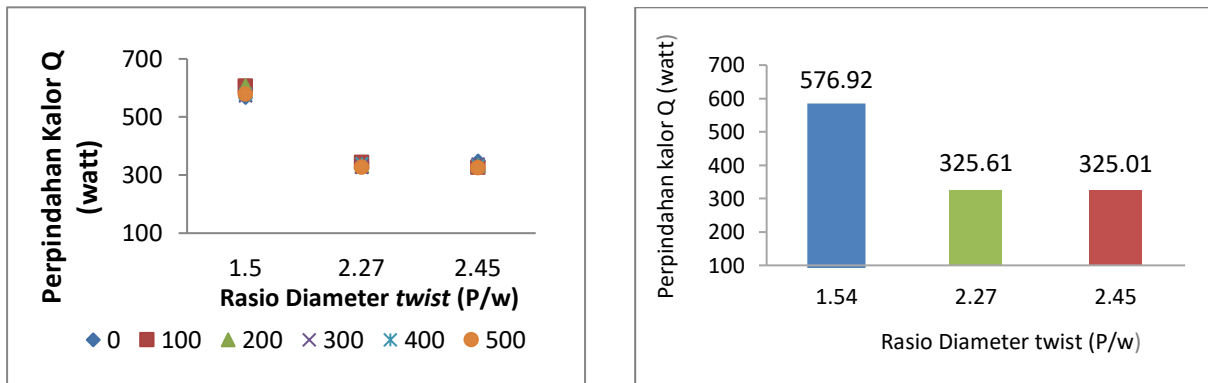


Gambar 6. Grafik koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam *tube*

Pada Gambar 6. Memperlihatkan perubahan (P/W) dapat mempengaruhi koefisien perpindahan kalor konveksi (h). Pada diameter *twist* 1.54 lebih memiliki nilai koefisien perpindahan kalor rata-rata tertinggi yaitu 45.4 W/m².°C. Bila dibandingkan dengan rasio diameter terkecil 2.45 terjadi penurunan koefisien perpindahan kalor konveksi (h) sebesar 8.2%. Nilai Nusselt sangat berpengaruh terjadinya peningkatan.

Pengaruh Perubahan Variasi Geometri *twist* terhadap perpindahan kalor (Q)

Pada gambar 7, terlihat bahwa *twist ratio* mempengaruhi perpindahan kalor yang terjadi. Pada *twist ratio* 1.54 memiliki rata-rata perpindahan kalor terbesar, bila dibandingkan dengan *twist ratio* yang lainnya.

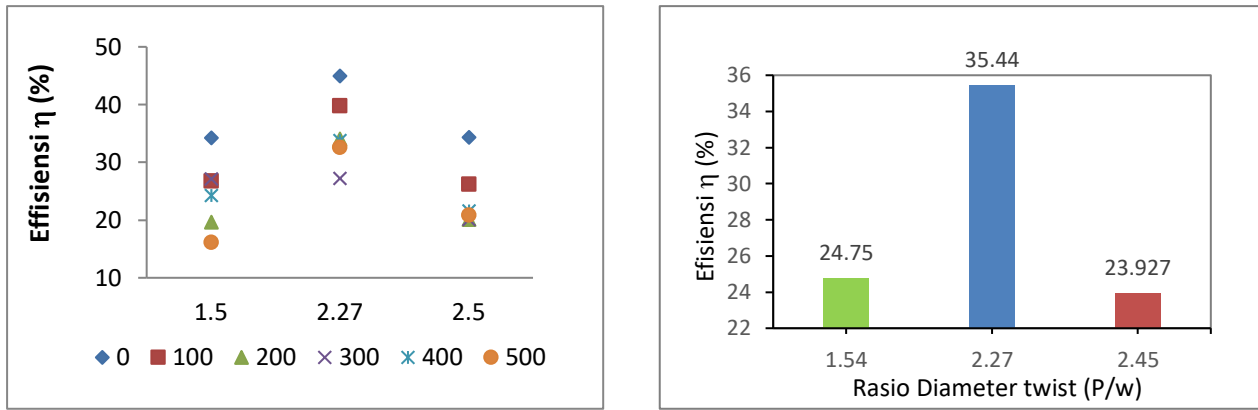


Gambar 7. Grafik pengaruh perubahan geometri *twist* terhadap perpindahan kalor (Q)

Pada gambar 7, memperlihatkan nilai perpindahan kalor terbaik terdapat pada diameter rasio *twist* 1.54, nilai ΔT sangat mempengaruhi terjadinya penurunan nilai perpindahan kalor.

Pengaruh perubahan geometri *twist* terhadap efisiensi (η) heater

Efisiensi heater mempresentasikan kemampuan atau performa dari suatu alat berupa heater dalam melakukan proses perpindahan kalor.

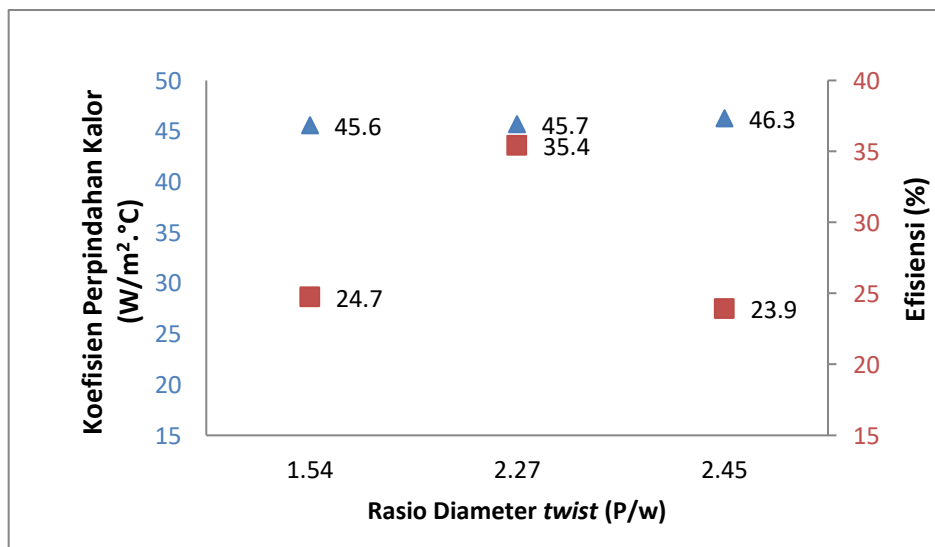


Gambar 8. Grafik pengaruh perubahan geometri *twist* terhadap efisiensi

Pada gambar 8, terlihat bahwa *twist ratio* 2.27 memiliki nilai rata-rata efisiensi terbesar, bila dibandingkan dengan *twist ratio* lainnya. yang mempengaruhi rasio diameter 2.27 meningkat atau yang ternaik adalah Temperature wall (T_{wall}), pada rasio diameter *twist* 2.27 (T_{wall}) paling terbaik diantara yang lainnya.

Korelasi pengaruh rasio diameter *twist* terhadap koefisien perpindahan kalor (h) dan Efisiensi (η)

Persinggungan antara fluida dengan dinding tube menjadi faktor yang mempengaruhi seberapa banyak kalor yang diserap dan mempengaruhi peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam tube (h_i). Efisiensi *heater* mempresentasikan kemampuan atau performa dari suatu alat berupa *heater* dalam melakukan proses perpindahan kalor.



Gambar 9. Pengaruh geometri *twist* terhadap koefisien perpindahan kalor dan efisiensi

Pada Gambar 9, memperlihatkan korelasi koefisien perpindahan kalor (h) dengan efisiensi pada variasi rasio diameter *twist* (P/W). Terlihat pada rasio diameter *twist* 2.27 memiliki nilai koefisien perpindahan kalor (h) dan efektivitas lebih baik bila dibandingkan dengan yang lain sebesar 45.7 W/m².°C dan 35.4%.

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan menganalisa hasil pengujian alat *heat transfer* pada *piccolo tube with twisted* dengan memanfaatkan thermal gas buang dari *engine*, maka dapat disimpulkan dengan Perubahan geometri *twist* pada *heater* dengan penambahan *hole* dapat menciptakan aliran turbulen, menurunkan proses perpindahan kalor, dan meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi pada *tube*. Dari tiga geometri *twist ratio* 1.5, 2.27, 2.45 yang paling baik dalam melepaskan kalor yaitu *twist ratio* 1.54 dengan nilai perpindahan kalor pada beban rata-rata terbesar 606.69 watt dan untuk nilai koefisien perpindahan kalor paling baik terjadi pada *twist ratio* 2.45 dengan nilai koefisien perpindahan kalor pada beban rata-rata terbesar 46.3 W/m².°C, dan mempengaruhi efisiensi yang terjadi pada rasio diameter *twist* 2.27 memiliki nilai koefisien perpindahan kalor (*h*) dan efisiensi lebih baik bila dibandingkan dengan yang lain sebesar 45.7 W/m².°C dan 35.4%, dan Rasio diameter *twist* 2.27 adalah yang paling baik dibandingkan dengan rasio diameter *twist* lainnya, dimana dapat menciptakan aliran turbulen cukup baik, nilai Nusselt cukup baik, koefisien perpindahan kalor cukup baik, perpindahan kalor cukup baik, dan efisiensi sangat baik.

Daftar Notasi Dan Simbol

A_{tube}	= luas tube (m ²)
C_p	= <i>Spesific Heat</i> (J/kg.K)
C_n	= Jarak Antar Holes (mm)
d	= Diameter holes (mm)
DT	= Diameter Pipe (m)
H	= Jarak <i>piccolo tube</i> ke <i>surface</i> (mm)
h	= Local convection heat transfer coefficient (W/m ² . °C)
L	= Panjang Tube (mm)
K	= thermal conductivity (W/m.°K)
N	= Jumlah <i>Holes</i>
Q	= Perpindahan kalor (W)
r	= Jarak Antar Titik Stagnasi Jet Holes (mm)
TS_i	= Local temperature on the inner surface of leading edge (°C)
TS_o	= Local temperature on the outer surface of leading edge (°C)

Simbol-simbol Yunani

ΔT_h	= selisih antara T_{hi} dengan T_{ho} (°C)
ΔT_c	= selisih antara T_{ci} dengan T_{co} (°C)
η	= efisiensi alat penukar kalor (%)
ρ	= <i>density</i> (kg/m ³)
ν	= viskositas kinematik (m ² /s)

Bilangan Tak Berdimensi

Re	= bilangan <i>Reynolds</i> di dalam <i>tube</i>
Nu	= bilangan <i>Nusselt</i> di dalam <i>tube</i>
Pr	= bilangan <i>Prandtl</i> di dalam <i>tube</i>
P/w	= rasio <i>pitch twist</i> dengan lebar <i>twist</i>

Daftar Pustaka

- Cengel, Y. A. (2015). *Heat and Mass Transfer*. 5th ed. McGraw Hill. New York.
- Balthazar, P., Ismail, M. A., Soberi, A. S. B. A., Ramdan, M. I., & Mamat, H. (2019). Experimental study of the effect of piccolo tube pipe on the air-conditioning experimental rig. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 53(1), 95–105.
- Bu, X., Peng, L., Lin, G., Bai, L., & Wen, D. (2015). Experimental study of jet impingement heat transfer on a variable-curvature concave surface in a wing leading edge. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 90, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.06.028>
- Bu, X., Peng, L., Lin, G., Bai, L., & Wen, D. (2016). Jet impingement heat transfer on a concave surface in a wing leading edge: Experimental study and correlation development. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 78, 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.06.006>
- Fagr, M. H., Rishak, Q. A., & Mushatet, K. S. (2020). Performance evaluation of the characteristics of flow and heat transfer in a tube equipped with twisted tapes of new configurations. *International Journal of Thermal Sciences*, 153(February), 106323. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106323>
- Pachpute, S., & Premachandran, B. (2020). Turbulent multi-jet impingement cooling of a heated circular cylinder. *International Journal of Thermal Sciences*, 148(November 2019), 106167. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106167>
- Rohini, D., Lokesgarun, D., Naveen, R., & Samiyappan, P. (2019). Comparison of rotating piccolo tube with fixed piccolo tube by using CFD. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(1 Special Issue), 678–685. <https://doi.org/10.21817/ijet/2019/v11i1/191101017>
- Sreedharan, C., Nagpurwala, Q. H., & Subbaramu, S. (2014). Effect of Hot Air Jets from a Piccolo Tube in Aircraft Wing Anti-Icing Unit. *MSRUAS-SASTech Journal*, 13(2), 2–5.
- YU, J., PENG, L., BU, X., SHEN, X., LIN, G., & BAI, L. (2018). Experimental investigation and correlation development of jet impingement heat transfer with two rows of aligned jet holes on an internal surface of a wing leading edge. *Chinese Journal of Aeronautics*, 31(10), 1962–1972. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.07.016>
- Zhao, Y., Chang, S., Yang, B., Zhang, W., & Leng, M. (2017). Experimental study on the thermal performance of loop heat pipe for the aircraft anti-icing system. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 111, 795–803. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.04.009>
- Zhou, Y., Lin, G., Bu, X., Bai, L., & Wen, D. (2017). Experimental study of curvature effects on jet impingement heat transfer on concave surfaces. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(2), 586–594.
- Sudrajat Jajat. (2017). Analisis kinerja *heat exchanger shell & tube* pada sistem *cog booster* di *integrated steel mill* Krakatau. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(3), 174-175
- Hendri, Suhengki, & Lubis Fathony. (2018). Pengaruh *fouling* terhadap laju perpindahan panas pada *superheater boiler cfb* PLTU Sebalang. *Jurnal Power Plant*, 6(1), 48-50.
- Usman, Latif. (2011). Pengujian Karakteristik perpindahan panas dan factor gesekan pada penukar kalor pipa konsentrik saluran *annular* dengan *half length* dan *full length twisted tape insert*. *Jurnal Universitas Sebelas Maret*.
- Naveenkumar, R., Ramesh, Kumar., Giridharan, R., Senthil, Kumaran. (2019). Thermal performance enhancement in a plain tube fitted with performed tape insert using water base Al₂O₃ nanfluid. *School of mechanical engineering*, 2274-2282.
- Yaningsih, Indri., Istanto, Tri. (2013). Studi eksperimental karakteristik perpindahan panas dan factor gesekan pada penukar kalor pipa konsentrik dengan *peripherally-cut twisted tape insert with alternate-axis*. 1442-9612.