

RANCANG BANGUN WOVEN MATRIX TYPE WIRE AND TUBE HEAT EXCHANGER

Salis Luqman Hadi

D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: salisluqman33@gmail.com

I Made Arsana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: dearsana67@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam berbagai studi terdahulu yang sudah melakukan eksperimen untuk menganalisa perpindahan panas secara radiasi dan konveksi dalam *wire-on-tube heat exchanger* dimana salah satu hasilnya adalah optimasi terbaik didapat dengan memperkecil diameter sirip, memperbanyak sirip dan memperpendek jarak antar pembuluh. Untuk mencari laju perpindahan panas konveksi. Melihat dari studi tersebut peneliti tertarik untuk membuat variasi desain yang berbeda, yang mana penelitian ini dengan judul "Rancang Bangun Alat Penukar Panas Pembuluh dan Kawat Tipe *Woven Matrix*".

Tahap awal sebelum pembuatan yaitu pengumpulan data berupa bahan dan ukuran kawat dan pembuluh yang akan digunakan yakni kawat dari bahan besi dg ukuran diameter 1,5mm, pembuluh dari bahan besi dengan diameter 5mm. Kemudian dilakukan proses gambar desain alat penukar panas pembuluh dan kawat tipe *woven matrix*. Setelah proses tersebut selesai dilanjutkan dengan pembuatan alat penukar panas, menguji dan sedikit menganalisa.

Hasil rancang bangun alat penukar panas ini adalah pembuluh yang berlekuk-lekuk, dengan kawat yang dipasang lekat pada pembuluh dengan konfigurasi anyaman. Kawat yang berfungsi sebagai sirip adalah perluasan dari permukaan pembuluh sehingga memperluas permukaan perpindahan panas konveksi bebas dari penukar panas ke lingkungan luar. Pengkajian efisiensi tiga desain penukar panas pembuluh dan kawat tipe *woven matrix* dengan jarak kawat yang berbeda ($P_w = 7\text{mm}$; $P_w = 14\text{mm}$; $P_w = 21\text{mm}$) diuji 3 kali pengujian dalam lima level suhu fluida masuk (40°C , 50°C , 60°C , 70°C , 80°C) dan penukar panas dengan *pitch* 7mm dengan kapasitas (Q) sebesar 510 watt dan efisiensi sirip (η_w) yang dihasilkan adalah 0,63.

Kata kunci: *penukar panas pembuluh dan kawat tipe woven matrix, efisiensi penukar panas, konveksi bebas.*

ABSTRACT

In previous studies that have been performed experiments to analyze the radiation heat transfer and convection in the wire-on-tube heat exchangers in which one of the best optimization result is obtained by reducing the diameter of the fins, the fins expand and shorten the distance between pembuluh. Untuk looking for the heat transfer rate convection. Judging from these studies, researchers interested in making different design variations, which this study entitled "Design Of Heat Exchanger Tubes and Wire In Woven Matrix Type".

Before the making of the initial stage of data collection in the form of material and the size of the wire and the vessels that will be used ie material wire of diameter dg 1,5mm iron, ductile iron vessel with a diameter of 5mm. then performed process design drawing of the heat exchanger tubes and wire type woven matrix. Once the process is completed followed by the manufacture of heat exchangers, test and analyze a bit.

The results of the heat exchanger design is grooved vessel, fitted with a wire attached to the vessel with a woven configuration. Wire that serves as an extension of the fin surface vessels thus extending the free convection heat transfer surfaces of the heat exchanger to the outside environment. Assessment of the efficiency of three-vessel and heat exchanger design woven wire type matrix with different wire spacing ($P_w = 7\text{mm}$; $p_w = 14\text{mm}$; $p_w = 21\text{mm}$) was tested 3 times in a five-level testing of incoming fluid temperature (40°C , 50°C , 60°C , 70°C , 80°C) and heat exchangers with 7mm pitch with a capacity (Q) of 510 watts and fin efficiency (η_w) arrives produced is 0.63.

Keywords: *heat exchanger tubes and woven wire type matrix, the efficiency of the heat exchanger, free convection.*

PENDAHULUAN

Wire-on-tube heat exchanger atau penukar panas jenis pembuluh-kawat terdiri dari pembuluh tunggal yang dibuat berlekuk-lekuk (*coil*) dan mengangkut sejumlah fluida dengan kawat yang dipasang melekat pada pembuluh untuk meningkatkan luas permukaan kontakannya. Alat penukar panas jenis ini sering digunakan oleh produsen alat pendingin sebagai kondensor, karena perakitannya yang mudah, murah dan ketahanannya yang bagus. Penelitian tentang penukar kalor jenis pembuluh dan kawat pertama kali dilakukan oleh Witzell dan Fontaine tentang perpindahan panas dari penukar kalor jenis pembuluh dan kawat. Penelitian berikutnya juga dilakukan oleh Cavallini & Trapanese (1970), Incropera (1996).

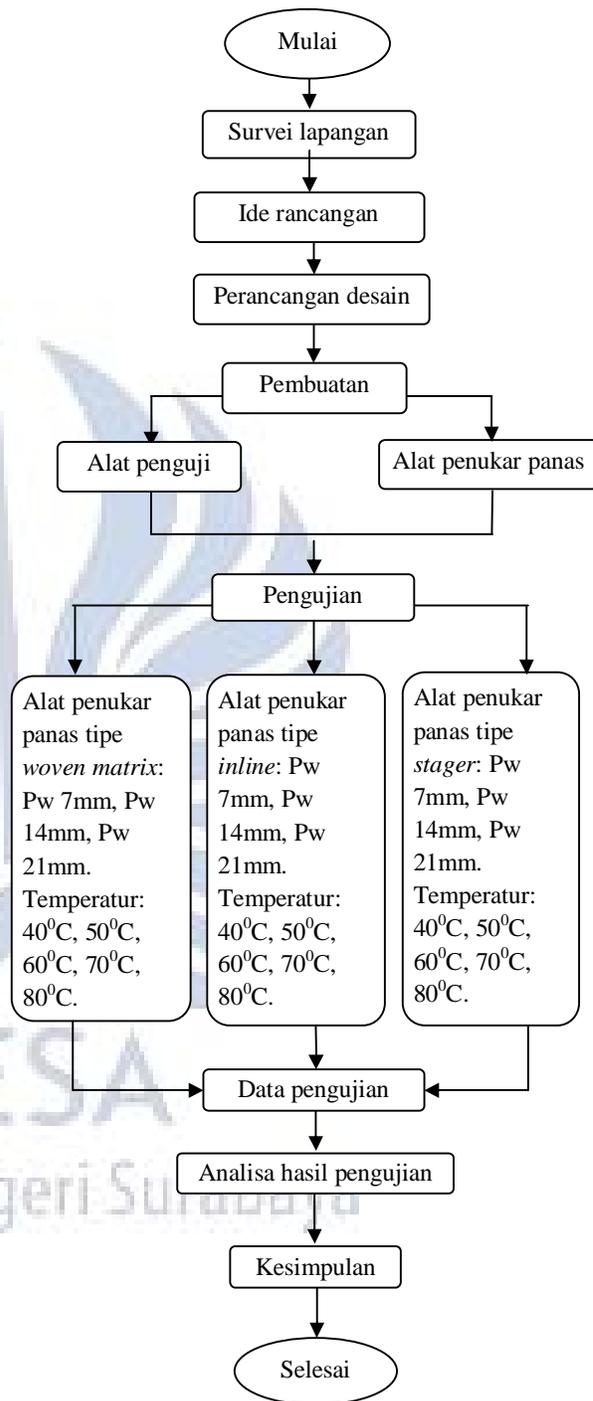
Penelitian tentang penukar panas tentang perpindahan panas dari penukar kalor jenis pembuluh dan kawat. Penelitian ini akan mengkaji secara teoritis pengaruh jarak antar kawat (S_w) dan diameter kawat (D_w) terhadap efisiensi *wire-on-tube heat exchanger*. Dengan memodifikasi jarak antar kawat (S_w) dan diameter kawat (D_w) melalui simulasi diharapkan akan didapati dimensi alat penukar panas yang memiliki tingkat efisiensi tinggi dengan mempertimbangkan luas permukaan perpindahan panas (A) dan koefisien perpindahan panas konveksi (h) pada alat penukar panas tersebut Incropera (1996). Jadi faktor geometri yang tepat merupakan interaksi antara koefisien perpindahan panas (h) dan luas permukaan perpindahan panas (A).

Selain dengan cara memperbesar luasan permukaan perpindahan panasnya, laju perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan geometri penukar panas yang optimal sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksinya. Adapun cara lain untuk memperbesar luasan permukaan perpindahan panasnya, laju perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan geometri *woven matrix heat exchanger* yang optimal sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksinya. Melihat latar belakang diatas, peneliti mencoba membuat eksperimen desain baru, maka tugas akhir ini akan membahas tentang “Rancang Bangun Alat Penukar Panas Pembuluh dan Kawat Tipe *Woven Matrix*”.

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah mendapat rancangan alat penguji efisiensi penukar panas dan alat penukar panas tipe *woven matrix* serta mengevaluasi unjuk kerja *woven matrix heat exchanger*.

Manfaat yang diharapkan dari penulisan ini adalah sebagai masukan dalam merancang penukar panas tipe *woven matrix* dan menambah wacana keilmuan bidang perpindahan panas umumnya dan penukar panas khususnya.

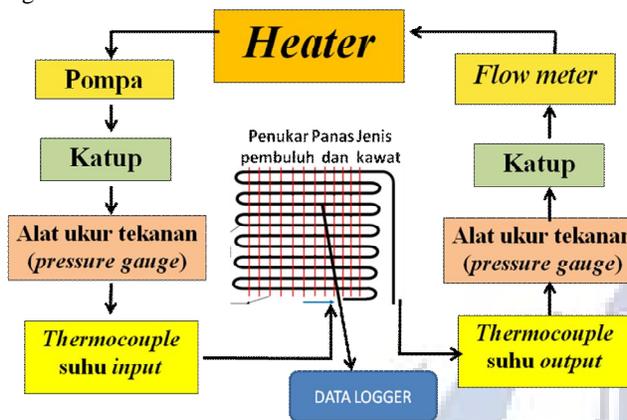
METODE Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

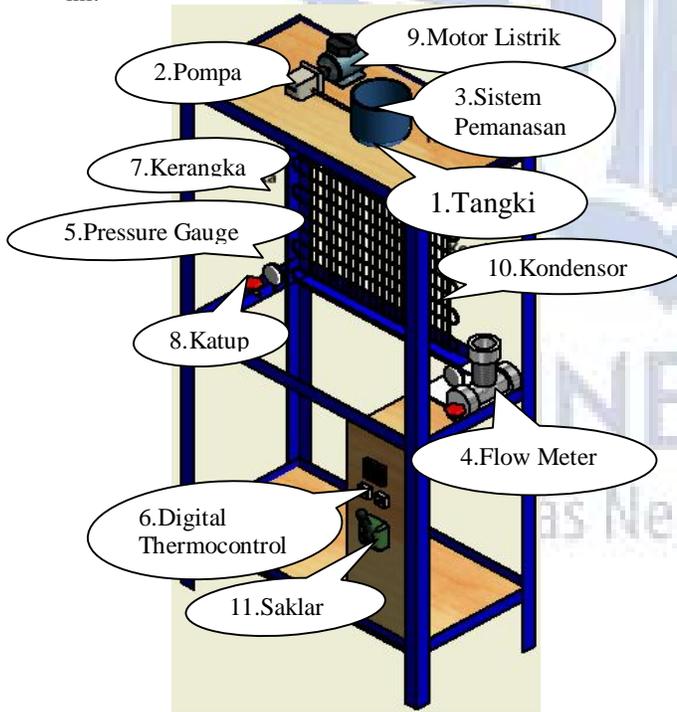
Skema Kerja

Skema kerja alat dan peralatan yang secara skematis dan elemental penukar panas disajikan dalam gambar berikut:



Gambar 2. Skema Kerja Rancangan Alat Penukar Panas
Desain Rancangan Alat Penguji Penukar Panas

Setelah diketahui metode rancangannya, maka desain yang sudah direncanakan akan dibuat konsepnya menggunakan *software inventor professional 2012*. Konsep yang sudah dibuat tertera pada gambar dibawah ini:



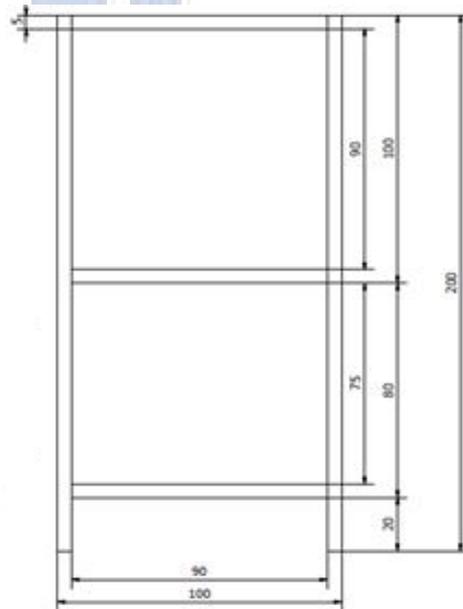
Gambar 3. Konsep Kerangka Alat Penguji

Keterangan:

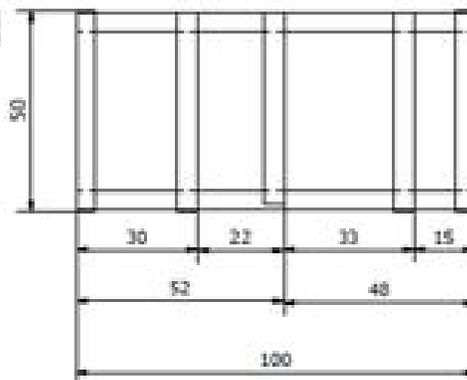
1. **Tangki Fluida** digunakan untuk menampung fluida (oli) yang akan dipanaskan didalamnya.
2. **Pompa** sebagai pemompa fluida (oli) agar fluida masuk ke dalam kondensor

3. **Sistem pemanasan** yaitu terdapat dalam tangki fluida sebagai *heater* fluida.
4. **Flow meter** digunakan untuk mengukur laju aliran fluida.
5. **Pressure gauge** digunakan untuk mengukur tekanan fluida saat alat bekerja.
6. **Digital Thermocouple** digunakan untuk mengukur dan mengontrol temperature fluida.
7. **Kerangka** sebagai penopang dan tempat komponen-komponen pendukung.
8. **Kran** digunakan untuk mengatur naik turunnya fluida yang masuk pada kondensor.
9. **Motor listrik** sebagai tenaga dari pompang untuk mengalirkan fluida.
10. **Kondensor** alat penukar panas yang akan diuji
11. **Saklar** sebagai pemutus arus listrik

Dimensi

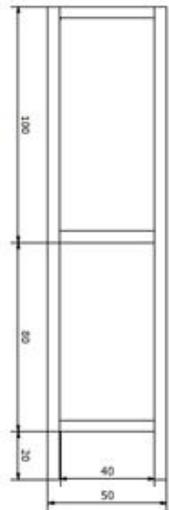


Gambar 4. Tampak Depan



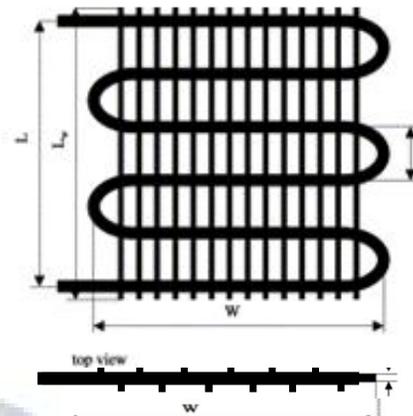
Gambar 5. Tampak Atas

Rancang Bangun *Woven Matrix Type Wire And Tube Heat Exchanger*



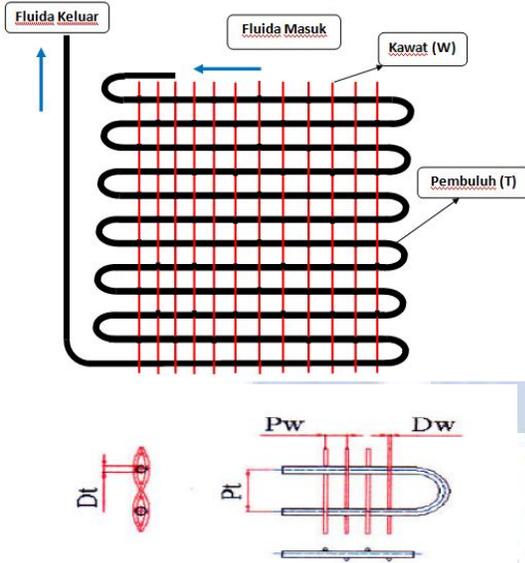
Gambar 6. Tampak Depan

Desain Penukar Panas Tipe *Stager*



Gambar 9. Penukar Panas Tipe *Stager*

Desain Penukar Panas tipe *woven matrix*



Gambar 7. Penukar Panas Tipe *Woven Matrix*

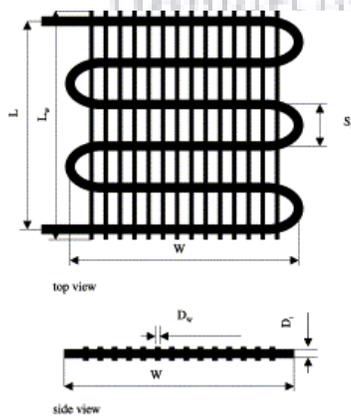
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Unit Rancang Bangun Alat Penukar Panas Pembuluh dan Kawat Tipe *Woven Matrix*



Gambar 10. Hasil Rancang Bangun Alat Penguji Efisiensi Penukar Panas

Desain Penukar Panas Tipe *Inline*



Gambar 8. Penukar Panas Tipe *Inline*



Gambar 11. Hasil Rancang Bangun Penukar Panas Tipe Woven Matrix

Pengujian

Setelah pembuatan alat penukar panas selanjutnya dilakunga uji coba yaitu untuk mengetahui terperatur pada setiap titik *thermocouple*, berikut ini adalah alat yang disediakan untuk pengujian yaitu:

- Kondensor *woven matrix*, *inline* dan *stager* dengan Pw (7mm, 14mm, 21mm)
- *Thermocouple* yang dipasang pada kondensor
- Data logger
- Pomda
- Oli dan heater

Setelah menyediakan alat, kemudian dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan memvariasi temperature fluida masuk dalam penukar panas yaitu pada temperatur fluida masuk 50°C, 60°C, 70°C, 80°C dan temperatur udara ruangan $T_{\infty} = 32^{\circ}\text{C}$ dengan tekanan 1 atm dengan laju aliran fluida = 0,002 kg/s. Pengambilan data dilakukan 3 kali pada setiap pengambilan data, berikut adalah hasil rata-rata dari pengambilan data yang disajikan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 1 Data Hasil pengukuran *temperature* penukar panas woven matrix PW 7mm (63kawat)

T (oli)	50°C	60°C	70°C	80°C
Tw 1	43	50	56	63
Tw 2	42	46	52	59
Tw 3	41	46	52	57
Tw 4	41	45	51	57
Tw 5	41	44	52	58
Tw 6	42	46	54	61
Tw 7	40	45	52	57
Tw 8	39	42	48	52
Tw 9	37	38	43	47
Tt (out)	43	50	58	66
Tt (in)	49	59	69	78

Tabel 2 Data hasil pengukuran *temperature* penukar panas woven matrix PW 14mm (32kawat)

T (oli)	50°C	60°C	70°C	80°C
Tw 1	42	48	54	60
Tw 2	41	46	51	56
Tw 3	42	47	53	59
Tw 4	39	43	48	51
Tw 5	40	43	49	55
Tw 6	41	44	52	59
Tw 7	39	43	48	53
Tw 8	39	42	48	53
Tw 9	38	42	47	52
Tt (out)	44	51	60	68
Tt (in)	49	59	68	77

Tabel 3 Data hasil pengukuran *temperature* penukar panas woven matrix PW 21mm (22kawat)

T (oli)	50°C	60°C	70°C	80°C
Tw 1	40	45	50	56
Tw 2	40	45	49	55
Tw 3	41	46	52	58
Tw 4	40	45	50	56
Tw 5	40	45	51	57
Tw 6	40	45	50	57
Tw 7	40	45	50	57
Tw 8	38	42	48	54
Tw 9	38	42	47	52
Tt (out)	45	52	61	70
Tt (in)	50	58	68	77

Dari hasil pengujian diatas kemudian dilakukan perhitungan yaitu mencari kapasitas penukar panasnya yaitu sebagai berikut:

$$q_{tot} = m \cdot C_{p,f} \cdot (T_{f,in} - T_{f,out}) \tag{1}$$

Dimana:

- m = laju alir massa minyak panas ($\frac{kg}{s}$)
- $C_{p,f}$ = panas spesifik tekana konstan ($\frac{J}{kgK}$)
- $T_{f,in}$ = temperatur minyak pada saluran masuk pembuluh penukar kalor (K)
- $T_{f,out}$ = temperature minyak pada saluran keluar pembuluh penukar panas (K).

Rancang Bangun *Woven Matrix Type Wire And Tube Heat Exchanger*

Efisiensi sirip

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{maks}} = \frac{\iint h(T_w - T_\infty) dA}{h A_w [T_t - T_\infty]} \quad (2)$$

Jika efisiensi sirip dinyatakan dengan asumsi koefisien perpindahan panas, maka didapatkan

$$\eta_w = \frac{[T_w - T_\infty]}{[T_t - T_\infty]} \quad (3)$$

Dimana:

T_w = Temperatur kawat (0K)

T_t = Temperatur pembuluh (0K)

η_w = Temperatur ruangan (0K)

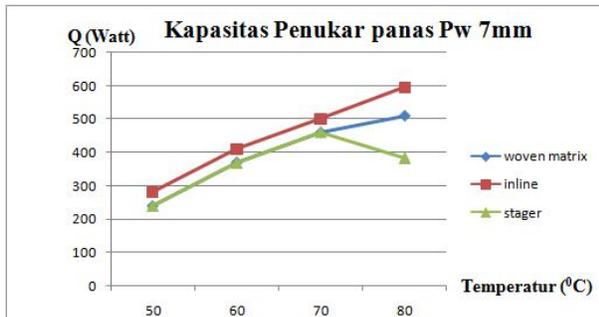
Koefisien konveksi bebas

$$Q_{internal} = Q_{eksternal}$$

$$m C_p (T_{in} - T_{out}) = h A (T_w - T_\infty)$$

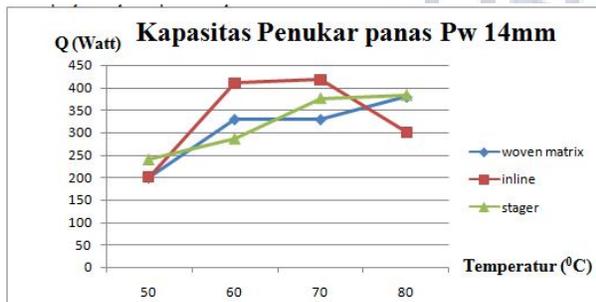
$$h = \frac{m C_p (T_{in} - T_{out})}{A (T_w - T_\infty)} = \frac{Q_{internal}}{A (T_w - T_\infty)} \quad (4)$$

Analisa



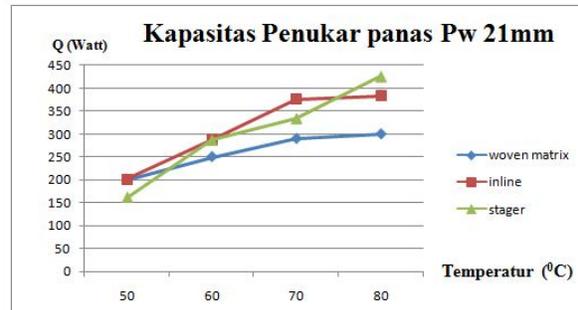
Gambar 12. Variasi kapasitas perpindahan panas pada kondensor Pw 7mm

Dari gambar 12. Dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat temperatur fluida masuk semakin besar pula kapasitas penukar panasnya. Sebagai contoh pada temperatur 60 ke 70 pada semua kondensor mengalami peningkatan kapasitas penukar panas.



Gambar 13. Variasi kapasitas perpindahan panas pada kondensor Pw 14mm

Dari gambar 13. Menunjukkan bahwa pada kondensor dengan *pitch* 14 mempunyai kapasitas penukar panas yang tidak beraturan. Sebagai contoh pada kondensor *inline* pada temperatur 80 mengalami penurunan.



Gambar 14. Variasi kapasitas perpindahan panas pada kondensor Pw 21mm

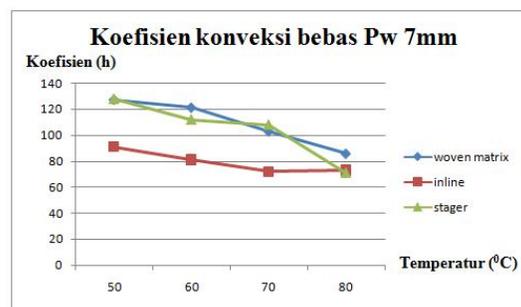
Dari gambar 14. Dapat disimpulkan bahwa kondensor dengan tipe *woven matrix* mempunyai nilai kapasitas penukar panas paling rendah. Sebagai contoh pada temperatur 80 kondensor tipe *woven matrix* hanya memiliki nilai kapasitas penukar panas sebesar 330 Watt.

Jika dianalisa secara menyeluruh dari grafik kapasitas penukar panas diatas yaitu dari gambar 12. Dapat disimpulkan bahwa pada penukar panas Pw 7mm dengan variasi *woven matrix* memiliki kapasitas penukar panas lebih rendah dibanding dengan variasi *inline*. Hal ini dikarenakan pada penukar panas tipe *inline* memiliki luas penampang lebih besar dibandingkan dengan penukar panas tipe *woven matrix* dan *stager*.

Gambar 13. Dapat disimpulkan bahwa penukar panas tipe *inline* memiliki kapasitas perpindahan panas paling optimal, sedangkan pada penukar panas tipe *woven matrix* justru paling rendah. Hal ini disebabkan oleh ketebalan pemuluh dan kawat pada saat pembuatan yang sehingga mengecilkan koefisien perpindahan panas konveksi bebas dan menurunkan kapasitas penukar panasnya.

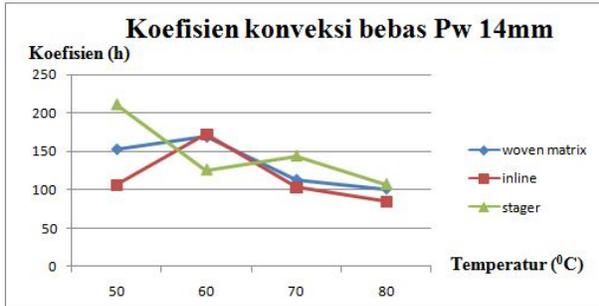
Pada penukar panas Pw 14mm penukar panas *woven matrix* dan *stager* mempunyai kapasitas penukar panas yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena kedua penukar panas ini memiliki luas penampang yang hampir sama pula.

Gambar 14. Dapat disimpulkan bahwa antara ketiga penukar panas memiliki perbedaan kapasitas penukar panas yang tidak terlalu jauh. Hal ini disebabkan karena ketiga penukar panas sama-sama memiliki luas penampang yang rendah, sehingga mempengaruhi koefisien perpindahan panas koveksi bebas menjadi kecil dan menurunkan kapasitas penukar panasnya. Dan penukar panas tipe *woven matrix* dengan Pw 21mm memiliki nilai kapasitas penukar panas paling rendah.



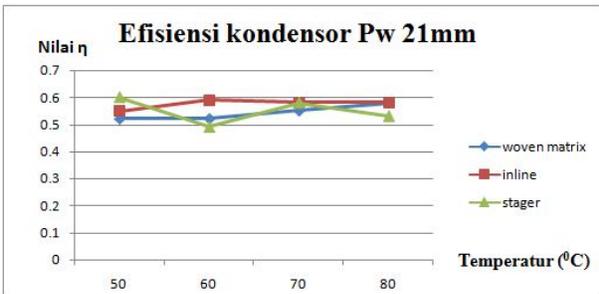
Gambar 15. Variasi koefisien konveksi bebas hasil pengujian dengan Pw 7mm

Dari gambar 15. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur fluida masuk semakin rendah koefisien konveksinya. Sebagai contoh pada temperatur 80 kondensor *woven matrix* mengalami penurunan.



Gambar 16. Variasi Koefisien Konveksi bebas hasil pengujian dengan Pw 14mm

Pada gambar 16. Menunjukkan bahwa masing-masing kondensor mengalami variasi yaitu naik turunnya nilai koefisien. Seperti ditunjukkan pada temperatur 60 kondensor *woven matrix* memiliki nilai koefisien tertinggi dari sebelumnya dan kemudian turun kembali.



Gambar 17. Variasi koefisien konveksi bebas hasil pengujian dengan Pw 21mm

Bila ketiga penukar panas tersebut dianalisa dengan asumsi yang sama yaitu temperatur fluida yang masuk adalah yang paling berpengaruh pada naik-turunnya koefisien penukar panas konveksi bebas, maka penukar panas tipe *inline* memiliki koefisien konveksi yang paling rendah. Hal ini disebabkan karena penukar panas tipe *inline* mempunyai nilai luas penampang yang tinggi.

Pada gambar 15. Penukar panas tipe *woven matrix* memiliki koefisien konveksi bebas dengan nilai tertinggi dan penukar panas tipe *inline* memiliki nilai terendah. Sedangkan pada gambar 17, yaitu penukar panas tipe *stager* dengan menggunakan Pw 21mm nilai koefisien konveksi tertinggi. Hal ini disebabkan karena perbedaan anatara luas penampang dan juga temperatur rata-rata kawat dari masing2 penukar panas.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan rancang bangun dan pengujian yang dilakukan terhadap penukar panas pembuluh dan kawat dapat disimpulkan:

- Telah diciptakan desain alat penukar panas pembuluh dan kawat tipe *woven matrix* dan alat penguji penukar panas yang dapat digunakan sebagai media

pembelajaran di Jurusan Teknik Mesin UNESA khususnya di laboratorium Perpindahan Panas.

- Perawatan rutin yang perlu dilakukan untuk menjaga performa dari seluruh sistem alat agar bisa lebih tahan lama digunakan sesuai kebutuhan.
- Rancang bangun alat penukar panas tipe *woven matrix* mempunyai kapasitas penukar panas yang relative tinggi, dimana dengan kenaikan temperatur fluida masuk dari 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C dan penukar panas (*Heat exchanger*) akan bekerja maksimal pada temperatur 80°C yaitu pada penukar panas dengan *pitch* 7mm dengan kapasitas (Q) sebesar 510 watt dan efisiensi sirip (η_w) yang dihasilkan adalah 0,63.
- Semua sistem pada alat penguji efisiensi penukar panas yang menunjang bekerjanya alat ini dapat bekerja dengan baik mulai dari heater hingga proses pengambilan nilai suhu pada setiap titik *thermocouple* yang berfungsi mengukur temperatur fluida masuk sampai fluida keluar.

Saran

- Dalam proses pengujian membutuhkan ketepatan pada pemasangan *thermocouple* agar data yang didapat juga valid didalam *digital thermocouple*-nya.
- Untuk ruangan pada saat dilakukan pengujian supaya ditempatkan pada ruangan yang benar-benar tertutup (tidak terganggu aliran udara).
- Dan sebagai wacana untuk mengembangkan alat ini, pada saat pengelasan alat penukar panas *woven matrix* sebaiknya menggunakan las titik, supaya tidak memperbesar hambatan kontak antara kawat dan pembuluh.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, Dhanurendra P. 2013. "Pengaruh Temperatur Fluida Masuk Terhadap Kapasitas Penukar Panas Jenis Pembuluh Dan Kawat Pada Konveksi Bebas". Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Arsana, I Made (2001). "Study eksperimental pengaruh geometri kawat terhadap optimal penukar panas jenis pembuluh dan kawat pada konveksi bebas", Tesis. Surabaya : ITS
- Cyphers, J.A., Cess, R.D., and SomersbE.V., 1959, "Heat Transfer Character of Wire and Tube Heat Exchangers", ASHRAE Journal, vol. 1, no. 5, pp. 86-110.
- Exchanger Dengan Variabel Jarak Antar Wire. (Online), (<http://digilib.its.ac.id/%2Fpublic/%2FITS-Article-5078>), diakses 23 September 2013
- Hewitt., 1994, *Heat Transfer*, John Willey & Sons, New York.
- Incropera, Frank P., DeWitt, David P., 1990, *Fundamentals of Heat and Mass transfer*, John Wiley & Sons, New York.

Rancang Bangun *Woven Matrix Type Wire And Tube Heat Exchanger*

- Konduksi Panas. (Online), (http://id.wikipedia.org/wiki/Konduksi_panas), Diakses 15 Desember 2013
- Konveksi. (Online), (<http://id.wikipedia.org/wiki/Konveksi>). Diakses 15 Desember 2013
- Munson, Bruce .R – Young, Donald .F – Okiishi, Tod .H. 2002. *Fundamentals of Fluid Mechanics: Fourth Edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc.(Online), (<http://handirizki.wordpress.com/2012/05/08/internal-and-external-flow/>), diakses 20 september 2013).
- Radiasi. (Online), (<http://id.wikipedia.org/wiki/Radiasi>), diakses 15 Desember 2013
- Studi Experimental Pengaruh Geometri Kawat Terhadap Efisiensi Penukar panas Pembuluh dan kawat. (Online) (<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:t386p5yr77kJ:iptek2.its.ac.id/file/BUDI.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk>). Diakses 15 Desember 2013
- Tim. 2010. *Panduan Penulisan Tugas Akhir Program Diploma III*. Surabaya: Jurusan Mesin FT Universitas Negeri Surabaya.
- Witzell, O.W., and Fontaine, W.E., 1957b, "Design of Wire-and-Tube Heat Condensers?", *Refrigerating Engineering*, vol. 65, no. 9, pp. 41-44.

