

PENGARUH WICK MESH SCREEN DAN SINTERING POWDER TERHADAP KINERJA HEAT PIPE

Nandy Putra, H. Rahman, Wayan Nata

Applied Heat Transfer Research Group Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok
Email: nandypyutra@eng.ui.ac.id, Haolia_rahman@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam beberapa penelitian terhadap heat pipe, unjuk kerja salah satunya dipengaruhi oleh kinerja wick. Penelitian ini membandingkan hambatan panas wick antara wick dengan struktur screen mesh 2 lapisan, 4 lapisan, 6 lapisan dan struktur sintered powder. Wick screen mesh terbuat dari kawat stainless steel 200 mesh dan sintered metal powder yang terbentuk dari tembaga serbuk 60 μm dengan temperatur sintering pada 560°C. Pengujian dilakukan pada heat pipe tembaga berdiameter 10 mm dan panjang 200 mm dengan fluida kerja air. Hambatan panas yang diukur melalui wick dengan variasi input daya melalui pemanas elektrik, dengan 5 titik pengukuran temperatur sepanjang heat pipe menggunakan thermocouple, menunjukkan bahwa hambatan panas pada screen mesh semakin kecil ketika jumlah lapisan wick diperbanyak dan hasilnya untuk tebal wick yang sama sintered wick mempunyai hambatan yang lebih kecil dibanding dengan wick screen mesh.

Kata kunci : *heat pipe, wick, sintered powder, screen mesh*.

I. Pendahuluan

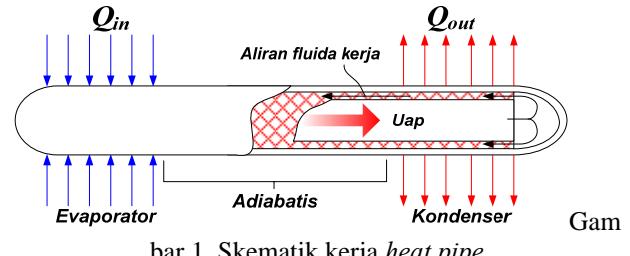
Pengembangan *heat pipe* pada aplikasinya di dunia industri saat ini di tujuhan untuk meningkatkan *heat flux* dan *heat transport*. Kinerja *wick* pada *heat pipe* diukur oleh maksimum *heat transport* dan hambatan panas effektif. Rata-rata *heat transport* ditentukan oleh daya kapilaritas yang ditentukan pula oleh struktur *wick*[1].

Pada penelitian ini, struktur *wick* dengan *screen mesh* dan *sintered powder* menjadi objek yang akan diteliti. Pada *screen mesh* daya kapilaritas terjadi dipengaruhi juga oleh banyaknya lapisan, besarnya *mesh* dan material *screen mesh* itu sendiri. Sedangkan pada *sintered metal powder* faktor penentu daya kapilaritas dapat dipengaruhi oleh besarnya diameter efektif pori, material *powder* dan tebal *wick*. Proses *sintered powder* itu sendiri merupakan pembentukan suatu padatan dengan menggunakan *metal powder* yang dipanaskan (*sintering*) sehingga diharapkan akan terbentuk suatu media berongga sebagai *wick* struktur.

Beberapa penelitian telah membandingkan effek dari jumlah lapisan dalam struktur *screen mesh* seperti yang dilakukan oleh R. Kempers, et al.[2] dengan *wick screen mesh* tembaga menyimpulkan bahwa semakin besar jumlah lapisan maka semakin kecil hambatan panasnya. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Xiao Huang dan George Franchi[3] yang mengabungkan *wick screen mesh* tembaga dan *sintered metal powder* tembaga dengan Nikel dalam satu struktur *wick*.

Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa distribusi pori yang seragam dapat meningkatkan konduktivitas panas dan rentang panas yang mampu di terima evaporator *heat pipe*.

Untuk itu struktur *wick* dalam *heat pipe* mampu memfasilitasi aliran cairan untuk mengalir dari kondenser menuju evaporator seperti yang digambarkan pada Gambar 1. Ketebalan lapisan *Wick* mempengaruhi keseimbangan aliran dua fase dalam *heat pipe* karena tekanan kapilaritas dalam *wick* dibutuhkan untuk memompa cairan disuatu ujung ke ujung lainnya[4].



Jika struktur *wick* mengantarkan cairan secara sempurna/merata, maka daya pompa kapilaritas dari sebuah pori-pori silinder dapat di tuliskan menggunakan persamaan *Young-Laplace* :

$$\Delta P_{c,max} = \frac{4\sigma}{d_{eff}}$$



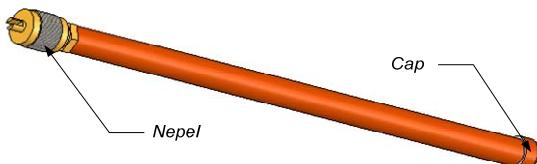
Dimana σ adalah tekanan permukaan dan d_{eff} adalah diameter efektif pori. Hambatan yang melewati lapisan *wick* dirumuskan sebagai :

$$R = \frac{T_e - T_o}{q_{in}}$$

Hambatan dalam $^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ merupakan kemampuan suatu material untuk menghambat atau menahan energi panas yang dirambatkan. T.W. Davis dan S.V. Garimella [5] mengamati hambatan panas dari struktur *wick sintered powder* tembaga dengan tebal 1.016 mm. Diperoleh nilai hambatan panas sebesar 0.01 $^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ dan koefisien perpindahan panas yang mampu dicapai adalah 128.000 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

2. Struktur Wick

Heat pipe yang diujikan terbuat dari pipa tembaga berdiameter luar 10 mm (3/8") dan berdiameter dalam 9,6 mm dengan panjang effektif 200 mm. Salah satu ujung *heat pipe* ditutup dengan cap yang dilas dengan elektrode perak yang sebelumnya pipa tersebut disisi dengan *wick* yang akan di teliti. Ujung yang lain dipasangkan katup nepel agar fluida kerja pada *heat pipe* dapat diamati. Katup tersebut rekatkan dengan dilas menggunakan elektrode perak seperti pada gambar 2. Pipa tertutup tersebut diberi tekanan udara dan di letakan dalam air untuk mendeteksi kebocoran.



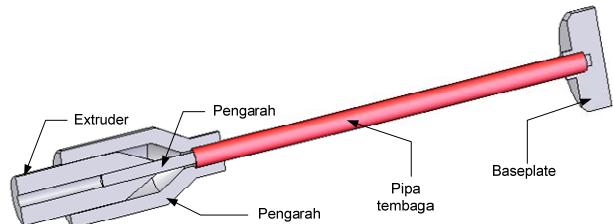
Gambar 2. konstruksi *heat pipe*.

Heat pipe dengan struktur *wick sintered metal powder* dibuat untuk menghasilkan media berongga[6]. Material penyusun utama berasal dari *powder* tembaga (*Cu*) 63 μm kemudian sebagai perekat *powder* tembaga digunakan *powder* Almunium (*Al*) 10 μm yang diameter butiran lebih kecil atau berukuran 15% dari *powder* yang akan dilekatkan.

Titik leleh *powder* utama harus lebih tinggi dari titik leleh *powder* tambahan. *Powder* tembaga dengan titik leleh 1080°C sedang *powder* almunium mempunyai

titik leleh 660°C. Jumlah *powder* almunium adalah 4% dari total volume campuran.

Setelah kedua *powder* tercampur, *powder* akan dimasukan kedalam cetakan. Cetakan dibuat dari material *stainless steel* yang terdiri dari bagian *base plate*, penyearah, extruder dan inti seperti pada gambar 3.



Gambar 3. cetakan pembuatan *sintered metal powder*

Temperatur leleh terendah dari kedua campuran adalah 660°C. Temperatur reaksi eutectic dari *powder* *Al* dan *Cu* berkisar 560°C[7]. Temperatur eutectic tersebut adalah temperatur dimana *powder* almunium akan mengikat *powder* tembaga. Pada kondisi tersebut material almunium belum meleleh namun sudah membentuk ikatan dengan material tembaga. Temperatur leleh cetakan dibutuhkan lebih tinggi dari material *wick* (*Al* dan *Cu*), karena mencegah mengikatnya atom-atom cetakan dengan material *wick*.

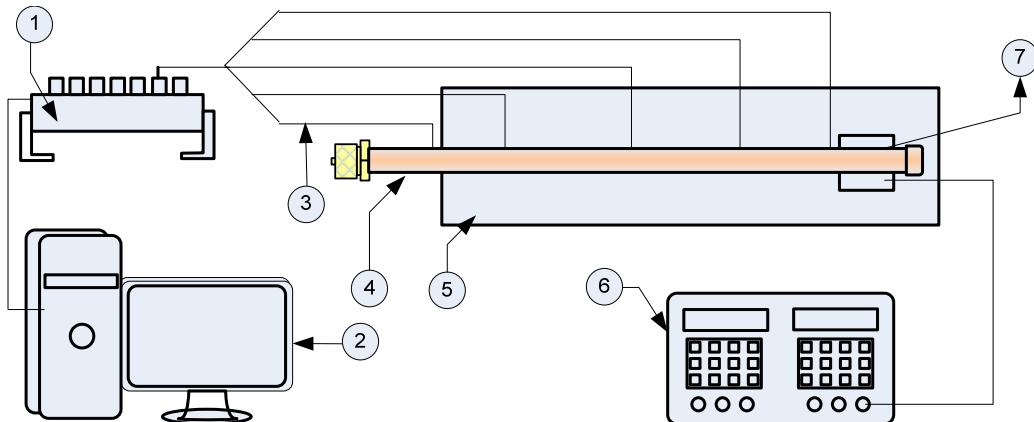
Pada struktur *wire screen mesh*, *screen* yang digunakan berdiameter kawat 5.65 μm beranyaman tunggal dengan jumlah anyaman 67.416 per mm. *Screen* terbuat dari kawat *stainless steel* dengan konduktivitas panas 40 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

3. Metodelogi Penelitian

Heat pipe di ujikan dengan fasilitas pegujian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Bagian yang dipanaskan pada evaporator sepanjang 20 mm menggunakan pemanas elektrik fleksibel yang terhubung langsung dengan power supply.

Area evaporator dan adiabatic diisolasi menggunakan *glasswool* kemudian di masukan dalam *polyurethane* berbentuk balok 220 x 20 x 20 mm, untuk memperkecil kehilangan panas.

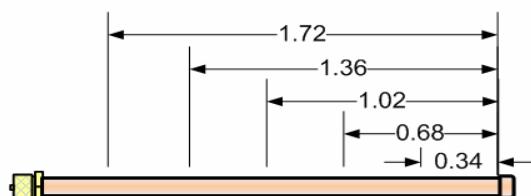




Gambar 4. Skematic pengujian *Heat pipe*

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1. <i>Data acquisition</i> | 4. <i>Heat pipe</i> |
| 2. CPU | 5. Isolator |
| 3. <i>Thermocouple</i> | 6. <i>Power supply</i> |

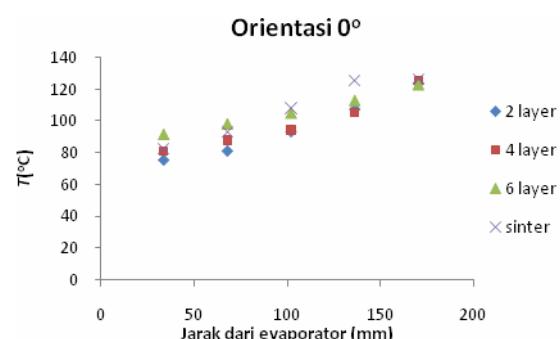
Heat pipe diukur dengan 5 buah *thermocouple* 0,5 mm tipe-K dengan posisi seperti pada gambar 4. Kemudian dihubungkan dengan *data acquisition* NI cDAQ-9172 dan modul NI9122. Data dari DAQ diolah menggunakan Lab View 8.5 untuk mendapatkan hasil perbandingan dalam bentuk grafik.



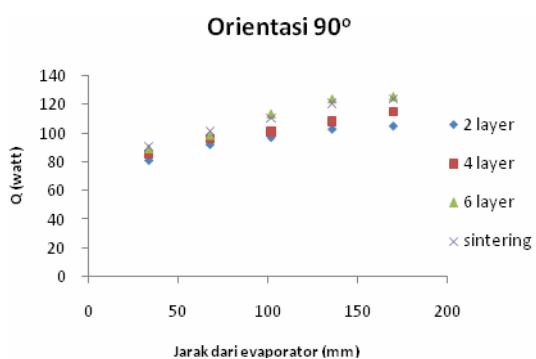
Gambar 5. posisi *thermocouple* pada *heat pipe*

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui karakteristik antara *wick sintering* dengan *wick screen mesh*. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada posisi *heat pipe* orientasi horizontal (0°), struktur *wick sintering* berada lebih tinggi temperaturnya ketika di evaporator. Namun perbedaan panas evaporator dengan condenser ($T_e - T_c$) lebih besar dari ketiga *heat pipe* dengan struktur *wick screen mesh*. Artinya dengan sumber panas q_{in} sebesar 4.8 Watt, hambatan panas untuk *wick sintering* lebih besar dari pada *screen mesh* pada kondisi *heat pipe* tidak mengalami elevasi.



Gambar 6. Grafik Perbedaan *screen mesh* dengan *sintering powder* pada 4.8 Watt dengan orientasi horizontal

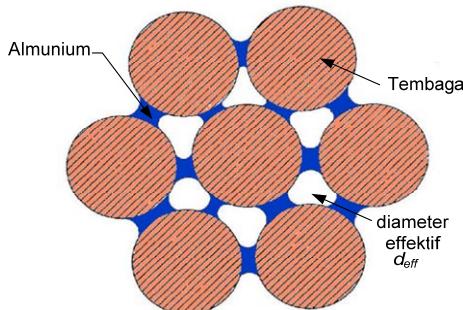


Gambar 7. Grafik perbedaan *screen mesh* dengan *sintering powder* pada 4.8 Watt dengan orientasi vertikal
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui struktur pori. Untuk mengukur kapilaritas maksimum (ΔP_c) diperlukan diameter effektif d_{eff} dan ketebalan *wick*[8]. Metode pembuatan struktur *wick sintered metal powder* pada penelitian ini terlihat pada gambar 8.



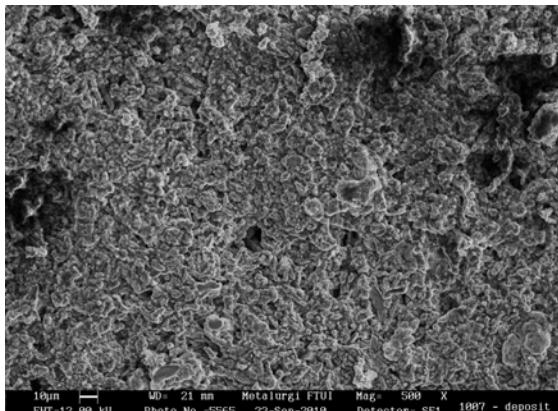
Diameter effektif pori tidak dapat diukur langsung karena bentuk pori tidak homogen. Secara teoritis diameter pori rata-rata $20,2 \mu\text{m}$, dengan asumsi bahwa seluruh *powder* tembaga berdiameter sama dan pemasukan yang optimal pada saat pencetakan *wick*. Sedangkan untuk ketebalan *wick* hasil proses *sintering* adalah 1,2 mm.

Dari ketebalan *wick* dapat diketahui jumlah poros secara teoritis yaitu sebanyak 14,4 untuk arah radial atau dari permukaan pipa tembaga hingga bagian dalam struktur *wick*.



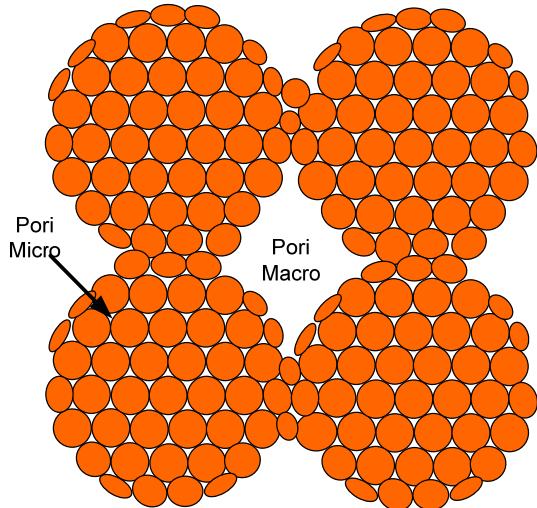
Gambar 8. Ilustrasi struktur *sintered metal powder*

Struktur pori pada *sintered powder metal* dapat terlihat pada gambar 9. Dapat diamati bahwa gambar tersebut bahwa pori yang ada terlihat tidak seragam. Ini dipengaruhi oleh bentuk butiran awal *powder Cu* dan besarnya kompaksi atau tekanan pada saat memasukan campuran *powder* pada cetakan.



Gambar 9. foto SEM *sintered powder* 500x pembesaran

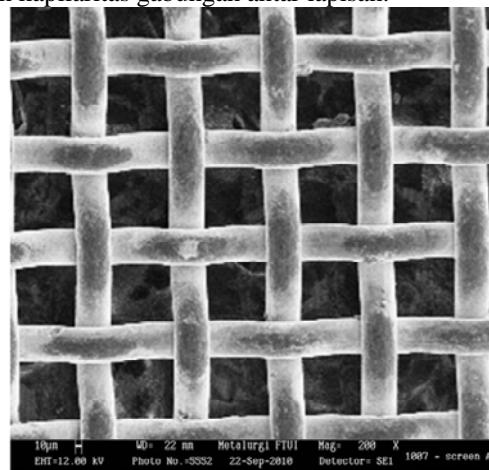
Pengaruh besarnya diameter effektif pori telah diteliti oleh X. L. Cao et al[9]. Pada penelitiannya tersebut, *bidisperse* *wick* atau *wick* yang terdiri dari pori-pori *macro* dan *micro* seperti pada gambar 10 mempunyai perpindahan kalor dan *critical heat flux* lebih tinggi, dibandingkan dengan monodisperses *wick* atau *wick* dengan pori-pori *macro* saja.



Gambar 10. Wick dengan Pori *Macro* dan *Micro*

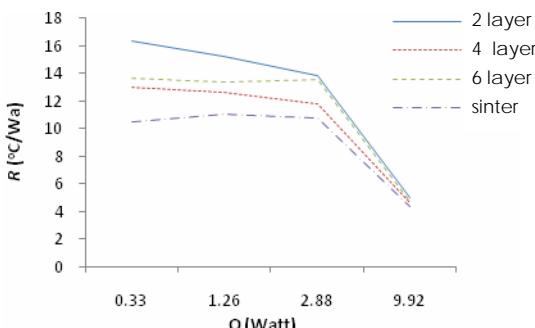
Struktur *wick screen mesh* pada gambar 9 setelah di foto SEM, besarnya lubang dapat dianalogikan sebagai diameter effektif pori effektif d_{eff} . Besarnya lubang *screen mesh* adalah $100 \mu\text{m}$. Pada *screen mesh* tidak dapat dipastikan bahwa jumlah lapisan adalah dua kali tebal kawat *screen mesh*. Adanya gaya untuk mengembang serta tidak meratanya perakitan *screen mesh* mengakibatkan lapisan tidak merekat dengan lapisan yang lain. Sehingga dilakukan pengukuran kembali ketebalan lapisan setelah di masukan kedalam pipa tembaga.

Untuk *wick screen mesh* 2 lapisan, 4 lapisan, 6 lapisan tebal lapisan *wick* adalah $0,9 \text{ mm}$, $1,6 \text{ mm}$ dan $2,4 \text{ mm}$. Jika diamati besarnya celah diantara lapisan adalah 97 %. Celah yang terlalu besar mengakibatkan berkurangnya kapilaritas *wick* karena perhitungan kapilaritas *screen mesh* menjadi kapilaritas per lapisan bukan kapilaritas gabungan antar lapisan.



Gambar 9. *Screen wire mesh* 200 x pembesaran





Grafik 3. Hambatan panas *heat pipe* pada orientasi horizontal

Untuk menggambarkan hambatan panas dari *heat pipe* yang di uji dapat dilihat dari gambar 12. *Heat pipe* dengan struktur *wick sintered metal powder* mempunyai hambatan lebih sedikit. Material penyusun dari *wick* mempengaruhi hambatan panas *heat pipe*. Pada *wick mesh screen* material penyusun adalah *stainless steel* dengan konduktivitas panas $k = 40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Sedangkan pada *sintered metal powder* dapat dikatakan bahwa konduktivitas panas struktur *wick* adalah konduktivitas panas tembaga sebesar $k = 401 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Dari perbedaan konduktivitas panas struktur *wick wire screen mesh* mempunyai hambatan panas lebih besar 10 kali jika dianggap mempunyai luas dan panjang effektif yang sama. Selain itu ada kapilaritas yang mempengaruhi hambatan panas pada *heat pipe*.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini *heat pipe* dengan struktur *wick screen mesh* disimpulkan bahwa semakin banyak lapisan mesh maka semakin kecil tahanan panasnya semakin baik kinerjanya. Pada struktur *wick sintered metal powder*, semakin tebal *wick* yang digunakan semakin kecil hamaan panasnya. Selain itu keseragaman pori dan ukuran pori yang lebih kecil mampu meningkatkan kapilaritas yang berhubungan langsung dengan kecilnya hambatan panasnya.

Ucapan terima kasih :

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM UI atas dukungan dana melalui hibah pasca sarjana 2010.

Refference :

- [1]. A. Faghri, Heat Pipe Science and Technology, Taylor & Francis, Washington, DC, 1995.
- [2]. R. Kempers, et al, *Effect of number of mesh lapisans and fluid loading on the performance of screen mesh wicked heat pipes*, journal of Applied Thermal Engineering 26 (2006) 589–595.

- [3]. Xiao Huang dan George Franchi, *Design and fabrication of hybrid bi-modal wick structure for heat pipe application*, Springer, 15:635-64, 2008.
- [4]. S.W. Chi, *Heat Pipe Theory and Practice: Sourcebook* (McGraw-Hill Book Company, New York, NY, 1976
- [5]. T. W. Davis, S.V. Garimella, *Thermal Resistance Measurement across a Wick Structure Using a Novel Thermosyphon Chamber*, Taylor & Fancis, 21:2, 143-254, 2006.
- [6]. A. Faghri, *Heat Pipe Science and Technology* (Taylor and Francis, Washington, USA, 1995)
- [7]. Chuen-Shu Hou, *Methode for making wick struktture of Heat pipe and powder for making the same*. Patent number US 7,637,982 B2.
- [8]. B. Holley, A. Faghri, *Permeability and effective pore radius measurements for heat pipe and fuel cell application*, journal of Applied Thermal Engineering 26 (2006) 448–462.
- [9]. X. L. Cao, P. Cheng, t.s. Zhao, *Experimental study of evaporating heat transfer in sintered copper bidispered wick structures*. Journal of thermophysics and heat transfer Vol 16 No. 4, 2002.



*Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9
Palembang, 13-15 Oktober 2010*



ISBN: 978-602-97742-0-7

MI-172