

OPTIMASI TEBAL ISOLASI THERMAL CALCIUM SILICATE PADA HEAT EXCHANGER E-14-009 DI HIGH VACUUM UNIT PT X

Dimas Zidan Fahrezi^{1*}, Budi Sulistiyo Nugroho¹

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38, Cepu, Blora, 58513

*E-mail: maszidanfahrezi@gmail.com

ABSTRAK

HVU (*High Vacuum Unit*) merupakan salah satu unit krusial di PT X yang mampu mengolah 54.000 *barrel crude oil* setiap harinya (setara dengan 7.800 ton per hari). Pengolahan *crude oil* ini merupakan salah satu dari proses yang memiliki pengaruh penting yaitu salah satunya proses pemanasan awal (*preheater*) yang tidak terlepas dari peran peralatan yang disebut *Heat Exchanger* (alat penukar panas). Pada saat ini kebutuhan dan harga energi yang meningkat signifikan, maka pemanfaatan penggunaan energi harus seefisien mungkin dengan cara meminimalisir energi panas yang hilang pada *Heat Exchanger* E-14-009 A/B. *Heat Exchanger* E-14-009 A/B bertujuan untuk mendinginkan produk *Vacuum Residue* dan memanaskan produk *Long Residue*. Saat ini *Heat Exchanger* E-14-009 A/B memakai bahan dasar isolasi *Calcium Silicate* dengan ketebalan 3 inch dengan suhu di luar isolasi 166,604 °F dan dengan keseluruhan biaya sebesar Rp 337.174.351,74 per tahun. Pada penelitian ini dilakukan optimasi ketebalan isolasi untuk meminimalisir keluarnya energi panas ke lingkungan, sehingga didapatkan penurunan biaya operasi tahunan. Hasilnya didapatkan ketebalan isolasi yang optimal adalah 6 inch dengan suhu luar isolasi 135,0896 °F dan total biaya tahunan sebesar Rp 202.284.435,43 dengan memakai isolasi *Calcium Silicate* setebal 6 inci, pabrik mendapatkan pendapatan tahunan sebesar Rp 134.889.916,31.

Kata kunci: *Heat Exchanger*, *Calcium Silicate*, Tebal Isolasi, Penghematan Energi, Biaya Total Tahunan

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi yang efisien sangat penting untuk kesejahteraan masyarakat, terutama di Indonesia yang kaya akan sumber daya energi baik yang terbarukan maupun yang tidak terbarukan. Namun, eksploitasi sumber daya yang tidak terbarukan seperti minyak dan gas bumi lebih besar, sehingga menyebabkan kelangkaan minyak mentah [1].

Dalam industri pengolahan minyak dan gas bumi, kilang sangat membutuhkan banyak energi untuk memanaskan minyak mentah yang dapat berdampak pada biaya operasional yang dibutuhkan. *Heat Exchanger* berfungsi sebagai pemanasan awal sebelum minyak mentah masuk ke dalam *furnace*. Hal ini untuk mengurangi penggunaan energi panas dengan mentransfer energi panas antara fluida yang terkontak melalui permukaan padat [2]. Dalam alat ini terjadi perpindahan panas melalui tiga mekanisme yang berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. Pengelolaan sumber energi dalam sistem pemanasan dan pendinginan memiliki peran penting dalam mencapai kondisi umpan dan hasil akhir yang diharapkan [3]. Selain itu, terjadi juga perpindahan panas ke atau dari lingkungan. Hal ini umumnya tidak diharapkan karena dapat mengurangi efisiensi dari *heat exchanger* sendiri akibat hilangnya panas [4].

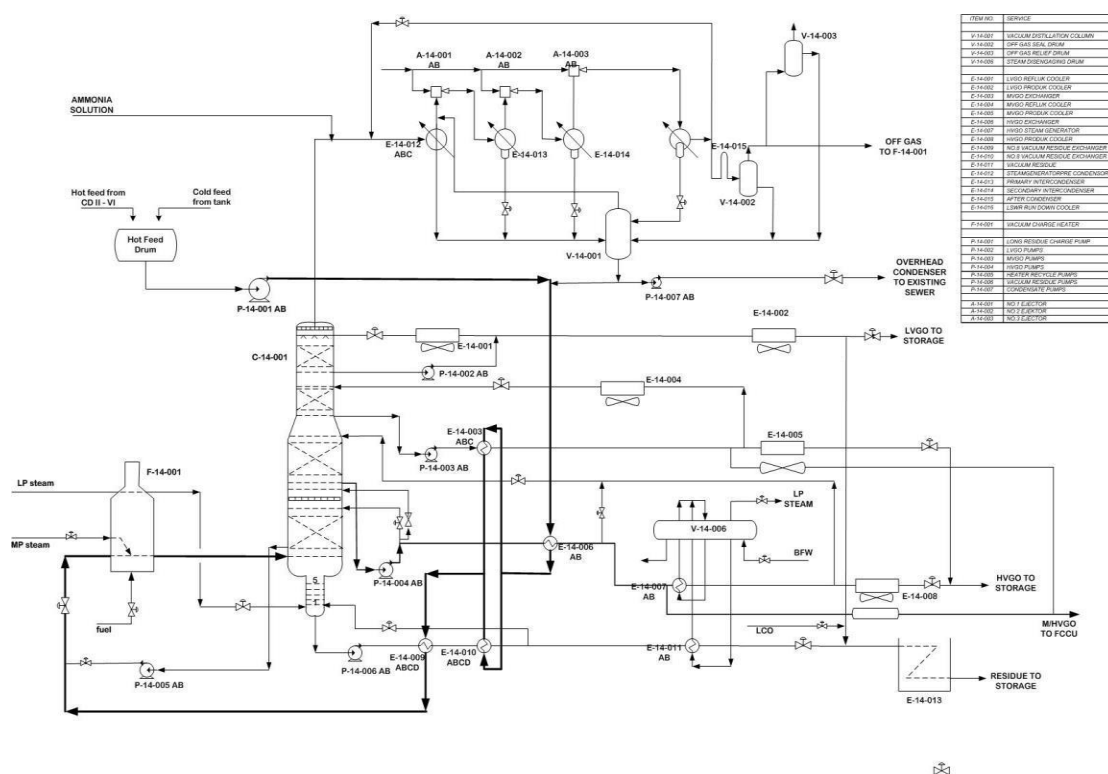
Pemasangan isolasi termal dapat meminimalisir kehilangan panas di *heat exchanger*. Penggunaan ketebalan isolasi yang tepat adalah salah satu faktor utama dalam meminimalisir kerugian energi panas yang terbuang. Selain itu, keamanan pekerja menjadi pertimbangan penting demi menciptakan lingkungan kerja yang aman di area peralatan yang memiliki suhu yang tinggi [5].

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan mencakup variabel penelitian, metode kerja, dan juga metode analisis. Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas dan terikat. Dalam penelitian ini, variabel bebas meliputi data kondisi operasi alat seperti suhu, konduktivitas termal, laju alir, emisivitas, ketebalan isolasi, jenis isolasi dan densitas fluida. Sedangkan untuk variabel terikat meliputi *heat balance*, luas permukaan, dan total biaya. Metode kerja dilakukan dengan menerapkan *trial and error* dari skenario desain, aktual, dan setelah optimasi. Metode analisis digunakan untuk mengevaluasi keekonomian dari optimasi ketebalan isolasi termal pada peralatan.

3. PEMBAHASAN

A. Uraian Proses di HVU (*High Vacuum Unit*)



Gambar 1. Process Flow Diagram

Aliran bahan baku pada unit ini adalah *long residu* yang berasal dari berbagai *Crude Distillation* seperti CD II, III, IV, dan V. Bahan baku tersebut secara langsung masuk ke dalam drum pemanas. Namun, terdapat perbedaan dalam aliran *long residu* dari CD IV dan CD V yang mengalir langsung menuju HVU (*High Vacuum Unit*) tanpa melalui box pemanas terlebih dahulu.

Tahapan awal proses melibatkan pemanasan bahan baku menggunakan *heat exchanger* sebagai pemanasan awal. Beberapa pemanasan awal mencakup E-14-006 (penukar panas untuk HVGO), E-14-003 (penukar panas untuk *vacuum residu*), dan E-14-009 (penukar panas untuk *vacuum residu*). Hal ini bertujuan untuk menyediakan bahan baku dengan suhu sekitar 262-275°C sebelum memasuki *furnace*.

Setelah melalui proses pemanasan di *furnace*, bahan baku yang sudah dipanaskan mengalir ke dalam kolom distilasi vakum (C-14-001) pada tekanan sekitar 70-80 mmHg. Di atas zona *flash*, terdapat bagian *washing section* yang memegang peranan penting dalam produksi gas oil. *Washing section* berfungsi untuk meningkatkan kualitas produk gas oil dengan menghilangkan residu yang terdapat dalam uap dan naik bersama-sama dari zona *flash*. Untuk memisahkan produk gas oil seperti LVGO, MVGO, dan HVGO, dilakukan proses *draw off*. LVGO yang akan digunakan sebagai refluks didinginkan di E-14-001, sementara produk LVGO didinginkan di E-14-002. MVGO dan HVGO digunakan sebagai umpan dalam proses RFCCU, baik sebagai MVGO dan HVGO yang sudah dipanaskan maupun sebagai umpan dingin yang mengalir dari T-191/192.

B. Data Spesifikasi Desain dan Material *Heat Exchanger E-14-009 A/B*

Data spesifikasi desain mencakup informasi penting mengenai *heat exchanger shell and tube* yang digunakan untuk menghitung optimasi termal dan menentukan ketebalan isolasi termal yang sesuai. Berikut ini adalah data spesifikasi desain pada Tabel 1 dan data material pada Tabel 2:

Tabel 1. Data Spesifikasi Desain

Data Desain <i>Heat Exchanger E-14-009 A/B</i>			
Keterangan	Satuan	<i>Shell</i>	<i>Tube</i>
Diameter <i>Inlet</i> (ID)	Inch	43,3	0,782
	Ft	3,6334648	0,065620542
Diameter <i>Outlet</i> (OD)	Inch	45,24	1
	Ft	3,77	0,083913737
Panjang dengan Isolasi	Ft	20,0131	
Panjang Tanpa Isolasi	Ft	19,5131	
BWG		-	14
Jumlah <i>Tube</i> (Nt)		-	728
Jarak <i>Baffle</i> (B)	Inch	7,874	-
	Ft	0,66073676	-
Jumlah <i>Pass</i> (n)	Pass	1	8
<i>Pitch</i> (Pt)	Pass	-	1,2598
Fluida		<i>Long Residue</i>	<i>Vacuum Residue</i>

Tabel 1 terdapat informasi bahwa fluida yang mengalir ke dalam *shell* merupakan *long residue*, sementara yang mengalir melalui *tube* adalah *vacuum residue*. Diameter *inlet* (ID) pada *shell* adalah 3,6334648 ft sedangkan pada *tube* adalah 0,065620542 ft. Terdapat pula diameter *outlet* (OD) pada *shell* adalah 3,77 ft dan *tube* adalah 0,083913737 ft.

Tabel 2. Data Material

Data Material Heat Exchanger E-14-009 A/B				
<i>Carbon Steel</i>				
<i>Material Shell</i>	<i>Thermal Conductivity</i>	k	26	Btu Ft/hr ft ² F/ft
	<i>Emissivity</i>	e	0,865	
<i>Calcium Silicate</i>				
<i>Material Insulation</i>	<i>Thermal Conductivity</i>	k	0,08131	Btu Ft/hr ft ² F/ft
	Tebal Isolasi		76,2	mm
			0,25	ft
			3	Inch
<i>Alumunium</i>				
<i>Material Cover Insulation</i>	<i>Emissivity</i>	e	0,216	

Tabel 2 mengenai material pada *heat exchanger* E-14-009 dimana *shell* menggunakan material *carbon steel* yang memiliki *thermal conductivity* sebesar 26 Btu Ft/hr ft² F/ft. Material isolasi yang digunakan untuk menjaga panas keluar adalah *calcium silicate* dengan ketebalan 3 inch dan dilapisi alumunium pada bagian luar dari *heat exchanger*.

C. Data Kondisi Operasi Heat Exchanger E-14-009 A/B

Data kondisi operasi memiliki peranan penting dalam melakukan perhitungan optimasi dan menentukan ketebalan isolasi termal *heat exchanger* E-14-009 A/B. Data ini diperoleh dari hasil rata-rata selama satu bulan. Berikut adalah data kondisi operasi pada Tabel 3 untuk *heat exchanger* selama satu bulan:

Tabel 3. Data Kondisi Operasi

Data Kondisi Operasi Heat Exchanger E-14-009 A/B			
Parameter	Satuan	<i>Shell</i>	<i>Tube</i>
Fluida		<i>Long Residue</i>	<i>Vacuum Residue</i>
SG 60/60 °F		0,8974	0,9568
API		26,17	16,38
<i>Flow rate</i>	Ton/day	5550	2454
	lb/jam	509818,9813	225,423
<i>Temperature Inlet</i>	°C	195	252
	°F	383	485,6
<i>Temperature Outlet</i>	°C	210,7	183
	°F	411,3	361,4

Tabel 3 memaparkan rata-rata dari kondisi operasi *heat exchanger* E-14-009 A/B selama satu bulan. *Flow rate long residue* yang merupakan fluida dingin pada *shell* sebesar 509818,9813 lb/jam. *Temperature* awal masuk ke dalam *shell* adalah 383 °F dan *temperature* keluar adalah 411,3 °F. Sedangkan, pada fluida panas yang masuk ke dalam *tube* adalah *vacuum residue* dengan *flow rate* sebesar 225,423 lb/jam memiliki suhu awal sebesar 485,6 °F dan suhu akhir keluar *tube* sebesar 361,4 °F.

D. Perhitungan Heat Balance

Hasil perhitungan *heat balance* tanpa isolasi dan menggunakan isolasi dilakukan secara *trial* dan dianggap sesuai apabila nilai Q_{kd} memenuhi persyaratan sebagai berikut [6]:

$$Q_{kd} = Q_{kv} + Q_{rad} \tag{1}$$

Atau nilai Q_{kd} memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan nilai Q_{kv} dan Q_{rad} . Berikut merupakan hasil perhitungan *heat balance* tanpa isolasi dan menggunakan isolasi:

Tabel 4. Perhitungan Heat Balance

		Suhu Luar Isolasi (°F)	Panas Konduksi	Panas Konveksi	Panas Radiasi	Panas Masuk (Btu/jam)	Panas Keluar (Btu/jam)
Aktual	Tanpa Isolasi	408,593	111980,8	3484,38	8497,35	11980,8	11981,7
	Isolasi 3 inch	208,422	1610,56	1089,04	521,53	1610,56	1610,57

Dari hasil Tabel 4 bahwa penggunaan isolasi *temperature* di sekitar area *heat exchanger* dapat menurun menjadi 208,422 °F. Akan tetapi, angka tersebut melebihi batas *temperature* maksimal yang diperbolehkan sebesar 140 °F yang merupakan faktor keamanan yang ditetapkan [6]. Oleh sebab itu, diperlukan optimasi dalam penentuan ketebalan isolasi agar suhu *external heat exchanger* sesuai dengan standar keselamatan yang ada. Hal ini sangat penting supaya para pekerja dapat bekerja dengan kondisi aman dan nyaman dan juga dapat membantu dalam mengurangi biaya investasi [7].

E. Perhitungan Heat Balance dengan Isolasi Calcium Silicate

Dengan menerapkan prosedur yang serupa untuk perhitungan *heat balance* dengan ketebalan isolasi sehingga dapat menentukan *temperature* luar (T_s) pada permukaan isolasi dan juga jumlah panas yang terbuang pada masing-masing ketebalan isolasi. Tabel 5 berikut merupakan hasil perhitungan *heat balance* setiap ketebalan *calcium silicate*.

Tabel 5. Perhitungan Heat Balance Calcium Silicate

Tebal Isolasi (Inch)	T_s (°F)	Q_{kd}	Q_{kv}	Q_{rad}	Panas Keluar	Panas yang Dihemat
1	236,318	2059,869128	1385,674168	674,316794	56617,96098	54557,97002
2	189,959	1332,152955	901,5319406	430,6266025	56617,96098	55285,80244
2,5	176,6824	1141,544635	771,5353489	370,0125988	56617,96098	55476,41303
3	166,604	1002,342967	675,7990112	326,553322	56617,96098	55615,60865
3,5	158,6552	895,9811978	602,2138269	293,7855767	56617,96098	55721,96158

4	152,204	811,934842	543,8120052	268,1460248	56617,96098	55806,00295
4,5	146,8494	743,7746311	496,2776846	247,4999655	56617,96098	55874,18333
5	142,3274	687,3309606	456,8302482	230,5072867	56617,96098	55930,62345
5,5	138,452	639,7911283	423,5469103	216,2614607	56617,96098	55978,15261
6	135,0896	599,1808619	395,0722754	204,1346663	56617,96098	56018,75404
6,5	132,14	564,075809	370,4059123	193,6700462	56617,96098	56053,88502
7	129,4727	533,5227373	348,2547297	184,2720031	56617,96098	56085,43425
7,5	127,2092	506,3817249	329,8537457	176,540051	56617,96098	56111,56718

Tabel 5 terdapat hasil *heat balance* masing-masing ketebalan isolasi dengan berbagai *temperature* luar isolasi. Hasil ini berguna dalam menentukan kondisi yang optimal. Seberapa tebal isolasi yang digunakan sangat berpengaruh dengan *heat balance* yang dihasilkan. Semakin tebal isolasi yang digunakan maka semakin sedikit *heat loss* yang dihasilkan.

F. Menghitung Total Luas Permukaan Isolasi *Heat Exchanger E-14-009 A/B*

Perhitungan ketebalan isolasi dapat dihitung untuk volume dan luas permukaannya [9]. Hal ini untuk menentukan jumlah isolasi yang diperlukan, dan diperlukan serangkaian perhitungan untuk mengestimasi total luas isolasi dengan berbagai variasi ketebalan isolasi Berikut merupakan hasil perhitungan dalam menentukan volume dan luas isolasi:

Tabel 6. Volume dan Luas Isolasi dengan Berbagai Tebal Isolasi

Tebal Isolasi (Inch)	Volume Isolasi pada <i>Body</i> (ft ³)	Volume Isolasi pada <i>Cover</i> (ft ³)	Total Volume Isolasi (ft ³)	Luas Permukaan pada <i>Body</i> (ft ²)	Luas Permukaan pada <i>Cover</i> (ft ²)	Total Luas Isolasi (ft ²)
1	19,67484	3,885879	23,56072	236,0981	46,63055	282,7286
2	40,20067	8,115123	48,31579	241,204	48,69074	289,8948
2,5	50,78271	10,36305	61,14576	243,757	49,74264	293,4996
3	61,57749	12,70227	74,27976	246,31	50,80907	297,119
3,5	72,58502	15,1346	87,71962	248,8629	51,89005	300,753
4	83,8053	17,66185	101,4671	251,4159	52,98556	304,4014
4,5	95,23832	20,28585	115,5242	253,9689	54,09561	308,0645
5	106,8841	23,00841	129,8925	256,5218	55,22019	311,742
5,5	118,7426	25,83135	144,574	259,0748	56,35931	315,4341
6	44,83056	9,093079	53,92364	89,66111	18,18616	107,8473
6,5	55,5062	11,38095	66,88715	102,473	21,01099	123,484
7	155,5946	34,92061	190,5153	266,7337	59,8639	326,5976

7,5	168,3041	38,16323	206,4674	269,2866	61,06117	330,3478
-----	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Dari Tabel 6 memperlihatkan hasil volume dan luas permukaan dari masing-masing tebal isolasi yang berbeda. Hal ini bermanfaat dalam melakukan perhitungan untuk menentukan kondisi optimal. Dari data di atas, dapat disimpulkan bahwa total luas isolasi dengan ketebalan isolasi 3 inch sebesar 297,119 ft³.

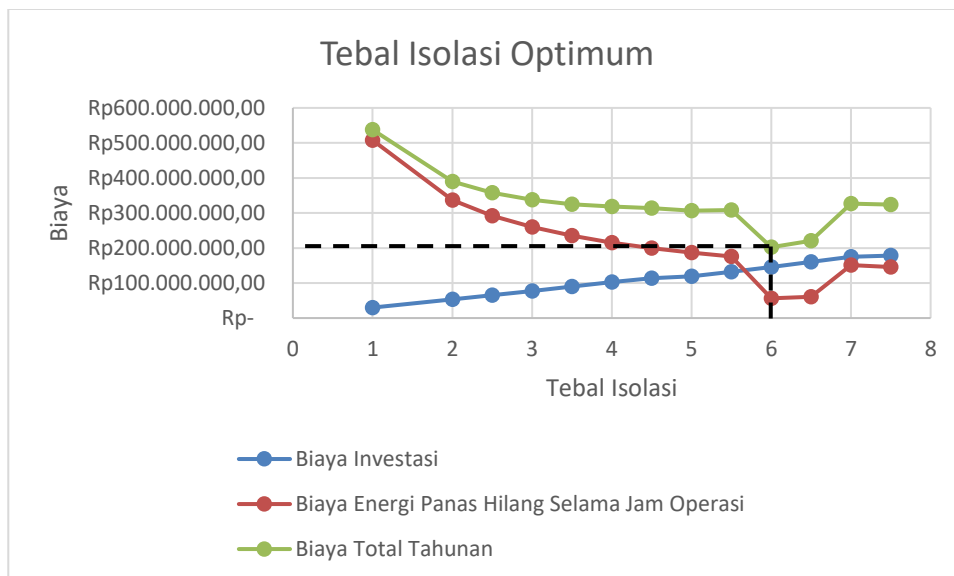
G. Tinjauan Keekonomian

Optimasi dari tebal isolasi *calcium silicate* dari *heat exchanger* dapat dicapai dengan mempertimbangan biaya dari isolasi dengan melihat ketebalan dan memilih ketebalan yang memiliki total biaya tahunan paling rendah [8]. Perhitungan biaya investasi tahunan dan biaya energi yang terbuang dapat dilakukan untuk masing-masing ketebalan isolasi. Hasil perhitungan ini sebagai berikut:

Tabel 7. Total Biaya Isolasi Calcium Silicate

Harga (Rp)	Tebal Isolasi (Inch)	Ts (°F)	Biaya Investasi Tahunan (Rp)	Biaya Energi Panas yang Hilang Selama Jam Operasional (Rp)	Total Biaya Tahunan (Rp)
19.663.700	1	236,318	29.926.636,20	507.730.132,43	537.656.768,63
40.274.148	2	189,959	53.200.597,96	336.661.995,69	389.862.593,65
50.937.676	2,5	176,6824	65.239.406,28	292.078.453,57	357.317.859,85
61.841.820	3	166,604	77.548.053,96	259.626.297,78	337.174.351,74
72.987.888	3,5	158,6552	90.128.008,20	234.917.542,31	325.045.550,51
84.377.191	4	152,204	102.980.736,20	215.465.675,02	318.446.411,22
94.011.039	4,5	146,8494	113.867.706,28	199.748.037,86	313.615.744,14
98.890.740	5	142,3274	119.430.382,28	186.794.115,32	306.224.497,60
110.017.604	5,5	138,452	131.990.231,40	175.936.663,47	307.926.894,87
122.392.941	6	135,0896	145.948.720,84	56.335.714,59	202.284.435,43
135.018.060	6,5	132,14	160.187.317,80	60.721.988,78	220.909.306,58
147.894.272	7	129,4727	174.707.489,48	151.618.491,25	326.325.980,73
151.022.884	7,5	127,2092	178.310.699,72	145.833.604,04	324.144.303,76

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa ketebalan isolasi *calcium silicate* optimal yaitu pada ketebalan sebesar 6 inch. Hal ini didasar pada *Safety Work* pada PT X suhu maksimal yang diijinkan sebesar 140 °F serta dari segi keekonomiannya biaya investasi tahunan dari ketebalan isolasi sebesar 6 inch yaitu Rp 145.948.720,84, dan juga biaya energi panas yang hilang selama jam operasi sebesar Rp 56.335.714,59, sehingga diperoleh biaya total tahunan mencapai sebesar Rp 202.284.435,43. Hal ini lebih efisien dan optimal dibandingkan dengan tebal isolasi yang lainnya.



Gambar 2. Tebal Isolasi Optimum

Pada Gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa hubungan antara biaya investasi tahunan, total tahunan berbanding terbalik berbanding lurus. Sedangkan, untuk biaya energi panas yang hilang selama jam operasi berbanding terbalik. Biaya pemasangan isolasi biasanya dianggap sebagai bagian dari keseluruhan biaya proyek. Biaya ini tidak hanya mencakup biaya isolasi itu sendiri, tetapi juga tenaga kerja, peralatan, dan waktu yang diperlukan untuk pemasangan. Sehingga, pada penelitian ini tidak menyertakan biaya pemasangan isolasi terkait dengan keterbatasan data.

H. Analisa *Temperature* dengan Tebal Optimal yang Didapat

Dalam mengetahui *temperature* yang keluar dari *heat exchanger* setelah dilakukannya optimasi maka dilakukan perhitungan *heat balance* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_{in} &= 195\text{ }^{\circ}\text{C} &= 383\text{ }^{\circ}\text{F} \\
 T_{out} &= 210,7\text{ }^{\circ}\text{C} &= 411,3\text{ }^{\circ}\text{F} \\
 \Delta T &= 28,3\text{ }^{\circ}\text{F} \\
 \text{Flowrate} &= 5550\text{ Ton/day} &= 231,25\text{ m}^3/\text{hr} \\
 \text{Density} &= 897,4\text{ lb/hr} &= 58,95\text{ lb/ft}^3 \\
 W_{Long\ residue} &= 509818,9813\text{ lb/hr}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan *heat duty* yang masuk ke dalam *heat exchanger* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{in} &= W_{Long\ residue} \times C_p \times \Delta T \\
 &= 509818,9813\text{ lb/hr} \times 0,477 \times 28,3\text{ }^{\circ}\text{F} \\
 &= 6.882.097,41046683\text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai *heat duty* yang masuk ke *heat exchanger*, nilai tersebut akan dikurangi dengan nilai panas yang keluar Setelah penambahan isolasi (tercantum pada tabel 5). Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} Q \text{ aktual} &= Q_{in} - Q_{out} \\ &= 6.882.097,41046683 \text{ Btu/hr} - 599,2069417 \text{ Btu/hr} \\ &= 6.881.498,20352513 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Untuk memperoleh nilai T_{out} yang merupakan suhu keluar dari perangkat Setelah dilakukan penambahan isolasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Q}{W \times Cp} \\ &= \frac{6.881.498,20352513 \text{ Btu/hr}}{509818,9813 \text{ lb/hr} \times 0,477} \\ &= 28,29 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{out} \text{ (Sesudah optimasi)} &= T_{out} \text{ (Sebelum optimasi)} + \Delta T \\ &= 411,3 \text{ }^\circ\text{F} + 28,29 \text{ }^\circ\text{F} \\ &= 439,59 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dari hasil yang diperoleh panas yang keluar Setelah optimasi mengalami kenaikan sebesar 28,29 °F menjadi 439,59 °F. Hal ini terjadi karena berkurangnya panas yang hilang ke lingkungan yang dikarenakan penambahan isolasi setebal 6 inch pada peralatan sehingga dapat lebih optimal dalam melakukan pembakaran.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, kesimpulan mengenai ketebalan isolasi yang optimal untuk *heat exchanger* E-14-009 A/B bahwa ketebalan isolasi termal yang optimal pada *heat exchanger* E-14-009 A/B adalah 6 inch dengan menggunakan material *calcium silicate*. Menggunakan material *calcium silicate* setebal 6 inch, pabrik dapat mendapatkan keuntungan tahunan bernilai Rp 68.400.666,88. Pemasangan isolasi *calcium silicate* setebal 6 inch akan menciptakan kondisi kerja yang aman dan nyaman bagi para pekerja yang bekerja di area sekitar *heat exchanger* E-14-009 A/B, karena suhu luar insulasi akan mempengaruhi keamanan yang berlaku. Spesifikasi tersebut adalah suhu maksimum 140 °F, sedangkan dari perhitungan Setelah dilakukannya optimasi tebal isolasi sebesar 6 inch menjadi sebesar 135,09 °F.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Elinur, "Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia," Indonesian Journal of Agricultural Economics, vol. 1, no. 1, pp. 19-38, 2010.
- [2] R. Jalu, "Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 Pada Crude Distillation Unit Ppsdm Migas Cepu," Distilat: Jurnal Teknologi Separasi, vol. 7, no. 2, pp. 505-513, 2021.

- [3] S. Kakac, H. Liu and Sadik, Heat Exchanger Selection, Rating and Thermal Design, Florida: University of Miami, Coral Gables, 2002.
- [4] E. A. Handoyo, "Pengaruh Tebal Isolasi termal Terhadap Efektivitas Plate Heat Exchanger," Jurnal Teknik Mesin, vol. 2, no. 2, pp. 73-78, 2000.
- [5] W. M. Kays and M. E. Crawford, Convective Heat and Mass Transfer, New York: McGraw-Hill, Inc, 1993.
- [6] D. Q. Kern, Process Heat Transfer, New York: Mc Graw Hill Book Company, 1950.
- [7] W. R. Serth and G. L. Thomas, Process Heat Transfer Principles, Applications and Rules of Thumb, Texas: Departement of Chemical and Natural Gas Engineering, 2007.
- [8] T. Kuppan, Heat Exchanger Design Handbook, New York: Marcel Dekker Inc, 2000.
- [9] W. C. Reynolds and H. C. Perkins, Engineering Thermodynamics, New York: McGraw Hill, 1983.
- [10] R. H. Perry, Chemical Engineer's Handbook, New York: McGraw Hill Book Company, 1984.

Daftar Simbol

Q	=	Banyaknya panas yang mengalir, Btu/jam
k	=	Koefisien perpindahan panas konduksi, Btu/jam.ft ² .°F
e	=	<i>Emissivity</i>
r	=	Jari-jari, ft
Δt	=	Perbedaan <i>temperature</i> , °F
h	=	Koefisien perpindahan panas konveksi, Btu/jam.ft ² .°F
Ts	=	Suhu luar isolasi, °F
OD	=	Diameter luar, ft
ID	=	Diameter dalam, ft
N	=	Jumlah <i>buffle</i> , buah
B	=	Jarak <i>buffle</i> , ft
Nt	=	Jumlah <i>tube</i> , buah
n	=	Jumlah passes
R	=	Tahanan <i>heat exchanger</i> , Jam °F/Btu
Q _{kd}	=	Konduksi, Btu/jam
Q _{kv}	=	Konveksi, Btu/jam
Q _{rad}	=	Radiasi, Btu/jam