

## **Analisis Design Alat Evaporator Instalasi Pengkondisian Udara Ruangan Bangunan Perkantoran**

Chandrasa Soekardi, Djoko Binangun  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta  
Email: [csoekardi@gmail.com](mailto:csoekardi@gmail.com)

### **ABSTRACT**

*In this paper a thermal design analysis for a shell & tube evaporator has been carried out with main objective is to estimate the minimum heat transfer area required for a given heat duty. Various design variables such as tube diameter, pitch ratio, tube layout, and excess area are considered. Simultaneous optimization of these variables was tried and 16 design configurations have been experimented. The effect of the design variables and its constraints on the number of tubes and shell diameters are discussed. The results showed that tube diameter produces a higher influence on the number of tubes than excess area, but the influence of pitch ratio and tube layout was relatively not significant. The best design conditions for the evaporator will be with tube diameter 5/8 inch, tube layout 30°, pitch ratio 1.25, excess area 35% and offered 123 tubes.*

*Keywords : shell & tube evaporator, heat transfer area, heat duty, tube diameter, pitch ratio, tube layout, excess area, number of tubes, shell diameter*

### **PENDAHULUAN**

Saat ini konsumsi energi di Indonesia telah demikian tinggi dimana secara umum tiga sektor utama yang merupakan pengonsumsi energi terbesar adalah: sektor energi (39 %), transportasi (40 %) dan bangunan komersial dan rumah tangga (27 %). Sumber – sumber energi yang biasa dipergunakan bagi ke tiga sektor utama tersebut adalah : minyak bumi (BBM) sekitar (49,7 %), gas (20,1 %), batu bara (24,5 %), dan energi baru dan terbarukan masih sekitar (5,7 %). Oleh karena itu salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memberikan kontribusi pada peningkatan efisiensi penggunaan energi pada sistem-sistem tersebut adalah dengan melakukan perancangan pada komponen-komponen utama tersebut agar desain dan performancenya menjadi lebih optimal.

Di sektor bangunan komersial dan bangunan rumah tangga, pengonsumsi energi terbesar atau signifikan adalah instalasi system pengkondisian udara dan mesin-mesin pendingin. Efisiensi pemakaian energi pada sistem dan mesin tersebut sangat bergantung kepada kinerja komponen-komponen utama yang ada pada sistem dan mesin tersebut, yaitu efektifitas pertukaran energy panas di dalam alat evaporator dan kondensornya. Efektifitas perpindahan energy panas yang tinggi di dalam peralatan jenis tersebut dapat diperoleh melalui rangkaian kegiatan perancangan yang menjadi udara terkondisikan yang selanjutnya di distribusikan keruangan-ruangan pada bangunan komersial berlantai delapan.

Dalam hal desain komponen utama tersebut, permasalahannya adalah bagaimana para perancang dapat melakukan upaya secara efektif

dan efisien untuk membuat dimensi dan geometri komponen utama yang seoptimal mungkin sehingga pada saat terpasang pada instalasi sistem pengkondisian udara dan mesin pendingin dan alat tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsinya secara efektif dan efisien.

Dalam studi ini, sebagai objek studi adalah sebuah alat evaporator jenis shell & tube yang merupakan komponen pokok sistem pengkondisian udara, di mana aliran fluida refrigerant mendinginkan aliran fluida air yang kemudian mengalir secara kontinu mendinginkan alat koil pendingin. Alat tersebut merupakan komponen utama pendingin aliran udara

Sebagai fluida kerja pendingin pada alat evaporator tersebut refrigerat propan (R290) yang di dalam evaporator dialirkan ke dalam bagian shell. Sedangkan aliran air dialirkan ke bagian pipa-pipanya. Pada kebanyakan sistem pengkondisian udara yang dipergunakan pada bangunan komersial sejenis refrigerant yang biasa dipergunakan adalah refrigerant sintetis. Penggunaan jenis refrigerant seperti itu memberikan dampak negative yaitu merupakan salah satu penyumbang peningkatan efek rumah kaca yang mengakibatkan fenomena pemanasan global. Dalam rangka berkontribusi terhadap upaya penurunan dampak negative tersebut maka dalam penelitian ini dipergunakan refrigerant non sintetis yang lebih ramah lingkungan seperti refrigerant propane (R290).

Permasalahan yang menjadi objek kajian pada studi ini adalah seberapa besar pengaruh faktor ukuran pipa, jarak antar pipa, dan jenis susunan pipa terhadap dimensi dan geometri alat evaporator yang harus dirancang bila menggunakan

refrigerant propane (R290) dan kombinasi faktor faktor tersebut seperti apa yang dapat menghasilkan dimensi utama alat evaporator yang paling optimal

Berdasarkan uraian dan rumusan masalah tersebut di atas maka tujuan utama penelitian ini adalah mempelajari seberapa besar pengaruh faktor ukuran pipa, jarak antar pipa, dan jenis susunan pipa terhadap dimensi dan geometri alat evaporator yang harus dirancang bila menggunakan refrigerant propane (R290) dan mengidentifikasi kombinasi faktor-faktor tersebut seperti apa yang dapat menghasilkan dimensi utama alat evaporator yang paling optimal

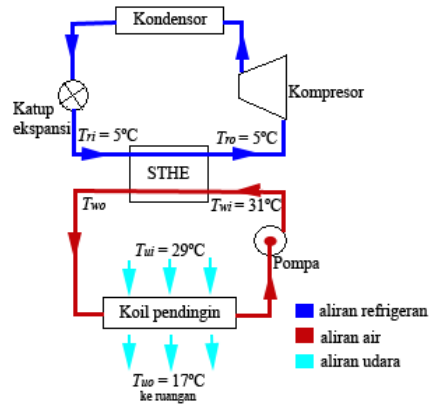
**METODOLOGI PENELITIAN**

Seperti pada umumnya alat penukar kalor, tujuan utama perhitungan perancangan sebuah alat evaporator adalah menentukan dimensi utama dan geometri alat tersebut sesuai dengan beban termal dan batasan-batasan design yang ditentukan. Dimensi utamanya biasanya diwakili oleh besaran luas permukaan perpindahan panas yang diperlukan untuk memenuhi beban termal dan kondisi aliran fluida yang telah ditentukan. Bagi alat evaporator berjenis shell & tube, luas permukaan perpindahan panasnya merupakan fungsi dari ukuran pipa, panjang pipa, jumlah pipa, jumlah lintasan pipa, jarak antar pipa, bentuk susunan pipa, dan diameter bagian shellnya.

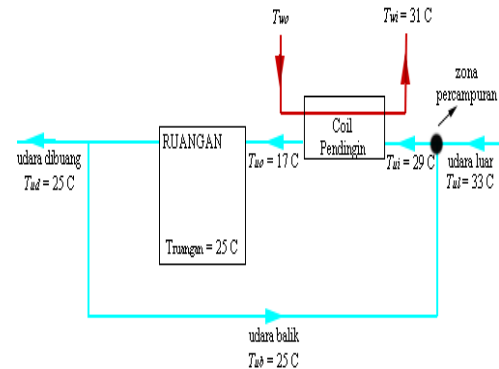
Alat evaporator jenis *shell and tube* (STHE) yang menjadi objek studi menggunakan fluida kerja refrigerant propane R290 yang kemudian menyerap energy panas dari aliran air pendingin yang berasal dari panas udara ruangan yang terlebih dahulu diserap oleh air pendingin di koil pendingin (Gambar 1 dan Gambar 2).

Tahapan perhitungan perancangan alat evaporator yang menjadi objek studi di sini adalah sebagai berikut:

- Temperatur udara masuk koil pendingin adalah 29 °C, temperatur udara keluar koil pendingin 17 °C, dan debit alirannya 16,89 m<sup>3</sup>/s. Temperatur aliran air yang masuk ke evaporator 31 °C, laju alirannya 40 kg/s. Temperatur refrigeran pada evaporator 5 °C.
- Setelah sifat-sifat fluida udara, air, dan refrigeran dievaluasi menurut temperature rata-ratanya, kemudian dilakukan perhitungan balans energi panas, laju alir massa refrigeran, dan beda temperatur rata-rata logaritmik sebenarnya yang terjadi pada alat Evaporator.



Gambar 1. Skema sederhana Instalasi pendingin udara ruangan menggunakan evaporator jenis *shell and tube*



Gambar 2. Skema sederhana diagram aliran udara pendingin ruangan

- Selanjutnya, dengan memilih harga kelebihan dimensi ( $A_f/A_c$ ) tertentu, dan besarnya tahanan termal masing-masing fluida kerja di dalam dan luar pipa, dilakukan perhitungan koefisien perpindahan panas global pada kondisi bersih, dan koefisien perpindahan panas global dengan memperhitungkan lapisan *fouling*.
- Setelah itu, dengan batasan beban termal yang telah ditentukan di bagian awal, dan beda temperature rata-rata, serta koefisien perpindahan panas globalnya, dilakukan perhitungan luas permukaan perpindahan panas yang diperlukan bagi keperluan alat tersebut di atas.
- Selanjutnya, dilakukan perhitungan diameter shell dan banyaknya tube yang harus dipasang di dalam bagian shell. Kedua parameter tersebut, untuk panjang pipa dan jumlah lintasan tertentu, merupakan fungsi dari: luas permukaan total, diameter tube, jarak antar tube, bentuk dan susunan pipa.
- Kemudian, untuk keperluan optimasi design dipilih batasan perancangan di mana variable bebasnya adalah: ukuran pipa 3/8” dan 5/8”, jarak antar pipa 1,25 dan 1,50 bentuk susunan

pipa 30° dan 45°, Excess area design 25% dan 35%. Tujuan utamanya adalah mempelajari seberapa besar pengaruh masing-masing factor tersebut terhadap dimensi utama alat hasil design dan kombinasi seperti apa dari variable-variable tersebut yang dapat memberikan hasil yang paling optimal.

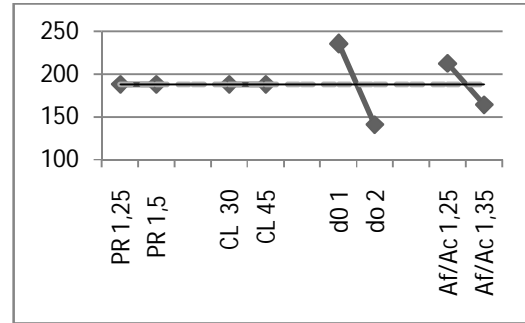
- Selanjutnya, untuk satu kombinasi dari masing-masing variable tersebut di atas, dilakukan perhitungan design dengan batasan termal yang telah ditentukan. Sebagai parameter kinerja adalah dimensi utama alat evaporator yang dalam hal ini diwakili oleh besaran diameter *shell* dan jumlah tube yang diperlukan.
- Dari hasil perhitungan keseluruhan kondisi design yang mungkin dilakukan menurut batasan penelitian di atas, kemudian diidentifikasi kondisi design terbaik yang memberikan hasil design yang paling optimal, yaitu yang memberikan jumlah tube dan diameter shell yang paling ekonomis.
- Selanjutnya dilakukan pemeriksaan batas-batas yang diizinkan bagi parameter-parameter termal seperti: koefisien perpindahan panas konveksi pada permukaan dalam dan luar pipa, serta kerugian tekanan fluida di pipa dan *shell*, pada hasil design yang optimum.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil-hasil perhitungan pengaruh secara simultan factor-faktor ukuran tube, jarak antar tube, tube layout dan excess area terhadap dimensi utama alat Evaporator jenis shell & tube yang menjadi objek studi, yaitu jumlah tube yang diperlukan alat tersebut dan diameter shellnya, diberikan pada table 1. Dari hasil-hasil perhitungan tersebut observasi terhadap pengaruh masing-masing factor dan level seperti yang telah ditetapkan sebagai batasan design dan identifikasi terhadap hasil design yang paling optimum, yaitu yang memberikan dimensi utama alat yang paling ekonomis, dapat dilakukan.

**Pengaruh rata-rata factor terhadap jumlah tube**

Gambaran pengaruh rata-rata masing-masing factor terhadap jumlah tube yang diperlukan bagi alat Evaporator untuk memenuhi batasan design yang telah ditentukan diberikan pada gambar 1.



Gambar 3. Besarnya pengaruh rata-rata masing-masing factor terhadap jumlah tube

Dari hasil tersebut terlihat bahwa factor ukuran tube 5/8” (tube do2) memberikan pengaruh yang lebih baik daripada ukuran tube 3/8” (tube do1) yaitu memberikan jumlah tube yang lebih sedikit. Factor excess area 35% juga memberikan pengaruh yang lebih baik daripada factor excess area 25%. Sementara itu, dalam batasan perancangan yang ditetapkan di sini, factor jarak antar tube dan factor bentuk dan susunan tube (tube layout) tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah tube alat Evaporator yang menjadi objek studi.

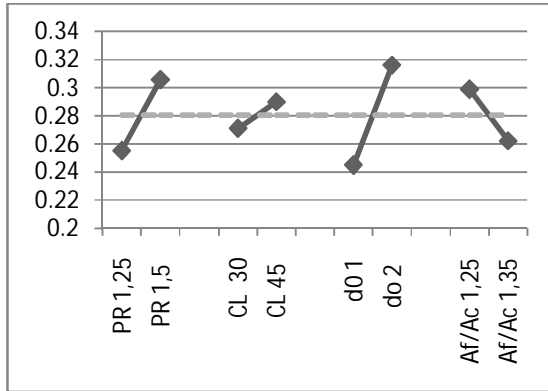
Selanjutnya, apabila besarnya pengaruh rata-rata masing-masing factor tersebut diperbandingkan maka dapat diamati bahwa factor ukuran tube memiliki pengaruh yang paling besar, kemudian diikuti oleh factor excess area.

Kemudian, hasil perhitungan pada table 1 juga mengidentifikasi bahwa design optimum dengan jumlah tube yang paling minimum diperoleh apabila alat Evaporator dirancang dengan menggunakan tube 5/8” dengan jarak antar tube (pitch ratio) 1,25 tube layout 30 ° dan excess area dipilih 35%.

**Pengaruh rata-rata factor terhadap diameter shell**

Sementara itu, gambaran pengaruh rata-rata masing-masing factor terhadap diameter shell alat Evaporator diberikan pada gambar 2.

Berbeda dengan jumlah tube, di sini terlihat bahwa factor ukuran tube 3/8” memberikan pengaruh yang lebih baik, yaitu memberikan diameter shell yang lebih kecil, dibandingkan dengan ukuran tube 5/8”. Jarak antar tube (pitch ratio) PR 1,25 juga lebih baik daripada PR 1,50. Tube layout 30 ° juga lebih baik daripada tube layout 45 °, dan excess area 35% memberikan pengaruh yang lebih baik daripada excess area 25%.



Gambar 4. Besarnya pengaruh rata-rata masing-masing factor terhadap diameter shell

Selanjutnya, apabila besarnya pengaruh rata-rata masing-masing factor tersebut diperbandingkan maka dapat diamati bahwa factor ukuran tube memiliki pengaruh yang paling besar, kemudian diikuti oleh factor jarak antar tube, dan factor excess area. Sedangkan factor tube layout tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap diameter shell.

Kemudian, ukuran diameter shell yang paling minimum diperoleh apabila alat Evaporator dirancang dengan menggunakan tube 3/8" dengan jarak antar tube (pitch ratio) 1,25 tube layout 30 ° dan excess area dipilih 35%.

### KESIMPULAN

Serangkaian perhitungan perancangan termal sebuah alat Evaporator jenis shell & tube bagi instalasi pengkondisian udara ruangan bangunan komersial telah dilakukan. Tujuan utamanya adalah mengestimasi luas permukaan perpindahan panas minimum yang diperlukan oleh alat Evaporator untuk dapat bekerja dengan beban termal yang telah ditentukan. Luas permukaan perpindahan panas atau dimensi utama alat akan menentukan biaya keseluruhan pembuatan alat tersebut.

Pengaruh secara simultan factor-faktor ukuran tube, jarak antar tube, bentuk susunan tube, serta excess area terhadap dimensi utama alat Evaporator (jumlah tube dan diameter shell) telah dipelajari. Hasil design optimum yaitu yang memberikan jumlah tube yang paling minimum diperoleh dengan menggunakan tube 5/8" dengan jarak antar tube (pitch ratio) 1,25 tube layout 30 ° dan excess area 35%. Factor ukuran tube memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap jumlah tube dibandingkan dengan factor excess area, sedangkan pengaruh factor jarak antar tube dan tube layout sangat kecil terhadap jumlah tube.

Factor ukuran tube memiliki pengaruh yang paling besar terhadap diameter shell, kemudian diikuti oleh factor jarak antar tube, dan

factor excess area. Sementara itu, factor tube layout pengaruhnya relative kecil.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Liu Hongtan, Kakac Sadik. 2002. *Heat Exchanger Selection, Rating, and Thermal Design*. US : CRC Press.
2. Shah Ramesh K, Sekulic Dusan P. 2003. *Fundamental Of Heat Exchanger Design*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
3. Zainnudin, 2006. *Studi Eksperimental Efektivitas Alat Penukar Kalor Shell and Tube*. Medan : Universitas Sunatra Utara.
4. Pudjanarsa, Astu. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Surabaya : Penerbit ANDI.
5. Cengel. A. Yunus. 2001. *Fundamental of Thermal Fluid Sciences*. University of Nevada, Reno.
6. <http://sttib.wordpress.com>. 1 juli 2011. 13:27.
7. Arora CP. 2001. *Refrigeration and air conditioning second edition*. Singapore : Mc Graw Hill.
8. <http://webbook.nist.gov/cgi/fluid>. 21 mei 2011. 19:39.
9. [http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d\\_156.html](http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html). 7 juli 2011. 14:36.
10. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/1334/3/kimia-yusuf5.pdf.txt>. 27 juli 2011. 19:53.
11. [http://www.energy.kth.se/courses/4a1607/files/SEU\\_ref\\_Lecture3\\_4.pdf](http://www.energy.kth.se/courses/4a1607/files/SEU_ref_Lecture3_4.pdf). 27 juli 2011. 19:59.

Kondisi disain	PR	CL	$d_o$ (m)	$A_f/A_c$	HASIL PERHITUNGAN				
					$U_c$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U_f$ (W/m <sup>2</sup> K)	$A_o$ (m <sup>2</sup> )	$D_s$ (m)	$N_t$
1	1,25	0,875	0,00952	1,25	833,33	666,67	15,89	0,229	266
2	1,25	0,875	0,00952	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,201	205
3	1,25	0,875	0,01588	1,25	833,33	666,67	15,89	0,296	159
4	1,25	0,875	0,01588	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,260	123
5	1,25	1	0,00952	1,25	833,33	666,67	15,89	0,245	266
6	1,25	1	0,00952	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,215	205
7	1,25	1	0,01588	1,25	833,33	666,67	15,89	0,316	159
8	1,25	1	0,01588	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,278	123
9	1,5	0,875	0,00952	1,25	833,33	666,67	15,89	0,275	266
10	1,5	0,875	0,00952	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,241	205
11	1,5	0,875	0,01588	1,25	833,33	666,67	15,89	0,355	159
12	1,5	0,875	0,01588	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,312	123
13	1,5	1	0,00952	1,25	833,33	666,67	15,89	0,294	266
14	1,5	1	0,00952	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,258	205
15	1,5	1	0,01588	1,25	833,33	666,67	15,89	0,379	159
16	1,5	1	0,01588	1,35	1166,67	864,2	12,25	0,333	123

Keterangan :

- PR jarak antar tube per diameter luarnya
- CL koefisien bentuk dan susunan pipa
- $d_o$  ukuran pipa (diameter luar pipa)
- $A_f/A_c$  excess area (kelebihan diemnsi akibat fouling)
- $U_c$  koefisien perpindahan panas global dalam keadaan bersih
- $U_f$  koefisien perpindahan panas global dalam keadaan fouling
- $A_o$  luas perpindahan panas total
- $D_s$  diameter shell
- $N_t$  jumlah tube