

PERHITUNGAN TOTAL *HEAT TRANSFER COEFFICIENT* ALAT PENUKAR KALOR TYPE PLATE Q030E RKS – 10/1 DI UNIT *BLENDING TANK*

Rudi Hermawan¹, Muhamad Robi Irwanto¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin Universitas Pancasila, Jakarta
PT.Sari Enesis Indah, Plant Ciawi –Sukabumi

Kata kunci:

heat exchanger,
gasketed-plate heat exchanger, Nilai kalor (Q), ΔT LMTD, Luas permukaan *plate heat exchanger*

Email penulis:

irwanto.robi46@gmail.com

Abstract

Heat Exchanger merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan proses perpindahan kalor antara dua fluida, baik cair maupun gas. Salah satu tipe *Heat Exchanger* yang digunakan di Pabrik Sari Enesis Indah, Plant Ciawi adalah *gasketed-plate-heat exchanger*. Proses analisa performa dilakukan dengan menentukan nilai kalor (Q), nilai beda temperature rata – rata logaritma (LMTD), luas permukaan *plate heat exchanger* dan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dari kondisi awal design. Hasil pengamatan dan perhitungan pada data pertama diperoleh nilai kalor (Q) sebesar 1.461,04 kW nilai ΔT LMTD sebesar 48,12, luas permukaan *plate heat exchanger* untuk satu lempeng plat sebesar 0,0525 m² dan nilai koefisien pindah panas keseluruhan sebesar 4.060,52 W/ (m². °C).

1. Pendahuluan

Alat Penukar kalor di industri – industri minuman, perminyakan atau kimia tidak selamanya dapat beroperasi dengan baik. Sebagai contoh PT.Sari Enesis Indah, Plant Ciawi, alat penukar kalor lebih rentan mengalami kerusakan di karenakan produk dan proses CIP (*Cleaning in Place*) mengandung Larutan asam dan basa yang bersifat korosif bila bersentuhan dengan logam. Untuk mengurangi biaya produksi dan *idle time* proses, *preventive* pembersihan alat ukur sangatlah efektif dari pada langsung membeli alat penukar kalor yang sudah jadi. Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang paling banyak digunakan di industri minuman adalah *plate heat exchanger*. Alat penukar kalor jenis ini dibuat oleh plat logam *stainless* tahan karat aliran *fluida* panas dan dingin mengalir masuk dan keluar melalui suatu lubang angin pada 4 sudut lembar yang menghasilkan efek perpindahan panas. Dalam rangka mencegah kebocoran dan pecampuran dari cairan panas dan dingin. Karet pengatur jarak digunakan untuk menyegel antara plat logam.



Gambar 1: *Plate Heat Exchanger* tipe Q030E RKS –10/1

Berdasarkan dari permasalahan tersebut, dan juga melihat betapa pentingnya konsistensinya kinerja alat penukar kalor tipe *plate heat exchanger* maka penulis menulis jurnal mengenai “Perhitungan Total *Heat Transfer* Alat Penukar Kalor Tipe Q030 RKS-10/1 di Unit *Blending Tank*”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Mencari dan menentukan Temperature *in* dan *out* alat penukar kalor.
2. Mencari dan menentukan besarnya laju aliran *fluida* dingin dan *fluida* panas.
3. Mencari dan menentukan luas permukaan *plate heat exchanger*.
4. Mencari dan menganalisa besarnya LMTD pada alat penukar kalor tipe Q030 RKS-10/1.
5. Mencari besarnya konduktivitas thermal material *plate* tipe baja karbon.
6. Menentukan nilai kalor (Q).
7. Menentukan besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mampu menentukan besarnya temperatur *in* dan *out* dari *plate heat exchanger*.
2. Mampu menentukan besarnya laju aliran *fluida* panas dan *fluida* dingin.
3. Mampu menghitung luas permukaan *plate heat exchanger*.
4. Mampu menghitung besarnya LMTD alat penukar kalor tipe *plate*.
5. Mampu menentukan besarnya konduktivitas thermal material *plate* tipe baja karbon-nikel
6. Mampu menghitung besarnya kalor (Q).
7. Menentukan harga koefisien perpindahan panas *overall* (U) sistem dua *fluida*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Definisi Penukar Kalor

Panas atau kalor merupakan suatu bentuk energi yang berpindah karena adanya perbedaan temperatur. Panas atau kalor tersebut akan bergerak dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Ketika panas atau kalor bergerak maka akan terjadi pertukaran panas dan kemudian akan berhenti ketika kedua tempat tersebut sudah memiliki temperatur yang sama. Contohnya kopi panas ke lingkungan yang mempunyai suhu 25°C, hingga terjadi kesetimbangan atau kesamaan suhu pada gelas dan lingkungan (*cengel,2003*).

2.2 Mekanisme Perpindahan Panas

Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dapat berupa konduksi, konveksi atau radiasi. Dalam aplikasinya, ketiga mekanisme ini dapat terjadi secara simultan.

2.3 Konduksi

Suatu material bahan yang mempunyai gradient, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Aliran kalor seperti ini disebut konduksi atau hantaran. Konduksi termal pada logam – logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi termal mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul (*Mc.Cabe,1993*). Dan dengan konstanta kesetimbangan (konduksi), maka menjadi persamaan *fourier*.

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dt}{dx}$$

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi Hukum Termodinamika II yaitu “ kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur ”(*Holman,1986*).

2.4 Konveksi

Konveksi merupakan proses perliindungan kalor dengan media atau benda yang menghantarkan kalor juga turut berpindah, seolah – olah kalor dibawa oleh media tersebut. Proses perpindahan kalor ini umumnya terjadi dari benda padat ke *fluida* baik cair maupun gas. Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan Newton.

$$q = -h \cdot A \cdot dT$$

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi Hukum Termodinamika II, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda (+).

2.5 Radiasi

Pada proses radiasi, panas diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui ruang media penghantar. Jika gelombang tersebut mengenai suatu benda, maka gelombang dapat mengalami *transisi* (diteruskan), *refleksi* (dipantulkan), dan *absorpsi* (diserap) dan menjadi kalor. Hal itu tergantung pada jenis benda. Menurut hukum Stefan Boltzam tentang radiasi panas dan berlaku hanya untuk benda hitam, bahwa kalor yang dipancarkan (dari benda hiram) dengan laju yang sebanding dengan pangkat lurus dengan permukaan benda, secara matematic dapat di tulis,

$$q = \delta \cdot A \cdot T^4$$

2.6 Alat Penukar panas

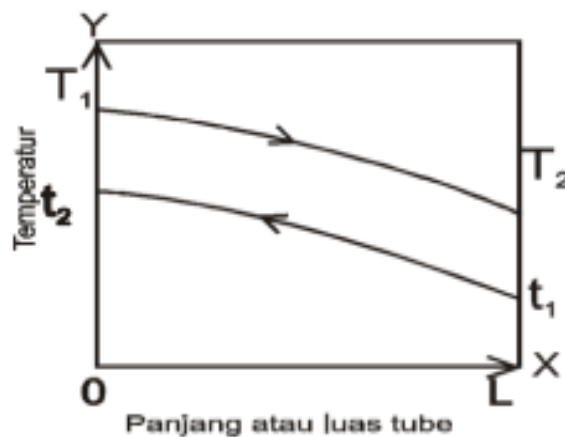
Alat penukar panas adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dapat berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar berpindah panas antara *fluida* dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak balik antara *fluida* terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Terdapat dua aliran penukar panas yaitu penukar panas dengan aliran searah (*co-current*) dan penukar panas dengan aliran berlawanan arah (*counter-current*).

2.6.1 Aliran Co-current

Penukar panas jenis ini, kedua *fluida* (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar yang sama, mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter penukar panas jenis ini, temperatur *fluida* dingin yang keluar dari alat penukar panas tidak dapat melebihi temperatur panas yang keluar dari alat penukar panas, sehingga diperlukan media pendinginan pemanas yang banyak. Neraca panas yang terjadi :

$$m_c \cdot (T_{cb} - T_{ca}) = m_h \cdot (T_{ha} - T_{hb})$$

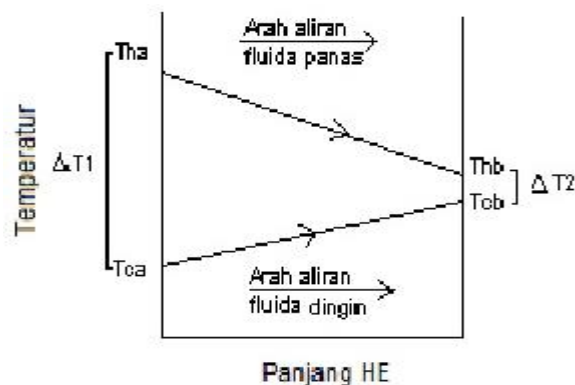
dengan asumsi nilai kapasitas panas (C_p) *fluida* dingin dan panas konstan, tidak ada kehilangan panas kelingkuangan serta keadaan *steady state*, maka kalor yang dipindahkan,



Gambar 2: Profil Temperatur Aliran *co-current*

2.6.2 Aliran Counter-Current

Penukar panas jenis ini, kedua *fluida* (panas dan dingin) masuk dan keluar pada sisi berlawanan. Temperatur *fluida* dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur *fluida* panas yang keluar dari penukar kalor, sehingga dianggap lebih baik dari aliran searah.

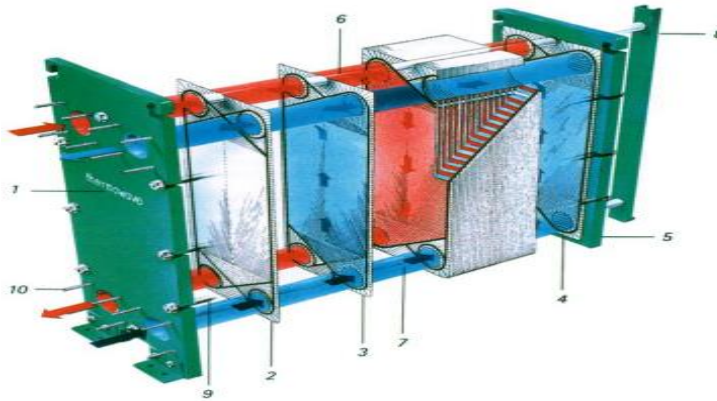


Gambar 3: Profil temperatur aliran *Counter-Current*

2.7. Plate Heat Exchanger

Alat penukar panas ini terdiri dari pelat – pelat tegak lurus. Bergelombang atau profil lainnya. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak. Pelat – pelat dari sekat ditentukan oleh suatu perangkat penekan

yang pada setiap sudut pelat terdapat lubang pengalir *fluida*, *fluida* mengalir pada sisi yang lain, sedangkan *fluida* yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebaliknya karena ada sekat (Artono,2002).



Gambar 4 : Plate Heat Exchanger

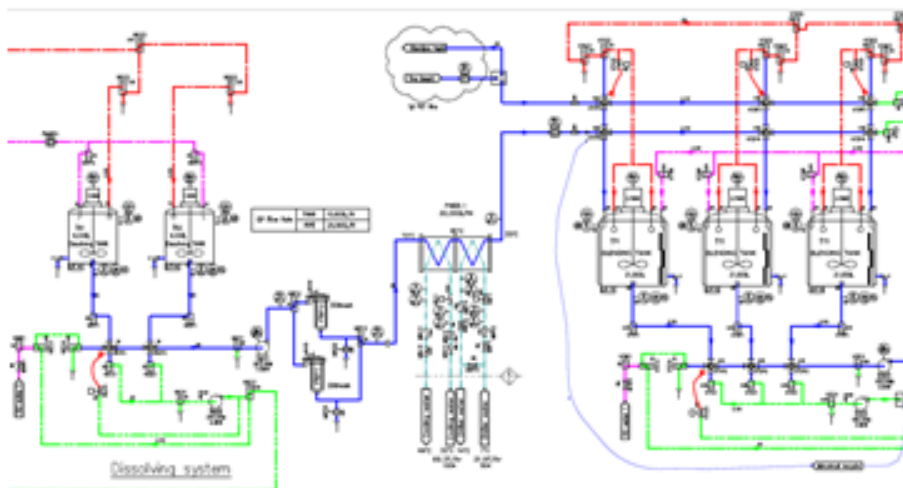
3. Metode Penelitian

3.1 Spesifikasi Alat Penukar Kalor

Nama Alat	Heat Exchanger Q030E RKS – 10/1
Jenis alat	Plate Heat Exchanger
Tipe	Q030E RKS – 10/1
Active area	2.75 m ²
Weight	168 kg
Design Pressure	10 Bar
Test Pressure	13 Bar
Arrangement	Hot side = 2*12+1*12 Cold side = 1*25+1*13
Volume	Hot side = 32 liter Cold side = 35 liter
Design Temperature	maximum 95°C

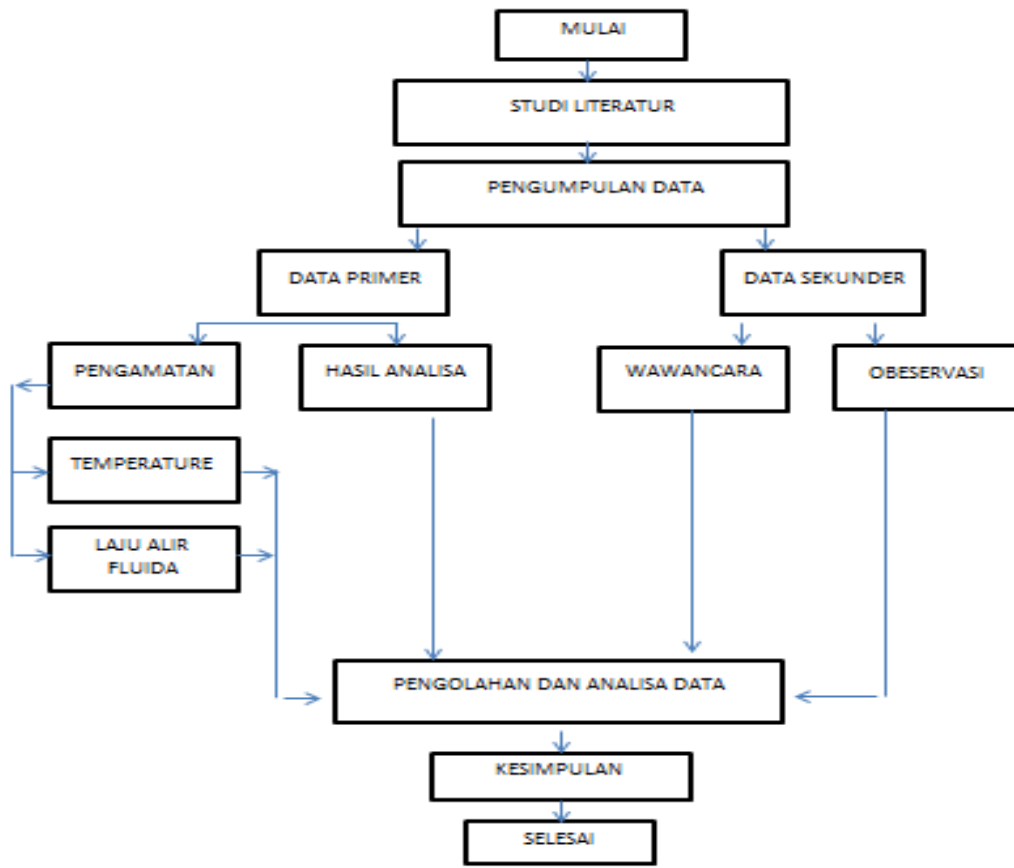
3.2 Flow Proses Unit Blending Tank

Ada beberapa macam dan jenis PHE yang ada di Produksi Line II unit Plant Ciawi, antara lain jenis PHE type *plate* Q030E RKS – 10/1. Pada peruntukannya alat penukar kalor tipe *plate* ini digunakan untuk *sterilisasi* dan *pasteurisasi* pada larutan produk miuman khususnya produk minuman Adem Sari Chingku. Proses yang harus dilewati sebelum larutan Adem Sari Ching-ku siap untuk ditransfer melewati PHE , anantara lain :



Gambar 5: Diagram proses di unit *Blending Tank*

3.3 Metodologi Penelitian



Gambar 6 : Metodologi Penelitian

3.4 Alat dan Perlengkapan

3.4.1 Alat

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian antara lain :

- Rangkain unit *plate heat exchanger* dengan serial Q030 RKS 10/1
- *Thermometer* tembak
- *Stopwath*
- *Thermogauge* dan *Pressure gauge*
- Form pencatatan variabel pengukuran
- Alat tulis
- Unit *Flowmeter*

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian penukar panas adalah *fluida* air (sebagai *fluida* dingin) dan larutan produk (sebagai *fluida* panas).

3.5 Prosedur Penelitian

Pengamatan dilakukan secara langsung disaat proses transfer produk dilakukan, dimana larutan produk yang sudah memenuhi kriteria standart QC sudah dinyatakan OK. Larutan produk yang melewati alat penukar kalor tersebut masih harus melewati beberapa tahap seperti : pencampuran *liquid formula*, pengecekan larutan oleh pihak *quality control* dan agitasi larutan produk selama 10 menit dan *adjusting volume* produk hingga 21.000 ± 500 liter. Berikut Diagram alir pengamatan langsung yang dilakukan penulis :



Gambar 7 : Diagram alir pengamatan

4. Pembahasan

4.1 Data Pengamatan

Tabel 1 : Laju alir *fluida* panas

No	Temperature (°C)	Laju Alir Fluida Panas	Waktu (jam)	Volume <i>fluida</i> panas
1	80 °C	30.140 Liter/jam	0,29	9.000 Liter
2	80 °C	29.898 Liter/jam	0,301	9.010 Liter
3	80 °C	29.980 Liter/jam	0,302	9.080 Liter
4	80 °C	30.012 Liter/jam	0,308	9.090 Liter
5	80 °C	30.122 Liter/jam	0,301	9.080 Liter
6	80 °C	30.188 Liter/jam	0,300	9.080 Liter

Tabel 2 : Laju alir *fluida* dingin

No	Temperature (°C)	Laju alir <i>fluida</i> dingin	Waktu (Jam)	Volume <i>fluida</i> Dingin
1	4 °C	55.000 Liter / jam	2,77	150.000 Liter
2	3,9 °C	55.092 Liter / jam	2,72	150.000 Liter
3	4 °C	55.098 Liter / jam	2,72	150.000 Liter
4	4,1 °C	55.189 Liter / jam	2,71	150.000 Liter
5	4 °C	55.012 Liter / jam	2,72	150.000 Liter
6	4	55.022 Liter / jam	2,72	150.000 Liter

Tabel 3 : Data pengamatan

No	<i>Fluida</i> Panas				<i>Fluida</i> Dingin			
	Laju Alir (L/jam)	Laju Alir (L/detik)	Thi (°C)	Tho (°C)	Laju Alir (L/jam)	Laju Alir (L/detik)	Tci (°C)	Tco (°C)
1	30.140	8.37	80	38	55.000	15,2	4	10
2	29.898	8.30	80	38	55.092	15,3	3,9	10,2
3	29.980	8.32	80	38,2	55.098	15,3	4	10,2
4	30.012	8.33	80	38	55.189	15,33	4,1	10
5	30.122	8.36	80	38,2	55.012	15,28	4	9,8
6	30.188	8.38	80	38,2	55.022	15,29	4	9,8

4.2 Analisa dan Perhitungan

Luas Permukaan Plat

Luas 1 plat = 0,0525 m²

Jumlah plat = 25 buah
 Luas permukaan = 25 x 0,0525 m²
 = 8,75 m²

LMTD (*log mean temperatur differential*)

Untuk aliran searah =

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}}$$

Tabel 4 : Hasil Perhitungan LMTD

No	JUMLAH PENGAMATAN	T1	T2	t 1	t 2	LMTD
1	Perhitungan ke-1	80 °C	38 °C	4 °C	10 °C	48,12
2	Perhitungan ke-2	80 °C	38 °C	3.9 °C	10.2°C	48,01
3	Perhitungan ke-3	80 °C	38.2 °C	4 °C	10.2 °C	48,12
4	Perhitungan ke-4	80 °C	38.2 °C	4.1 °C	10 °C	51,26
5	Perhitungan ke-5	80 °C	38 °C	4 °C	9.8 °C	48,08
6	Perhitungan ke-6	80 °C	38.2 °C	4	9.8 °C	48,37

Note : Pengambilan data temperature *in* dan *out* setelah proses *cleaning in place* (CIP), dengan maksud faktor pengotor tidak mempengaruhi besarnya nilai temperatur.

Perhitungan Kalor

Perhitungan nilai kalor : $q = m \times C_p \text{ rata - rata} \times \Delta T$

Tabel 5 : Nilai q *fluida* panas

No	Laju Alir (m ³ /jam)	ρ rata-rata (kg/m ³)	m(kg/jam)	C _p rata-rata (kJ/kg°C)	ΔT (°C)	q (kW)
1	30,1	994,6303	29.938,45	4,183	42	1.461,04
2	29,89	994,6303	29.792,49	4,183	42	1.453,92
3	29,98	994,6303	29.819,01	4,183	41,2	1.427,49
4	30,0	994,6303	29.838,90	4,183	42	1.456,18
5	30,1	994,6303	29.938,45	4,183	41,2	1.433,21
6	30,1	994,6303	29.938,45	4,183	41,2	1.433,21

Tabel 6 : Nilai q *fluida* dingin

No	Laju Alir (m ³ /jam)	ρ rata-rata (kg/m ³)	m(kg/jam)	C _p rata-rata (kJ/kg°C)	ΔT (°C)	q (kW)
1	55,00	1000	55.000	4,183	6	383,44
2	55,09	1000	55.090	4,183	6,3	403,27
3	55,09	1000	55.090	4,183	6,2	396,87
4	55,18	1000	55.180	4,183	5,9	397,55
5	55,01	1000	55.010	4,183	5,8	390,72
6	55,02	1000	55.020	4,183	5,8	390,79

Harga koefisien Perpindahan Panas

Harga koefisien Perpindahan Panas (h)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{hot}} + \frac{\Delta X}{k} + \frac{1}{h_{cold}}$$

$$H_{hot} = \frac{\Delta Q_{hot}}{A \cdot \Delta T_{hot}}$$

ΔX = tebal plat

k = konduktivitas termal plat

$$h_{cold} = \frac{\Delta Q_{cold}}{A \cdot \Delta T_{cold}}$$

Tabel 7 : Harga koefisien fluida dingin

No	Data Perhitungan	q (kW)	A(m ²)	$\Delta T(^{\circ}C)$	h_{cold} W/ (m ² . $^{\circ}C$)
1	Perhitungan ke-1	383,44	8,75	6	26.293,02
2	Perhitungan ke-2	403,27	8,75	6,3	26.336
3	Perhitungan ke-3	396,87	8,75	6,2	26.336,02
4	Perhitungan ke-4	397,55	8,75	5,9	27.722,61
5	Perhitungan ke-5	390,72	8,75	5,8	27.716,09
6	Perhitungan ke-6	390,79	8,75	5,8	27.721,06

Tabel 8 : Harga koefisien fluida panas

No	Data Perhitungan	q (kW)	A(m ²)	$\Delta T(^{\circ}C)$	h_{hot} W/ (m ² . $^{\circ}C$)
1	Perhitungan ke-1	1.461,04	8,75	42	14.312,22
2	Perhitungan ke-2	1.453,92	8,75	42	14.242,48
3	Perhitungan ke-3	1.427,49	8,75	41,2	14.255,10
4	Perhitungan ke-4	1.456,18	8,75	42	15.162,79
5	Perhitungan ke-5	1.433,21	8,75	41,2	14.312,22
6	Perhitungan ke-6	1.433,21	8,75	41,2	14.312,22

Harga konduktivitas termal plat (k) = 1,63 W/ m. $^{\circ}C$, material Baja karbon Nikel dan tebal plat *heat exchanger* 2.3 milimeter. Sumber data konduktivitas thermal material *plate heat exchanger*.

Konduktivitas termal

K

Bahan	W/m. $^{\circ}C$	Btu/h . ft . $^{\circ}F$
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal (murni)	35	20,3
baja karbon-nikel (18% cr, 8% ni)	16,3	9,4

Tabel 9 : Harga koefisien pindah panas keseluruhan (U)

No	Data	h hot W/ (m ² . °C)	h cold W/ (m ² . °C)	k W/(m. °C)	ΔX (meter)	U W/ (m ² . °C)
1	Perhitungan 1	14.312,22	26.293,02	16,3	0.0023	4.060,52
2	Perhitungan 2	14.242,48	26.336	16,3	0.0023	4.057,84
3	Perhitungan 3	14.255,10	26.336.02	16,3	0.0023	4.075,53
4	Perhitungan 4	15.162,79	27.722,61	16,3	0.0023	4.155,68
5	Perhitungan 5	14.312,22	27.716,09	16,3	0.0023	4.202,83
6	Perhitungan 6	14.312,22	27.721,06	16,3	0.0023	4.203,83

5. Kesimpulan

Perpindahan panas yang terjadi dalam PHE terjadi dengan cara konduksi yang terjadi pada medium padat yaitu *plate* dan konveksi yang terjadi pada fluida karena adanya aliran.

Hasil pengamatan dan perhitungan pada data pertama diperoleh nilai kalor (Q) sebesar 1.461,04 kW nilai ΔT LMTD sebesar 48,12, luas permukaan *plate heat exchanger* untuk satu lempeng *plate* sebesar 0,0525 m² dan nilai koefisien pindah panas keseluruhan sebesar 4.060,52 W/ (m². °C). Dengan konduktivitas thermal material *plate heat exchanger* sebesar 16,3 W/ m.°C.

Pengamatan nilai koefisien pindah panas keseluruhan pada plat *heat exchanger* tipe Q030 RKS 10/1, masih belum terlihat penurunan harga (U) yang terlalu signifikan. Itu berarti kinerja *heat exchanger* pada unit *Blending tank* masih belum perlu dilakukan pembersihan (*cleaning*).

Ucapan Terima Kasih

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, ulis dapat menyelesaikan Jurnal dengan Tema *Plate Heat Exchanger*. Dengan selesainya jurnal ini tidak lepas dari dukungan dan kerjasamanya yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu penyusunan jurnal ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini sudah selayaknya penulis menyampaikan terima kasih dan apresiasi kepada :

- Bapak Agung Ristiono selaku Kepala Manager Produksi PT.Sari Enesis Indah.
- Bapak Slamet Subagio sebagai Kepala Produksi PT.Sari Enesis Indah.
- Bapak Avianto selaku pembimbing lapangan di PT.Sari Enesis Indah.
- Seluruh staff dan karyawan PT.Sari Enesis Indah.
- Dan rekan kerja PT.Sari Enesis indah

Daftar Pustaka

- Larowski, A. dan Taylor, M. A., 1983. *Systematic Procedure for Selection of Heat Exchangers*, Proc. Inst. Mech. Eng., 197A. hlm. 51–69.
- Minton, P., 1990. *Process heat transfer, Proceedings of the 9th International Heat Transfer Conference*, Heat Transfer 1990–Jerusalem, Israel, Paper No. KN–2, 1, hlm. 355–362.
- Perry R. H. dan Green D. W., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Edisi ke-7. McGraw-Hill. Kansas. USA.
- Shah, K.J. dan Sekulic, D. P. 2003. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. Edisi ke-1. Wiley. Hoboken, New Jersey. USA.
- Thulukkanam, K., 2013., *Heat Exchanger Design Handbook*. Edisi ke-2. CRC Press. Boca Raton, Florida. USA.
- Usher, J. D. dan Cattell, G. S., *Compact heat exchangers, in Developments in Heat Exchanger Technology—1* (D. Chisholm, ed.), Applied Science Publishers Ltd., London, U.K., 1980, hlm. 127–152.