

PENGARUH TURBULATOR PADA PENUKAR KALOR PIPA GANDA UNTUK APLIKASI SOLAR WATER HEATER

Arrad Ghani Safitra¹⁾, Lohdy Diana²⁾, Rif'atus Sholihah³⁾

^{1,2,3)} Sistem Pembangkit Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

¹⁾arradgs@pens.ac.id, ²⁾lohdydiana@pens.ac.id, ³⁾rivar52@gmail.com

ABSTRACT

Double pipe heat exchanger is apparatus used to exchange heat between hot and cold fluids using two concentric pipes. In this study, double pipe heat exchangers are used in solar water heater applications using two different fluids. The aim of this study is to determine the best performance of the addition of turbulator on the inner tube of double pipe heat exchanger. Turbulator serves to increase turbulence flow so that will increase heat transfer. The study was conducted by using solar water heater equipment that has been added with a double pipe heat exchanger. Initially solar collector heats the oil, then the oil is flowed into the inner tube turbulence varied turbulence form full swirl twisted tape and twisted tape full swirl wire coil. Tests are performed outdoors on clear sky conditions from 10 a.m. to 3 p.m. Based on the results of the test on all variations at 12 a.m. with the intensity of solar radiation 789 W / m^2 , the best performance was obtained on variations using turbulent twisted tape full swirl wire coil form of effectiveness of 0.51, NTU 0.73, with an increase in water temperature of $3 \text{ }^\circ\text{C}$.

ABSTRAK

Penukar kalor pipa ganda adalah peralatan yang digunakan untuk menukarkan kalor antara fluida panas dan fluida dingin menggunakan dua pipa konsentrik. Pada penelitian ini penukar kalor pipa ganda digunakan pada aplikasi pemanas air tenaga surya menggunakan dua fluida yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa terbaik dari penambahan turbulator pada pipa bagian dalam penukar kalor pipa ganda. Turbulator berfungsi untuk meningkatkan turbulensi aliran sehingga akan meningkatkan perpindahan panas. Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan pemanas air tenaga surya yang sudah ditambah dengan penukar kalor pipa ganda. Pada pipa bagian dalam diberi variasi turbulator bentuk *twisted tape full swirl* dan *twisted tape full swirl wire coil* kemudian dialiri fluida oli yang dipanaskan melalui kolektor surya, sedangkan pada pipa bagian luar dialiri fluida air. Pengujian dilakukan di luar ruangan pada kondisi langit cerah dari pukul 10:00 sampai dengan pukul 15:00. Berdasarkan hasil pengujian pada semua variasi pada saat pukul 12:00 dengan intensitas radiasi matahari 789 W/m^2 , performa terbaik diperoleh pada variasi menggunakan turbulator bentuk *twisted tape full swirl wire coil* yaitu efektifitas sebesar 0.51, NTU 0.73, dengan peningkatan temperatur fluida air 3°C .

Kata kunci: penukar kalor pipa ganda; kolektor surya; turbulator; *twisted tape full swirl*; *twisted tape full swirl wire coil*

1. PENDAHULUAN

Solar water heater (SWH) banyak dikembangkan di beberapa negara. Menurut Ka-kui (2015), *solar water heater* (SWH) telah menunjukkan potensi yang besar untuk diterapkan di Hongkong. Berdasarkan penelitian oleh Departemen Layanan Listrik dan Mekanik (EMSD) dari PT pemerintah SAR Hongkong, menunjukkan penggunaan *solar water heater* plat datar akan meningkat yaitu berkisar dari 65,6% hingga 74,7% (EMSD, 2002). Pada penelitian sebelumnya, secara konvensional tipe plat datar dan tipe tabung yang digunakan pada *solar water heater* direkomendasikan untuk diaplikasikan pada beberapa industri di Hongkong. *Solar water heater* merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan fluida dari temperatur *inlet* (Tin) menuju *outlet* (Tout), serta memanfaatkan perbedaan temperatur (ΔT). *Solar water heater* pada penelitian ini termasuk jenis *antifreeze loop and external heat*

exchanger yaitu alat terdiri dari *solar water heater* dengan penambahan *heat exchanger* yang diletakkan secara terpisah.

Heat exchanger yang dipakai pada penelitian ini yaitu jenis *double pipe heat exchanger* atau penukar kalor pipa ganda. Menurut Anas El (2017), penukar kalor pipa ganda memiliki peran penting dalam berbagai proses rekayasa industri. Penukar kalor pipa ganda terdiri dari dua pasang pipa konsentris, fluida yang mengalir berupa fluida panas dan fluida dingin. Pada umumnya fluida yang mengalir melalui penukar kalor pipa ganda yaitu menggunakan aliran *counterflow* (berlawanan arah aliran). Aplikasi penukar kalor pipa ganda pada umumnya digunakan pada laju aliran yang relatif rendah dan temperatur tinggi. Kelebihan dari penukar kalor pipa ganda yaitu konstruksi mudah, biaya pemasangan rendah dan *maintenance* mudah.

Menurut Ranjith dan John (2015), teknik peningkatan perpindahan panas terdiri dari teknik pasif dan teknik aktif. Teknik pasif merupakan teknik perpindahan panas yang tidak memerlukan bantuan daya dari luar, misalnya memodifikasi geometri dan memasukkan turbulator (sisipan pipa terpilin). Sedangkan teknik aktif merupakan teknik perpindahan panas yang memerlukan bantuan daya dari luar, yaitu dengan cara memodifikasi aliran dan peningkatan laju perpindahan panas. Penambahan turbulator merupakan salah satu metode teknik pasif yang banyak digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas dalam saluran sirkular. Turbulator tersebut mengakibatkan aliran mengalami turbulensi. Menurut Huai (2015), tujuan peningkatan perpindahan panas tersebut adalah untuk meningkatkan nilai *heat flux*.

Menurut Eimsa (2013), dengan adanya penambahan turbulator maka akan meningkatkan perpindahan panas. Hal tersebut dibuktikan pada penelitian sebelumnya, yang dilakukan Pongjet yaitu turbulator berupa *twisted tape* dengan penambahan *wire coil* secara digabung akan meningkatkan perpindahan panas jika dibandingkan dengan penggunaan *twisted tape* dan *wire coil* secara dipisah. Pada penelitian sebelumnya di aplikasikan pada fluida udara. Re yang dihasilkan 3000-18.000 dan performa meningkat 200% hingga 350%. Cara lain untuk meningkatkan perpindahan panas yaitu dengan cara memilih fluida yang tepat, untuk pemilihan fluida pada penelitian ini yaitu fluida oli SAE 10 sebagai pemanas pada *inner pipe* dan fluida air sebagai pendingin pada *outer pipe*. Oleh karena itu pada penelitian ini mengkaji nilai perpindahan panas, efektivitas penukar kalor pipa ganda dengan variasi turbulator jenis *twisted tape full swirl* dan *twisted tape full swirl wire coil* untuk aplikasi *solar water heater*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan Kakac dan W Serth Robert (2007), untuk menentukan efektivitas menggunakan perhitungan metode efektifitas-NTU, langkah-langkahnya yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan temperatur rata-rata (T_{avg}) pada *inner pipe* dan *outer pipe*:

$$T_{avg} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- T_{avg} = Temperatur rata-rata fluida (K)
- T_{in} = Temperatur masuk fluida (K)
- T_{out} = Temperatur keluar fluida (K)

2. Menentukan laju perpindahan panas (q) pada *inner pipe* dan *outer pipe*:

$$q = m \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- q = Perpindahan panas (Watt)
- \dot{m} = Laju aliran masa (Kg/s)

c_p = Kalor spesifik (J/Kg.K)

3. Menentukan bilangan *Reynolds* dan bilangan *Nusselt*:

$$Re = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D_h \cdot \mu} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- Re = Bilangan Reynolds
- D_h = Diameter *hydraulic* (m)
- μ = Viskositas fluida (N.s/m²)

Bilangan *Nusselt* untuk kondisi transisi:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{2}\right) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{f}{2}\right)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- Nu = Bilangan *Nusselt*
- f = *friction factor*
- Pr = Bilangan Prandtl

Bilangan *Nusselt* untuk kondisi turbulen:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{2}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1,07 + 12,7 \cdot \left(\frac{f}{2}\right)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \dots\dots\dots (5)$$

4. Menentukan koefisien perpindahan panas (h_i):

$$h_i = \frac{Q_h}{A_h \cdot \Delta T} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- h_i = Koefisien perpindahan panas (W/m².K)
- Q_h = Laju perpindahan panas (Watt)
- A_h = Luas aliran pipa (m²)
- ΔT = Perbedaan temperatur (K)

5. Menentukan efektivitas (ϵ) dan NTU:

$$C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}} \dots\dots\dots (7)$$

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU \cdot (1 - C^*)]}{1 - C^* \cdot \exp[-NTU \cdot (1 - C^*)]} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

- C^* = Kalor spesifik rasio (W/K)
- C_{min} = Kalor spesifik minimal (W/K)
- C_{max} = Kalor spesifik maksimal (W/K)
- NTU = *Number of transfer unit*
- U = Koefisien total perpindahan panas (W/m².K)
- A = Luas permukaan (m²)

ε = Efektivitas

6. Menentukan *pressure drop*:

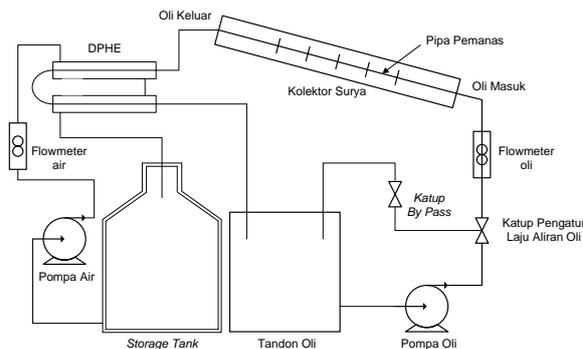
$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- ΔP = *Pressure drop* (Pa)
- ρ = Densitas fluida (Kg/m³)
- g = Percepatan gravitasi (m²/s)
- Δh = Perbedaan ketinggian fluida (m)

3. METODOLOGI

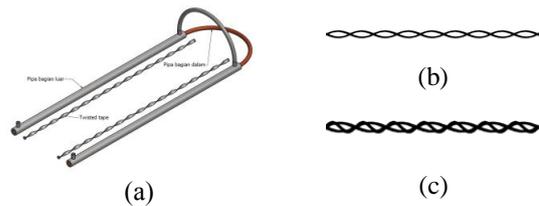
Pengujian sistem *double pipe heat exchanger* pada *solar water heater close loop* ini terdiri dari kolektor surya, *double pipe heat exchanger* dan *storage tank*. Ketiga komponen ini diletakkan secara terpisah. Penelitian ini berfokus pada *double pipe heat exchanger*. Dalam penelitian ini terdiri dari tiga sistem, yaitu sistem pengukuran, sistem lintasan aliran di pipa dalam (*inner pipe*) fluida panas berupa oli SAE 10, dan sistem lintasan aliran di pipa luar (*outer pipe*) fluida dingin berupa air. Seluruh sistem yang digunakan adalah sistem tertutup (*closed system*)



Sumber: Arrad, 2018

Gambar 1. Diagram alir sistem solar water heater dengan DPHE

Fluida Oli SAE 10 dipanaskan menggunakan matahari melalui kolektor surya, oli SAE 10 panas yang berada dalam tanki oli digerakkan oleh pompa oli panas dan kembali ke tanki oli dengan melalui beberapa sensor pengukuran. Fluida air dingin berasal dari tanki air yang digerakkan oleh pompa air, dan kembali ke tanki air. Terdapat tiga pompa yang digunakan yaitu satu buah pompa oli hidrolik untuk SAE 10, satu buah pompa air utama dan satu buah pompa air tambahan, satu buah LCD display untuk melihat temperatur yang terukur, empat buah *thermistor NTC waterproof* untuk mengukur $T_{in,oli,air}$ dan $T_{out,oli,air}$ pada *inner pipe* dan *outer pipe*, dua buah *flowmeter* yaitu satu buah *flowmeter* oli dan satu buah *flowmeter* air, satu buah manometer tipe U, satu buah piranometer dan untuk sistem perpipaan diatur oleh *by pass valve* yang terdiri dari *gate valve* dan *ball valve*.



Sumber: Arrad, 2018

Gambar 2. (a) Desain penukar kalor pipa ganda (b) twisted full swirl (c) twisted full swirl wire coil

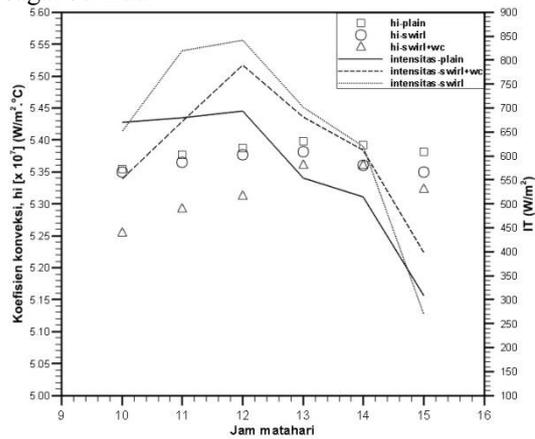
Double pipe heat exchanger yang digunakan pada penelitian ini, merupakan jenis *U-tube* satu laluan dengan tipe aliran *counter flow*. Fluida panas berupa oli pada *inner pipe* dan fluida dingin berupa air pada *outer pipe*. Pada *inner pipe* menggunakan material *stainless steel* yang memiliki diameter luar ($d_{o,i}$) 0,0128 m, diameter dalam ($d_{i,i}$) 0,0106 m dan panjang (l_i) 0,8 m. Sedangkan pada *outer pipe* memiliki diameter luar ($d_{o,c}$) 0,0251 m, diameter dalam ($d_{i,c}$) 0,0206 m dan panjang (l_c) 0,7 m. Untuk meningkatkan perpindahan panas pada penelitian ini maka dilakukan dengan cara menyisipkan turbulator pada *inner pipe*. Variasi turbulator yang digunakan yaitu jenis *twisted tape full swirl*, *twisted tape full swirl wire coil*, dan *plain* (tanpa *twisted tape wire coil*) sebagai referensi dasar.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Metode ini dilakukan dengan cara pengambilan dan perhitungan data secara kuantitatif yaitu menganalisis data dengan menggunakan angka-angka. Metode ini didapatkan dari pengambilan data yang berasal dari hasil pengujian alat. Pengujian alat dilakukan dengan memvariasikan turbulator yang dimasukkan pada *inner pipe* untuk dilakukan pengambilan data. Data yang diambil berupa intensitas radiasi matahari (g), temperatur fluida masuk dan keluar ($T_{h,out}$, $T_{c,out}$, $T_{h,in}$ dan $T_{c,in}$) pada *inner pipe* dan *outer pipe*, laju aliran fluida pada *inner pipe* dan *outer pipe* (\dot{m}_c dan \dot{m}_h), serta perbedaan ketinggian fluida (Δh) yang masuk dan keluar pada *inner pipe*. Data tersebut berfungsi untuk mengetahui pengaruh variasi turbulator jenis *twisted tape full swirl wire coil*, *twisted tape full swirl* dan *plain*. Dari pengujian dan pengambilan data tersebut maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan sehingga dapat menentukan efektivitas perpindahan panas dan *pressure drop* yang diperoleh dari hasil data perhitungan. Hasil data perhitungan tersebut dianalisis kemudian dilakukan pembahasan dan diambil kesimpulan mengenai performa *double pipe heat exchanger* terhadap perubahan variasi turbulator..

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengujian pada setiap variasi diolah menggunakan persamaan (1) s/d persamaan (10) dan

diperoleh hasil yang ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



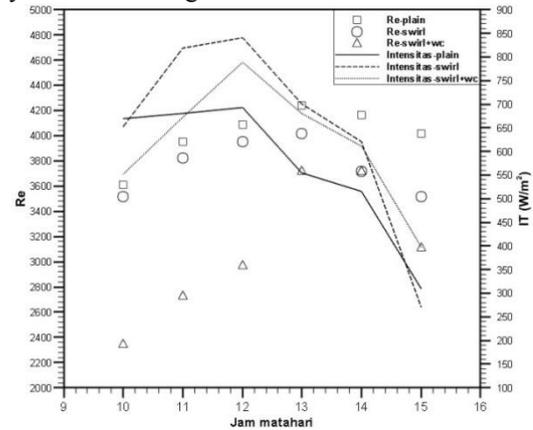
Sumber: Arrad, 2018

Gambar 3. Grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap koefisien perpindahan panas berdasarkan waktu

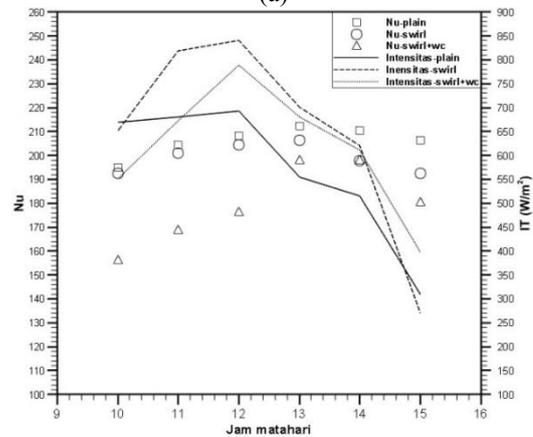
Setiap variasi turbulator mempunyai nilai koefisien perpindahan panas tertinggi pada waktu dan intensitas radiasi matahari yang berbeda. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 berupa pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap koefisien perpindahan panas berdasarkan waktu yang memiliki *trend* kurva parabolik melengkung ke atas. *Range* nilai koefisien perpindahan panas yang tinggi terjadi saat jam 12.00 hingga jam 14.00, sedangkan nilai koefisien perpindahan panas yang rendah terjadi saat jam 10.00 dan jam 15.00. Hal tersebut disebabkan oleh sifat oli yang dapat mempertahankan panas. Sifat oli yang dapat mempertahankan panas dipengaruhi oleh gaya kohesi, dan karakteristik oli SAE 10 AW. Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai tertinggi koefisien perpindahan panas pada setiap variasi, pada variasi *plain* sebesar $53981662,63 W/m^2 \cdot ^\circ C$, variasi *twisted tape full swirl wire coil* sebesar $53603021,68 W/m^2 \cdot ^\circ C$, serta variasi *twisted tape full swirl* sebesar $53818834,01 W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Hasil yang didapatkan secara eksperimen mempunyai kesamaan dengan hasil secara teoritis yaitu semakin meningkatkan bilangan Reynolds maka bilangan Nusselt juga meningkat terhadap waktu yang dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, sehingga perpindahan panas yang terjadi pada *inner pipe* semakin meningkat. Peningkatan perpindahan panas pada *inner pipe* juga dipengaruhi variasi turbulator. Variasi turbulator tersebut menyebabkan aliran pada *inner pipe* mengalami turbulensi. Nilai bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt dalam setiap variasi tidak signifikan, dikarenakan kondisi input tidak konstan, karena dipengaruhi intensitas radiasi sinar matahari yang berbeda-beda pada setiap pengambilan data sehingga mempengaruhi penyerapan panas pada pemanas input. Pemanas input tersebut mengakibatkan kondisi oli yang tidak konstan pada setiap variasi, sehingga mempengaruhi transfer panas. Dari hal

tersebut mengakibatkan nilai bilangan Prandtl yang tidak signifikan sehingga mempengaruhi bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt.



(a)



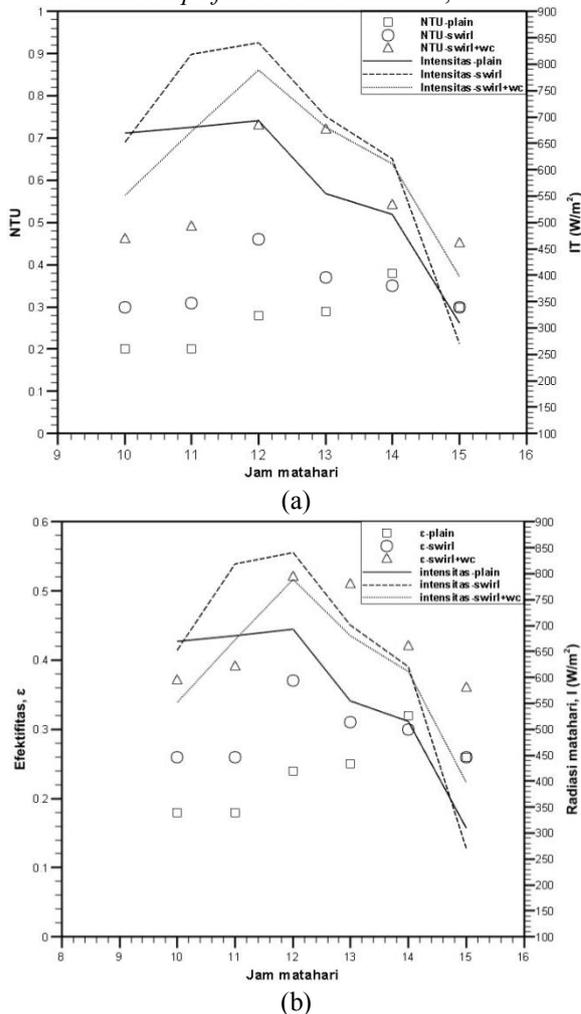
(b)

Sumber: Arrad, 2018

Gambar 4. (a) Grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap bilangan Reynolds berdasarkan waktu dan (b) Grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap bilangan Nusselt berdasarkan waktu

Bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt terbaik pada setiap variasi ditunjukkan pada gambar 4a dan gambar 4b berupa grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt berdasarkan waktu. Nilai bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt memiliki *trend* kurva parabolik melengkung ke atas. Nilai bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt terbesar berada saat *range* jam 12.00 hingga jam 14.00, sedangkan nilai bilangan Reynolds dan Nusselt terkecil berada saat jam 10.00 dan jam 15.00. Nilai bilangan Reynolds dipengaruhi oleh nilai viskositas oli sehingga mempengaruhi gaya kohesi, sedangkan nilai bilangan Nusselt dipengaruhi oleh nilai bilangan Reynolds dan nilai bilangan Prandtl. Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai bilangan Reynolds tertinggi pada variasi *plain* sebesar 4240,125, variasi *twisted tape full swirl wire coil* sebesar

3714,23, serta variasi *twisted tape full swirl* sebesar 4019,614 sedangkan nilai bilangan Nusselt tertinggi pada pada variasi *plain* sebesar 212,944, variasi *twisted tape full swirl wire coil* sebesar 145,246, serta variasi *twisted tape full swirl* sebesar 207,016.



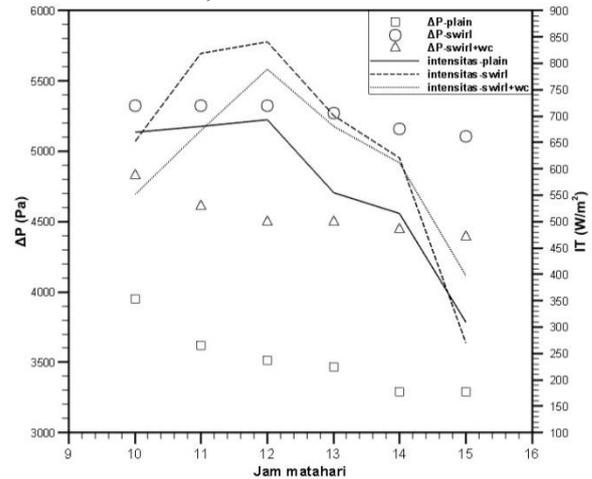
Sumber: Arrad, 2018

Gambar 5. (a) Grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap NTU berdasarkan waktu dan (b) Grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap efektivitas berdasarkan waktu

Dari hasil eksperimen didapatkan nilai efektivitas yang berbanding lurus dengan NTU. Nilai efektivitas dan NTU ditunjukkan pada gambar 5a dan gambar 5b berupa grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap NTU dan efektivitas berdasarkan waktu yang memiliki trend kurva parabolik melengkung ke atas. Dapat diketahui range nilai efektivitas dan NTU yang tinggi terjadi saat jam 11.00 hingga jam 14.00, sedangkan saat jam 10.00 dan jam 15.00 memiliki efektivitas yang rendah. Nilai efektivitas dipengaruhi oleh NTU serta nilai C^* . Penambahan *wire coil* pada setiap variasi turbulator di *inner pipe* meningkatkan nilai efektivitas dan NTU. Pada setiap variasi turbulator dengan penambahan

wire coil nilai efektivitas meningkat pada range 41,1% hingga 65,45%, sedangkan pada NTU meningkat pada range 50,4% hingga 93,91%. Penggunaan variasi turbulator menyebabkan *flow blockage*.

Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai NTU tertinggi pada variasi *plain* sebesar 0,38, variasi *twisted tape full swirl wire coil* sebesar 0,73, serta variasi *twisted tape full swirl* sebesar 0,45. Sedangkan nilai efektivitas tertinggi pada variasi *plain* sebesar 0,31, variasi *twisted tape full swirl* dengan *wire coil* sebesar 0,51, serta variasi *twisted tape full swirl* tanpa *wire coil* sebesar 0,36.



Sumber: Arrad, 2018

Gambar 6. Grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap pressure drop berdasarkan waktu

Nilai *pressure drop* tinggi disebabkan oleh nilai viskositas oli yang tinggi. Viskositas oli yang tinggi dipengaruhi oleh gaya kohesi yang besar. Gaya kohesi pada oli bisa rendah jika terkena temperatur yang tinggi. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 6 berupa grafik pengaruh variasi turbulator dan intensitas radiasi matahari terhadap *pressure drop* berdasarkan waktu yang memiliki trend kurva menurun. Dari hasil eksperimen penelitian ini menunjukkan penambahan *wire coil* pada setiap variasi turbulator akan menurunkan nilai *pressure drop*, nilai *pressure drop* dengan penambahan *wire coil* menurun 10,23% hingga 18,29% jika dibandingkan tanpa adanya penambahan *wire coil*. Hal tersebut disebabkan oleh penambahan *wire coil* pada turbulator akan mengurangi turbulensi. Dari grafik pada tersebut dapat diketahui nilai *pressure drop* terendah, pada variasi *plain* sebesar 3292,8 Pa, variasi *twisted tape full swirl* dengan *wire coil* sebesar 4390,4 Pa, serta variasi *twisted tape full swirl* tanpa *wire coil* sebesar 5103,8 Pa.

5. PENUTUP

Berdasarkan penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis mengenai pengaruh turbulator pada penukar kalor pipa ganda untuk aplikasi solar water heater, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai perpindahan panas ditinjau dari koefisien perpindahan panas, bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt. Bilangan Nusselt dan bilangan Reynolds berbanding lurus. Nilai koefisien perpindahan panas mempunyai titik maksimal pada range jam 12.00 hingga jam 14.00 dengan nilai perpindahan panas tertinggi sebesar 53981662,63 W/m².°C
2. Nilai efektivitas berbanding lurus dengan NTU. Penambahan wire coil dapat meningkatkan efektivitas dari 41,1% hingga 65,45%, jika dibandingkan dengan tanpa penambahan wire coil, sedangkan nilai NTU dengan penambahan wire coil meningkat 50,4% hingga 93,91% jika dibandingkan dengan tanpa penambahan wire coil. Nilai efektivitas dan NTU terbesar berada pada range jam 11.00 hingga jam 14.00 dengan nilai efektivitas tertinggi sebesar 0,51 dan NTU tertinggi sebesar 0,73.
3. Penambahan wire coil pada jenis twisted tape swirl menurunkan nilai pressure drop dari 10,23% hingga 18,29% jika dibandingkan dengan tanpa penambahan wire coil. Nilai pressure drop terendah yaitu 3292,8 Pa.

5.2. Saran

Berdasarkan pengujian dan hasil data yang diperoleh, maka saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu menambahkan metode simulasi untuk mengetahui analisis detail pada inner pipe dan outer pipe, sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan dari hasil eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Gorman, M. John., Kevin R. Krautbauer ., & Ephraim M. Sparrow (2016). Applied Thermal Engineering. *Thermal and Fluid Flow First-Principles Numerical Design of an Enhanced Double Pipe Heat*, 107, 194-206.
- Han, Huai-Zhi., Bing-Xi Li., Hao Wu., & Wei Shao (2015). International Journal of Thermal Sciences. *Multi-Objective Shape Optimization of Double Pipe Heat Exchanger with Inner Corrugated Tube Using RSM Method*, 90, 173-186.
- K, Shaji., & Ranjith (2016). Procedia Technology. *Numerical Analysis on a Double Pipe Heat Exchanger with Twisted Tape Induced Swirl Flow on Both Sides*, 24, 436-443.
- Maakoul, Anas El., Azzeddine Lakhnizi., Said Saadeddine & Abdellatif Ben (2017). Energy

Conversion and Management. *Numerical Design and Investigation of Heat Transfer Enhancement and Performance for an Annulus with Continuous Helical Baffles in a Double-Pipe Heat Exchanger*, 133, 76-86.

Tse, Ka-Kui., & Tin Tai Chow (2015). *Solar Energy. Dynamic Model and Experimental Validation of an Indirect Thermosyphon Solar Water Heater Coupled With a Parallel Circular Tube Rings Type Heat Exchange Coil*, 114, 114-133.

Promvongse, Pongjet (2008). *Energy Conversion and Management. Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators*, 49, 2949-2955.

W. Serth, Robert. (Eds.). 2007. *Process Heat Transfer Principles and Applications. United States of America: Elsevier, Ltd. All rights reserved.*