

# ANALISIS HEAT TRANSFER PADA STRAIGHT TUBE TWISTED TAPE INSERT ANTI ICING HEATER DENGAN MEMANFAATKAN THERMAL GAS BUANG ENGINE

<sup>1</sup>Fahmi Anwar, <sup>2</sup>Gaguk Marausna, <sup>3</sup>Farid Jayadi

Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

## Abstrak

Penerbangan merupakan bisnis dengan resiko yang sangat tinggi, sehingga kelalaian sekecil apapun dapat mendatangkan bahaya. Pada dunia penerbangan keselamatan merupakan prioritas utama, tertinggi dan satu-satunya yang tidak dapat ditoleransi. Mulai dari rancangan pesawat, aspek keselamatan selalu menjadi prioritas utama. Wing merupakan salah satu komponen terpenting dari pesawat terbang sehingga jika wing terganggu maka dapat menyebabkan pesawat terjatuh. Karena pentingnya faktor keselamatan maka perlu di jaga wing dari gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan kehilangan gaya angkat dari wing. Salah satu gangguan pada wing adanya kontaminasi saat pesawat tersebut sedang terbang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pada bentuk twisted terhadap performa alat heater yang menggunakan panas gas buang engine dalam memanaskan airfoil contamination pada leading edge wing. Penelitian ini menggunakan engine genset berkapasitas 2000 Watt, menggunakan lampu pijar dengan total beban 500 Watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan geometri twisted akan mempengaruhi performa dari heater. Pemanasan yang memanfaatkan limbah panas gas buang engine dengan menggunakan alat heater straight tube plain twisted tape memberi peningkatan performa pemanasan leading edge wing untuk mencegah terjadinya kontaminasi. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan alat heater straight tube plain twisted tape insert pada variasi jumlah twisted 5 adalah yang terbaik dalam meningkatkan performa heater.

**Kata kunci:** Pesawat terbang, Twisted, Lending edge wing, Kontaminasi, Heater

## Abstract

Aviation is a business with a very high risk, so the slightest negligence can be dangerous. In the world of aviation safety is the first, highest and only priority that cannot be tolerated. Starting from aircraft design, the safety aspect is always a top priority. Wing is one of the most important components of an airplane, so if it is disturbed it can cause the plane to fall. Because of the importance of the safety factor, it is necessary to guard the wing from disturbances that can cause loss of lift from the wing. One of the disturbances on the wing is contamination when the plane is flying. The purpose of this study was to determine the effect of the twisted shape on the performance of a heater using engine exhaust gas to heat up airfoil contamination on the leading edge wing. This research uses a generator engine with a capacity of 2000 Watt, using incandescent lamps with a total load of 500 Watt. The results show that changes in the twisted geometry will affect the performance of the heater. Heating that utilizes waste heat from engine exhaust by using a straight tube twisted tape insert heater provides increased leading edge wing heating performance to prevent contamination. From this research, it shows that the use of a straight tube twisted tape insert heater in the number of twisted 5 variations is the best in improving heater performance.

**Keywords:** airplane, twisted, leading edge wing, contamination, heater

## Pendahuluan

Penerbangan adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas pemanfaatan wilayah udara, pesawat udara, bandar udara, navigasi penerbangan, keselamatan dan keamanan. bisnis dengan tingkat resiko yang sangat tinggi, sehingga kesalahan sekecil apapun dapat mendatangkan bahaya. Pada dunia penerbangan keselamatan merupakan prioritas paling utama, tertinggi dan satu-satunya hal yang tidak dapat ditoleransi. Mulai dari rancangan pesawat, aspek keselamatan menjadi prioritas utama.

Anti icing system merupakan sistem yang digunakan untuk menjaga leading edge wing, tidak boleh terjadi kontaminasi pada saat pesawat sedang terbang. Selama ini anti icing yang di gunakan hanya menggunakan pemanas atau heater dimana didalam cara kerjanya membutuhkan energi listrik

<sup>1</sup>Email Address : [fahmianwar5399@gmail.com](mailto:fahmianwar5399@gmail.com)

Received 1 Juni 2021, Available Online 30 Juli 2021

sebagai sumber tenaganya. Dalam hal ini tentu merugikan karena membebani kerja dari *engine*. Pada penelitian ini, sebuah *prototipe wing* di desain dengan dibagian sisi dalam *wing* akan di pasang sebuah *heater* berupa *straight tube twisted tape insert* dan di bagian sisi luar akan di samprotkan air dingin. Pada bagian sekitaran *wing* dan *straight tube twisted tape insert* akan di pasang *thermocouple* untuk mengetahui perbedaan temperature pada bagian *heat transfer* yang akan dialiri gas bertemperatur tinggi dari *exhaust engine* sedangkan pada bagian *wing* akan dikondisikan pada temperature rendah.

Tujuan dari penelitian ini bahwa perubahan geometri *twisted* yang akan mempengaruhi performa dari *heater*. Pemanasan yang memanfaatkan limbah panas gas buang *engine* dengan menggunakan alat *heater straight tube plain twistes tape* memberi peningkatan performa pemanasan *leading edge wing* untuk mencegah terjadinya kontaminasi.

## Tinjauan Pustaka

Naveenkumar et al., (2020) melakukan penelitian yang berjudul Peningkatan Kinerja Termal dalam Tabung Biasa yang dipasang pita perekat memutar menggunakan perforasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *Nanofluid* berbasis air. Percobaan dilakukan dengan menggunakan *nanofluida* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan konsentrasi volume 0,3% pada batas fluks panas tetap ( $\phi$ ) kondisi, mulai dari jumlah Reynolds 500 hingga 20000. Analisis perpindahan panas telah dilakukan dalam tabung lingkaran polos dengan sisipan Y=6, Y= 4 untuk kondisi aliran laminar dan turbulen. Untuk kondisi aliran laminar dengan air di sebagai cairan dan *twisted tape insert* Y= 6 & Y = 4, peningkatan suhu outlet rata-rata dan penurunan tekanan adalah 4,06%, 0,7% dan 0,07 N/m<sup>2</sup>, 0,11N/m<sup>2</sup>, namun untuk *nanofluid* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> & dengan sisipan pita memutar Y = 6 & Y = 4 peningkatan suhu outlet rata-rata & Penurunan tekanan adalah 9,01%, 8,4% dan 0,10 N/m<sup>2</sup>, 0,11 N/m<sup>2</sup>.

Fagr et.al. (2020) melakukan penelitian yang berjudul Evaluasi kinerja karakteristik aliran dan perpindahan panas dalam tabung dilengkapi dengan kaset memutar konfigurasi baru. Korelasi statistik dikembangkan untuk data eksperimen Nomor Nusselt, faktor gesekan dan TPF untuk kasus tabung yang dipelajari dilengkapi dengan tapered *twisted tape* (DTTT) yang berkurang. Ini dikembangkan korelasi diperoleh dengan menggunakan regresi kuadrat terkecil sebagai analisis metode. Korelasi ini adalah fungsi aliran, bilangan Reynolds, dan geometri pita, rasio panjang wilayah meruncing ( $l / L$ ) dan rasio final lebar ( $FW / W$ ). Korelasi tabung dilengkapi dengan penurunan kaset bengkok meruncing berlaku untuk 10.000 Re 40000.

Moya-rico et.al. (2020) melakukan penelitian yang berjudul Karakterisasi eksperimental penukar panas tabung ganda dengan dimasukkan elemen pita memutar. Sebanyak 320 tes eksperimental dilakukan, memvariasikan aliran kecepatan (angka *Reynolds*) dan konfigurasi TTE. Kami melaporkan hasil dari sembilan konfigurasi yang berbeda, termasuk pitch elemen pita bengkok yang berbeda dan panjang ruang bebas. Akhirnya, hasil dari setiap kasus adalah berkorelasi untuk angka *Nusselt* dan faktor gesekan menggunakan metodologi varians minimum. Sebanyak 320 tes eksperimental dilakukan untuk mengevaluasi perilaku thermo- hidrolis diferensial penukar panas tabung ganda (DTHX) termasuk berbagai elemen pita puntir (TTE), dengan berbeda Konfigurasi TTE-spacer, mempertimbangkan tiga panjang nada yang berbeda dan tiga panjang spasi bebas. Hasilnya menunjukkan panas yang signifikan peningkatan kecepatan transfer diperoleh dengan menggunakan teknik pasif ini di tabung bagian dalam DTHX.

(Kumar, 2020) melakukan penelitian yang berjudul Peningkatan Kinerja Termal dalam Tabung Biasa yang dipasang pita perekat memutar menggunakan perforasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *Nanofluid* berbasis air. Percobaan dilakukan dengan menggunakan *nanofluida* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan konsentrasi volume 0,3% pada batas fluks panas tetap ( $\phi$ ) kondisi, mulai dari jumlah Reynolds 500 hingga 20000. Analisis perpindahan panas telah dilakukan dalam tabung lingkaran polos dengan sisipan Y=6, Y= 4 untuk kondisi aliran laminar dan turbulen.

Wen Xiao., et.al. (2020) Melakukan penelitian Investigasi eksperimental pada peningkatan perpindahan panas dengan *twisted tape* memiliki berbagai konfigurasi *V-cut*. efek antara *twisted tape* dan *tube* dapat mempengaruhi perpindahan kalor dan resistensi aliran untuk bilangan *reynolds* terhadap aliran laminar. menggambarkan faktor gesekan dan bilangan *Nusselt* dengan jumlah *Reynolds number* dari tabung *Twisted tape* ( $Y = 4, 6$  dan  $8$ ), Agar mudah dimasukkan ke tabung, lebar *Twisted Tape* ditetapkan pada 20 mm yang sedikit lebih kecil dari diameter bagian dalam tabung ( $D_{in} = 21,8$  mm). *Twisted Tape* dengan  $Y$  yang lebih kecil menunjukkan angka *Nusselt* dan *friction* yang jauh lebih besar. dapat dikatakan bahwa faktor gesekan berkurang dan angka *Nusselt* meningkat ketika secara bertahap menaikkan angka *Reynolds number* dari 4000 menjadi 10.000.

Zhenfei et al., (2020) Melakukan penelitian Investigasi eksperimental aliran laminar dan karakteristik perpindahan panas di saluran mini persegi dengan *twisted tape*. metode penelitian yang dilakukan dengan Komponen utamanya adalah *heat sink* yang berbahan tembaga bebas oksigen yang memiliki permukaan atas selebar 150 mm dan 25 mm. Permukaan atas unit pendingin berisi 8 dari  $2 \times 2$  mm<sup>2</sup> saluran paralel. Alasan memilih *minichannel* dalam penelitian saat ini adalah karena saluran mini tidak hanya dapat mampu menyerap *fluks* panas tinggi tetapi juga membutuhkan penurunan tekanan lebih sedikit dibandingkan dengan *microchannel*.

Sivakumar et al., (2019) melakukan penelitian yang berjudul Analisis karakteristik perpindahan panas dengan *triangular cut twisted tape* (TCTT) dan sisipan CCTT. Perpindahan panas dianalisis dalam kondisi aliran turbulen menggunakan CFD simulasi. Paket CFD komersial digunakan untuk menganalisis *twisted* untuk *heater* yang dilengkapi dengan *twisted* potong berpotongan segitiga dan sisipan lubang potong terpotong. Sistem *teisted* memungkinkan peningkatan signifikan koefisien perpindahan panas konvektif dengan memperkenalkan gerakan aliran turbulen. Pusaran gerakan aliran memberikan laju perpindahan panas yang lebih besar yang diekstraksi dari permukaan *heater*.

Gnanavel et al., (2019) melakukan penelitian yang berjudul Peningkatan perpindahan panas melalui *nano-fluid* dan *twisted tape insert* dengan potongan persegi panjang di tulang rusuknya di penukar panas pipa ganda. *Nanofluid* TiO<sub>2</sub>, *Nanofluid* BeO, *Nanofluid* ZnO dan *nano fluid* CuO dipertimbangkan dimana peningkatan kecepatan aliran ( $Re$ ) meningkatkan *Nussult Number* ( $Nu$ ). Alurnya bervariasi pada empat tingkat. Analisis kinerja termal dari sisipan pita memutar penukar panas tabung ganda dilakukan oleh berbagai daerah nomor *Reynolds* 1000, 2000, 3000, 5000 dan 10.000.

Qi et al., (2018) melakukan penelitian yang berjudul Pengaruh memutar kaset memutar pada kinerja termo-hidroliknanofluida dalam sistem penukar panas. Nanofluida TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O yang stabil disiapkan dan kestabilannya dipelajari. Set eksperimental untuk mempelajari perpindahan panas dan karakteristik aliran nanofluida didirikan. Perpindahan panas dan karakteristik aliran TiO<sub>2</sub>- Nanofluida H<sub>2</sub>O dalam tabung melingkar dengan kaset memutar yang berputar dan statis secara eksperimental diselidiki dan dibandingkan. Perpindahan panas dan karakteristik aliran nanofluida TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O dalam tabung bundar dengan pita putar terpinil yang berputar dan statis secara eksperimental diselidiki dan dianalisis dengan efisiensi.

Lim et al., (2017) melakukan penelitian yang berjudul Evaluasi kinerja aliran *twisted-tape* yang diinduksi *swirl flow* dalam penukar panas laminar termal berkembang. Kami secara empiris menganalisis augmentasi perpindahan panas konveksi dan penurunan tekanan karakteristik yang dikaitkan dengan sisipan pita pilin untuk pengembangan aliran laminar secara termal dalam penukar panas tabung konsentris. Hasil menunjukkan bahwa kaset memutar meningkatkan gesekan faktor hingga 10 kali, dan angka *Nusselt* hingga 3 kali. Selanjutnya, faktor gesekan dan Angka *Nusselt* lebih tinggi ketika rasio *twist* menurun.

Prasad et al., (2015) melakukan penelitian yang berjudul Investigasi Penyisipan Pita *Twisted Trapezoidal-Cut* in a Double Penukar panas pipa *U-Tube* menggunakan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water *Nanofluid*.

Koefisien perpindahan panas dan faktor gesekan terkait yang diperlukan untuk analisis kinerja ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi operasi khas dari penukar panas dalam rezim aliran turbulen dengan volume partikel konsentrasi 0,01% dan 0,03% dan rasio putaran berkisar antara 5 dan 20. Data eksperimen dihasilkan pada laju aliran mulai dari 0,033 kg/s hingga 0,2667 kg/s. Data eksperimental dihasilkan dengan air dan *nanofluid* untuk bilangan *Reynolds* di kisaran  $3000 < Re < 30000$ , jumlah *Nusselt* seluruh pipa untuk konsentrasi 0,03% dari *nanofluid* dengan *trapezoidal-cut twisted tape* sisipan  $H / D = 5$  ditingkatkan sebesar 34,24% dibandingkan dengan air.

## Landasan Teori

### Dasar Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda dan material. Dari termodinamika telah diketahui bahwa energi yang berpindah itu dinamakan kalor (*heat*). Sedangkan ilmu perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga dapat diramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu.

### Anti Icing

*Anti icing* merupakan suatu alat yang terdapat pada pesawat terbang yang berfungsi untuk mencegah terjadinya penumpukan es pada sayap, *engine cowl*, *wind shield*, dan *windor passanger*.

### Penukar kalor pipa konsentrik

Pada penukar kalor ini terdapat dua buah pipa, yaitu pipa dalam (*inner tube*) dan pipa luar (*outer tube*). Pipa dalam digunakan untuk melewatkan fluida panas, sedangkan fluida dingin dilewatkan melalui ruang (yang disebut *annulus*) yang dibentuk oleh kedua pipa yang konsentrik tersebut.

### Vortex Generator

Peningkatan perpindahan panas dengan pembangkitan vorteks adalah sebuah metode pasif yang mengandalkan pada pembangkitan dengan sengaja *streamwise vortices* untuk meningkatkan perpindahan panas. Vorteks memiliki dua fitur yang meningkatkan proses *transport*, yaitu vorteks berputar-putar dan menggoyahkan (destabilisasi) medan aliran, sehingga aliran laminar yang stabil akan berubah menjadi turbulen

### Perpindahan Kalor (Q)

Menurut Cengel (2006) perpindahan kalor yang terjadi pada area dalam *leading edge* serupa dengan selongsong (*shell*) dan *twisted tape insert* sangat tergantung dengan jumlah *twisted*. Analisa perpindahan kalor pada *twisted tape insert* di lakukan dengan memperhitungkan jumlah kalor yang diserap oleh area dalam *leading edge*.

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T_h$$

### Bilangan Reynolds (Re)

Menurut Cengel (2006) Bilangan *Reynolds* adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang menguatifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk menentukan jenis aliran yang berbeda, seperti laminar, transisi, dan turbulen serta bilangan ini merupakan salah satu bilangan tak berdimensi. Dikatakan aliran laminar  $Re < 2300$ , aliran transisi  $> 2300$  sampai  $< 10000$ , dan aliran turbulen  $> 10000$ . Bilangan *Reynolds* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Re = \frac{Vg \cdot di}{\nu}$$

### Bilangan *Nusselt* (Nu)

Menurut Cengel (2006) Bilangan *Nusselt* adalah rasio resistansi termal konduksi terhadap resistansi termal konveksi dari fluida. Jika alirannya da dalam pipa adalah turbulen maka nilai bilangan *Nusselt* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

### Koefisien perpindahan kalor permukaan dalam pipa ( $h_i$ )

Nilai koefisien perpindahan kalor permukaan dalam pipa, menurut Cengel (2003) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{d_i}$$

### Faktor gesek (f)

Menurut Cengel (2006) Factor gesekan adalah gaya yang berlawanan arah dengan gesekan bensa. Gaya ini terjadi karena sentuhan benda dengan bidang lintasan akan membuat gesekan antara keduanya saat benda akan mulai bergerak hingga benda bergerak. Besarnya gaya ini ditentukan berdasarkan kekasaran permukaan kedua bidang yang bersentuhan, jadi semakin kasar permukaan suatu bidang maka nilai gaya geseknya akan semakin besar. Factor gesekan dapat di tentukan dengan persamaan:

$$f = 0,79 \cdot \ln(Re) - 1,64^{-2}$$

### Metode Penelitian

Dalam rancangan ini dilakukan penelitian analisis *heat transfer* pada *straight tube twisted tape insert* anti *icing heater* dengan memanfaatkan *thermal gas* buang *engine* dengan menggunakan variasi *twisted* 3,5, dan 6 dengan menggunakan *heater* konsentrik atau lurus.

**Tabel 1. Geometri *heater twisted 3***

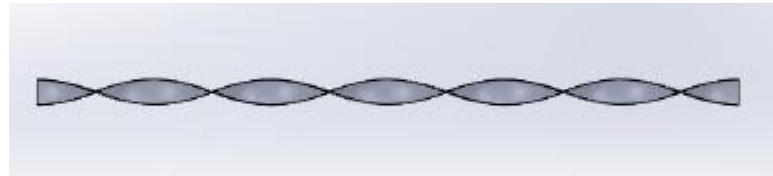
twis	d (mm)	H (mm)	do (mm)	di (mm)	T (mm)	Lp (cm)	B (cm)	twing (mm)
3	15,2	122,7	19,3	15,7	1	45	12	2,0



**Gambar 1 Geometri *heater twisted 3***

**Tabel 2. Geometri *heater twisted 5***

twis	d (mm)	H (mm)	do (mm)	di (mm)	T (mm)	Lp (cm)	B (cm)	twing (mm)
5	16,1	113,3	19,3	15,7	1	45	12	2,0



Gambar 2 Geometri heater twisted 5

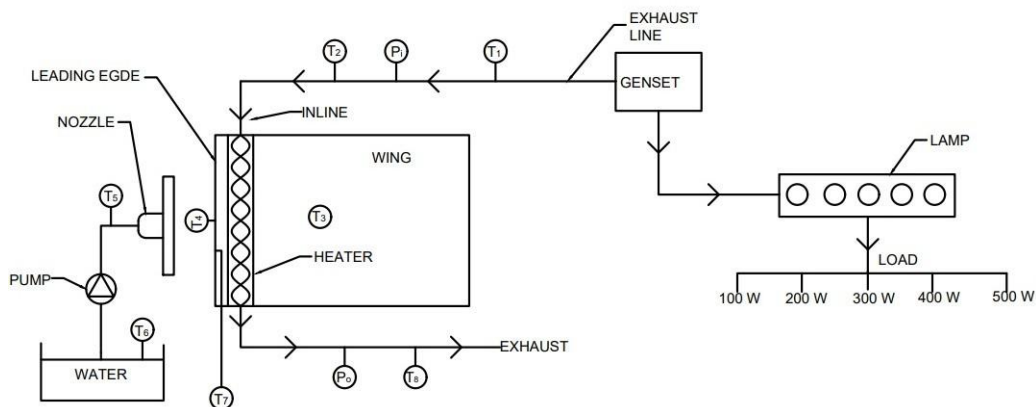
Tabel 3. Geometri heater twisted 6

twis	d (mm)	H (mm)	do (mm)	di (mm)	T (mm)	Lp (cm)	B (cm)	twing (mm)
6	14,4	77	19,3	15,7	1	45	12	2,0



Gambar 3. Geometri heater twisted 6

Pada penelitian ini dalam proses pengujian menggunakan berbagai alat dan komponen yang disatukan menjadi suatu rangkaian seperti pada skema instalasi.



Gambar 4. Skema Rangkaian Penelitian

Dengan keterangan:

- T1 : Temperature gas exhaust from genset. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T2 : Temperature inlet instalasion. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T3 : Temperature upper leading edge. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T4 : Temperature external leading edge surface. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T5 : Temperature water from nozzel. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T6 : Temperature water. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T7 : Temperature internal leading edge surface. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T8 : Temperature outlet instalasion. ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Pi : Tekanan Gas inlet instalasion
- Po : Tekanan Gas outlet instalasion

## Analisa Data

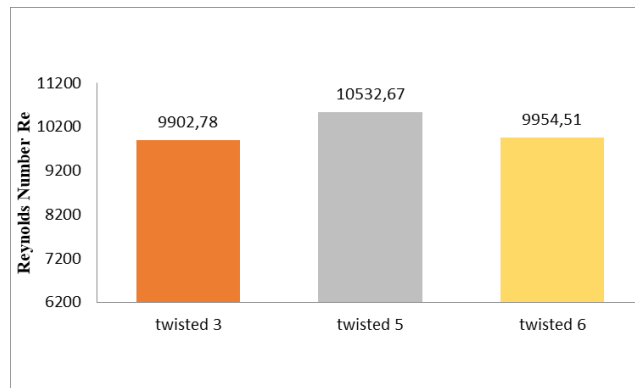
Data yang didapatkan dari hasil eksperimen perpindahan kalor konveksi, diolah menggunakan bantuan software microsoft excel untuk mengolah hasil beban maksimum serta dibuat plot grafik dibandingkan terhadap peningkatan perpindahan kalor terdiri dari Reynolds number  $Re$ , Nusselt number  $Nu$ , kalor konveksi  $Q$ , koefisien perpindahan kalor konveksi  $h_i$ , dan faktor gesekan  $f$ .

## Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Pemanasan Airfoil Contamination Pada Leading Edge Wing Menggunakan Heater Tipe Strain Tube Twisted Tape Insert Dengan Memanfaatkan Gas Buang Dari Engine

Pada penelitian ini, pengaruh dari geometri *heater tipe strain tube twisted tape insert* terhadap karakteristik perpindahan kalor diindikasikan dengan bilangan *Reynolds* ( $Re$ ), bilangan *Nusselt* ( $Nu$ ), dan koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h_i$ ), perpindahan kalor ( $Q$ ).

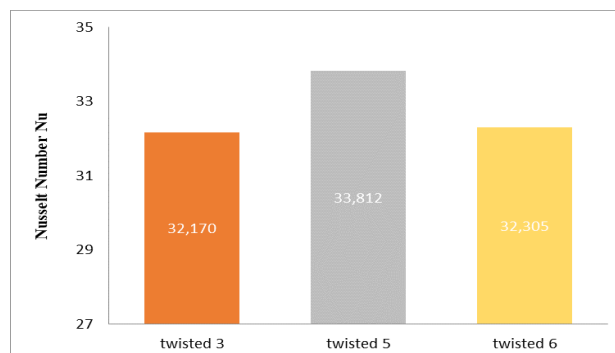
### Pengaruh Perubahan Geometri Twisted Tape Insert Terhadap Bilangan Reynolds Di Dalam Tube ( $Re$ )



Gambar 5. Grafik pengaruh perubahan *twisted tape insert* terhadap nilai rata-rata perpindahan kalor *Reynolds* ( $Re$ )

Nilai rata-rata bilangan *Reynolds* terbesar terjadi pada *twisted 5* sebesar 10532,67 yang menunjukkan bahwa pada *twisted 5* memiliki aliran *turbulent*, bila dibandingkan dengan nilai rata-rata bilangan *Reynolds* terkecil pada *twisted 3* dengan nilai 9902,78 terjadi penurunan bilangan *Reynolds* yang di mana nilai tersebut menunjukkan bahwa *twisted 3* memiliki aliran *turbulent* yang lebih kecil di bandingkan dengan *twisted 5* dan *twisted 6*.

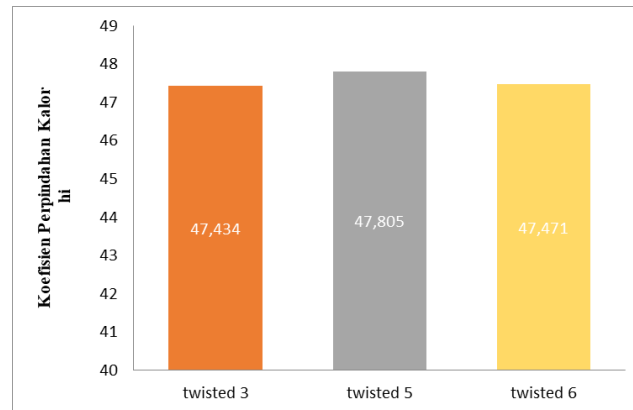
### Pengaruh Perubahan Geometri Twisted Tape Insert Terhadap Bilangan Nusselt Dalam Tube ( $Nu$ )



Gambar 6. Grafik pengaruh perubahan *twisted tape insert* terhadap rata-rata perpindahan *Nusselt* ( $Nu$ )

Nilai rata-rata bilangan *Nusselt* terbesar terjadi pada *twisted 5*, sebesar 33,812, bila dibandingkan dengan nilai rata-rata bilangan *Nusselt* terkecil pada *twisted 3*, dengan nilai 32,170, dan nilai rata-rata bilangan *Nusselt* pada *twisted 6* sebesar 32,305 terjadi penurunan bilangan *Nusselt*. Jadi semakin banyak *twisted tape insert* akan semakin besar terjadi peningkatan bilangan *Nusselt* di dalam *tube Nu*.

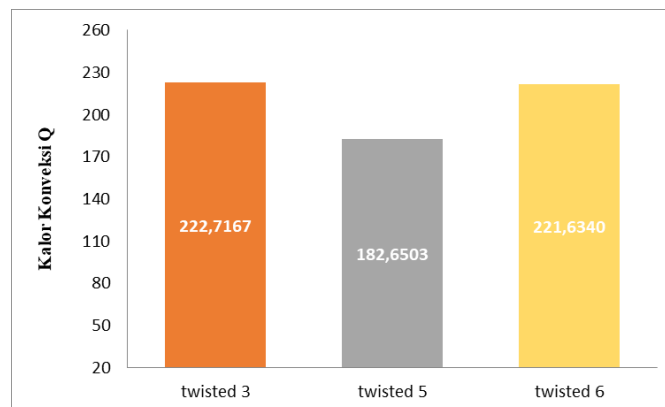
### Pengaruh Perubahan Geometri Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Di dalam Tube hi



**Gambar 7. Grafik pengaruh perubahan *twisted tape* terhadap Rata-rata koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam tube (hi)**

Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor *konveksi* terbesar terjadi pada *twisted 5*, sebesar 47,805  $W/m^2C$ , bila dibandingkan dengan nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor *konveksi* terkecil pada *twisted 3* sebesar 47,434  $W/m^2C$  dan *twisted 6* sebesar 47,471  $W/m^2C$  terjadi penurunan. Jadi tidak serta merta semakin banyak atau sedikit jumlah *twisted* akan semakin semakin besar terjadi peningkatan koefisien perpindahan kalor *konveksi* di dalam *tube (hi)*.

### Pengaruh Perubahan Geometri Twiste Tape Insert Terhadap Perpindahan kalor Di Dalam Tube (Q)

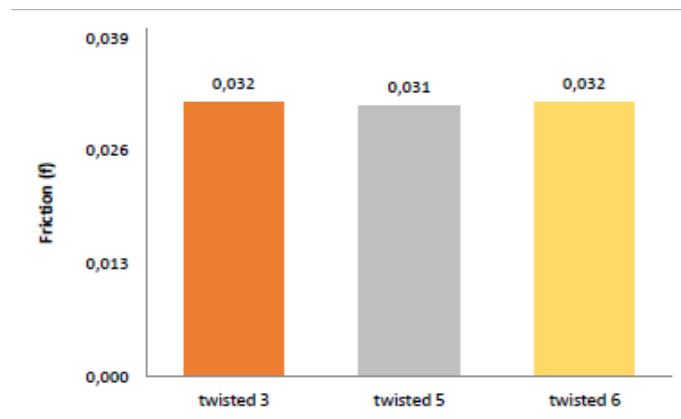


**Gambar 8. Grafik pengaruh perubahan *twisted tape insert* terhadap rata-rata perpindahan kalor konveksi (Q)**

Nilai rata-rata perpindahan *kalor konveksi Q* terbesar terjadi pada *twisted 3* dengan nilai 222,7167 Watt, dibandingkan dengan *twisted 5* dengan nilai 182,6503 Watt dan *twisted 6* dengan nilai 221,6340 Watt. Jadi tidak serta merta semakin banyak *twisted* akan meningkatkan perpindahan *kalor konveksi*. Hal ini terjadi karena efek dari *twisted* dan menimbulkan aliran *turbulen* sehingga menghasilkan perpindahan *kalor konveksi* yang maksimal.



## Pengaruh Perubahan Geometri Twisted Tape Insert Terhadap Penurunan Friction (f)



**Gambar 9.** Grafik pengaruh perubahan *twisted tape insert* terhadap rata-rata faktor gesek di dalam *tube* (f)

Nilai rata-rata perubahan geometri *twisted tape insert* terhadap faktor gesekan terbesar terjadi pada *twisted 3* dengan nilai faktor gesekan sebesar 0,03157, dibandingkan dengan *twisted 3* dengan nilai 0,03103 dan *twisted 6* dengan nilai 0,03152. Hal ini terjadi karena efek dari *twisted* dan menimbulkan aliran *turbulen* sehingga menghasilkan perpindahan kalor *konveksi* yang maksimal.

### Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

Pengaruh geometri *twisted tape insert* pada *heater* dapat menciptakan aliran *turbulen* ( $Re$ ) dengan, *twisted 5* pada beban terbesar memiliki *Reynolds* sebesar 10532,67 dan mengalami kenaikan 9,0% alirannya telah terjadi *turbulen*, meningkatkan proses perpindahan kalor ( $Nu$ ) pada beban terbesar sebesar  $Nu$  33,812, dan mengalami kenaikan 7,35%, meningkatkan perpindahan kalor konveksi ( $Q$ ) pada beban terbesar sebesar 182,650 Watt dan mengalami penurunan 8,72%, dan meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h_i$ ), pada beban terbesar sebesar 47,805  $W/m^2\text{°C}$  dan mengalami kenaikan 0,67% pada pipa konsentrik. Dari ke empat parameter tersebut menunjukkan bahwa penambahan *vortex generator* tipe *straight tube twisted tape insert* dapat meningkatkan karakteristik perpindahan kalor pada *heater* pipa konsentrik. Dari tiga geometri *straight tube twisted tape insert*, *twisted 5* adalah yang paling baik bila dibandingkan dengan yang lain.

Pengaruh geometri *twisted tape inser* pada *heater* dapat menghambat aliran sehingga memaksimalkan pelepasan kalor secara merata yang terjadi disepanjang pipa konsentrik. dengan nilai, *twisted 5* pada beban terbesar sebesar 0,03103, pada *twisted 5* memiliki rata-rata faktor gesekan terkecil. Jadi dengan penambahan *vortex generator straight tube twisted tape insert* dapat menurunkan faktor gesekan.

### DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

#### Bilangan Tak Berdimensi

- $f$  : faktor gesekan  
 $Nu$  : bilangan *Nusselt* di dalam *tube*  
 $Pr$  : bilangan *Prandtl* di dalam *tube*  
 $Re$  : bilangan *Reynolds* di dalam *tube*

#### Notasi

- $A$  : *surface area* ( $m^2$ )  
 $C_p$  : *specific heat* ( $j/kg\text{°C}$ )  
 $D_t$  : *diameter tube* (inch)  
 $f$  : *friction factor*

- $h_i$  : koefisien perpindahan kalor permukaan di dalam *tube* ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $K$  : *thermal conductivity* ( $W/m \cdot ^\circ C$ )  
 $L_t$  : Panjang total *tube* (m)  
 $T_g$  : temperatur gas buang dari *engine* ( $^\circ C$ )  
 $T_{hi}$  : temperatur gas buang masuk *heater* ( $^\circ C$ )  
 $T_{ho}$  : temperatur gas buang masuk *heater* ( $^\circ C$ )  
 $T_{se}$  : temperatur pada luar *airfoil* ( $^\circ C$ )  
 $T_{si}$  : temperatur pada *heater* ( $^\circ C$ )  
 $T_p$  : temperatur air pada pompa ( $^\circ C$ )  
 $T_u$  : temperatur pada bagian atas *airfoil* ( $^\circ C$ )  
 $T_w$  : temperatur air ( $^\circ C$ )  
 $W$  : daya (W)  
 $\Delta T_{lm}$  : selisih temperatur rata-rata logaritma ( $^\circ C$ )  
 $\Delta P$  : penurunan tekanan / *pressure drop* (Pa)  
 $\rho$  : *density* fluida ( $kg/m^3$ )  
 $\nu$  : viskositas kinematik fluida panas ( $m^2/s$ )  
 $\mu$  : viskositas dinamik fluida panas ( $kg/m \cdot s$ )  
 $v_g$  : kecepatan aliran fluida panas gas buang (m/s)

### Subscript

- $g$  : gas buang  
 $h$  : fluida gas panas  
 $i$  : kondisi masuk  
 $o$  : kondisi keluar  
 $t$  : *tube*

### Daftar Pustaka

- Adrian Nugroho. (2020) Investigasi Eksperimental *Heat Transfer* Pada *Tubular Anti Icing Heater* Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang *Engine*. Skripsi. Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD). Yogyakarta
- Briyan Adi Nugraha. (2020) Analisis *Heat Transfer Anti Icing Device* Sebagai Pemanas *Leading Edge Wing* Dengan Memanfaatkan Panas Gas. Skripsi. Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD). Yogyakarta
- C. Gnanavel (2019) Peningkatan perpindahan panas melalui nano-fluid dan twisted tape insert dengan potongan persegi panjang di tulang rusuknya di penukar panas pipa ganda.
- Cengel, Y. A. 2003. *Heat Transfer*. 2<sup>nd</sup> ed. McGraw Hill. New York. *Bnanofluida* dalam sistem penukar panas
- Fagr, M. H., Rishak, Q. A., & Mushatet, K. S. (2020). International Journal of Thermal Sciences 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(October 2019), 106323. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106323>
- Gnanavel, C., Saravanan, R., & Chandrasekaran, M. (2019). Materials Today : Proceedings Heat transfer enhancement through nano-fluids and twisted tape insert with rectangular cut on its rib in a double pipe heat exchanger. *Materials Today: Proceedings*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.606>
- Kumar, N. T. R., Bhramara, P., Kirubeil, A., Sundar, L. S., Singh, M. K., & Sousa, A. C. M. (2018). *Effect of twisted tape inserts on heat transfer, friction factor of Fe 3 O 4 nano fluids flow in a double pipe U- bend heat exchanger*. c, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.03.020>
- Lim, K. Y., Hung, Y. M., & Tan, B. T. (2017). Performance evaluation of twisted-tape insert induced swirl flow in a laminar thermally developing heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.134>
- Moya-rico, J. D., Molina, A. E., Belmonte, J. F., & Tendero, J. I. C. (2020). Experimental characterization of a double tube heat exchanger with inserted twisted tape elements. *Applied Thermal Engineering*, 174(October 2019), 115234. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115234>
- N.T. Ravi Kumara (2018) Pengaruh sisipan pita memutar pada perpindahan panas, faktor gesekan Fe3O4 nanofluida mengalir dalam pipa penukar panas U-bend pipa ganda.

- Naveenkumar, R., S, R. K., Giridharan, R., & S, S. K. (2020). ScienceDirect Thermal Performance Enhancement in a Plain Tube fitted with perforated twisted tape insert using water based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluid. *Materials Today: Proceedings*, 22, 2274–2282. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.348>
- Prasad, P. V. D., Gupta, A. V. S. S. K. S., & Deepak, K. (2015). Investigation of Trapezoidal-Cut Twisted Tape Insert in a Double Pipe U-Tube Heat Exchanger using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Water Nanofluid. *Procedia Materials Science*, 10(Cnt 2014), 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.025>
- Qi, C., Wang, G., Yan, Y., Mei, S., & Luo, T. (2018). Effect of rotating twisted tape on thermo-hydraulic performances of nanofluids in heat-exchanger systems. *Energy Conversion and Management*, 166(April), 744–757. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.086>
- Sivakumar, K., Rajan, K., Mohankumar, T., & Naveenchnadran, P. (2019). Materials Today : Proceedings Analysis of heat transfer characteristics with triangular cut twisted tape ( TCTT ) and circular cut twisted tape ( CCTT ) inserts. *Materials Today: Proceedings*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.212>
- Wen-Xiao C, Chi-chuan wang, Kai-Yueh Cheng Bing-Hung Lee, Ching-An Tsai. 2020. Experimental investigation on heat transfer enhancement with *twisted* tape having various V-cut configurations. *Applied Thermal Engineering* 172.
- Zhenfei F, dan Xin Ai, Zuqiang Huang Qinyu Lin, Peilin Wu. 2020. "Experimental investigation of laminar flow and heat transfer characteristics in square minichannels with twisted tapes. *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol. 158.