

Pengaruh Tebal Isolasi Termal Terhadap Efektivitas *Plate Heat Exchanger*

Ekadewi Anggraini Handoyo

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Dalam suatu *heat exchanger* selalu terjadi perpindahan panas ke atau dari lingkungan yang tidak diharapkan. Untuk mengurangi perpindahan panas ini digunakan isolator termal. Efektivitas *heat exchanger* akan meningkat jika panas yang hilang ke atau dari lingkungan dapat dikurangi. Secara teoritis untuk *heat exchanger* berbentuk kotak semakin tebal isolator termal yang digunakan semakin kecil panas mengalir ke atau dari lingkungan.

Dalam penelitian ini dicari pengaruh ketebalan isolator termal terhadap efektivitas suatu *plate heat exchanger*. Percobaan dilakukan untuk 2 jenis isolator, yaitu *glasswool* dan *rockwool*. Hasil yang didapat adalah efektivitas akan meningkat sampai harga tertentu dan kemudian akan berkurang dengan penambahan ketebalan isolator termal.

Kata kunci: isolator termal, efektivitas, *plate heat exchanger*.

Abstract

In a heat exchanger, there is heat transferred either from the surrounding or to the surrounding, which is not expected. A thermal insulator is used to reduce this heat transfer. The effectiveness of a heat exchanger will increase if the heat loss to surrounding can be reduced. Theoretically, the thicker the insulator the smaller the heat loss in a plate heat exchanger.

A research is carried on to study the effect of an insulator thickness on heat exchanger effectiveness. The insulators used are glasswool and rockwool. It turns out that the effectiveness is increasing until a maximum point, and then decreasing when the thickness of the insulator is increasing.

Keywords: thermal insulator, effectiveness, *plate heat exchanger*.

1. Pendahuluan

Heat exchanger merupakan alat yang digunakan untuk proses perpindahan panas antara dua atau lebih fluida yang berbeda temperaturnya. Di dalam *heat exchanger* terjadi perpindahan panas dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida lain yang temperaturnya lebih rendah. Di samping itu juga terjadi perpindahan panas ke atau dari lingkungan. Perpindahan panas ke atau dari lingkungan umumnya tidak diharapkan terjadi karena akan mengurangi efektivitas *heat exchanger*. Untuk mengurangi besar perpindahan panas ini, suatu *heat exchanger* dilengkapi dengan isolator termal.

Pada suatu *heat exchanger* yang berbentuk silinder dikenal tebal isolator kritis. Pada ketebalan kritis tersebut, perpindahan panas

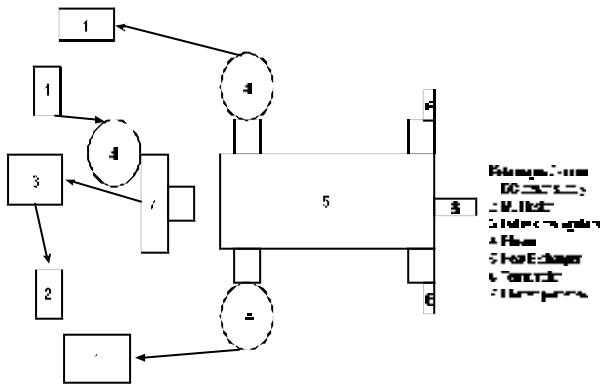
dari atau ke lingkungan yang terjadi adalah maksimum. Sedang pada *heat exchanger* yang berbentuk kotak tidak dijumpai adanya tebal isolator kritis. Hal ini berarti secara teori semakin tebal isolator yang digunakan semakin kecil perpindahan panas ke atau dari lingkungan. Maka, pertimbangan dalam menentukan tebal isolator yang digunakan adalah faktor biaya. Semakin tebal isolator yang digunakan berarti semakin besar biaya yang harus disediakan.

Meskipun tidak dijumpai tebal isolator kritis pada *heat exchanger* yang berbentuk kotak, namun diduga perpindahan panas ke atau dari lingkungan tidak akan linier terhadap ketebalan isolator. Karena itu, dilakukan penelitian pada suatu *plate heat exchanger* (berbentuk kotak) untuk mengetahui bagaimana pengaruh ketebalan isolator terhadap efektivitas *heat exchanger*.

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 3 Nomor 1 April 2001.

2. Teori Dasar

Perpindahan panas terjadi oleh karena adanya perbedaan temperatur, dimana panas mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur lebih rendah. Perpindahan panas terjadi dengan tiga cara yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi dapat didefinisikan sebagai perpindahan panas yang terjadi melalui medium yang diam, misalnya perpindahan panas di dalam benda padat. Sedang konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan dengan fluida yang bergerak karena adanya gradien temperatur yang disebabkan perbedaan rapat massa, misalnya dari plat ke udara. Radiasi didefinisikan sebagai perpindahan panas antara dua benda lewat pancaran gelombang elektromagnetik dan tidak membutuhkan medium perantara, misalnya panas dari sinar matahari yang sampai ke bumi. Dalam kenyataan, perpindahan panas yang terjadi merupakan gabungan antara ketiganya.



Gambar 1. Distribusi Temperatur pada Bidang Datar

Pada bidang datar yang terdiri dari beberapa bahan (*composite wall*) seperti pada Gambar 1, besar perpindahan panas dari fluida yang mengalir di sebelah kiri ke fluida yang mengalir di sebelah kanan adalah:

$$q = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \frac{L_C}{k_C A} + \frac{1}{h_4 A}} \quad (1)$$

Pada gambar di atas, bidang B atau C dapat berupa isolator termal. Semakin tebal isolator yang digunakan maka semakin besar L_B atau L_C . Dari persamaan (1) di atas terlihat bahwa semakin besar L_B atau L_C , maka panas yang hilang dari fluida di kiri ke lingkungan (fluida di kanan), q , akan semakin kecil.

Menurut Incropera dan Dewitt (1981), efektivitas suatu *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* tersebut.

$$\dot{a} = \frac{\text{perpindahan panas yang diharapkan}}{\text{perpindahan panas maksimum yang mungkin}}$$

Perpindahan panas yang diharapkan dalam penelitian ini adalah perpindahan panas yang diterima udara dingin:

$$Q_{\text{udara dingin}} = (m \cdot c_p)_{\text{udara dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2)$$

Sedang perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* ditentukan sebagai berikut:

- Jika $(m \cdot c_p)_{\text{udara dingin}} > (m \cdot c_p)_{\text{udara panas}}$, maka

$$Q_{\text{max}} = (m \cdot c_p)_{\text{udara panas}} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (3)$$

- Jika $(m \cdot c_p)_{\text{udara dingin}} < (m \cdot c_p)_{\text{udara panas}}$, maka

$$Q_{\text{max}} = (m \cdot c_p)_{\text{udara dingin}} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (4)$$

Perpindahan panas maksimum mungkin terjadi bila salah satu fluida mengalami perbedaan suhu sebesar beda suhu maksimum yang terdapat dalam *heat exchanger* tersebut, yaitu selisih antara suhu masuk fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang mungkin mengalami perbedaan suhu maksimum ini ialah fluida yang mempunyai nilai kapasitas panas ($m \cdot c_p$) minimum.

Dengan demikian efektivitas *heat exchanger* dalam penelitian ini adalah:

$$\dot{a} = \frac{(m \cdot c_p)_{\text{udara dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i})}{(m \cdot c_p)_{\text{min}} (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (5)$$

Pada penelitian ini, laju aliran massa udara panas dibuat sama dengan laju aliran massa udara dingin. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh laju aliran massa dalam perpindahan panas antara udara panas dan udara dingin, mengingat panas jenis (c_p) udara panas hampir sama dengan panas jenis udara dingin. Dengan membuat laju aliran massa keduanya sama, kenaikan atau penurunan suhu benar-benar disebabkan perpindahan panas di antaranya.

Laju aliran massa dapat ditentukan dengan mengetahui kecepatan dan kerapatan fluida serta luas penampang aliran, yaitu:

$$m = \rho \cdot \tilde{v} \cdot A \quad (6)$$

3. Alat Percobaan

▪ Heat exchanger yang diuji:

Tipe *plate heat exchanger* skala kecil dengan konstruksi seperti pada Gambar 2. *Heat exchanger* ini dirancang dengan batasan:

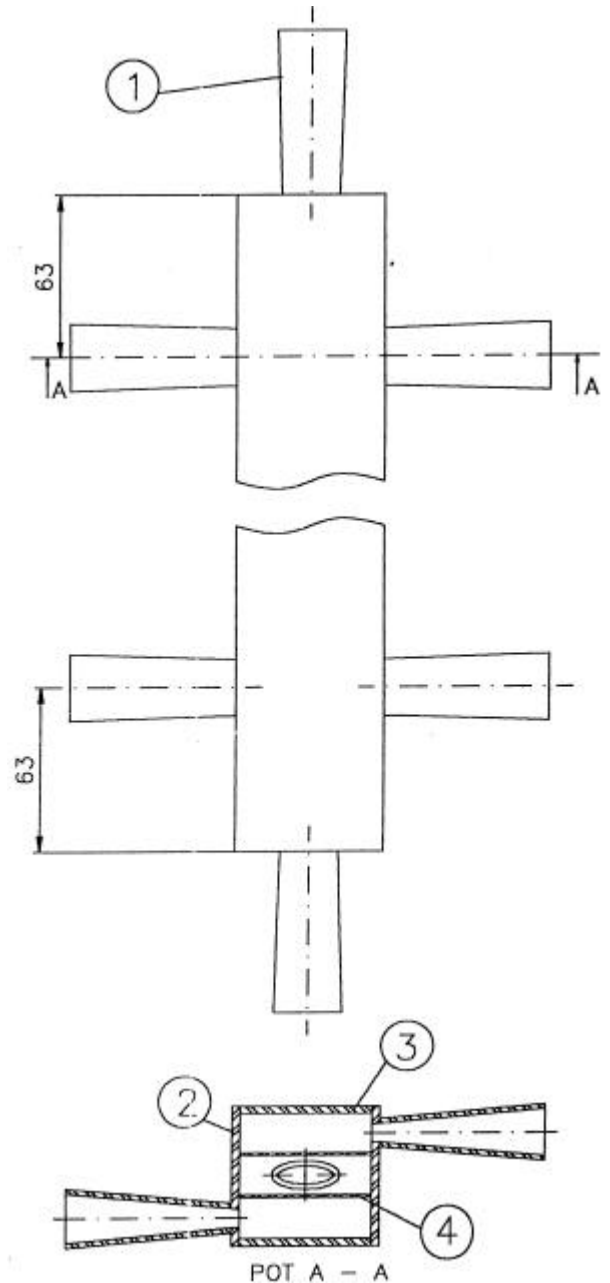
- Kerangka luar terbuat dari besi dengan tebal 3 mm.
- Plat yang digunakan aluminium dengan tebal 1 mm..
- Penampang tempat aliran udara panas dan dingin: lebar 50 mm, tinggi 15 mm.
- Dimensi *heat exchanger*: lebar 56 mm, tinggi 53 cm.
- Temperatur udara panas masuk, $T_{h,i} = 110^{\circ}\text{C}$
- Temperatur udara dingin masuk, $T_{c,i} = 27^{\circ}\text{C}$
- Kondisi udara sekitar: temperatur, $T_{\infty} = 27^{\circ}\text{C}$
- Udara dingin diasumsikan keluar pada temperatur, $T_{c,o} = 39^{\circ}\text{C}$
- Dari perhitungan yang dilakukan oleh Edymin (1999), panjang *heat exchanger* adalah 60 cm.

▪ Isolator termal yang dipakai:

- Glasswool tipe INS 1625 dengan ketebalan: 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm.
- Rockwool tipe M.G. Mighty Roll dengan ketebalan: 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm.

▪ Peralatan lain:

- 3 buah *blower* Nidec Gamma 32, model D12F-24PLMCIX (*Nippon Denso Corporation*), 2 untuk mengalirkan udara dingin dan 1 untuk udara panas.
- 1 buah elemen pemanas 667 Watt (AC) untuk menghasilkan udara panas 110°C .
- 3 buah *DC Regulator Power Supply* 30V untuk mengatur tegangan input ke *blower* sehingga kecepatan aliran udara masuk *heat exchanger* dapat dijaga konstan.
- 1 buah *Deluxe Slide Regulator* 1000 Watt untuk mengatur tegangan input ke elemen pemanas sehingga temperatur udara panas masuk *heat exchanger* dapat dijaga konstan.
- 2 buah *thermocouple* atau *thermometer* untuk mengukur temperatur udara dingin dan udara panas saat keluar dari *heat exchanger*.
- 1 buah *velometer* tipe ALNOR untuk mengukur kecepatan aliran udara panas dan udara dingin.
- 1 buah *Multimeter* untuk mengukur tegangan input ke *blower*.



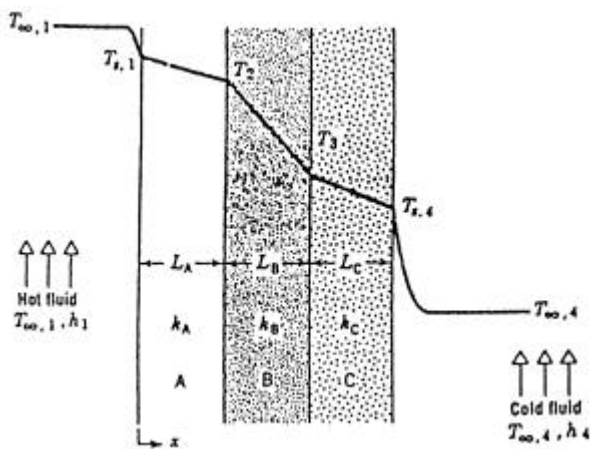
Gambar 2. Konstruksi *Plate Heat Exchanger*

4. Prosedur Percobaan

- Membungkus *heat exchanger* dengan isolator termal.
- Mengatur DC regulator pada tegangan tertentu, kemudian dihubungkan ke *blower* yang dihubungkan dengan elemen pemanas, sehingga *blower* menghasilkan udara dengan kecepatan tertentu.
- Mengatur AC regulator pada tegangan tertentu sehingga udara panas keluar elemen pemanas pada temperatur 110°C .
- Mengukur temperatur udara yang keluar dari elemen pemanas dengan *thermocouple*.

- Setelah temperatur udara panas mencapai harga yang ditentukan yaitu 110°C, blower dihubungkan dengan heat exchanger.
- Mengatur DC regulator pada tegangan tertentu dan dihubungkan dengan blower untuk menghasilkan udara dengan suhu 27°C yang mengalir dengan kecepatan tertentu.
- Mengatur peralatan seperti pada Gambar 3.
- Memasang thermocouple pada ujung keluaran udara panas dan udara dingin pada heat exchanger.
- Menunggu sampai temperatur udara panas dan udara dingin keluar dari heat exchanger pada harga konstan.
- Mencatat temperatur keluar udara panas dan udara dingin.
- Mematikan elemen pemanas dan mengeluarkannya dari heat exchanger.
- Menunggu heat exchanger menjadi 'dingin' dan kembali ke kondisi semula
- Mengulangi percobaan untuk kecepatan yang berbeda.

Percobaan dilakukan 2 kali masing-masing untuk isolator glasswool dan rockwool.

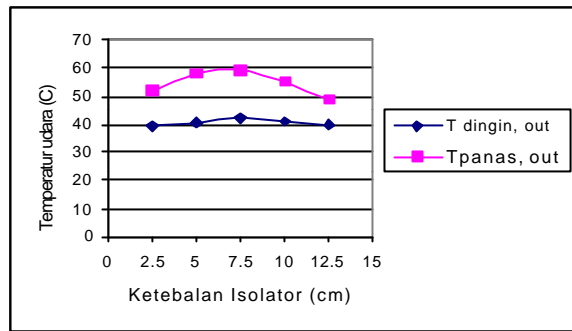


Gambar 3. Susunan Percobaan pada Plate Heat Exchanger

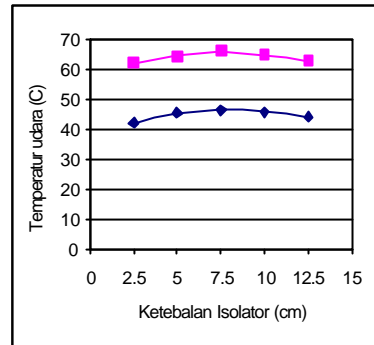
5. Hasil Percobaan dan Analisa

A. Isolator glasswool, ketebalan: 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, dan 12,5 cm.

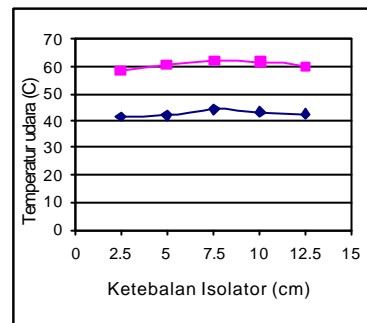
Dengan mengatur agar temperatur udara dingin masuk heat exchanger pada 27°C dan udara panas masuk pada 110°C, didapat data seperti pada Gambar 4 di bawah.



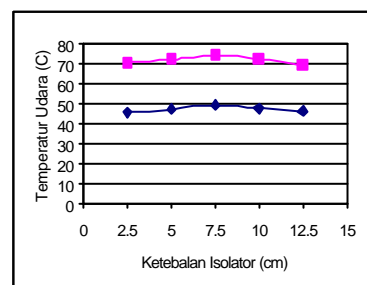
(a)



(b)



(c)

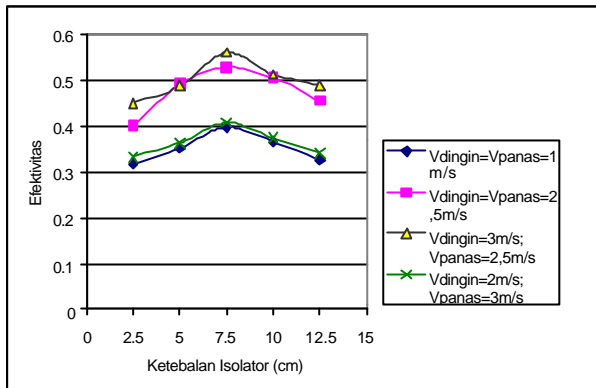


(d)

Gambar 4. Data Rata-rata Hasil Percobaan dengan Isolator Glasswool:

- Kecepatan udara panas = kecepatan udara dingin = 1 m/s
- Kecepatan udara panas = kecepatan udara dingin = 2,5 m/s
- Kecepatan udara panas = 2,5 m/s; kecepatan udara dingin = 3 m/s
- Kecepatan udara panas = 3 m/s; kecepatan udara dingin = 2 m/s

Dari data di atas, dengan menggunakan persamaan (5) dapat dicari efektivitas *heat exchanger* seperti pada Gambar 5.

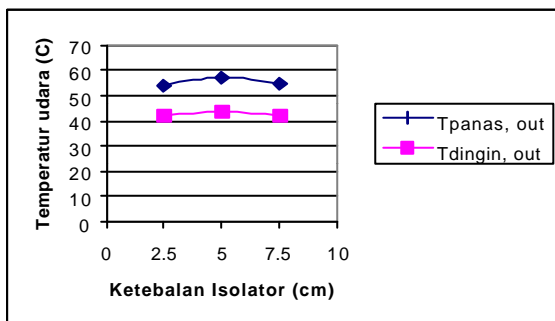


Gambar 5. Efektivitas *Heat Exchanger* dengan Isolator *Glasswool*.

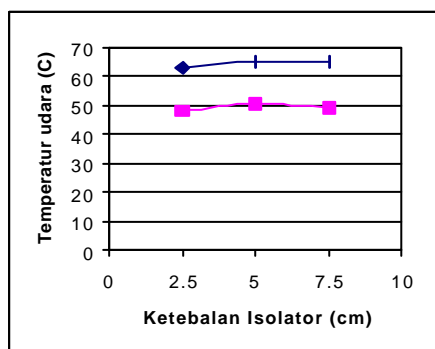
B. Isolator *rockwool*, ketebalan 2,5 cm, 5 cm, dan 7,5 cm.

Karena *rockwool* lebih padat dibanding *glasswool*, maka variasi ketebalan yang bisa dicoba hanya 3 macam, yaitu 2,5 cm, 5 cm, dan 7,5 cm.

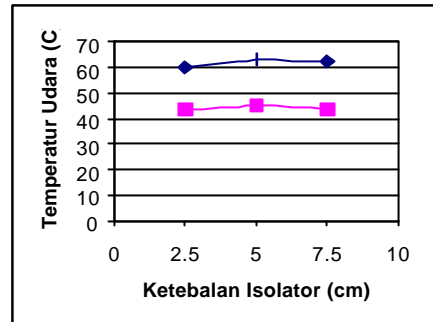
Dengan kondisi yang sama, yaitu temperatur udara dingin masuk *heat exchanger* pada 27°C dan udara panas masuk pada 110°C, didapat data hasil percobaan rata-rata seperti pada Gambar 6 di bawah.



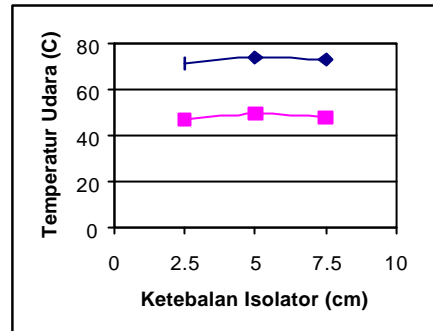
(a)



(b)



(c)

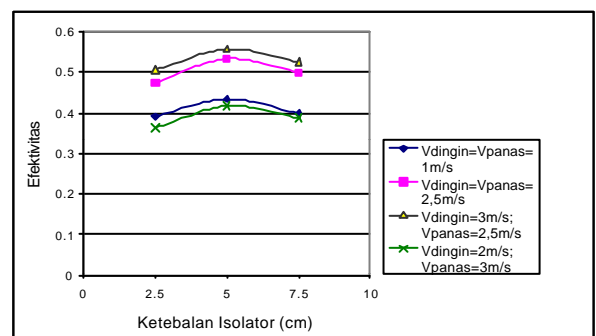


(d)

Gambar 6. Data Rata-rata Hasil Percobaan dengan Isolator *Rockwool*:

- Kecepatan udara panas = kecepatan udara dingin = 1 m/s
- Kecepatan udara panas = kecepatan udara dingin = 2,5 m/s
- Kecepatan udara panas = 2,5 m/s; kecepatan udara dingin = 3 m/s
- Kecepatan udara panas = 3 m/s; kecepatan udara dingin = 2 m/s

Dengan menggunakan persamaan (5) dapat dicari efektivitas *heat exchanger* jika isolator yang digunakan *rockwool* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Efektivitas *Heat Exchanger* dengan Isolator *Rockwool*.

Dari Gambar 4 dan Gambar 6 di atas dapat dilihat bahwa temperatur keluar udara dingin maupun udara panas meningkat seiring dengan

kenaikan kecepatan udara panas dan dingin. Hal ini bersesuaian dengan teori yang menyatakan bahwa kecepatan aliran yang tinggi membuat bilangan Reynold meningkat. Kenaikan bilangan Reynold membuat bilangan Nusselt meningkat dan hal ini membuat koefisien perpindahan panas konveksi meningkat. Kenaikan koefisien konveksi membuat perpindahan panas di antara udara panas dan dingin semakin baik, dimana hal ini teramati melalui kenaikan temperatur.

Dari Gambar 5 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa efektivitas *heat exchanger* meningkat dengan bertambahnya ketebalan isolator termal yang dipakai, baik dengan *glasswool* maupun *rockwool*. Namun, peningkatan tersebut tidak terjadi terus. Setelah mencapai efektivitas maksimum, meskipun tebal isolator ditambah efektivitas menurun. Hal ini menunjukkan bahwa ada ketebalan isolator termal yang optimum untuk suatu *heat exchanger*. Dari penelitian yang dilakukan, didapat bahwa untuk isolator *glasswool*, ketebalan optimum untuk *plate heat exchanger* yang dipakai adalah 7,5 cm. Sedang untuk isolator *rockwool*, ketebalan optimum adalah 5 cm.

Dari Gambar 5 dan Gambar 7 untuk kecepatan udara masuk yang sama (misal $V_{\text{panas}} = V_{\text{dingin}} = 1 \text{ m/s}$ atau $2,5 \text{ m/s}$) didapat bahwa untuk ketebalan yang sama, efektivitas *heat exchanger* yang diberi isolator termal *rockwool* lebih tinggi dibanding yang diberi isolator termal *glasswool*. Misal saat $V_{\text{panas}} = V_{\text{dingin}} = 1 \text{ m/s}$, untuk ketebalan 5 cm, efektivitas dengan *glasswool* = 0,3508 sedang efektivitas dengan *rockwool* = 0,434. Kemungkinan hal ini karena *rockwool* lebih padat, dimana kerapatannya 60 kg/m^3 , dibanding *glasswool* yang mempunyai kerapatan 16 kg/m^3 .

6. Kesimpulan

- Efektivitas *plate heat exchanger* meningkat jika ketebalan isolator termal bertambah hingga suatu harga maksimum dan kemudian akan berkurang.
- Efektivitas *plate heat exchanger* dengan isolator *rockwool* lebih tinggi dibanding dengan isolator *glasswool* untuk ketebalan yang sama.

Daftar Pustaka

1. Edymin, *Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Masuk Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Plat Paralel*, Tugas Akhir no. 99.54.352, Jurusan Teknik Mesin UK Petra, 1999
2. Alamsyah, A., *Pengaruh Tebal Isolasi Terhadap Efektivitas Heat exchanger Model Plat Paralel dan Tabung Konsentris*, Tugas Akhir no. 99.54.353, Jurusan Teknik Mesin UK Petra, 1999
3. Cengel, Y.A., *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*, New York: McGraw Hill, 1997.
4. Incropera, F.P. and D.P. DeWitt, *Fundamentals of Heat Transfer*, New York: John Wiley & Sons, 1981.