

ANALISA PERFORMA *HEAT EXCHANGER* DENGAN PENAMBAHAN *VORTEX GENERATOR* TIPE *TWIST WITH HOLE* DIKOMBINASI DENGAN *WIRE COIL* GUNA MENGATASI *ICING* PADA *KARBURATOR PISTON ENGINE*

¹Veronica Adina Victori, ²Gaguk Marausna, ³Farid Jayadi

^{1,2,3}Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan

Abstrak

Kebutuhan sarana transportasi udara meningkat setiap tahunnya, dikarenakan hal itu pula maka perlu adanya peningkatan keamanan dan perawatan suatu pesawat terbang. Salah satu jenis pesawat terbang yang sering digunakan oleh manusia adalah pesawat berjenis piston engine. Pada kondisi tertentu pesawat dengan mesin piston engine ini dapat mengalami icing termasuk pada engine, kondisi tersebut dapat mengganggu proses terbang nya pesawat, maka dari itu penggunaan alat heat exchanger digunakan pada penelitian ini karena fungsi dari alat tersebut ialah sebagai penukar kalor antara fluida panas yaitu gas buang dan fluida dingin yang digunakan ialah udara hal ini bertujuan untuk mencegah dan menghancurkan kemunculan lapisan es pada mesin terutama pada karburator. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan cara membuat desain sesuai prototype alat heat exchanger yang memanfaatkan gas buang sebagai pencegah icing pada karburator piston engine. Pada tabung yang dilewati fluida gas buang ditambahkan vortex generator tipe twist with hole dengan kombinasi wire coil untuk meningkatkan efektifitas dari alat heat exchanger. Variasi twist ratio pada vortex generator disini adalah (p_{tw}/W_{tw}) 3, 4, dan 5. Hasil menunjukkan bahwa penambahan vortex generator tipe twist with hole kombinasi wire coil ini dapat mempengaruhi efektifitas (ϵ) suatu alat sebesar 95.8% di twist ratio 3 dengan nilai Re fluida yang melewati vortex generator sebesar 66491.7, koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0) sebesar 65.2746 W/m². °C.

Kata kunci: Vortex Generator, Heat Exchanger, Piston Engine

Abstract

Air transportation facilities are increasing every year, because of that it is also necessary to increase the safety and maintenance of an aircraft. One of the aircraft that is often used by humans is a piston engine type aircraft. Under certain conditions, an aircraft with a piston engine can experience icing, including the engine, this condition can interfere with the aircraft's flight process, The heat exchanger tool is used in this study because the function of the tool is as a heat exchanger between the hot fluid, namely exhaust gas and the cold fluid used is air, this aims to prevent and destroy the appearance of a layer of ice on the engine, especially on the carburetor. This study uses an experimental method by making a design according to the prototype of a heat exchanger that utilizes exhaust gas from a gasoline generator to prevent icing on the piston engine carburetor. In the tube through which the flue gas passes, a twist with hole type vortex generator is added with a combination of wire coils to increase the effectiveness of the heat exchanger. The twist ratio variations on the vortex generator here are (p_{tw}/W_{tw}) 3, 4, and 5. The results show that the addition of a twist with hole type vortex generator with a wire coil combination can affect the effectiveness (ϵ) of a tool by 95.8% at twist ratio 3 with the Re value of the fluid passing through the vortex generator is 66491.7, the overall heat transfer coefficient (U_0) is 65.2746 W/m². °C.

Keywords: Vortex Generator, Heat Exchanger, Piston Engine.

Pendahuluan

Kebutuhan sarana transportasi udara meningkat setiap tahunnya, dikarenakan hal itu pula maka perlu adanya peningkatan keamanan dan perawatan suatu pesawat terbang. Salah satu jenis pesawat terbang yang sering digunakan oleh manusia adalah pesawat berjenis piston engine. Pada kondisi tertentu pesawat dengan piston engine ini dapat mengalami icing termasuk pada engine. Piston engine merupakan seperangkat mesin yang menggunakan piston untuk menghasilkan daya/tenaga untuk menjalankan suatu sistem. Menurut Bintoro (2016) terdapat komponen sistem pembakaran bahan

¹Email Address : 180302089@students.sttkd.ac.id

Received 20 September 2021, Available Online 30 Desember 2021

bakar di motor piston, mulai dari tangki bahan bakar, saringan bahan bakar, pompa bahan bakar, saringan udara, karburator, selubung sistem piston, poros engkol, batang hubung, *piston*, silinder ruang bakar dan saluran gas buang.

Pada daerah-daerah yang memiliki iklim dingin umumnya terjadi pembekuan atau munculnya titik (bunga) es pada lapisan permukaan pesawat termasuk *engine* juga dapat penyebab permasalahan dalam proses pembakaran di *engine*. Pada Federal Aviation Administration (2016) terdapat sistem *anti-icing* yang memanaskan udara sebelum mencapai karburator dan dimaksudkan untuk menjaga campuran bahan bakar-udara di atas titik beku untuk mencegah pembentukan *carburetor icing*, dimana fungsi dari *carburetor* adalah mencampur bahan bakar dengan udara.

Heat exchanger adalah dengan skema perpindahan panas melalui dua atau lebih fluida, dimana fluida tersebut ada yang bertindak sebagai fluida bertemperatur panas dan yang bertemperatur dingin (Patayang dan Shanty, 2017). Penambahan *vortex generator* bertujuan untuk mengurangi laju aliran yang dapat membuat transfer kalor menjadi lebih efektif dan efisien.

Efektifitas dan pengaruh aliran terhadap penambahan variasi *vortex generator* tipe *twist with hole* dengan penambahan *wire coil* dipilih karena menurut Mokkapati dan Lin (2019) *vortex generator* menyebabkan peningkatan dalam laju perpindahan kalor dan menurut Kasmara (2016) geometri pada rasio diameter *coil* akan mempengaruhi perubahan parameter performa dari alat penukar kalor. Menurut Zhao et al. (2017) studi eksperimen pada performa *thermal* dengan *loop heat* pipa untuk mengatasi *icing* menghasilkan *dual compensation chamber loop heat pipe* dengan pembebanan panas.

Carburetor heat dapat digunakan untuk mencairkan es yang sudah terbentuk di dalam karburator jika akumulasinya tidak terlalu besar, dari hal tersebut perlu dilakukan pembaruan atau peningkatan efektifitas dari *carburetor heat* tersebut dengan metode *heat exchanger* (penukar kalor) dengan penambahan *vortex generator* tipe *twist with hole* yang dikombinasikan dengan *wire coil* merupakan metode yang digunakan pada penelitian ini dengan tujuan mencegah atau menghancurkan kemunculan lapisan es pada karburator di *piston engine*.

Landasan Teori

Heat exchanger adalah perangkat yang memfasilitasi pertukaran panas antara dua fluida yang berada pada suhu yang berbeda sambil menjaga mereka dari pencampuran satu sama lain. Untuk menjaga kedua fluida dari pencampuran, digunakan dua pipa konsentris yang arah aliran dalam pipa ganda penukar panas ialah aliran paralel, baik cairan panas dan dingin memasuki panas penukar di ujung yang sama dan bergerak ke arah yang sama, atau aliran berlawanan yang cairan panas dan dingin memasuki penukar panas di arah berlawanan berakhir dan mengalir dalam arah yang berlawanan. Dari teori di atas digunakan rujukan pada buku Cengel dan Ghajar (2015) pada persamaan (1) sampai dengan persamaan (21).

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

$$\Delta T = (T_i - T_o) \quad (2)$$

Pada persamaan (1) merupakan persamaan laju perpindahan kalor yang terjadi pada masing masing fluida. *Properties* fluida panas pada *shell* dan dingin pada *tube* dievaluasi pada temperatur rata-rata seperti pada persamaan (3) dan (4) yaitu;

$$T_h = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} \quad (3)$$

$$T_c = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (4)$$

Selanjutnya adalah bilangan Reynold yang merupakan perbandingan gaya inersia dan gaya viskos untuk menentukan kondisi suatu aliran tertentu. Bilangan Reynold yang kurang dari 2300 adalah jenis aliran laminar dan apabila bilangan Reynold lebih dari 10000 adalah jenis aliran turbulen, dan transisi terletak pada bilangan Reynold 2300 sampai 10000. Angka tersebut didapatkan dari persamaan (5).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (5)$$

Selanjutnya adalah bilangan Nusselts (Nu) jika jenis alirannya adalah turbulen dan memiliki 2 jenis *temperature* yang berbeda maka digunakan persamaan (6) dan (7).

Fluida panas di *tube*, jenis aliran turbulen:

$$Nu_h = 0.023 Re_h^{0.8} Pr_h^{0.3} \quad (6)$$

Fluida dingin di *shell*, jenis aliran turbulen:

$$Nu_c = 0.023 Re_c^{0.8} Pr_c^{0.4} \quad (7)$$

Nilai *Nu* yang didapat pada persamaan di atas digunakan untuk persamaan koefisien perpindahan kalor yang ditunjukkan pada persamaan (8).

$$h = \frac{Nu k}{D} \quad (8)$$

Untuk menghitung koefisien kalor menyeluruh ditunjukkan pada persamaan (9)

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_h}} \quad (9)$$

Selisih temperatur dari fluida yang masuk dan keluar dari alat penukar kalor dapat ditentukan pada persamaan (10)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (10)$$

Untuk arah aliran fluida berlawanan (*counter flow*) maka;

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_{co} \quad (11)$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci} \quad (12)$$

Proses perpindahan kalor adalah luas permukaan perpindahan kalor menyeluruh (A_o) yang dapat ditentukan pada persamaan (14)

$$Q = U_o A_o \Delta T_{lm} \quad (13)$$

$$A_o = \frac{Q}{U_o \Delta T_{lm}} \quad (14)$$

Parameter yang menunjukkan ukuran dari suatu alat penukar kalor adalah dengan persamaan NTU (*Number of transfer units*) yang di tampilkan pada persamaan (15).

$$NTU = \frac{U_o A_o}{C_{min}} \quad (15)$$

$$\text{Untuk fluida dingin : } C_c = \dot{m}_c C_{p_c} \quad (16)$$

$$\text{Untuk fluida panas : } C_h = \dot{m}_h C_{p_h} \quad (17)$$

C_{min} adalah nilai terkecil diantara C_c dan C_h

Menentukan efektivitas (ϵ) alat *heat exchanger* dengan aliran fluida yang berlawanan ialah menggunakan persamaan (19)

$$C = C_{min} / C_{maks} \quad (18)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \exp[-NTU(1-C)]} 100\% \quad (19)$$

Friction factor untuk turbulen ditunjukkan pada persamaan (22)

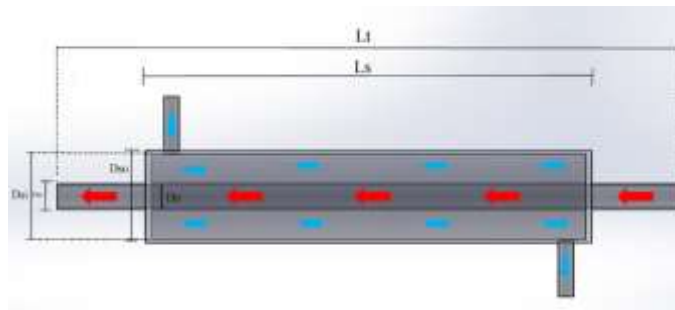
$$f = (0.790 \ln Re_h - 1.64)^{-2} \quad (20)$$

Pressure drop merupakan kehilangan tekanan *ireversibel* antara saluran masuk dan keluar saluran. Ini adalah ukuran resistensi yang ditawarkan tabung untuk mengalir di atasnya, dan dapat dinyatakan pada persamaan (21)

$$\Delta P = f \frac{L}{D_t} \rho \frac{V_h^2}{2} \quad (21)$$

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan cara membuat desain sesuai *prototype* alat *heat exchanger* yang memanfaatkan gas buang *genset* sebagai pencegah *icing* pada karburator *piston engine*. Pada Gambar 1 menunjukkan pemanfaatan *heat exchanger* ini memindahkan kalor dari fluida bertemperatur tinggi ke fluida bertemperatur rendah.



Gambar 1. *Heat Exchanger* arah aliran *counter*

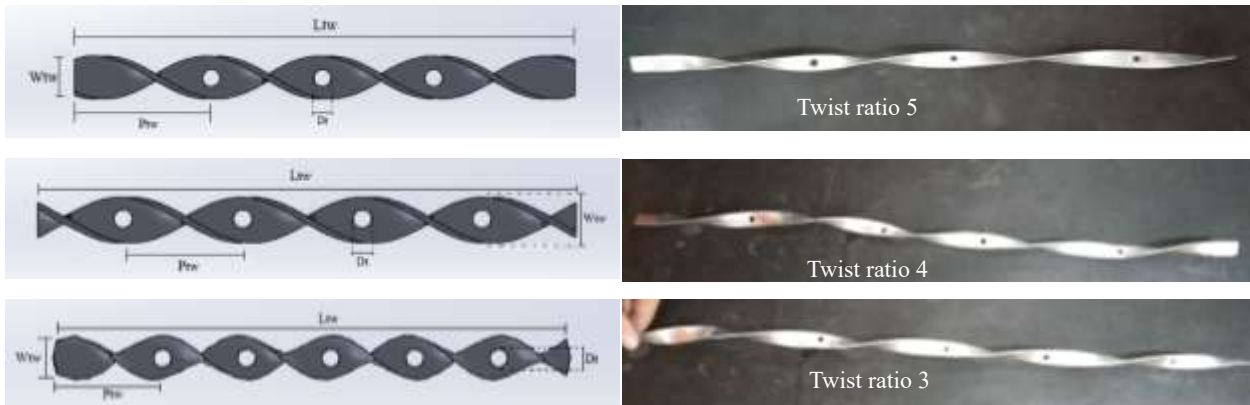
Pada Tabel 1 menunjukkan geometri dari *shell and tube* pada rangkaian alat *heat exchanger*, pada bagian *shell* menggunakan material besi dan *tube* menggunakan material galvanis, terdapat karakteristik geometri dimana pada *shell side* udara yang masuk bertemperatur dingin berasal dari udara dingin dan *tube side* udara yang masuk bertemperatur tinggi berasal dari gas buang mesin.

Tabel 1. Geometri *heat exchanger*

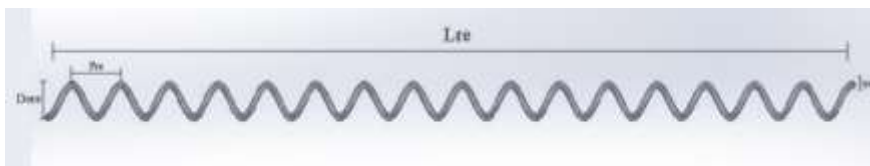
	L (m)	D_o (m)	D_i (m)
Shell (s)	0.43	0.0886	0.0826
Tube (t)	0.6	0.0252	0.0215

Tabel 2. Karakteristik Geometri Spesimen *Twist*

No	L_{tw} (m)	W_{tw} (m)	t_{tw} (m)	p_{tw} (m)	D_{hole}	p_{tw}/W_{tw}
1.	0.43	0.0125	0.0007	0.137	0.005	5
2.	0.43	0.015	0.0007	0.125	0.005	4
3.	0.43	0.0105	0.0007	0.07	0.005	3



Gambar 2. Vortex generator tipe twist with hole dengan rasio twist (p_{tw}/W_{tw}) 3, 4, 5



Gambar 3. Vortex generator tipe wire coil

Tabel 3. Geometri wire coil

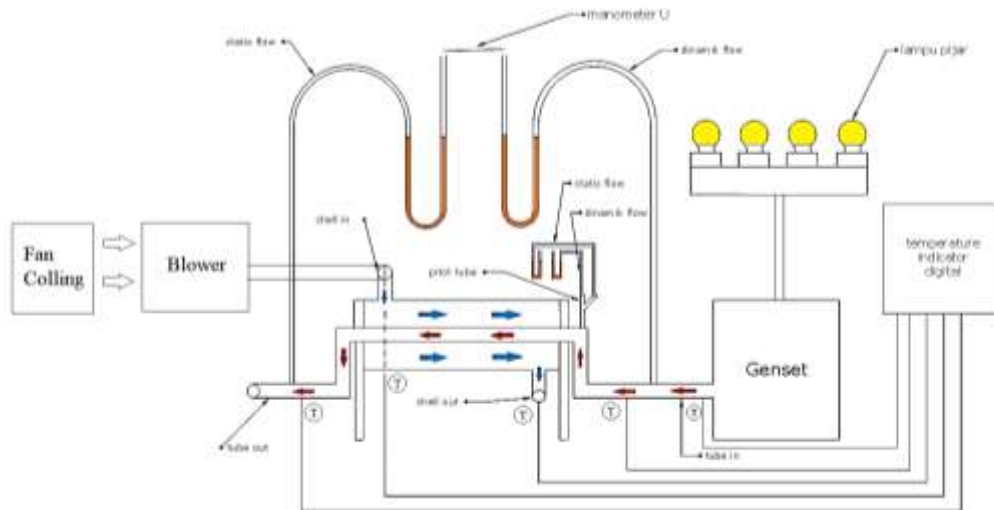
L_{re} (m)	t_{re} (m)	p_{re} (m)	D_{ire} (m)	D_{ore} (m)
0.43	0.003	0.025	0.0161	0.0177

Pada Gambar 2, Tabel 2, Gambar 3, dan Tabel 3 menunjukkan geometri dari *vortex generator*, menurut Hanifan (2017) *vortex generator* adalah suatu penampang yang menciptakan suatu putaran aliran yang membujur disepanjang aliran. Dengan adanya *vortex-vortex* tersebut maka aliran fluida dapat dimanipulasi turbulensinya. Penambahan *vortex generators* pada desain Heat exchanger akan menimbulkan *vortex-vortex* yang membujur pada medan aliran. Menurut Chai dan Tassou (2018) terdapat berbagai macam bentuk *vortex generator*, penetapan geometri *vortex generator* memiliki pengaruh yang signifikan pada kemampuan perpindahan kalor



Gambar 4. Vortex generator tipe twist with hole dengan penambahan wire coil

Jenis *twist* berasal dari material aluminium yang merupakan strip logam yang dipelintir dengan teknik yang sesuai pada bentuk dan dimensi yang diinginkan, dimana *vortex generator* ini dimasukkan ke dalam aliran (Sheikholeslami et al., 2015), sedangkan untuk *wire coil* dibuat dari material besi dengan geometri yang sesuai pada Tabel 2 yang keduanya digabungkan untuk memberi gangguan pada aliran yang melewati *tube*. Hal ini juga mengacu pada penelitian Mokkaapati dan Lin (2019) yang diberi lubang pada *twist*, dan penggunaan *wire coil* pada penelitian Akyürek et al. (2018) sebagai alat untuk meningkatkan perpindahan kalor.



Gambar 5. Skema instalasi rangkaian pengujian

Proses pengujian menggunakan rangkaian alat dan komponen yang dipasang seperti pada skema instalasi Gambar 5 dengan langkah awal, menghidupkan mesin genset selama 2 menit kemudian dilakukan pengecekan terhadap rangkaian agar didapat kesesuaian desain atau tidak ditemukan kebocoran pada tiap-tiap sambungan. Masing-masing *vortex generator* dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dengan 5 pembebanan. Beban yang digunakan adalah lampu pijar dengan daya 100 W, 200 W, 300 W dan 400 W guna mensimulasikan kondisi-kondisi pada pesawat yang tidak konstan salah satunya pada *piston engine*. Pemilihan lampu pijar digunakan karena penelitian ini merupakan sebuah *prototype* berskala kecil, dan apabila pembebanan yang digunakan tidak sesuai atau kelebihan beban maka akan terjadi konsleting, sehingga gas buang yang dihasilkan mesin genset tidak optimal yang akan menyebabkan mesin tidak mampu menahan beban. Sedangkan pada pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dengan selisih waktu 25 detik. Pada proses pengambilan data harus dimulai pada temperatur ruangan. Pada saat mesin genset dihidupkan untuk menghasilkan fluida panas yang dialirkan ke *tube* maka *blower* atau *fan cooling* dinyalakan untuk menghasilkan fluida dingin yang dialirkan melewati *shell*.

Terdapat tanda T atau *thermocouple* pada Gambar 5 yang terpasang pada *tube in*, *tube out*, *shell in*, dan *shell out* yang digunakan untuk mengetahui temperatur yang masuk dan temperatur keluar dari fluida kerja yang selanjutnya dibaca oleh alat *indicator digital*. Manometer U digunakan pada skema di atas untuk mengukur perbedaan tekanan pada *tube in* dan *tube out*, sedangkan *pitot tube* digunakan untuk menghitung kecepatan aliran.

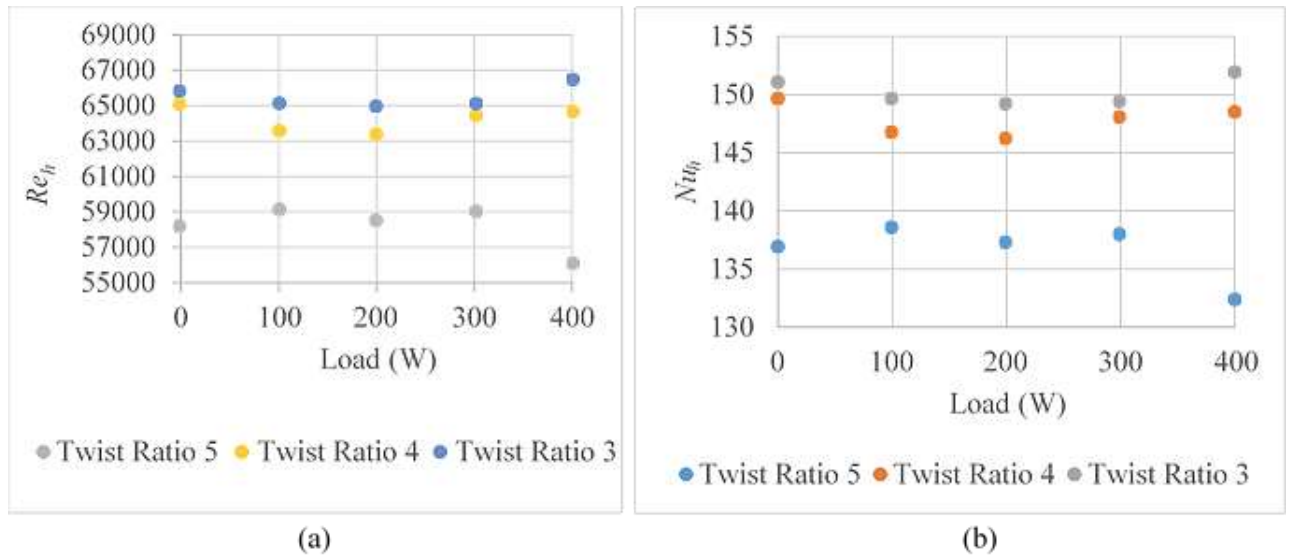
Dari tiap geometri dan data yang diperoleh dilakukan perhitungan untuk mengetahui efektifitas alat heat exchanger dan perubahan yang dialami aliran setelah diberi variasi *vortex generator* tipe *twist with hole* dengan kombinasi *wire coil*.

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh perubahan aliran terhadap penambahan *twist with hole* kombinasi *wire coil* terhadap koefisien perpindahan kalor

Pada Gambar 6 merupakan grafik pengaruh variasi *twist ratio* terhadap Re_h dan Nu_h , hal tersebut merupakan hasil perhitungan temperatur rata-rata pada tiap *shell* and *tube* untuk mendapatkan nilai *properties* yang sesuai temperatur fluida yang selanjutnya dimasukkan pada persamaan (5) yaitu kecepatan aliran yang didapat dikali dengan diameter lalu dibagi nilai *viscositas kinematic*. Sedangkan untuk mendapatkan nilai Nu_h pada tiap-tiap variasi dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (6).

Hasil perhitungan menunjukkan nilai Re_h tertinggi adalah pada *twist ratio* 3 dengan rata-rata 65509, dan nilai Re_h terendah terdapat pada *twist ratio* 5 dengan nilai Re_h rata-rata adalah 58191.45, dengan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa variasi *twist ratio* mempengaruhi perubahan aliran pada nilai Re_h yaitu semakin rendah *twist ratio* maka nilai Re_h akan semakin tinggi, sedangkan untuk nilai Nu_h tertinggi yang di dapat dari perhitungan tiap variasi *twist ratio* 3, 4, dan 5 adalah pada *twist ratio* 3 dengan rata-rata 150.26, dan untuk nilai Nu_h terendah terdapat pada *twist ratio* 5 dengan nilai Nu_h rata-rata adalah 136.63. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi *twist ratio* dapat mempengaruhi nilai Nu_h suatu aliran yaitu semakin tinggi *twist ratio* maka nilai Nu_h suatu aliran akan semakin rendah.



Gambar 6. Pengaruh variasi *twist ratio* (a) terhadap Re_h , (b) terhadap Nu_h

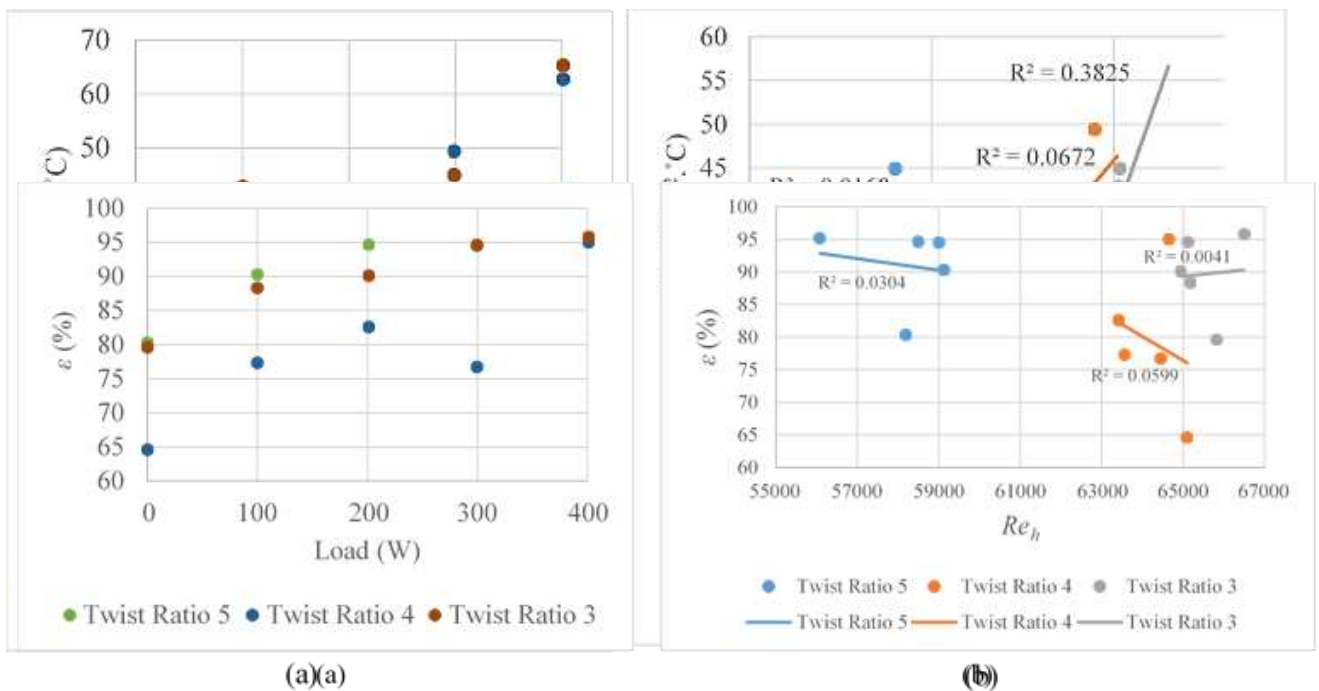
Dari nilai Nu_h yang telah di dapat digunakan untuk melakukan perhitungan koefisien perpindahan kalor pada tiap bagian *shell* dan *tube* sesuai pada persamaan (8) yaitu nilai Nu pada *shell* dan *tube* dikali dengan nilai *thermal conductivity* yang sesuai pada nilai *properties* suatu aliran pada temperatur rata-rata lalu dibagi dengan diameter pipa *shell* dan *tube*, setelah didapat nilai koefisien perpindahan kalor di tiap-tiap saluran maka dapat dilakukan perhitungan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan persamaan (9).

Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Gambar 7 yang menunjukkan bahwa variasi *twist ratio* dapat mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan nilai U_0 tertinggi adalah pada *twist ratio* 3 dengan nilai rata-ratanya adalah $45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$. Sedangkan nilai U_0 terendah pada variasi *twist ratio* 3, 4, dan 5 adalah *twist ratio* 5 dengan nilai rata-rata 38.24 , dan pada *twist ratio* 4 didapati nilai rata-rata U_0 adalah 42.14 . Dari grafik pada Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa variasi *twist ratio* dapat mempengaruhi nilai U_0 yaitu semakin tinggi *twist ratio* yang digunakan maka nilai U_0 akan semakin rendah. Menurut grafik perbandingan antara koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan bilangan Reynold dalam *tube*, dapat dilihat bahwa *twist ratio* 3 memiliki keterkaitan paling besar. Berbanding terbalik pada *twist ratio* 5 dimana grafik perbandingan antara koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan Re_h mengalami penurunan dan memiliki keterkaitan paling kecil.

Dari nilai U_0 yang telah didapat, dilakukan perhitungan untuk menemukan NTU (*number of transfer units*) sesuai pada persamaan (15) yang sebelumnya telah dihitung luas permukaan perpindahan kalor menyeluruh (A_0), dan laju kapasitas kalor pada tiap bagian *shell* dan *tube* yang akan dipilih nilai paling kecil. Setelah mendapat nilai dari perhitungan NTU pada tiap tiap *twist ratio* dan pembebanan maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui efektifitas suatu alat *heat exchanger*.

Pengaruh variasi *twist with hole* kombinasi *wire coil* terhadap efektivitas *heat exchanger*

Pada penjelasan sebelumnya telah dibahas parameter yang menunjukkan tentang ukuran dari suatu alat *heat exchanger* adalah NTU (*number of transfer units*) dan adanya nilai perbandingan laju kapasitas kalor yang didapat dari selisih laju kapasitas kalor di tiap saluran yang digunakan untuk melakukan perhitungan efektivitas alat *heat exchanger* yang disajikan pada Gambar 8 sesuai pada persamaan (19). Dari Gambar 8 didapatkan bahwa variasi *twist ratio* memberikan pengaruh pada efektivitas alat *heat exchanger* dengan pemberian *twist ratio* 3 mendapatkan nilai efektivitas tertinggi dengan nilai sebesar 95.8% dan pada *twist ratio* 4 memiliki nilai efektivitas terendah yaitu 64.6% Hal ini menjadikan *twist ratio* 3 memiliki performa paling baik diantara *twist ratio* lainnya dan dapat diambil kesimpulan bahwa variasi *twist ratio* dan pembebanan yang dilakukan untuk mensimulasikan keadaan piston engine yang tidak konstan dapat mempengaruhi nilai efektivitas suatu alat penukar kalor.



Gambar 8. Pengaruh variasi *twist ratio* terhadap efektivitas, (a) variasi beban dan (b) variasi Re_h

Pada grafik pengaruh variasi *twist ratio* terhadap efektivitas dengan Re_h didapatkan bahwa pada *twist ratio* 4 memiliki keterkaitan antara efektivitas dan Re_h paling tinggi walaupun mengalami penurunan efektivitas seiring dengan kenaikan Re_h dan *twist ratio* 3 mengalami kenaikan pada grafiknya walaupun keterkaitan antara efektivitas dengan Re_h paling kecil diantara variasi lainnya.

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dengan metode eksperimen mengenai analisa performa *heat exchanger* dengan penambahan *vortex generator* tipe *twist with hole* yang dikombinasikan dengan *wire coil* untuk mengatasi *icing* pada karburator *piston engine* didapatkan data bahwa melalui bentuk *prototype* ini dapat disimpulkan bahwa semakin rendah *twist ratio* maka nilai Re akan semakin tinggi. Nilai Re suatu aliran yang melewati variasi *twist ratio* yang terbesar adalah nilai *twist ratio* 3 dengan rata-rata 65509.03 dan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh tertinggi juga terletak pada *twist ratio* 3 dengan rata-rata $45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ dengan kesimpulan bahwa semakin rendah *twist ratio* yang digunakan maka semakin tinggi nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0).

Pengaruh variasi *vortex generator* tipe *twist with hole* yang dikombinasikan dengan *wire coil*

memiliki nilai efektifitas alat *heat exchanger* paling optimal dengan menggunakan *twist ratio* 3 karena nilai efektifitas yang diperoleh adalah paling tinggi dibanding *twist ratio* yang lainnya dengan nilai 95.8%. Jadi, dapat disimpulkan dengan adanya pemberian *vortex generator* tipe *twist with hole* kombinasi *wire coil* dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efektifitas *heat exchanger*. Sedangkan untuk grafik perbandingan dengan Re_h menunjukkan bahwa kenaikan atau menurunnya grafik tidak selalu seiring dengan kenaikan atau penurunan nilai keterkaitan pada masing masing nilai U_0 dan efektifitas.

Daftar Pustaka

- Akyürek, E. F., Geliş, K., Şahin, B., dan Manay, E. (2018). Experimental analysis for heat transfer of nanofluid with wire coil turbulators in a concentric tube heat exchanger. *Results in Physics*, 9, 376–389. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.02.067>
- Bintoro, A. (2016). Karakteristik Motor Bakar Piston Pembangkit Gaya Dorong Pesawat Nir Awak Lsu-05 (Characteristic of Piston Engine As Lsu-05 Uav ' S Thrust Generator). *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, 11, 65–70.
- Cengel, Y. A., dan Ghajar, A. J. (2015). *Heat and Mass Transfer* (fifth edit). McGraw Hill Education, 2 Penn Plaza, New York.
- Chai, L., dan Tassou, S. A. (2018). A review of airside heat transfer augmentation with vortex generators on heat transfer surface. *Energies*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/en11102737>
- Federal Aviation Administration. (2016). Pilot ' s Handbook of Aeronautical Knowledge. In *United states Department of transportation, FAA*. United states Department of transportation, FAA, Airman Testing Standards Branch.
- Hanifan, M. F. (2017). *Analisis Pengaruh Vortex Generators Tipe Rectangular Winglet pada Desain Heat Exchanger Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics*. Sepuluh Nopember Institute of Technology.
- 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*. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mokkapati, V., dan Lin, C. Sen. (2019). Numerical study of an exhaust heat recovery system using corrugated tube heat exchanger with twisted tape inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57(1), 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.07.002>
- Patayang, M., dan Shanty. (2017). Analisa Laju Perpindahan Panas Locooler Tipe Shell and Tube Aliran Berlawanan Arah Pada Km Pantokrator. *Politeknik Negeri Balikpapan*, 26–32.
- Sheikholeslami, M., Gorji-bandpy, M., dan Domiri, D. (2015). Review of heat transfer enhancement methods : Focus on passive methods using swirl fl ow devices. *elsevier*, 49, 444–469. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.113>
- Zhao, Y., Chang, S., Yang, B., Zhang, W., dan 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>