

ANALISIS PERFORMA *HEAT EXCHANGER* DENGAN VARIASI ARAH ALIRAN DAN PENAMBAHAN *VORTEX GENERATOR* UNTUK MENGATASI *ICING* PADA *KARBURATOR PESAWAT PISTON ENGINE*

¹Lucia Rahayu Geroda, ²Joni Kasmara, ³Gaguk Marausna

Program Studi Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan

Abstrak

Pesawat merupakan alat transportasi yang pada saat ini populer digunakan oleh masyarakat. Salah satu gangguan yang sering terjadi yaitu hujan dan cuaca buruk, hal ini menyebabkan temperatur dan tekanan di setiap lingkungan berbeda dan akan mengakibatkan terbentuknya lapisan es pada komponen pesawat. Pada pesawat piston engine, terdapat beberapa komponen salah satunya yaitu karburator, yang berfungsi mencampurkan udara dan fuel. Dengan ini, dibutuhkan adanya anti icing guna mencegah terjadinya icing pada karburator. Metode yang digunakan adalah metode experimental dengan membuat prototype untuk mensimulasikan heat exchanger, dengan memanfaatkan gas buang yang berasal dari mesin geset guna mengatasi icing (drop late) pada karburator khususnya pada pesawat piston engine. Variasi arah aliran dan penambahan vortex generator twisted type pada penelitian ini yaitu aliran paralel dan aliran counter tanpa dan dengan penambahan vortex generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi arah aliran tanpa dan dengan penambahan vortex generator twisted insert type di dalam pipa konsentrik. Pada aliran paralel tanpa vortex generator twisted insert type memiliki nilai perpindahan kalor konveksi sebesar 337,8 W dan nilai efektifitas sebesar 66,3%, sedangkan pada aliran counter tanpa vortex generator twisted insert type memiliki nilai perpindahan kalor konveksi sebesar 316,6 W dan nilai efektifitas sebesar 67,2%. Sebaliknya aliran paralel dengan penambahan vortex generator twisted insert type memiliki nilai perpindahan kalor konveksi sebesar 340,8 W, nilai pressure drop sebesar 17,6 Pa, dan nilai efektifitas sebesar 71,5%. Sedangkan aliran counter dengan penambahan vortex generator twisted insert type memiliki nilai perpindahan kalor konveksi sebesar 435,4 W, nilai pressure drop sebesar 21,1 Pa, dan nilai efektifitas sebesar 74,6%. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi arah aliran tanpa dan dengan penambahan vortex generator twisted insert type dapat mempengaruhi peningkatan nilai perpindahan kalor konveksi menyeluruh (Q), pressure drop (ΔP) dan nilai efektifitas (ϵ) pada heat exchanger.

Kata kunci : *Vortex Generator twisted insert type, Heat Exchanger, Piston Engine, Paralel Flow, Counter Flow*

Abstrak

Aircraft is a means of transportation that is currently popularly used by the public. One of the disturbances that often occurs is rain and bad weather, this causes the temperature and pressure in each environment to be different and will result in the formation of ice sheets on aircraft components. In a piston engine aircraft, there are several components, one of which is a carburetor, which combines air and fuel. With this, anti-icing is needed to prevent icing on the carburetor. The method used is an experimental method by making a prototype to simulate a heat exchanger, by utilizing exhaust gas from a friction engine to overcome the icing (drop late) on the carburetor, especially on piston engine aircraft. Variations in the direction of flow and the addition of the vortex generator twisted type in this study are parallel flow and counter flow without and with the addition of a vortex generator. The results showed that the variation of the flow direction without and with the addition of the vortex generator twisted insert type in the concentric pipe. In parallel flow without vortex, the twisted insert type generator has a convection heat transfer value of 337.8 W and an effectiveness value of 66.3%, while in the counter flow without a twisted insert type vortex generator has a convection heat transfer value of 316.6 W and a value effectiveness of 67.2%. In contrast, the parallel flow with the addition of a twisted insert type vortex generator has a convection heat transfer value of 340.8 W, a pressure drop value of 17.6 Pa, and an effectiveness value of 71.5%. While the counter flow with the addition of the vortex generator twisted insert type has a convection heat transfer value of 435.4 W, a pressure drop value of 21.1 Pa, and an effectiveness value of 74.6%. From this study it can be concluded that variations in the flow direction without and with the addition of a twisted insert type vortex generator can affect the increase in the total convection heat transfer value (Q), pressure drop (ΔP) and the effectiveness (ϵ) value on the heat exchanger.

Keywords: *Vortex Generator twisted insert type, Heat Exchanger, Piston Engine, Paralel Flow, Counter Flow*

¹Email Address : gerodarahayu99@gmail.com

Received 15 Februari 2021, Available Online 30 Juli 2021

Pendahuluan

Karburator merupakan salah satu komponen pada pesawat piston *engine*, yang berfungsi mencampurkan udara dan *fuel*. Karburator bekerja menggunakan prinsip *Bernoulli*, di mana semakin cepat aliran udara yang bergerak maka semakin rendah tekanan statis yang di miliki dan nilai tekanan dinamisnya meningkat. Pesawat terbang dengan mesin *piston engine* yang memiliki daya jelajah maksimal 15.000 ft, permasalahan yang sering terjadi di karburator yaitu terjadinya penutupan pada katub *butterfly* yang mengakibatkan terbentuknya *icing* atau terdapat *droplate*. Hal ini tidak boleh terjadi karena dapat mengganggu *performa* pada pesawat seperti berkurangnya kecepatan, bertambahnya gaya hambat dan gaya berat, serta hilangnya gaya angkat. (Reza dan Fitrikananda B.P, 2016: 1-5).

Naveenkumar *et al.* (2019), dengan menambahkan *twisted tape insert* dan juga menambahkan *nanofluid* berupa Al_2O_3 akan meningkatkan temperatur didalam sistem penukar kalor daripada yang hanya menggunakan *twisted tape insert*. Katalis lain yang dapat ditambahkan pada sistem *anti icing* bisa menggunakan nanofluid jenis TiO_2-H_2O .

Li, Haiwang, *et al* (2017), *compact air heat exchanger* berjenis *snake tube* (tubular) dengan aliran menyilang atau *cross flow* yang dirancang menggunakan *Logarithmic Mean Temperature Difference Method* (LMTD). *Experimental* dengan struktur *heat exchanger* berbahan *stainless stell* dengan berat 2,04 kg mampu mendinginkan udara bersuhu tinggi dari kompressor dengan tekanan tinggi, didalam *gas turbine engine* dengan suhu ≤ 200 K dengan ruang terbatas menggunakan udara pendingin dari *bypass duct*. Hasil *experimental* menunjukkan bahwa metode desain terbukti akurat dalam memprediksi kinerja *heat exchanger ccompact air* untuk jenis struktur yang diteliti, hal ini menunjukkan *heat exchanger* akan memiliki kemampuan perpindahan panas yang ditingkatkan dengan beban yang lebih rendah dan kepadatan yang lebih tinggi.

Kasmara., J., *et al* (2016), efektivitas alat penukar kalor (*heat exchanger*) dengan variasi *helical coil tube* dimanfaatkan dengan menggunakan panas dari gas buang mesin diesel yang dapat mempengaruhi diameter kumparan *helical coil tube*, jarak dari kumparan *helical coil tube* dan putaran mesin diesel. Memanfaatkan gas buang mesin diesel menunjukkan bahwa dari hasil laju perpindahan panas akan terjadi apabila semakin kecil diameter kumparan dan semakin kecil jarak antar kumparan. Akan tetapi kenaikan temperatur di atas 70 °C akan menurunkan kinerja mesin diesel. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan *shell helical coil heat exchanger* dapat memaksimalkan pemanfaatan limbah gas untuk memanaskan solar pada berbagai putaran operasional mesin diesel.

Penggunaan *heat exchanger* dengan variasi arah aliran dan penambahan *vortex generator* berupa *twisted insert type* ditinjau untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan arah aliran tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap perpindahan kalor konveksi dan efektivitas, serta mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap *pressure drop* yang terjadi didalam *tube side* menggunakan metode *experimental* dengan membuat sebuah *prototype* untuk mensimulasikan *heat exchanger*.

Landasan Teori

Piston Engine.

Pada mesin piston *engine*, *fuel* sebagai tenaga penggerak akan terbakar setelah bercampur dengan udara. Campuran tersebut dihisap kedalam silinder dan di mampatkan dengan piston untuk memperoleh tenaga panas, yang dimana campuran tersebut meningkatkan suhu dan tekanan. (Kambrany, *et al* 2014: 42-47). Pada mesin pesawat piston *engine*, pembakaran terjadi didalam sistem itu sendiri. Komponen dari piston *engine* bergerak secara translasi atau bolak balik dan proses

kerjanya secara bertahap sehingga menimbulkan terjadinya getaran atau *vibration*. Terdapat 4 langkah proses pembakaran dari piston *engine* yaitu sebagai berikut :

- a. Langkah pemasukan atau *intake stroke*.
Piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju ketitik mati bawah (TMB), dengan posisi *intake valve* terbuka dan *exhaust valve* tertutup. Gerakan piston menyebabkan tekanan didalam silinder menjadi rendah sehingga campuran udara dan bahan bakar akan masuk kedalam silinder.
- b. Langkah kompresi atau *compression stroke*.
Piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA) dengan posisi *intake* dan *exhaust valve* tertutup, udara didalam ruang bakar di kompresikan sehingga terjadi kenaikan pada temperatur dan tekanan. Pada saat piston mencapai titik mati atas (TMA) busi akan memercikkan bunga api untuk membakar campuran udara dan bahan bakar.
- c. Langkah kerja atau *expansion or power stroke*.
Piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB) dengan posisi *intake* dan *exhaust valve* tertutup. Piston dapat bergerak karena tekanan yang meningkat yang dihasilkan dari energi yang berasal dari ruang bakar atau *combustion chamber*.
- d. Langkah pembuangan atau *exhaust stroke*.
Piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA) dengan posisi *exhaust valve* terbuka dan *intake valve* tertutup. Pada tahap ini gas hasil pembakaran akan terdorong keluar oleh piston melalui *exhaust valve*.

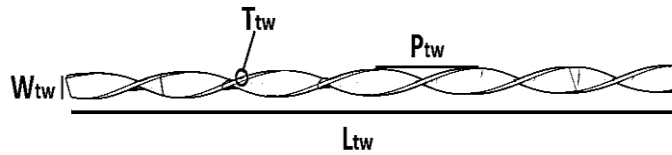
Karburator Pesawat Terbang.

Karburator merupakan sebuah alat penting pada pesawat terbang berjenis *piston engine*, di mana karburator sendiri berfungsi sebagai tempat pencampuran udara dengan bahan bakar sebelum udara memasuki ruang bakar (*combustion chamber*). Hasil dari pencampuran bahan bakar dan udara yang diinginkan yaitu pencampuran sempurna di mana tidak ada sisa *drop late* atau air sehingga terdapat perbandingan antara udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*). Prinsip kerja karburator menggunakan prinsip Bernoulli di mana kecepatan ideal suatu gas atau udara akan bertambah seiring dengan turunnya tekanan dengan kata lain semakin cepat aliran udara yang bergerak maka semakin kecil nilai tekanan statis. Sehingga bahan bakar bisa naik ke mangkuk karburator dan tercampur dengan udara kemudian masuk ke ruang bakar. Sebelum masuk ke dalam ruang bakar campuran udara dan bahan bakar tersebut melewati intake manifold yang berfungsi untuk menyalurkan kabut yang berasal dari hasil pencampuran dari udara dan bahan bakar. Diruang bakar energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar dikonveksikan menjadi energi gerak pada piston dan nilai tekanan dinamis yang dihasilkan lebih besar. (Kambrany, *et al* 2014: 42-47).

Karburator Icing.

Karburator *icing* ialah pencampuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam mesin dan terjadi di dalam karburator. Terjadi pendinginan karena bahan bakar menguap menjadi gas, dimana terjadi penurunan temperatur yang menyebabkan terbentuknya lapisan es pada karburator. Campuran udara bertemperatur rendah dan bahan bakar menciptakan terjadinya lapisan es pada karburator. Kondisi *icing* bisanya terjadi pada temperatur dibawah 0°C dan di atas -40°C, terdapat *visible moisture* atau uap air yang terlihat seperti kabut, awan dll. Pada saat kondisi cuaca berkabut atau hujan, suhu berada dibawah 0°C maka dapat terjadinya *icing condition*. Kondisi *icing* ini sangat berbahaya jika terjadi pada karburator pesawat pinton *engine*. *Icing* terjadi dikarenakan *drop late* atau es yang terbentuk di karburator yang menghambat aliran udara dan bahan bakar yang akan masuk ke silinder sehingga terjadinya *blocking* dapat mesin akan mati. (Ravi.K., *et al* 2018: 53-62).

Vortex Generator.



Gambar 1. Vortex Generator Twisted Insert Type 5

Tabel 1. Karakteristik Geometri Vortex Generator Twisted Insert Type 5

No	L_{tw} (m)	W_{tw} (m)	t_{tw} (m)	P_{tw} (m)
1	0,432	0,019	0,007	0,106

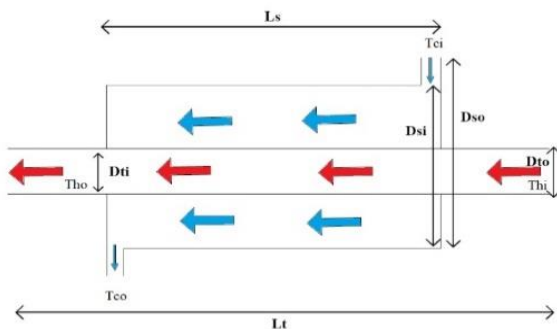
Penambahan *vortex generator* didalam pipa akan meningkatkan perpindahan kalor karena faktor gesekan didalam pipa dengan penambahan *twisted type insert*. Sistem perpindahan kalor pada pipa dengan penambahan *twisted insert type* sering digunakan karena ringkas dan tidak membutuhkan biaya yang besar untuk pembuatannya. (T. Istanto 2014: 9-18). *Vortex generator* berupa *twisted insert type 5* terbuat dari plat alumunium di gunakan untuk memberikan gangguan pada aliran yang terpasang pada *tube* dengan tujuan untuk mengubah jenis aliran yang terjadi dari aliran laminar menjadi aliran *tubulen*.

Aliran Paralel.

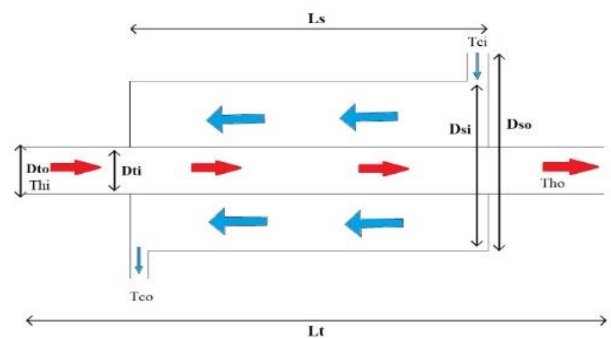
Aliran paralel merupakan dua fluida yang bergerak sejajar atau searah dengan perbedaan temperatur. Fluida panas dan dingin masuk ke dalam alat penukar kalor dengan sisi satu dan keluar melalui sisi yang lain. (Cengel, 2015).

Aliran Counter.

Aliran *counter* merupakan 2 fluida yang bergerak berlawanan dengan perbedaan temperatur. Fluida panas dan dingin masuk dari sisi yang berlawanan dan mengalir berlawanan arah, kemudian keluar melalui sisi yang berbeda. (Cengel, 2015).



Gambar 3 Heat Exchanger Aliran Paralel



Gambar 2 Heat Exchanger Aliran Counter

Aliran Penukar Kalor (Heat Exchanger).

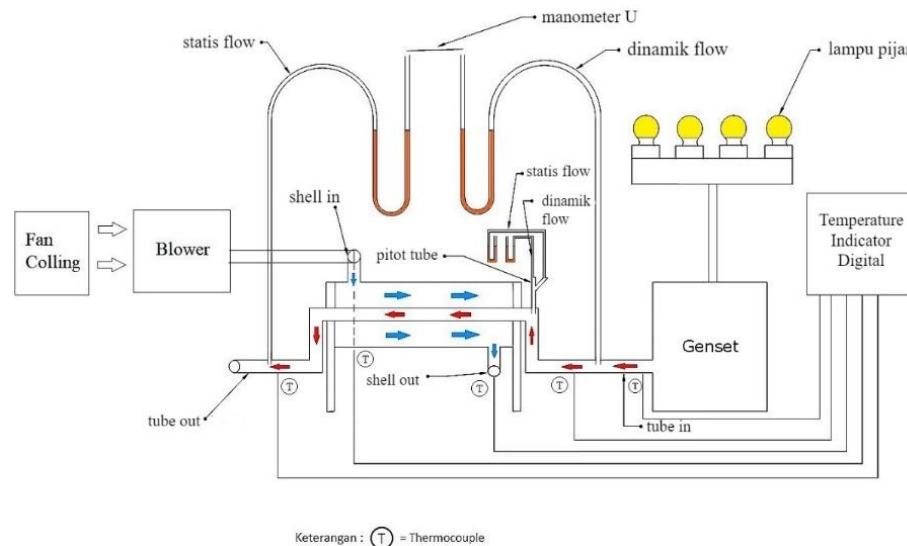
Tabel 2. Karakteristik Heat Exchanger

	L_s (m)	D_{si} (m)	D_{so} (m)	t_s (m)	A_s (m ²)
Shell	0,43	0,08255	0,0886	0,00605	0,00536
Tube	0,6	0,2145	0,0252	0,00375	0,00036

Alat penukar kalor berjenis *shell side and tube side*. dapat mengurangi panjang lintasan dari alat penukar kalor, juga dapat meningkatkan efektivitas alat penukar kalor. Hal ini dikarenakan ketika fluida mengalir dalam lintasan pipa yang berbentuk kurva, gaya *sentrifugal* menyebabkan terjadinya aliran sekunder. Aliran sekunder ini, memiliki kemampuan yang signifikan meningkatkan laju perpindahan kalor. (Cengel, 2015). Pada penelitian ini *shell side* terbuat dari besi dan *tube side* terbuat dari besi *galvanis*.

Metode Penelitian.

Prinsip kerja alat *heat exchanger* atau alat penukar kalor yakni terdapat dua fluida yang bekerja, pada



Gambar 4. Skema Instalasi Penelitian

tube side fluida yang mengalir adalah fluida atau udara panas yang berasal dari gas buang yang disimulasikan oleh mesin genset dan fluida atau udara dingin yang disimulasikan oleh *blower* dan *fan*. Fluida panas yang berasal dari mesin genset yang melewati *tube side* akan didinginkan oleh *shell side* dan fluida dingin yang berasal dari *shell side* akan dipanaskan oleh *tube side*. Jadi aliran fluida yang berasal dari *blower* dan *fan* dengan temperatur rendah akan menjadi tinggi, peristiwa ini disebut menyerap kalor dan aliran fluida yang masuk dari mesin genset yang bertemperatur tinggi akan menjadi rendah pada peristiwa ini disebut melepas kalor.

Pada penelitian ini menggunakan pembebanan berupa lampu pijar dengan daya 0 W, 100 W, 200 W, 300 W, dan 400 W untuk mensimulasikan putaran mesin pesawat piston *engine* yang tidak konstan yang disimulasikan dengan mesin genset sebagai gas buang. Pemilihan lampu pijar sebagai alat pembebanan dikarenakan pada penelitian ini membuat sebuah *prototype* berskala kecil, sehingga menggunakan lampu pijar yang cocok sebagai pembebanan. Jika pembebanan yang digunakan tidak sesuai atau kelebihan beban akan terjadi konsleting, sehingga mesin genset yang disimulasikan sebagai gas buang tidak mampu menahan beban akan mengakibatkan mesin genset akan mati. Terdapat beberapa alat yang digunakan dalam pengujian yakni manometer U yang digunakan untuk mengukur tekanan statis pada *tube in* dan *tube out*, dari nilai tekanan statis tersebut dapat dicari nilai koefisien perpindahan kalor menggunakan prinsip Bernoulli. Pitot *tube* digunakan untuk mencari tekanan dinamis yang masuk pada *tube in*, dari nilai tekana dinamis tersebut dihitung nilai kecepatan fluida kerja yang masuk pada *tube in*. Pada gambar 3.6 terdapat tanda T atau *thermocouple* yang terpasang pada *tube in*, *tube out*, *shell in*, dan *shell out* yang digunakan untuk mengetahui temperatur yang masuk atau keluar dari fluida kerja, temperatur tersebut dibaca menggunakan temperatur *indicator* digital dan anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan fluida yang keluar pada *tube out* dan *shell out*.

Perpindahan Kalor (Q)

Analisa perpindahan kalor dalam sisi *tube side* dilakukan dengan memperhitungkan jumlah kalor yang di serap oleh bahan bakar di dalam *tube side*, jumlah kalor yang di serap dan asumsikan sama besar dengan jumlah kalor yang di lepaskan oleh gas buang dalam selongsong (*shell side*) yang secara konduksi melalui dinding *tube side*. Laju perpindahan kalor yang dilepaskan fluida panas (gas buang) dalam selongsong (*shell side*), menurut Cengel (2015) dapat dihitung dengan persamaan:

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

Reynolds Numbers (Re)

Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tidak memiliki satuan atau tidak berdimensi yang di gunakan untuk menunjukkan bentuk aliran. Jika nilai Reynolds *number* ≤ 2.300 aliran yang terbentuk adalah aliran laminer, nilai Reynolds $2.300 \geq Re \geq 10.000$ aliran yang terbentuk adalah aliran *transisi*, dan nilai Reynold *number* ≥ 10.000 aliran yang terbentuk adalah *turbulen*.

$$Re = \frac{v d}{\nu} \quad (2)$$

Bilangan Nusslets (Nu)

Bilangan Nusselt adalah rasio resistansi termal konduksi terhadap resistansi termal konveksi dari fluida. Menurut Schmidt's (1987), jika alirannya di dalam *tube* adalah turbulen maka nilai bilangan Nusselt dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (3)$$

Koefisien Perpindahan Kalor (h)

Nilai koefisien perpindahan kalor permukaan dalam *tube*, menurut Cengel (2015) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$h = \frac{Nu k}{d} \quad (4)$$

Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh (Uo)

Nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh dipengaruhi oleh faktor pengotoran (*fouling factor*) yang merupakan resistan atau tahanan. Menurut Cengel (2015) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_{cold}} + \frac{1}{h_{hot}}} \quad (5)$$

Metode NTU (Number of Transfer Unit)

Parameter yang menunjukkan ukuran dari suatu alat penukar kalor adalah NTU (*number of transfer units*) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$NTU = \frac{U_o A_o}{C_{min}} \quad (6)$$

Nilai C_{min} merupakan nilai terkecil dan C_{maks} merupakan nilai terbesar yang didapatkan dengan melihat hasil perhitungan dari rumus dibawah ini:

$$c = C_{min} / C_{maks} \quad (7)$$

Untuk fluida *cold* : $C_c = \dot{m}_c C_{p_c}$

Untuk fluida *hot* : $C_h = \dot{m}_h C_{p_h}$

Efektivitas Alat Penukar Kalor (e)

Analisis lebih mudah dilakukan dengan menggunakan metode yang berdasarkan efektivitas penukar kalor dalam memindahkan sejumlah kalor. (Cengel 2015). Nilai efektivitas (ε) dari alat penukar kalor dengan aliran fluida kerjanya berlawanan (*counter flow*) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1 - c \exp[-NTU(1-c)]} \times 100\% \quad (8)$$

Nilai efektivitas (ε) dari alat penukar kalor dengan aliran fluida kerjanya searah (*paralel flow*) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+c)]}{1+c} \times 100\% \quad (9)$$

Penurunan tekanan (ΔP)

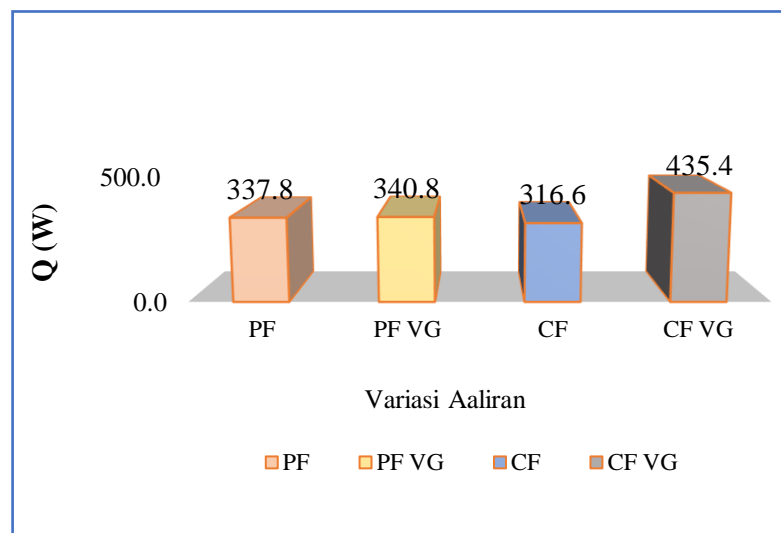
Pressure drop atau penurunan tekanan yang terjadi pada *tube* karena faktor gesekan yang terjadi pada aliran, menurut Sidik Kakac (2002) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta P = f \frac{L}{D_t} \rho \frac{V_h^2}{2} \quad (10)$$

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh perubahan arah aliran tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap perpindahan kalor konveksi menyeluruh (Q)

Pada Gambar 5 memperlihatkan perubahan aliran tanpa *vortex generator twisted insert type* dapat menurunkan nilai perpindahan kalor konveksi pada beban rata-rata, sebaliknya perubahan aliran dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* dapat meningkatkan nilai perpindahan kalor konveksi pada beban rata-rata. Jika dibandingkan pada aliran paralel tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terjadi peningkatan nilai perpindahan kalor konveksi sebesar 0,88 %. Begitu juga jika dibandingkan aliran *counter* tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terjadi peningkatan nilai perpindahan kalor konveksi sebesar 27,28 %.

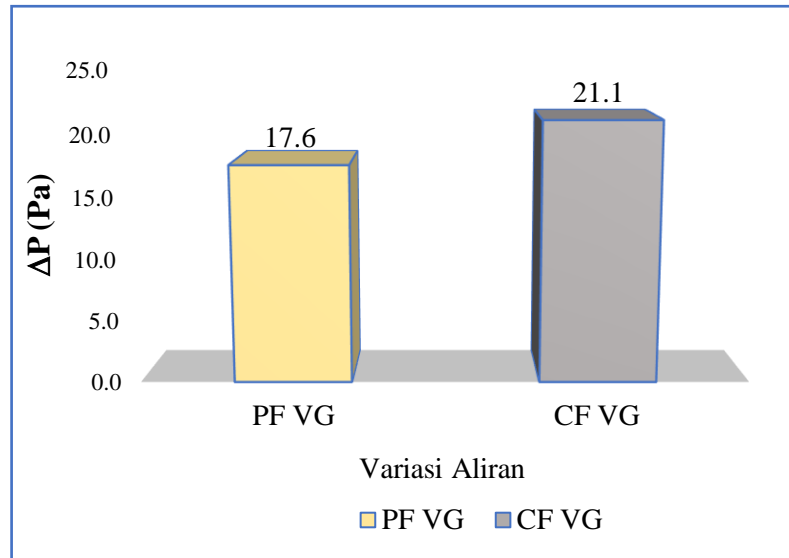


Gambar 5. Grafik Perpindahan Kalor Konveksi Menyeluruh

Pengaruh tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap *pressure drop* (ΔP)

Pada Gambar 6 memperlihatkan perubahan aliran dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* dapat meningkatkan *pressure drop*. Jika dibandingkan pada aliran paralel dan *counter*

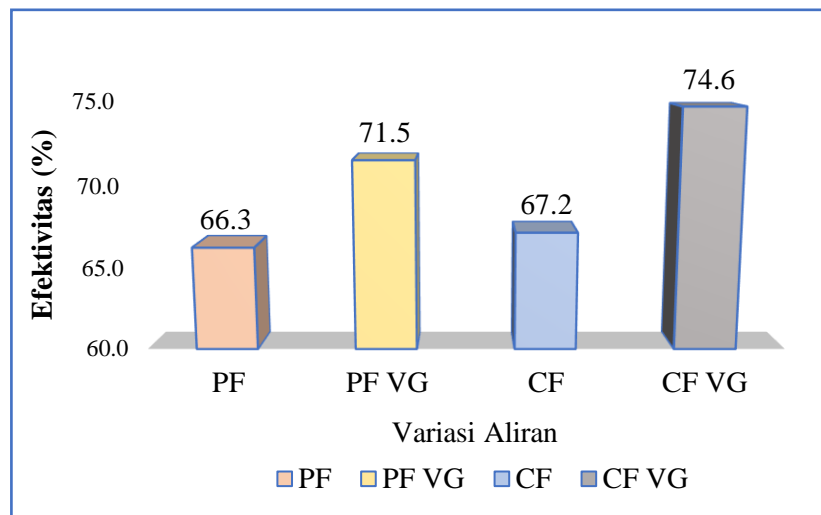
dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terlihat aliran *counter* memiliki *pressure drop* lebih besar.



Gambar 6. Grafik *Pressure Drop*

Pengaruh variasi arah aliran terhadap tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap efektivitas (ϵ).

Pada Gambar 7 memperlihatkan perubahan aliran tanpa dan dengan *vortex generator twisted insert type* dapat meningkatkan nilai efektivitas. Jika dibandingkan pada aliran paralel tanpa dan dengan *vortex generator twisted insert type* terjadi peningkatan efektivitas sebesar 7,27 %. Begitu juga jika dibandingkan aliran *counter* tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terjadi peningkatan nilai efektivitas sebesar 9,92 %.

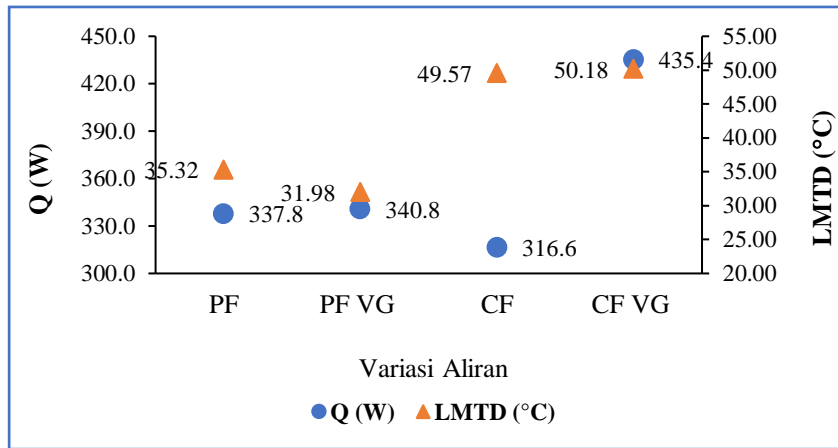


Gambar 7. Grafik Efektivitas

Hubungan pengaruh variasi arah aliran terhadap tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap perpindahan kalor konveksi (Q) dengan LMTD.

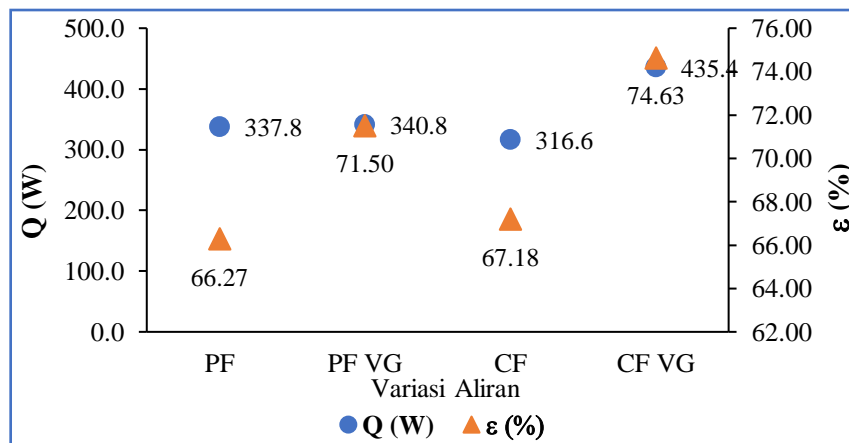
Pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa semakin meningkatnya nilai perpindahan kalor konveksi (Q) semakin meningkat pula nilai LMTD tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type*. Jika dibandingkan hubungan pengaruh variasi arah aliran tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap perpindahan kalor konveksi (Q) dengan LMTD, pada aliran

counter tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai perpindahan kalor konveksi (Q) dan LMTD yang meningkat, sedangkan pada aliran paralel tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai perpindahan kalor konveksi (Q) yang meningkat dan LMTD yang menurun.



Gambar 8. Hubungan pengaruh variasi arah aliran terhadap tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap perpindahan kalor konveksi (Q) dengan LMTD.

Hubungan Pengaruh variasi arah aliran terhadap tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap perpindahan kalor konveksi (Q) dengan Efektivitas (ϵ)



Gambar 9. Hubungan Pengaruh variasi arah aliran terhadap tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap perpindahan kalor konveksi (Q) dengan Efektivitas (ϵ)

Pada Gambar 9 memperlihatkan bahwa pada aliran paralel dan *counter* tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terjadi peningkatan nilai perpindahan kalor konveksi (Q) dan efektifitas.

Kesimpulan

1. Pengaruh perubahan arah aliran tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* didalam pipa konsentrik mempengaruhi nilai perpindahan kalor konveksi menyeluruh (Q). Pada aliran paralel tanpa penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai perpindahan kalor konveksi (Q) sebesar 337,8 W, sedangkan pada aliran paralel dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai perpindahan kalor konveksi (Q) sebesar 340,8 W. Terjadi perubahan perpindahan kalor konveksi menyeluruh (Q) sebesar 0,88% pada aliran paralel tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type*. Sebaliknya

pada aliran *counter* tanpa penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai perpindahan kalor konveksi (Q) sebesar 316,6 W, sedangkan pada aliran *counter* dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai perpindahan kalor konveksi (Q) sebesar 435,4 W. Terjadi perubahan nilai perpindahan kalor konveksi (Q) yang cukup signifikan sebesar 27,28% pada aliran *counter* tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type*. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan temperatur yang terjadi akibat arah aliran dari dua fluida dengan temperatur yang berbeda, baik tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* membawa pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai perpindahan kalor konveksi menyeluruh (Q) *heat exchanger*. Dari nilai perpindahan kalor konveksi menyeluruh (Q) tersebut maka dapat disimpulkan bahwa untuk aliran paralel tanpa penambahan *vortex generator twisted insert type* lebih sesuai jika digunakan sebagai *heat exchanger* pendingin sebaliknya aliran *counter* dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* lebih sesuai jika digunakan sebagai *heat exchanger* pemanas.

2. *Pressure drop* (DP) terjadi karena adanya gangguan pada variasi arah aliran akibat penambahan *vortex generator twisted insert type* didalam pipa konsetrik. Pada aliran paralel dengan penambahan *vortex generator twist insert type* memiliki nilai *pressure drop* (DP) sebesar 17,6 Pa, sedangkan pada aliran *counter* dengan yang terjadi dengan penambahan *vortex generator twist insert type* memiliki nilai *pressure drop* (DP) sebesar 21,1 Pa. *Pressure drop* (DP) dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* pada aliran paralel lebih rendah bila dibandingkan dengan *pressure drop* (DP) dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* pada aliran *counter*. Jadi dapat disimpulkan bahwa arah aliran dari dua fluida pada temperatur yang berbeda dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* membawa pengaruh yang cukup signifikan terhadap *pressure drop* (DP) yang terjadi pada *heat exchanger*.
3. Pengaruh perubahan variasi arah aliran tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* terhadap efektivitas (e) *heat exchanger*. Pada aliran paralel tanpa penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai efektivitas (e) sebesar 66,3%, sedangkan pada aliran paralel dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai efektivitas (e) sebesar 71,5%. Terjadi perubahan nilai efektivitas (e) pada aliran paralel tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* sebesar 7,27% dan nilai perpindahan kalor konveksi (Q) sebesar 0,88%. Sedangkan pada aliran *counter* tanpa penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai efektivitas (e) sebesar 67,2%, sedangkan pada aliran *counter* dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* memiliki nilai efektivitas (e) sebesar 74,6%. Terjadi perubahan nilai efektivitas (e) pada aliran *counter* tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* sebesar 9,92% dan nilai perpindahan kalor konveksi (Q) sebesar 27,28%. Jadi dapat disimpulkan bahwa arah aliran dari dua fluida dengan temperatur yang berbeda tanpa dan dengan penambahan *vortex generator twisted insert type* membawa pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai efektivitas (e) yang terjadi pada *heat exchanger*.

Daftar Notasi Dan Simbol.

Notasi

Q	: kalor konveksi menyeluruh (W)
T_{hi}	: temperatur gas buang masuk <i>shell</i> (°C)
T_{ho}	: temperatur gas buang keluar <i>shell</i> (°C)
T_{ci}	: temperatur bahan bakar masuk <i>tube</i> (°C)
T_{co}	: temperatur gas buang keluar <i>tube</i> (°C)
h_{hot}	: koefisien perpindahan kalor permukaan dalam <i>tube</i> (W/m ² . °C)
h_{cold}	: koefisien perpindahan kalor permukaan luar <i>tube</i> (W/m ² . °C)
v	: kecepatan (m/s)

- d_h : diameter luar *tube* (m)
 d_{ti} : diameter keluar *tube* (m)
 ν : kinematic viscosity (m²/s)
 D_{si} : diameter *shell inside* (m)
 D_{ti} : diameter *tube inside* (m)
 U_o : koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m² . °C)
 NTU : *Number of Transfer Units*
 C_h : laju kapasitas kalor gas buang (W/°C)
 C_c : laju kapasitas kalor bahan bakar (W/°C)
 C_{min} : nilai C yang terkecil antara C_c dan C_h (W/°C)
 C_{max} : nilai C yang terbesar antara C_c dan C_h (W/°C)
 ε : efektivitas alat penukar kalor (%)
 c : perbandingan laju kapasitas kalor minimum dengan laju kapasitas kalor maksimum (W/°C)
 ΔP : penurunan tekanan (Pa)
 L : panjang *tube* (m)
 ρ : *density* (kg/m³)
 L_t : panjang *tube* (m)
 L_s : panjang *shell* (m)
 L_{tw} : panjang *twist* (m)
 d_i : diameter dalam *tube* atau *shell* (m)
 d_o : diameter luar *tube* atau *shell* (m)
 t : tebal *tube* atau *shell* (m)
 W_{tw} : lebar *twist* (m)
 t_{tw} : tebal *twist* (m)
 P_{tw} : pitch *twist* (m)

Bilangan Tak Berdimensi

- Nu : bilangan Nusselt
 Re : bilangan Reynolds.

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.