

EVALUASI PERFORMA SPIRAL HEAT EXCHANGER HE-201 PADA UNIT DEMONOMERISASI

Herda Urbaningtyas¹, Nanik Hendrawati¹, Fanny Choirudin²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia

²PT Ashahimas Chemical, Jl. Raya Anyer Km. 122, Cilegon, Banten, Indonesia
herdaurbaningtyas77@gmail.com, [nanik.hendrawati@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Heat exchanger adalah proses perpindahan panas fluida dengan fluida lain tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya dan dapat dipergunakan sebagai pemanas. Salah satu tipe alat *heat exchanger* yang dipakai pada unit demonomerisasi adalah *Spiral heat exchanger*. Pada *Demonomerisasi* di PT Ashahimas Chemical, *Spiral heat exchanger* HE – 201 digunakan untuk memanaskan atau meningkatkan suhu *slurry* demonomer. *Spiral heat exchanger* HE-201 tersebut terdapat di unit *demonomerisasi* pada proses PVC (*Polyvinyl Chloride*). Hal ini dilakukan karena *slurry* yang terproduksi mengalami penurunan yang disebabkan terbentuknya kerak. Hal tersebut menyebabkan koefisien perpindahan panas (*Ud*) menurun dan mencapai jenuh, oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui nilai perpindahan panas dan efisiensi performa alat. Berdasarkan hasil evaluasi dari perhitungan nilai *fouling factor* (*Rd*) pada HE-201 diperoleh *Rd* actual yang jauh lebih kecil dari *Rd* desain dan nilai ΔP aktual sebesar 1,6 Kg/cm²G. Nilai tersebut berada dibawah nilai *pressure drop* yang diizinkan yaitu sebesar 2,6 Kg/cm²G. Hal ini menunjukkan bahwa HE-201 pada unit *demonomerisasi* memiliki kondisi yang sangat baik, masih dapat beroperasi dan tidak perlu diperbarui.

Kata kunci: *Spiral Heat Exchanger, Fouling Resistance, Evaluasi ΔP*

ABSTRACT

Heat exchanger is the process of transferring heat from a fluid to another fluid without massing transfer in it and can be used as a heater. One type of heat exchanger used in the demonomerization unit is the spiral heat exchanger. In Demonomerization at PT Ashahimas Chemical, Spiral heat exchanger HE - 201 is used to heat or increase the temperature of the slurry demonomer. The spiral heat exchanger HE-201 is contained in the unit demonomerization in the PVC (Polyvinyl Chloride) process. This is done because of the slurry that is produced has decreased due to the formation of a scale. This causes the heat transfer coefficient (Ud) to decrease and reaches saturation, therefore it is necessary to evaluate to determine the value of heat transfer and efficiency of tool performance. Based on the evaluation of the calculation of the value of fouling factor (Rd) in the HE-201 was obtained Rd actual much smaller than Rd design and actual ΔP value of 1.6 Kg / cm²G. This value is below the value of the pressure drop permissible in the amount of 2,6 Kg / cm²G. This indicates that the HE-201 in the unit demonomerization is in very good condition, is still operational, and does not need to be renewed.

Keywords: *Spiral Heat Exchanger, Fouling Resistance, ΔP Evaluation*

1. PENDAHULUAN

PT. Asahimas Chemical (ASC) memiliki 3 jenis unit proses, yaitu unit *Chlor Alkali*, unit EDC (*Ethylene Dichloride*) & VCM (*Vinyl Chloride Monomer*), dan unit PVC (*Polyvinyl Chloride*). Sebelum menjadi PVC di pisahkan VCM yang tidak bereaksi dari bubur PVC pada unit PVC,

slurry PVC diumpun ke bagian atas *stripping column* sambil di panaskan oleh *slurry demonomer* dari bagian bawah kolom *stripping* melalui *slurry heat exchanger spiral* (HE – 201). HE (*heat exchanger*) adalah suatu alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas fluida dengan fluida yang lain tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya dan dapat dipergunakan sebagai pemanas maupun pendingin. *Heat exchanger* memiliki tipe yang beragam, salah satunya *spiral heat exchanger* yang terbuat dari dua *plate* yang digulung pada batang dan dua saluran konsentris dibuat terpisah. Dua fluida dapat mengalir secara *counter-current*, hal tersebut merupakan poin penting untuk mencapai laju perpindahan panas, serta konveksi *heat exchanger* pada *spiral heat exchanger* (HE – 201) sangat bagus dengan tekanan yang tepat [1]. Sifat lain yang dimiliki *spiral heat exchanger* (HE - 201) adalah *fouling resistance* yang terjadi di dalamnya rendah. Ini dikarenakan geometri tertentu mengarah pada perubahan kontinyu dalam arah aliran dua fluida, yang mana menambah turbulensi dan mengurangi zona stagnan. Turbulensi mengakibatkan tinggi kecepatan air memperbesar bilangan Reynold kemudian mengakibatkan perpindahan kalor secara konveksi [2]. Manfaat dari *spiral heat exchanger* (HE – 201) adalah keefektifan yang signifikan, kehilangan tekanan rendah serta *fouling resistance* yang kecil menjadikan alat yang unik untuk digunakan dalam aplikasi perpindahan panas [3]. *Fouling factor* adalah angka yang menunjukkan hambatan akibat adanya kotoran yang terbawa fluida yang mengalir di dalam *heat exchanger* (HE - 201). Kotoran dan deposit yang menempel pada *spiral* merupakan penyebab utama penurunan performa *heat exchanger*. Sehingga, evaluasi pada *Heat Exchanger* (HE - 201) dilakukan untuk mengetahui nilai perpindahan panas dan efisiensi performa alat. Evaluasi dilakukan terhadap nilai koefisien perpindahan panas yang mengakibatkan bertambahnya besaran tahanan termalnya, *fouling faktor* (R_d) dan *Pressure drop* (ΔP). Solusi dari permasalahan tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi perpindahan kalor pada *heat exchanger* karena terjadi pengurangan pada energi yang dibutuhkan atau penurunan terhadap ukuran *heat exchanger* [4].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan penelitian adalah sebagai berikut :

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi spesifikasi alat dan desain operasi awal pada *Heat Exchanger* yang diperoleh dari PT Ashahimas Chemical. Pengambilan sampel dilakukan di unit PVC (*Polyvinyl Chloride*) pada proses *Demonomerisasi* yang meliputi *flowrate slurry* dan air, *temperature in* dan *temperature out*.

2.2. Perhitungan

Untuk menghitung performa pada alat *heat exchanger*, beberapa tahapan penyelesaian menggunakan metode kern [5] dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan *material* dan *heat balance*

Pemilihan material untuk mendesain *heat exchanger* di sesuaikan dengan bahan yang akan melewatinya. Perhitungan *heat balance* dimaksudkan untuk mengetahui suhu keluar dan *flowrate* air pendingin. Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan neraca panas sebagai berikut :

$$Q_s = Q_w \quad (1)$$

$$W_s \times C_{p1} \times (t_2 - t_1) = W_w \times C_{p2} \times (T_1 - T_2) \quad (2)$$

$$Q_w = \frac{W_w}{p_w} \quad (3)$$

Keterangan :

- W_s = flowrate slurry (lb/hr)
- W_w = flowrate
- Cp_1 = specific heat slurry (Btu/lb/°F)
- Cp_2 = specific heat air (Btu/lb/°F)
- T_1 = suhu air masuk (°F)
- T_2 = suhu air keluar (°F)
- t_1 = suhu slurry masuk (°F)
- t_2 = suhu slurry keluar (°F)

2. Menghitung ΔT LMTD (*Logarithmic Mean Temperature Difference*)

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad (4)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (5)$$

Nilai Ft didapat dari *figure 19* [5]

$$\Delta T = \Delta T \text{ LMTD} \times Ft$$

3. Menghitung *Caloric Temperature* pada *Spiral* (T_c dan t_c)

Perhitungan dilakukan menggunakan *figure 17* [5] sehingga diperoleh nilai k_c . Selanjutnya, melakukan perhitungan nilai $\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h}$ sehingga diperoleh nilai F_c untuk menghitung *caloric temperature* dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h} = \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \quad (6)$$

$$T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2) \quad (7)$$

$$t_c = t_1 + F_c (t_2 - t_1) \quad (8)$$

4. Menghitung bilangan Reynold (Re)

Perhitungan *mass velocity* (G) dilakukan terlebih dahulu pada sisi *spiral* dengan persamaan sebagai berikut [3] :

$$G = \frac{m}{b' \times h_o} \quad (9)$$

Keterangan :

- G = *mass velocity*
- m = *flow rate spiral*
- b' = *spacing*
- h_o = *tinggi heat exchanger*

Selanjutnya, menghitung *diameter* (D) pada *spiral* dengan persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{2 \times h_o \times b'}{h_o + b'} \quad (10)$$

Keterangan :

- D = *diameter*
- h_o = *tinggi heat exchanger*
- b' = *spacing*

Setelah diperoleh G dan D , maka bilangan Reynold pada *spiral* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{D \times G}{\mu} \quad (11)$$

Keterangan :

μ = viskositas fluida pada *temperature caloric*

5. Menghitung bilangan Nusselt (Nu)

Perhitungan *conductivity thermal* (K) dilakukan terlebih dahulu pada *spiral* dengan persamaan sebagai berikut :

$$K = (m_{pvc} \times Kf_{pvc}) + (m_{air} + Kf_{air}) \quad (12)$$

Selanjutnya, menghitung *prandit* (Pr) pada *spiral* dengan persamaan sebagai berikut :

$$N_u = 0,1 \times N_{re}^{0,76} \times P_r^{0,33} \quad (13)$$

6. Menghitung nilai hio

$$h_{io} = \frac{tp}{Kw} \quad (14)$$

7. Menghitung *Fouling Factor* (Rd)

Rd merupakan faktor kekotoran pada sisi *spiral* yang diperoleh dengan menghitung *overall heat transfer coefficient* saat kondisi bersih dan desain dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_d = \frac{Q}{A \times \Delta T} \quad (15)$$

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (16)$$

8. Menghitung *Pressure Drop* (ΔP)

Pressure drop merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada suatu aliran karena gesekan dinding/saluran. Sebelum menghitung *pressure drop*, terlebih dahulu menghitung nilai f. Nilai f diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [6]:

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{N_{re}^{0,42}} \quad (17)$$

$$\Delta P = 0,001 \frac{L}{s} + \left[\frac{M}{bh} \right] \left[\frac{1,035 \mu^{\frac{1}{2}}}{b+0,125} \times \frac{h^{\frac{1}{2}}}{M} \frac{16}{L} \right] \quad (18)$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h} + \frac{1}{hhd} + \frac{tp}{kw} + \frac{1}{hc} + \frac{1}{hcd} \quad (19)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data spesifikasi alat *design* operasi *Heat Exchanger* (HE – 201) yang digunakan pada PT Ashahimas Chemical dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 1. Data spesifikasi alat *Heat Exchanger* (HE – 201)

Tanggal	TI-2614	TI-2609	TI-2601	TI-2610	Cp (Kcal/ kg°C)	Density (kg/m ²)		S (g/m ²)		Ao (m ²)
	T _c °C		T _h °C			cool	Hot	cool	hot	
	In	out	in	Out						
21/01/18	51,4	95,2	107,5	65,6	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/02/19	53,7	95,3	107,3	66,9	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/03/18	51,4	94,9	107,6	67,2	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/04/18	52,5	94,9	107,3	67,7	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/05/18	53,3	94,6	106,6	68,5	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/06/18	51,5	93,4	106,7	66,4	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/07/18	54	93,9	106,9	69,5	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/08/18	52,1	93	106,5	66,5	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/09/18	52,4	93,9	106,6	68,8	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/10/18	52,7	94	106,6	67,4	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/11/18	52,9	94,9	107,3	66,8	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/12/18	51,2	93,8	106,3	66,4	0,8	108	105	1,08	1,05	183
21/01/19	51,7	94,5	106,3	68	0,8	108	105	1,08	1,05	183

Tabel 2. Data *design* operasi *Spiral Heat Exchanger* (HE – 201)

Plant Location	PVC-4 Plant		Item No.		HE-201	
Service	Slurry Heat Exchanger		Surface Area		183	m ² /shell
Quantity	1 units		1 shells/unit		183	m ² /unit
			(A) HOT SIDE		(B) COLD SIDE	
			PVC SLURRY		PVC SLURRY	
FLOW RATE	: TOTAL	kg/h	101684		94650	
	: PVC	kg/h	30000		30000	
	: WATER	kg/h	71684		63750	
TEMPERATURE	[in/out]	°C	106	66,3	50	92,7
			LIQUID	LIQUID	LIQUID	LIQUID
DENSITY		kg/m ³	1054	1054	1088	1088
SPEISIFIC HEAT		kcal/kg °C	0,8	0,8	0,8	0,8
VISCOSITY		Cp	1	1	1	1
PRESSURE DROP		kgf/cm ²	2,8	2,5	2,8	2,6
FOULING RESISTANCE			0.00012			
VELOCITY		m/sec	1,5		1,4	
HEAT TRANSFER RATE		kcal/m ² hr°C	clean	1412	service	1201
CONSTRUCTION OF ONE SHELL						
PLATE WIDTH			WIDTH	1219	mm	
SPACING		mm	15		14	
MATERIAL	PLATE		STAINLESS			

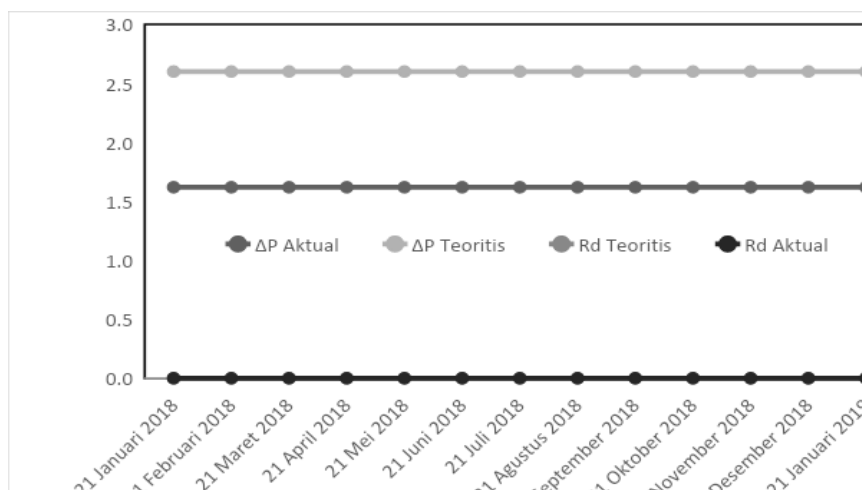
Preheating adalah suatu proses pemanasan awal sebelum material memasuki proses di alat berikutnya, bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi dan mengurangi perbedaan temperature tinggi. Penggunaan *preheater* biasanya digunakan untuk memanaskan bahan

baku proses atau membuat suatu *steam*. HE - 201 merupakan *heat exchanger* yang digunakan untuk membuat suatu *steam*. Berdasarkan teori, fluida yang mengalir di dalam *spiral* memiliki persyaratan tertentu agar tidak cepat mengalami kerusakan atau *trouble* karena kekentalan lebih tinggi dibandingkan *boiling water*. *Boiling water* lebih mudah melakukan *cleaning* untuk *fouling* pada *heat exchanger* jika didalam *spiral* yang memiliki kekentalan tinggi. *Fouling* merupakan terkumpulnya material yang tidak diinginkan dipermukaan alat proses sehingga dapat mengurangi kemampuan *heat exchanger* dan mengurai perbedaan suhu yang telah ditentukan *design*.

Pada pembahasan ini akan dibahas tentang hasil perhitungan *fouling factor* (Rd) desain dan aktual yang terdapat dalam *Spiral Heat Exchanger* (SHE) HE-201 di PT Asahimas Chemical Cilegon. *Spiral Heat Exchanger* adalah HE yang digunakan untuk fluida jenis *slurry*, yang memiliki densitas tinggi, semi padat, dan viskositas tinggi karena *Spiral Heat Exchanger* memiliki arah aliran radial dan aksial sehingga kecil kemungkinan untuk terjadi *blocking*. Dalam penggunaan HE-201, *velocity* aliran fluida tidak boleh dibawah 1 m/s karena jika *velocity* kurang dari 1 m/s *slurry* akan terdeposit sehingga menyebabkan *blocking* [3], *velocity* juga tidak boleh terlalu tinggi agar *pressure drop* tidak tinggi yang dapat menyebabkan erosi pipa.

Evaluasi performa dilakukan terhadap analisa pengaruh dari *flow rate* dan *ratio feed atmospheric residu* (AR) sehingga didapatkan *flow rate* dan *ratio feed* yang menghasilkan *fouling factor* yang ekonomis, yang dapat menurunkan *cost maintenance* untuk *heat exchanger*. Evaluasi kinerja dilakukan dengan membandingkan beberapa parameter yang berpengaruh pada *heat exchanger*. Tujuan dari evaluasi kinerja ini adalah untuk mengetahui apakah HE-201 masa operasinya dapat diperpanjang menjadi 3 tahun dan mengetahui nilai *fouling factor*. Perhitungan *fouling factor* (Rd) pada HE-201 berdasarkan 1 unit HE dan berpedoman pada buku [5] serta jurnal-jurnal pendukung lainnya.

Dari Gambar 1 dapat dilihat perbandingan antara jumlah *fouling factor* desain dan aktual memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Perhitungan *fouling factor* aktual didapat nilai yang lebih kecil dibanding Rd desain. Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai Rd aktual lebih kecil dibandingkan nilai Rd desain. Hal ini dikarenakan suhu aktual operasi yang digunakan pada SHE lebih besar dari suhu operasi pada desain. Besarnya suhu aktual operasi ini berpengaruh pada nilai Rd aktual yang akan semakin kecil karena dengan tingginya suhu operasi aktual maka nilai *Uc* yang dihasilkan akan semakin besar.



Gambar 1 Rd desain dan aktual dengan waktu

Apabila suatu *HE* telah lama dioperasikan, maka lambat laun akan timbul kerak yang disebut *fouling factor*. *Fouling* terbentuk dikarenakan beberapa proses, yaitu inersia, *thermophoresis*, kondensasi, dan rekasi-reaksi yang terjadi. Inersia dan *thermophoresis* yang menyalurkan komponen fluida ke permukaan-permukaan alat. Inersia yang merupakan kecenderungan dari suatu benda untuk bergerak atau diam inilah yang mempercepat *fouling*. Untuk komponen yang mempunyai ukuran lebih dari satu mikron akan lebih cepat inersianya karena ukuran komponen tersebut. Evaluasi yang dilakukan dengan melihat parameter *fouling factor* (R_d) merupakan salah satu langkah untuk dapat mengetahui kapan proses *fouling factor* harus dilakukan [7]. Nilai *fouling factor* dapat dijadikan indikator bahwa suatu *HE* memiliki rentang waktu *maintenance* yang singkat atau panjang. Nilai R_d aktual $\pm 0,0001223$ dibawah R_d teoritis yaitu 0,0012 menunjukkan terjadinya *fouling rate* yang relative kecil. Jika R_d aktual lebih kecil dari R_d desain maka rentang waktu *maintenance* akan panjang. Sedangkan jika R_d aktual lebih besar dari R_d desain maka reantang waktu *maintenance* akan pendek. Nilai *fouling factor* yang baik untuk *HE* adalah harus dibawah maksimum atau sama dengan dasain sehingga luas permukaan panas yang dibutuhkan dapat terpenuhi dengan baik [8].

Hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan panas *overall* secara aktual sekitar 1,6 $\text{Kg/cm}^2\text{G}$ dan nilai koefisiensi perpindahan panas *overall* desain didapatkan sebesar 2,6 $\text{Kg/cm}^2\text{G}$. Jika dilihat dari nilai perbandingan R_d aktual dengan R_d desain dan nilai *pressure drop* (ΔP) actual dengan ΔP desain pada gambar 1 bahwa kondisi *SHE HE-201* masih dalam keadaan bersih dan belum disarankan untuk dilakukan pembersihan. Dari data-data yang sudah diperoleh bahwa masa operasi *SHE HE-201* dapat diperpanjang dari 2 tahun menjadi 3 tahun. Hal ini dapat dilihat dari besar nilai R_d aktual dan ΔP aktual yang jauh lebih kecil dari nilai R_d teoritis dan ΔP teoritis. Pada penelitian Emerson [9], hasil perhitungan didapatkan nilai ΔP 7,4341 lebih kecil dari nilai teoritis yang ijinkan pada *spesifikasi* desain yaitu ΔP 88, dari hal ini maka dapat disimpulkan bahwa kondisi *heat exchanger* dalam keadaan bersih dan baik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan Performa *Spiral Heat Exchanger* (*SHE*) *HE-201* pada Unit *Demonomerisasi* yang terdapat di PT *ASAHIMAS Chemical Cilegon*, nilai *fouling factor* (R_d) pada *HE-201* diperoleh R_d aktual yang jauh lebih kecil dari R_d desain. Nilai *pressure drop* (ΔP) diperoleh ΔP aktual sekitar 1,6 $\text{Kg/cm}^2\text{G}$. Nilai tersebut berada dibawah nilai *pressure drop* yang diizinkan yaitu sebesar 2,6 $\text{Kg/cm}^2\text{G}$. Hal ini menunjukkan bahwa *HE-201* masih dalam kondisi yang sangat baik dan tidak perlu dilakukan perbaikan. Hal ini berarti *HE-201* masih dapat beroperasi dengan baik. Sebaiknya dilakukan perhitungan secara berkala untuk mengetahui efisiensi dari *HE-201*.

REFERENSI

- [1] Bes, T., and Roetzel, W., 1993, Thermal theory of the spiral heat exchanger, *Int. J. Heat Mass Transf*, vol. 36, no. 3, pp. 765–773.
- [2] Chalim A., 2017, Koefisien Perpindahan Kalor Total (U) Sistik Air- Etilen Glikol Menggunakan Alat Penukar Kalor Shell and Tube 1-1, *J. T. Kimia*, P. N. Malang, J. Soekarno, and H. No, vol. 1, pp. 69–76.
- [3] Picón-Núñez, M., Canizalez-Dávalos, L., Martínez-Rodríguez, G., and Polley, G. T., 2007, Shortcut design approach for spiral heat exchangers, *Food Bioprod. Process*, vol. 85, no.

4 C, pp. 322–327.

- [4] Khorshidi, J., and Heidari, S., 2016, Design and Construction of a Spiral Heat Exchanger, *Adv. Chem. Eng. Sci.*, vol. 06, no. 02, pp. 201–208. doi: 10.4236/aces.2016.62021.
- [5] Kern, D. Q., 1983, *Process Heat Transfer, Heat Transfer by Radiation*, McGraw Hill International Book Company, Japan.
- [6] Egeten, H. S. F., Sappu, F. P., and Maluegha, B., 2014, Efektivitas Penukar Kalor Tipe Plate P41 73Tk, *Manad. Univ. Sam Ratulangi*, vol. 3.
- [7] Knudsen, J., J. MV, H. JK, F. NJ, N. TB, and Gaigg, B., 1999, Role of acylCoA binding protein in acylCoA transport, metabolism and cell signalling, *Mol. Cell. Biochem.*, vol. 192, no. 1–2, pp. 95–103..
- [8] Nguyen, D. K., and San, J. Y., 2016, Decrement in heat transfer effectiveness due to solid heat conduction for a counter-current spiral heat exchanger, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 103, pp. 821–831.
- [9] Tamime, A. Y., and Robinson, R. K., 2007, Nutritional value of yoghurt, *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, Third E. Robinson, Eds. Woodhead Publishing, pp. 646–684.