

ANALISIS PENGARUH EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS DAN TAHANAN TERMAL TERHADAP RANCANGAN TERMAL ALAT PENUKAR KALOR SHELL & TUBE

Chandrasa Soekardi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650
Email: csoekardi@gmail.com

Abstrak -- Kajian dalam tulisan ini berisi gambaran tentang hasil analisis pengaruh rata-rata faktor efektivitas perpindahan panas dan faktor koefisien perpindahan panas global terhadap dimensi utama hasil perancangan APK shell & tube dengan metode efektivitas-NTU. Faktor efektivitas perpindahan panas 35%, 40%, dan 45% dan koefisien perpindahan panas global $1700 \text{ W/m}^2\text{K}$, $1900 \text{ W/m}^2\text{K}$, dan $2100 \text{ W/m}^2\text{K}$ dipilih sebagai batasan eksperimen. Hasil rangkaian perhitungan menunjukkan bahwa APK memiliki dimensi utama yang paling ekonomis pada saat dirancang dengan menggunakan efektivitas perpindahan panas 35% dan koefisien perpindahan panas global $2100 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kata kunci: efektivitas perpindahan panas, koefisien perpindahan panas global, jumlah tube, diameter shell, kecepatan aliran di dalam tube

Abstract -- This study presents analysis results of the influence of heat transfer effectiveness and overall heat transfer coefficient onto thermal design of a shell & tube heat exchanger using the effectiveness-NTU method. The heat transfer effectiveness factor of 35%, 40%, 45% and the overall heat transfer coefficient factor of $1700 \text{ W/m}^2\text{K}$, $1900 \text{ W/m}^2\text{K}$, $2100 \text{ W/m}^2\text{K}$ are considered as variables. The results show that the heat exchanger will have an optimum dimension when it is designed using the heat transfer effectiveness factor of 35% and the overall heat transfer coefficient factor of $2100 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Keywords: heat transfer effectiveness, overall heat transfer coefficient, tube number, shell diameter, tube side velocity

1. PENDAHULUAN

Konsep efisiensi dipergunakan pada banyak bidang teknik untuk menilai seberapa besar performance suatu sistem atau mesin pada kondisi tertentu. Pada peralatan penukar kalor, efisiensi atau efektivitas perpindahan panas di dalam sebuah alat penukar kalor (APK) didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas yang aktual atau sebenarnya terjadi di dalam sebuah APK dengan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin secara termodinamika berlangsung di dalam alat tersebut.

Konsep efektivitas perpindahan panas merupakan salah satu pendekatan yang banyak dipergunakan dalam kegiatan analisis atau perancangan sebuah APK, di samping metode beda temperatur rata-rata logaritmik. Perancangan sebuah APK menggunakan metode beda temperatur rata-rata logaritmik memerlukan tersedianya data tentang keempat temperatur terminal dari kedua fluida yang bekerja di dalam APK. Dalam hal data yang tersedia hanya salah satu dari temperatur kedua fluida kerjanya maka penerapan metode tersebut

akan memerlukan perhitungan iterasi yang cukup kompleks dan membutuhkan banyak waktu. Sebagai alternatif untuk menghindari permasalahan tersebut kita dapat menerapkan metode yang didasarkan pada konsep efektivitas perpindahan panas.

Dimensi utama sebuah APK hasil perancangan dengan metode efektivitas perpindahan panas sangat bergantung kepada harga efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal yang kita pilih. Salim Fetaka *et al.* telah melakukan studi tentang optimalisasi perancangan sebuah APK shell & tube dengan menetapkan beberapa parameter sebagai variabel, dan hasilnya menunjukkan bahwa biaya bagi APK hasil optimalisasi menjadi lebih ekonomis. Di tempat yang lain, Z.Y. Guo *et al.* melakukan studi dan mengembangkan korelasi antara efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal, dan hasilnya memperlihatkan bahwa kedua parameter tersebut tidak memiliki ketergantungan dengan konfigurasi aliran fluida di dalam APK. Mereka juga menunjukkan bahwa penurunan efektivitas perpindahan panas yang terjadi akibat naiknya tahanan termal di dalam

APK dapat dijelaskan menggunakan konsep irreversibilitas. Sementara itu, penelitian Lin Chen *et al.* menunjukkan bahwa hubungan antara pembangkitan entropi minimum dengan laju perpindahan panas maksimum adalah tidak nampak. Sebagai dampaknya adalah bahwa prinsip pembangkitan entropi minimum tidak dapat dipergunakan untuk mengoptimalkan perpindahan panas.

Kajian pada tulisan ini bermaksud untuk memperoleh gambaran seberapa besar pengaruh harga efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal terhadap hasil perancangan sebuah alat penukar kalor. Untuk keperluan tersebut serangkaian eksperimen dengan menerapkan beberapa variasi pada harga efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal akan dilakukan. Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi kondisi perancangan yang paling optimal, yaitu kondisi perancangan yang memberikan hasil design berupa dimensi utama yang paling ekonomis.

2. METODE

Untuk melaksanakan rangkaian eksperimen untuk mengidentifikasi kondisi perancangan yang paling optimal maka pada tahap pertama perhitungan perancangan sebuah APK dengan metode efektivitas-NTU akan dilakukan.

Sebagai objek studi dipilih perancangan sebuah APK shell & tube yang akan berfungsi sebagai pemanas 60 000 kg/h aliran larutan gula bertemperatur 25 °C pada instalasi industri pengolahan gula. Sementara itu sebagai media pemanas tersedia 75 000 kg/h aliran air panas bertemperatur 80 °C. Untuk keperluan APK akan dipergunakan tube berukuran ¾" dengan panjang 3 m, dan membentuk aliran dengan pola 2 lintasan di dalam bagian shell. Berkas tube di dalam APK akan disusun menurut bentuk lay-out 45°, dengan jarak antar tube per diameter luarnya dipilih sebesar 1,25.

Selanjutnya, dengan kondisi termal seperti tersebut di atas akan dilakukan perhitungan perancangan dengan metode efektivitas-NTU untuk menganalisis besarnya parameter-parameter : laju perpindahan panas yang terjadi di antara kedua fluida kerja di dalam APK, luas permukaan perpindahan panas yang diperlukan, dimensi utama APK (jumlah tube dan diameter

shell yang diperlukan), dan temperatur kedua fluida kerja saat meninggalkan APK fungsi dari beberapa harga efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal kedua fluida kerja. Dalam studi ini tahanan termal kedua fluida kerja dinyatakan dengan parameter koefisien perpindahan panas global.

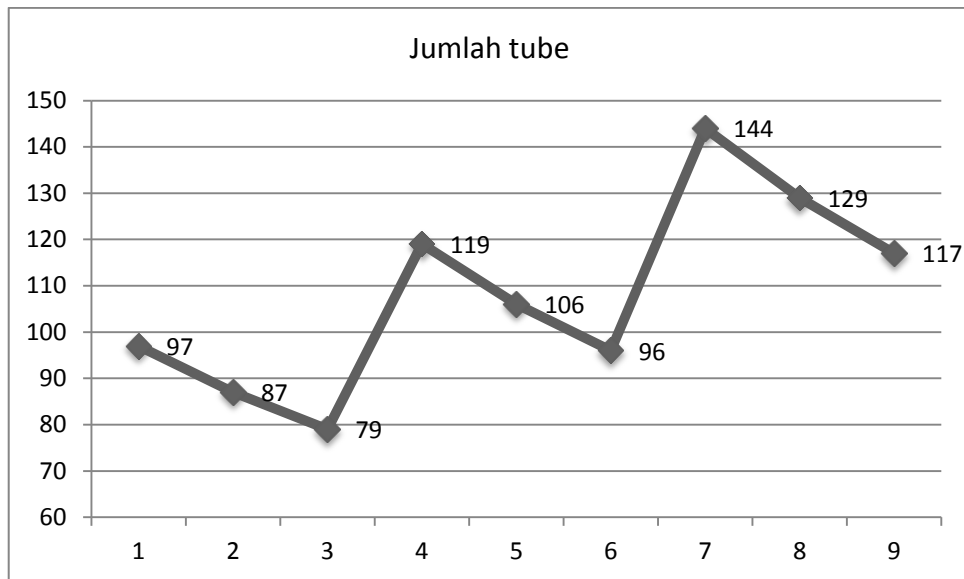
Tabel 1. Beragam kondisi perancangan APK

No.	Kondisi Perancangan	
	Efektivitas (%)	Koefisien, Uf (W/m ² K)
1	35	1700
2	35	1900
3	35	2100
4	40	1700
5	40	1900
6	40	2100
7	45	1700
8	45	1900
9	45	2100

Kemudian, untuk memperoleh gambaran seberapa besar pengaruh harga efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal terhadap hasil perancangan APK, dalam studi ini dipilih menggunakan harga efektivitas perpindahan panas global 35%, 40%, dan 45% serta harga koefisien perpindahan panas global 1700 W/m²K, 1900 W/m²K, dan 2100 W/m²K sebagai variabel bebas. Terdapat sejumlah 9 buah eksperimen dengan kondisi perancangan, yaitu kombinasi efektivitas perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas global, yang berbeda-beda seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian perhitungan perancangan yang meliputi laju perpindahan panas yang terjadi di antara kedua fluida kerja di dalam APK, luas permukaan perpindahan panas yang diperlukan, dimensi utama APK (jumlah tube dan diameter shell yang diperlukan), dan temperatur kedua fluida kerja saat meninggalkan APK bagi ke sembilan kondisi perancangan tersebut di atas telah dilakukan.



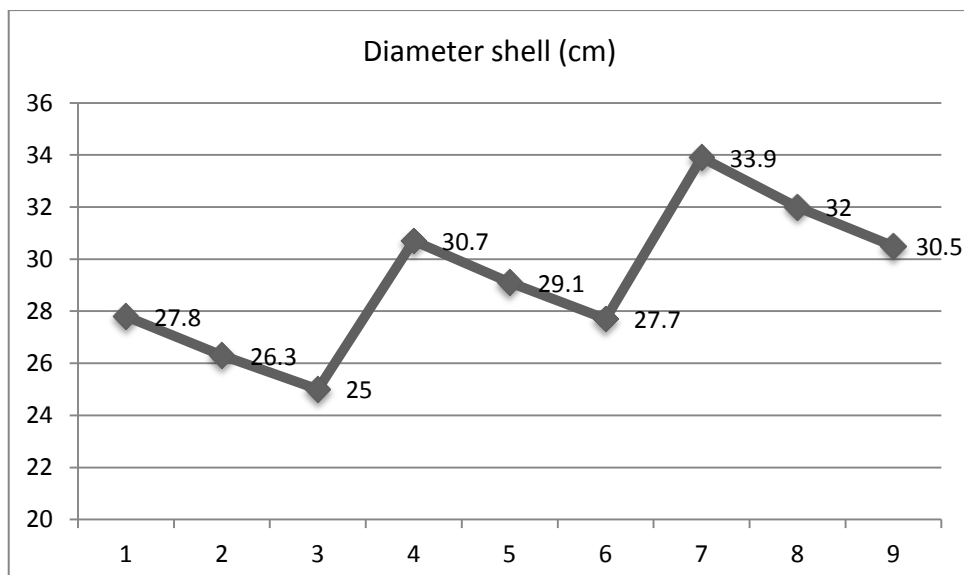
Gambar 1. Perbandingan jumlah tube bagi kesembilan kondisi perancangan yang berbeda-beda

Pada Gambar 1 diperlihatkan hasil perhitungan jumlah tube yang diperlukan APK untuk kesembilan kondisi perancangan yang berbeda-beda. Bagi sebuah APK shell & tube, semakin banyak jumlah tube yang diperlukan di dalam APK akan semakin besar pula diameter shellnya, dan pada akhirnya semakin besar juga dimensi utama APK. Dalam keadaan yang sebaliknya, APK semakin ekonomis.

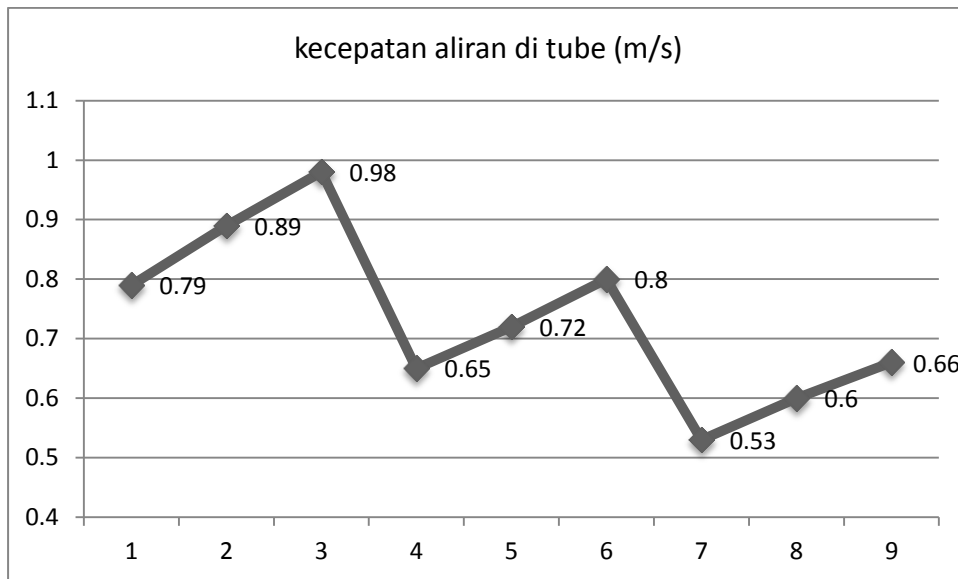
Selanjutnya, apabila kesembilan kondisi perancangan tersebut diperbandingkan satu dengan lainnya maka terlihat bahwa kondisi

perancangan No. 3 memberikan jumlah tube yang paling sedikit (79 tubes). Dalam hal ini, APK akan memiliki jumlah tube yang paling ekonomis apabila dirancang dengan menggunakan harga efektivitas perpindahan panas 35% dan koefisien perpindahan panas 2100 W/m²K.

Hasil perhitungan yang disajikan pada Gambar 2 juga memperlihatkan apabila APK dirancang dengan kondisi perancangan No. 3 juga memberikan diameter shell yang paling ekonomis (25 cm).



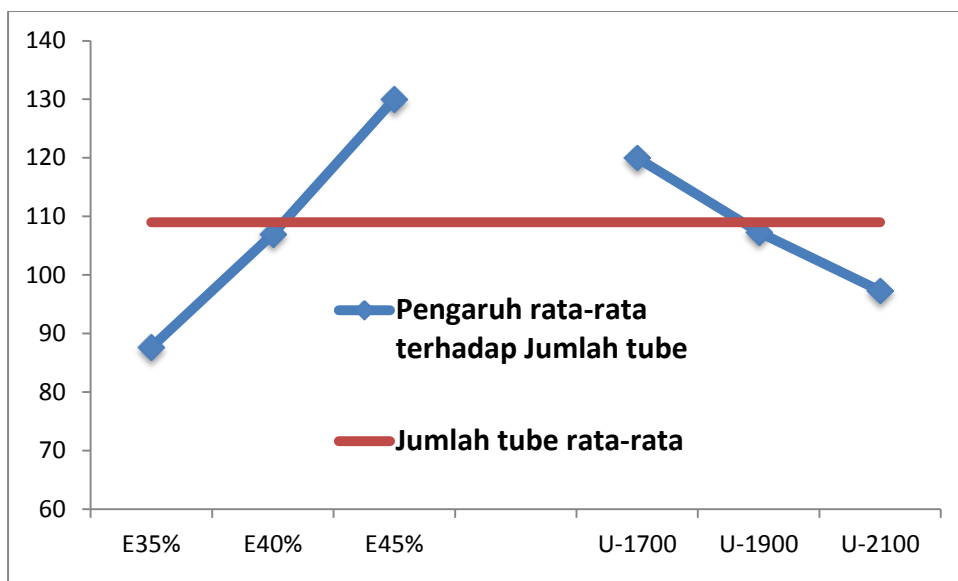
Gambar 2. Perbandingan Diameter shell bagi kesembilan kondisi perancangan yang berbeda-beda



Gambar 3. Kecepatan rata-rata aliran air di dalam tube bagi kesembilan kondisi perancangan

Gambar 3. memperlihatkan perkiraan besarnya kecepatan rata-rata aliran air panas di dalam bagian tube untuk berbagai kondisi perancangan yang berbeda-beda. Dari hasil tersebut terlihat bahwa walaupun kondisi perancangan No. 3 memberikan jumlah tube

yang paling ekonomis namun kecepatan rata-rata aliran di dalam tube paling besar dibandingkan dengan kondisi perancangan lainnya, walaupun masih dalam batas-batas yang lazim bagi aliran fluida air di dalam tube.



Gambar 4. Perbandingan besarnya pengaruh rata-rata efektivitas dan koefisien perpindahan panas global terhadap jumlah tube APK

Pada Gambar 4 diperlihatkan perbandingan besarnya pengaruh rata-rata faktor efektivitas perpindahan panas 35%, 40%, dan 45% dan faktor koefisien perpindahan panas global 1700 W/m²K, 1900 W/m²K, dan 2100 W/m²K terhadap jumlah tube hasil perancangan APK. Dibandingkan dengan efektivitas perpindahan panas 40%, dan 45%, terlihat

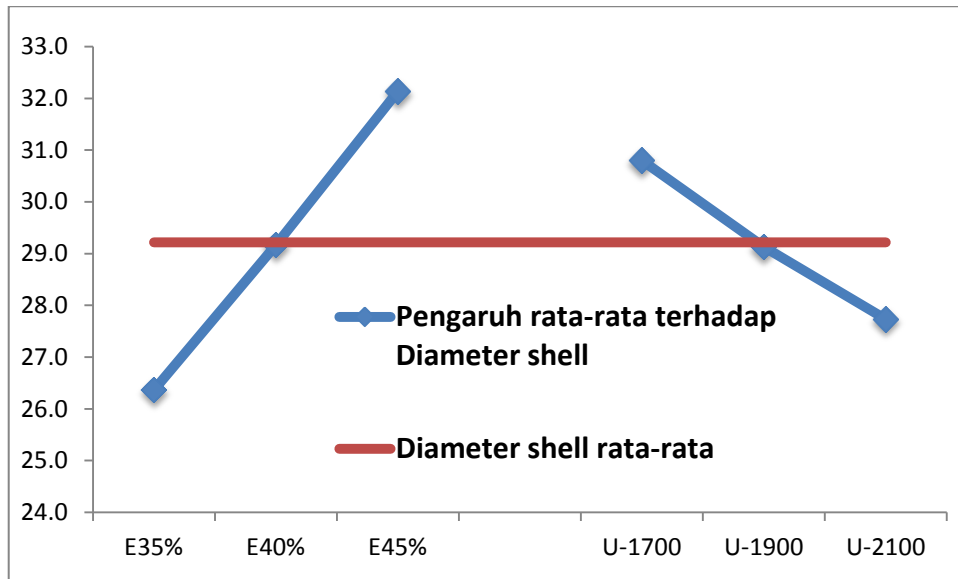
bahwa faktor efektivitas perpindahan panas 35% memberikan pengaruh yang lebih baik karena memberikan dampak terhadap jumlah tube yang paling sedikit. Pada sisi yang lain, faktor koefisien perpindahan panas global 2100 W/m²K memberikan pengaruh yang lebih baik. Hasil analisis tentang perbandingan besarnya pengaruh rata-rata efektivitas dan koefisien

perpindahan panas global terhadap jumlah tube APK mengkonfirmasi bahwa rancangan APK yang optimal yaitu dengan dimensi utama yang paling ekonomis dapat diperoleh dengan menggunakan efektivitas perpindahan panas 35% dan koefisien perpindahan panas global 2100 W/m²K (kondisi perancangan No.3).

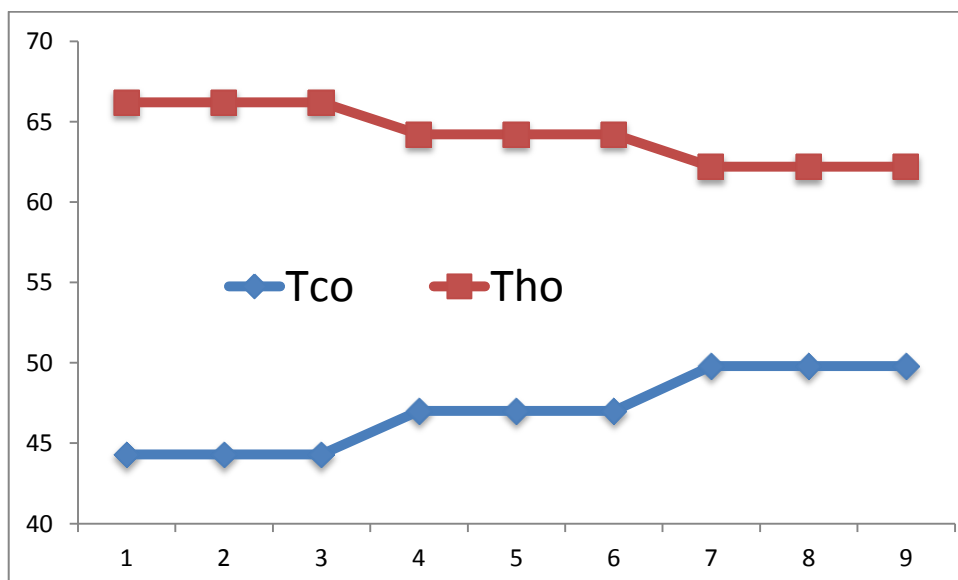
Gambaran tentang perbandingan besarnya pengaruh rata-rata faktor efektivitas perpindahan panas dan faktor koefisien perpindahan panas

global terhadap diameter shell APK diberikan pada Gambar 5.

Sama halnya dengan pengaruhnya terhadap jumlah tube, hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor efektivitas perpindahan panas 35% dan faktor koefisien perpindahan panas global 2100 W/m²K memberikan pengaruh yang lebih baik dibandingkan dengan faktor lainnya.



Gambar 5. Perbandingan besarnya pengaruh rata-rata efektivitas dan koefisien perpindahan panas global terhadap diameter shell APK



Gambar 5. Perkiraan besarnya temperatur rata-rata aliran larutan gula saat meninggalkan APK (T_{co}) dan temperatur rata-rata aliran air pemanas saat meninggalkan APK (T_{ho})

Hasil perhitungan pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa besarnya temperatur rata-rata aliran larutan gula saat meninggalkan APK (T_{co}) dan temperatur rata-rata aliran air pemanas saat meninggalkan APK (T_{ho}) tidak bergantung kepada koefisien perpindahan panas global, namun berubah dengan berubahnya harga efektivitas perpindahan panas yang terjadi di dalam APK.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

- a. Analisis pengaruh rata-rata faktor efektivitas perpindahan panas dan faktor koefisien perpindahan panas global terhadap dimensi utama hasil perancangan APK shell & tube telah dilakukan. Hasil analisis kemudian dipergunakan untuk menentukan batasan termal yang memberikan hasil perancangan yang paling optimal.
- b. Setelah memperbandingkan pengaruh faktor efektivitas perpindahan panas 35%, 40%, dan 45% serta faktor koefisien perpindahan panas global 1700 W/m²K, 1900 W/m²K, dan 2100 W/m²K diketahui bahwa dimensi utama APK yang paling ekonomis dapat diperoleh dengan menggunakan efektivitas perpindahan panas

35% dan koefisien perpindahan panas global 2100 W/m²K.

- c. Namun demikian, pada APK dengan dimensi utama yang paling ekonomis tersebut memiliki kecepatan rata-rata aliran di dalam tube paling besar, walaupun masih dalam batas-batas yang lazim bagi aliran fluida air di dalam tube.

DAFTAR PUSTAKA

1. Salim Fetaka et al. "Design of shell and tube heat exchangers using multiobjective optimization", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.60, May 2013, p.343-354
2. Z.Y. Guo et al. "Effectiveness-thermal resistance method for heat exchanger design and analysis", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.53, June 2010, p.2877-2884
3. Lin Chen et al. "Optimization for a Heat Exchanger Couple based on the Minimum Thermal Resistance Principle", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.52, October 2009, p.4778-4784
4. Kakac, Sadik & Liu, Hongtan, *Heat Exchanger: Selection, Rating, and Thermal Design*, USA, CRC Press, 2002