

Numerical Study of Shell-And-Tube Heat Exchanger Performance with Various Baffle Spacing

Sugit Triyono^{*}, Teguh Hady Ariwibowo, Prima Dewi Permatasari

Program Studi Sistem Pembangkit Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi,
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jl. Raya ITS, Sukolilo Surabaya 60111 Indonesia

*E-mail: Sugitasli@pg.student.pens.ac.id

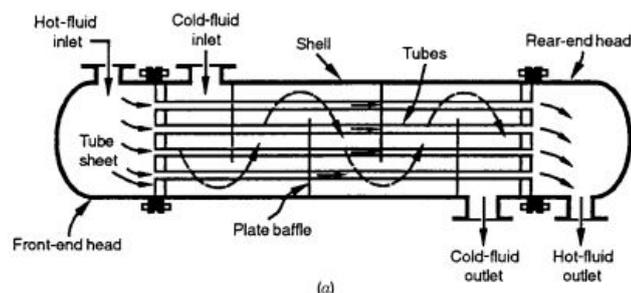
Abstract

Heat exchanger is the instrument used to exchange the heat from one system to another that can be used as a heater or cooler. One of those types is shell-and-tube heat exchanger which is mostly used in many factories. Shell-and-tube heat exchanger consist of shell, which there are many tube inside it with baffles arranged along the shell-side. This study examines the effect of baffle spacing towards shell-and-tube heat exchanger performance which geometry have been specified first. This study used a simulation method developed by Heat Transfer Research Inc. (HTRI) to determine heat exchanger performances. Baffle spacing is set to various values: 30 mm, 60 mm, and 90 mm which one of each conditions also vary the mass flow rate to various number: 0.8333 kg/s, 0.1667 kg/s, and 0.25 kg/s. The simulation will generate outlet temperature of each fluid, overall heat transfer coefficient, and pressure drop. Baffle spacing 30 mm generates pressure drop 0.011 kPa while the increase of mass flow rate from 0.1660 kg/s to 0.250 kg/s also increase the value of pressure drop 0.030 kPa to 0.045 kPa. From those three variation of baffle spacing, baffle spacing 60 mm generates a stable value: 0.003 kPa, 0.007 kPa, and 0.015 kPa that is the optimum condition to gain the good performance of shell-and-tube heat exchanger.

Keywords : Shell and Tube Heat Exchangers, Baffle spacing, efektifitas

Pendahuluan

Alat penukar kalor (*Heat Exchangers*) merupakan peralatan yang digunakan untuk perpindahan panas antara dua atau lebih fluida. Banyak jenis heat exchanger yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit pengkondisi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dll. Dalam *Shell and tube heat exchanger* tidak terjadi pencampuran seperti halnya dalam suatu *mixing chamber*. Dalam radiator mobil misalnya, panas berpindah dari air yang panas yang mengalir dalam pipa radiator ke udara yang mengalir dengan bantuan fan (Handoyo, 2000). Tipe alat penukar kalor yang paling banyak digunakan di dunia industri adalah tipe *shell dan tube* karena dari konstruksinya yang simpel, alat ini terdiri dari sebuah shell silindris di bagian luar dan sejumlah tube di bagian dalam. Alat penukar kalor ini dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar dapat diperoleh hasil yang maksimal dalam memindahkan kalor serta dapat menunjang terhadap operasi suatu unit, oleh karena itu perancangan yang baik dan benar dalam merancang alat ini sangat diperlukan (Kurniawan, 2012).



Gambar 1. Shell and Tube exchanger (BEM)
(sumber : Ramesh K shah, 2003 ,hal 14)

Ada beberapa jenis alat penukar kalor yang telah dikenal dan diproduksi dengan luas sesuai dengan standar TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) dan tipe *shell and tube* adalah salah satu alat penukar kalor

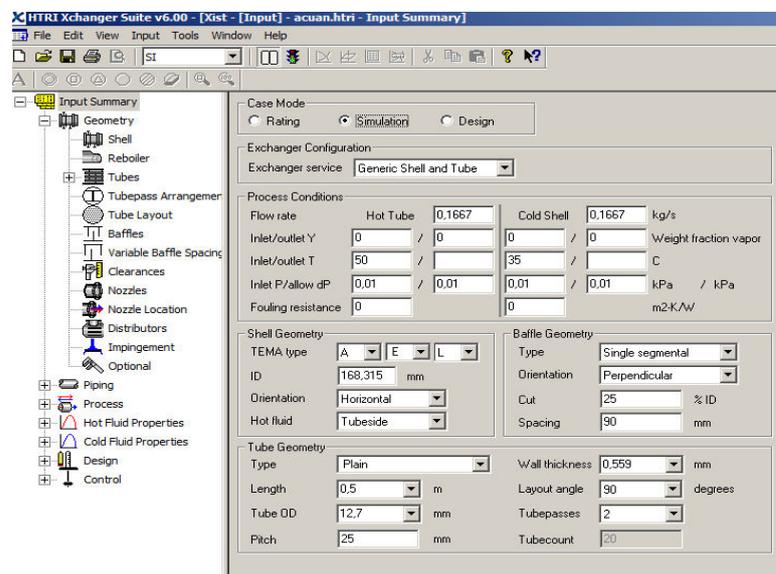
yang di desain dengan standar TEMA. Pada Gambar 1 menunjukkan bagian-bagian dari *shell and tube heat exchnagers*. Pada penukar kalor jenis shell and tubeterdapat komponen yang disebut dengan *baffle*, komponen ini berfungsi sebagai penyangga tube, sebagai pengarah aliran fluida di dalam shell dan untuk meredam getaran pada tube. *Baffle* umumnya terpasang dalam shell secara tegak lurus terhadap sumbu shell, sehingga menyebabkan aliran menjadi turbulen dan meningkatkan perpindahan kalor konveksi yang terjadi. Peningkatan perpindahan kalor konveksi, selalu diikuti oleh hal yang tidak menguntungkan, yaitu peningkatan *pressure drop* yang terjadi di sepanjang aliran. Penurunan tekanan tersebut menunjukkan akibat dari gesekan fluida pada *baffle*.

Pentingnya peran *heat exchanger* pada berbagai industri proses, membutuhkan pengembangan demi kinerja maksimal. Maka, pada proses penelitian ini akan dilakukan pemvariasian besarnya jarak antar *baffle* pada unit *Shell and tube heat Exchanger* yang memiliki geometri sama (pada alat yang telah ada) dengan menggunakan software *Heat Transfer Research Inc. (HTRI)*. Hasil dari perhitungan dengan HTRI akan dapat mengetahui pada jumlah *baffle* berapakah suatu unit STHE mampu menghasilkan performa yang maksimal.

Metode Penelitian

Tahapan dalam melakukan penelitian adalah dengan cara melakukan pengambilan data geometri dari modul *Unit Shell and Tube Heat exchangers* laboratorium Mesin Konversi Energi Program studi Sistem Pembangkitan Energi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Pada sisi shell dengan material stainless stell dengan diameter luar (OD) 16,5 cm, diameter dalam (ID) 15,8 cm dengan panjang shell dan head 170 cm. Pada sisi tube menggunakan material tembaga dengan diameter luar (OD) 12,7 mm, diameter dalam (ID) 11,6 mm dengan susunan (*tube pitch*) *Triangular* dengan panjang tube 50 cm. *Baffle* menggunakan material aluminium dengan tebal 2mm.

Kemudian memasukan data tersebut pada software *Heat Transfer Research Inc. (HTRI)*. Hal yang harus dimasukan pada HTRI berupa geometri dan material. Tahapan dalam menginputkan data adalah mulai dari geometri dan *shell, tube, baffle*. Kemudian menginputkan data yang akan di proses pada kolom *process conditions*. Pada Gambar 2 menunjukkan proses penginputan data.



Gambar 2. Proses memasukan data pada HTRI

Setelah semua data masuk maka atur terlebih dahulu variasi dari *baffle spacing* dengan variasi 30mm, 60mm, 90mm pada *Baffle geometry* kolom *spacing*. Kemudian pada setiap pengubahan *baffle spacing* dilakukan variasi laju aliran pada sisi shell, dengan variasi flow rate 0,8333 kg/s, 0,16667 kg/s, 0,25 kg/spada *Process Conditions* dan *flow rate* pada sisi tube di atur konstan sebesar 0,16667 kg/s. Untuk variasi *baffle spacing* lainnya, juga dilakukan hal yang sama.

Untuk itu data yang akan diambil adalah :

- Jarak *baffle spacing* yang divariasikan
- Flowrate* yang divairasikan
- Temperatur out dari *shell* dan temperatur out dari *tube*
- Pressure drop* pada sisi *shell*

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisa secara teoritis dengan menggunakan metode *Number Of Transfer Unit* (NTU), metode ini efektif digunakan untuk mengetahui unjuk kerja dari penukar kalor yang sudah jadi. Untuk mendefinisikan unjuk kerja dari penukar kalor terlebih dahulu harus diketahui laju perpindahan panas maksimum (q_{maks}) yang dimungkinkan oleh penukar kalor tersebut .

$$\text{Jika } C_c < C_h \text{ maka } q_{max} = C_c(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (1)$$

$$\text{Jika } C_c > C_h \text{ maka } q_{max} = C_h(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2)$$

Untuk $C_h = C_c = C$,

$$q_{max} = C_h(T_{h,i} - T_{c,i}) = C_c(T_{h,i} - T_{c,i}) = C \Delta T_{max} \quad (3)$$

Dimana : C_c adalah Heat capacity dari fluida cold, C_h adalah *Heat capacity* dari fluida hot, Sedangkan *effectiveness* (ε) adalah perbandingan antara laju perpindahan panas (q_{aktual}) *heat exchanger* dengan laju perpindahan panas maksimum (q_{maks}) yang dimungkinkan.

$$\varepsilon = \frac{q_{aktual}}{q_{maks}} \quad (4)$$

Effectiveness merupakan bilangan tanpa dimensi dan berada dalam batas $0 < \varepsilon < 1$. *Number of Transfer Unit* (NTU) jugadidefinisikan sebagai

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \quad (5)$$

dimana C_{min} diperoleh untuk nilai yang terkecil dari:

$$C_c = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \quad (6)$$

Atau

$$C_h = \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \quad (7)$$

Dimana : \dot{m}_c adalah flowrate dari fluida cold, \dot{m}_h adalah flowrate dari fluida hot

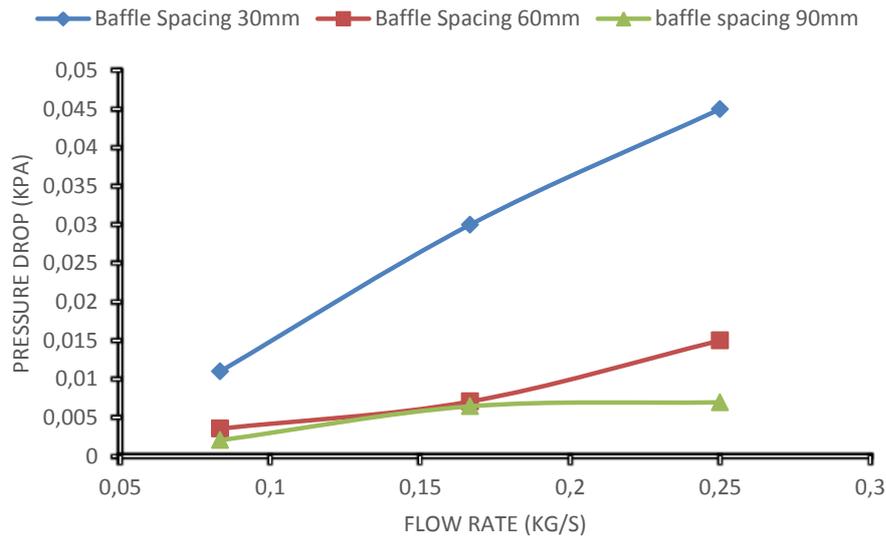
Hasil dan Pembahasan

Pada Tabel 1 adalah data hasil dari simulasi dengan *Software Heat Transfer Research Inch.* (HTRI). Temperatur dari fluida yang mengalir pada sisi tube sebesar 50°C sementara fluida yang melintas pada sisi shell sebesar 35°C .

Tabel 1. Data Hasil dari Running dengan software HTRI

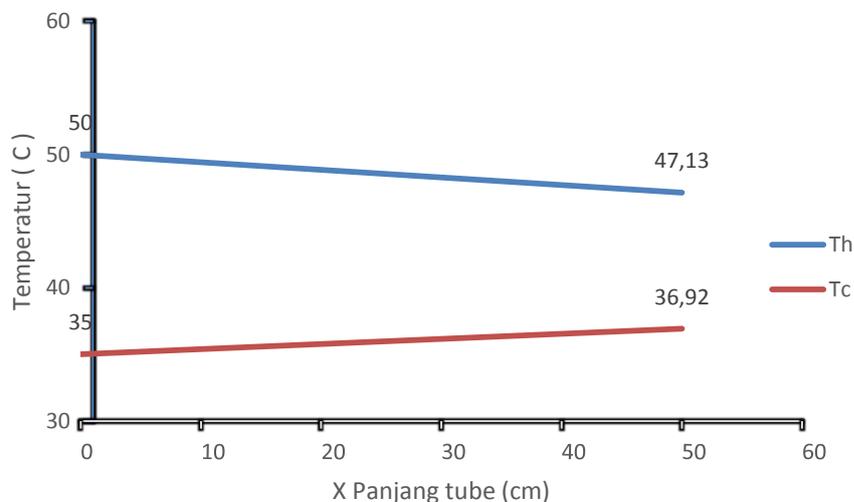
Variasi Baffle	Tin shell ($^\circ\text{C}$)	Toutshel($^\circ\text{C}$)	Δp (KPa)	Flowvrate(Kg/s)	U (W/m ² K)
30	35	40,73	0,011	0,083	327,65
	35	37,87	0,030	0,166	394,60
	35	36,92	0,045	0,250	418,20
60	35	40,75	0,003	0,083	301,94
	35	37,87	0,007	0,166	345,20
	35	36,92	0,015	0,250	396,26
90	35	40,76	0,002	0,083	273,82
	35	37,80	0,006	0,166	355,51
	35	36,82	0,004	0,250	344,57

Salah satu data yang diambil dari hasil simulasi adalah nilai dari *pressuredrop*, besarnya nilai *pressuredrop* pada tiap variasi memiliki nilai yang berbeda. Pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh variasi *flow rate* terhadap *pressure drop* pada masing-masing *baffle spacing*.



Gambar 3. Grafik Flowrateterhadap Pressuredrop

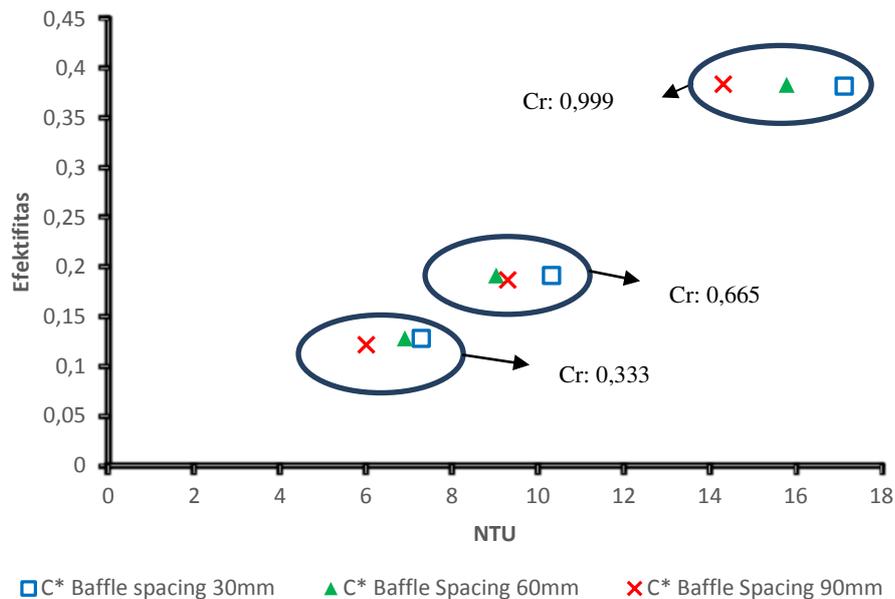
Gambar 3 menunjukkan aliran dengan *baffle spacing* 30mm memiliki *pressuredrop* lebih besar dibandingkan dengan *baffle spacing* 60mm ataupun 90mm. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik bahwa dengan variasi *Flow rate* 0,250 Kg/s, nilai *pressure drop* pada *baffle spacing* 90mm sebesar 0,007 kPa, dengan *baffle spacing* 60mm nilai *pressure drop*nya 0,015 kPa, dan pada *baffle spacing* 30mm nilai *pressure drop*nya 0,045 kPa, menunjukkan bahwa pada tiap variasi *baffle spacing* mengakibatkan perubahan *pressuredrop*, hal tersebut terjadi karena sebagai akibat dari gesekan fluida pada *baffle* sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan *pressure drop* yang terjadi di sepanjang aliran. Jika ditinjau dari nilai *flow ratenya*, saat variasi *baffle spacing* 30mm, menunjukkan bahwa dengan variasi *flow rate* pada terkecil yakni 0,083 kg/s, nilai *pressure drop* bernilai lebih rendah 0,011 kPa, Sementara saat aliran diubah menjadi lebih cepat baik dengan 0,166 Kg/s dan 0,250 Kg/s nilai *pressuredrop* meningkat menjadi 0,030 kPa dan 0,045 kPa. Namun pada saat menggunakan *baffle* dengan *spacing* 90 mm, nilai *pressure drop* hampir sama saat aliran pada variasi 0,166 kg/s dengan 0,250 kg/s, hal ini disebabkan aliran yang cepat sehingga kontak antara fluida dengan *baffle* terjadi sangat singkat. Sehingga semakin banyak *baffle* mengakibatkan semakin besar *pressuredrop* yang terjadi.



Gambar 4. Grafik Panjang tube terhadap Temperatur

Berdasarkan Gambar 4, Unit *shell and tube heat exchangers* menggunakan aliran counter flow/parallel, selain itu dapat diketahui bahwa aliran yang terjadi pada unit *Shell and tube heat exchanger* memiliki hasil yang baik karena temperatur yang keluar memiliki selisih nilai yang sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa saat perubahan temperatur yang sedikit memiliki C_p yang besar. Nilai pada grafik ini menunjukkan kapasitas perpindahan panas yang terjadi

pada STHE, dimana nilai perpindahan panasnya konstan atau terjadi perpindahan panas yang seragam mulai dari awal hingga akhir.



Gambar 5. Grafik NTU-efektifitas terhadap Cr

Dari Gambar 5 dapat dianalisis bahwa setiap kenaikan *flowrate* pada masing-masing variasi *baffle spacing* terjadi kenaikan efektifitas. Terbukti bahwa pada masing-masing variasi ketiganya (30mm, 60mm, 90mm) kenaikan terjadi pada saat *flowrate* dinaikan pada 0,833 kg/s hingga 0,166 kg/s. Namun pada saat kenaikan *flow rate* pada 0,250 kg/s pada *baffle spacing* 90 mm tidak sama selisihnya seperti saat kenaikan *flow rate* di di awal yakni 0,083 kg/s hingga 0,166 kg/s. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya nilai *pressure drop* yang tinggi sebesar 0,045 saat menggunakan variasi *baffle spacing* 30mm dan 60mm pada variasi 0,250 kg/s. Nilai NTU dipengaruhi oleh besarnya luasan yang dilalui oleh fluida seperti pada persamaan 5, hal ini mengakibatkan nilai pada variasi *baffle spacing* 30mm saat *flow rate* 0,083kg/s memiliki nilai NTU terbesar yakni 17,139 dibandingkan dengan variasi 60mm dan 90mm yang hanya memiliki 15,794 dan 14,323 akibat nilai heat transfer secara konveksi pada luasan yang dilalui oleh fluida. Sehingga pada nilai efektifitas yang dipengaruhi oleh besarnya *heat capacity* memiliki nilai C_p yang semakin meningkat apabila nilai output dari shell tinggi seperti saat nilai T_{out} 40,76 nilai C_p nya 4,183. Dimana nilai konveksi ini berpengaruh terhadap nilai U pada bilangan NTU. Sehingga semakin besar nilai NTU dapat membuat efektifitas Unit *Shell ant tube heat exchanger* ini semakin besar. nilai Cr pada grafik menunjukkan bahwa pada *flow rate* yang sama memiliki nilai Cr yang sama besarnya seperti pada saat *flowrate* 0,083 Kg/s nilai Cr sebesar 0,333, saat nilai *flow rate* 0,166 Kg/s nilai Cr sebesar 0,665, dan pada saat 0,250 Kg/s bernilai Cr: 0,999, sehingga pada saat variasi laju aliran dinaikan memiliki nilai Cr yang ikut meningkat akibat dari nilai temperatur yang berpengaruh terhadap C_{min} ataupun C_{max} .

Kesimpulan

Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa :

1. Perubahan *flow rate* dapat meningkatkan nilai *pressure drop*, seperti saat variasi baffle spacing 30 mm, menunjukkan bahwa dengan *flow rate* pada terkecil yakni 0,083 kg/s, nilai *pressure drop* bernilai lebih rendah 0,011 kPa, Sementara saat aliran diubah menjadi lebih cepat baik dengan 0,166 Kg/s dan 0,250 Kg/s nilai *pressure drop* meningkat menjadi 0,030 kPa dan 0,045 kPa. Dari ketiga variasi baffle spacing, dengan menggunakan baffle spacing 60 mm, nilai *pressure drop*nya lebih stabil yakni 0,003 kPa, 0,007 kPa, 0,015 kPa dan lebih sesuai untuk unit yang dievaluasi.
2. Besar dari nilai dari C_h atau C_c dapat mempengaruhi peningkatan nilai pada *effectiveness* (ϵ), NTU sesuai dengan grafik pada Gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa dengan *flow rate* yang sama memiliki nilai Cr yang sama besarnya meskipun dengan *baffle spacing* yang berbeda, seperti pada baffle spacing 30 mm, 60 mm, 90 mm. Pada *flow rate* 0,083 Kg/s nilai Cr sebesar 0,333, Sehingga pada saat variasi laju aliran



dinaikan memiliki nilai C_r yang ikut meningkat akibat dari nilai temperatur yang berpengaruh terhadap C_{min} ataupun C_{max} .

Daftar Notasi

q_c = Laju perpindahan kalor (W)

\dot{m} = Laju alir massa (kg/s)

C_p = Kalor spesifik dari fluida (J/kg . K)

T_o = Temperatur pada sisi keluar (K)

T_i = Temperatur pada sisi masuk (K)

Q_h = Laju perpindahan kalor di pipa dalam (W)

Cp_h = Kalor spesifik fluida panas (J/kg . K)

Cp_c = Kalor spesifik fluida dingin (J/kg . K)

P = tekanan [atm]

A = Luas permukaan dalam pipa bagian dalam (m^2)

ε = effectiveness

q_{max} = laju perpindahan kalor maksimum (W)

C_{min} = Nilai minimum dari C_c dan C_h (W/K)

C_{max} = Nilai maksimum dari C_c dan C_h (W/K)

C_r = Heat capacity rate ratio

NTU = Number Transfer Unit

U = Koefisien overall laju perpindahan kalor (W/m^2K)

Daftar Pustaka

Anggraini H. E. Pengaruh kecepatan aliran terhadap efektifitas shell and tube heat exchanger. Universitas Kristen Petra. 2000

Incopera F.P dan Dewitt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer seventh edition. John Wiley and Sons. 2007

Kurniawan Mainil A., dkk. Penyusunan Program Komputasi Perancangan Heat Exchanger tipe Shell & Tube Dengan Fluida Panas Oli dan Fluida Pendingin Air. Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI17). 2012

Lienhard IV J H and Lienhard V J H. A Heat Transfer Textbook Third Edition. Phogiston Press. Cambridge Massachusetts. 2008

Nur Handy F. K.. Rancang Bangun Heat Exchanger Shell and Tube Single Phase. Teknik Mesin Universitas Diponegoro. 2011

Serth, R. W. Process Heat Transfer Principles and Applications, Academic Press, 1st edn, Texas. 2007

Shah, K. J. and D. P. Sekulic. Fundamentals of Heat Exchanger Design, Wiley, Hoboken, NJ, 2003





Lembar Tanya Jawab

Moderator: Jarot Raharjo (Pusat Teknologi Material, BPPT)

1. Penanya : Ramli Sitanggang (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah maksud Numerical study? Apakah hasil yang dihasilkan sudah sesuai dengan text book?
Jawaban : Numerical study = pengkajian dengan software-software yang dipakai adalah HTRI (Heat Transfer Research Inc). Nilai U (heat transfer overall coefisient) masih terlalu besar daripada di literature (di luar range text –book).

2. Penanya : Hendro Risdianto (Balai Besar Pulp dan Kertas)
Pertanyaan : Baffle spacing mana dari variable yang paling bagus?
Jawaban : Yang paling bagus adalah baffle spacing 60 mm.