

## **OPTIMASI DESAIN SISTEM PEMANAS *TUMBLE DRYER* DARI *ELECTRIC HEATER* MENJADI *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER***

**Amri Abdulah**

Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila, Jakarta

### **ABSTRAK**

Konsumsi energi yang terus meningkat memerlukan peninjauan penggunaan energi, salah satu alternatif dalam penghematan penggunaan energi yaitu dengan memanfaatkan energi panas terbuang. Hasil kajian energi terdapat 4 *electric heater* yang menggunakan energi listrik di Plant SSP-2 untuk sistem pemanas *Tumble Dryer*, daya yang dibutuhkan untuk 1 *electric heater* sebesar 140 kW dan penggunaan *electric heater* yaitu 16 jam perhari. penggunaan energi listrik untuk proses pemanasan ini cukup besar sehingga diperlukan suatu analisis sistem pemanas *Tumble Dryer* dengan mengganti *electric heater* ke Alat penukar kalor *shell and tube* dengan desain yang optimal, sumber panas yang dibutuhkan Alat penukar kalor *shell and tube* memanfaatkan energi panas yang terbuang dari Plant CP-2 yang kembali ke *Dow Coal Boiler-2*. Metode analisis Alat penukar kalor *shell and tube* menggunakan metode sederhana dengan eksperimen *full factorial* 4 variabel bebas 3 level sehingga ada 81 iterasi lalu dari hasil tersebut dipilih nilai koefisien perpindahan panas (U) yang paling besar, setelah dilakukan eksperimen hasilnya divalidasi menggunakan *software* HTRI. Hasil yang diperoleh dari perhitungan manual didapat nilai Koefisien perpindahan panas (U)= 65.34 W/m<sup>2</sup>.K luas area (A) sebesar 11.72 m<sup>2</sup> dan nilai (Q) = 29.99 kW sedangkan hasil dari perhitungan *software* HTRI hasilnya tidak jauh berbeda yaitu nilai Koefisien perpindahan panas (U)= 65.67 W/m<sup>2</sup>.K luas area (A) sebesar 11.73 m<sup>2</sup> dan nilai (Q) = 26.5 kW, sehingga optimasi desain Alat penukar kalor *shell and tube* tersebut merupakan hasil yang optimal dan bisa digunakan untuk mengganti *electric heater* yang akhirnya didapat penghematan penggunaan energi di Plant SSP-2 sebesar 560 kW x 16 = 8960 kWh perhari, perkiraan biaya investasi dibandingkan dengan hasil penghematan diperoleh nilai modal kembali setelah 1 tahun.

**Kata kunci :** *Tumble Dryer, Heat Exchanger, Electric Heater*

### **ABSTRACT**

*Increased energy consumption requires energy review or planned energy use alternatives in saving energy use by utilizing waste heat energy. The result of energy study at Plant SSP-2 is 4 electric heater which uses electrical energy for tumble dryer heating system, tumble dryer heating system using electric heater with power needed for 1 electric heater that is 140 kW and electric heater operational 16 hours per day. Electrical energy used for this heating process is large that a Tumble Dryer heating system analysis is required by replacing the electric heater to the shell and tube heat exchanger with optimum design, the required heat source of the shell and tube heat exchanger utilizes the waste heat energy from the Plant CP-2 returning to Dow Coal Boiler-2. Shell and tube heat exchanger method analyzer used a simple method with a full factorial experiment of 4 independent variables and 3 levels so that were 81 iterations and then the highest value of heat transfer coefficient (U) was chosen, after experimental results were validated using HTRI software. The result obtained from the manual calculation got the value of heat transfer coefficient (U) = 65.34 W / m<sup>2</sup>.K , area (A) of 11.72 m<sup>2</sup> and the value (Q) = 29.99 kW while the results of the calculation of HTRI software result is not much different that is coefficient value Heat transfer (U) = 65.67 W / m<sup>2</sup>.K area (A) is 11.73 m<sup>2</sup> and the value (Q) = 26.5 kW, so optimization of the Shell and Tube heat exchanger design is optimal and can be used to replace Electric Heater Which finally obtained energy savings in Plant SSP-2 of 560 kW x 16 = 8960 kWh per day, the estimated investment cost compared to the results obtained savings value of capital back after 1 year.*

**Keywords:** *Tumble Dryer, Heat Exchanger, Electric Heater*

## PENDAHULUAN

Sistem pemanas *Tumble Dryer* di Plant SSP-2 merupakan sistem pemanasan tidak langsung, *Oil* sebagai media penghantar dipanaskan oleh *Electric Heater* lalu disirkulasikan oleh pompa ke *Tumble Dryer*. Plant SSP-2 mempunyai 2 *Tumble Dryer* dan masing-masing *Tumble Dryer* menggunakan *Electric Heater* dengan daya 2 x 140 kW, penggunaan *Electric Heater* perhari yaitu 16 jam, sehingga kebutuhan energi listrik untuk sistem pemanas *Tumble Dryer* di Plant SSP-2 ini sebesar 8960 kWh perhari.

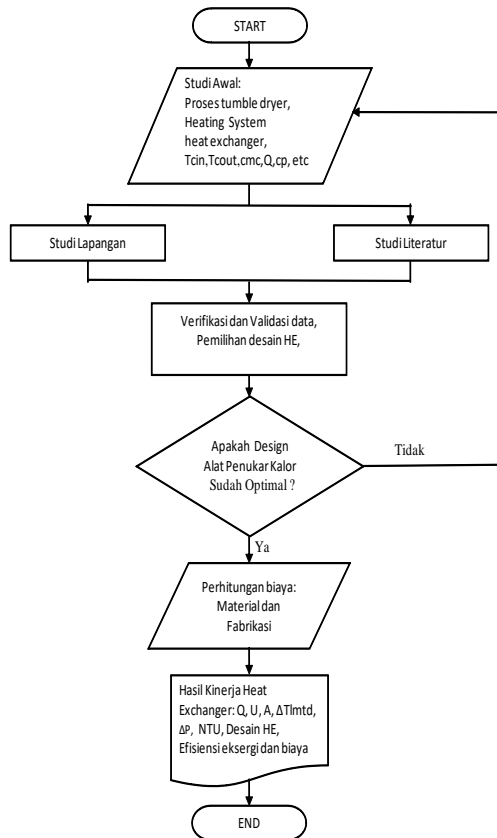
Penggunaan energi listrik untuk proses pemanasan ini cukup besar sehingga diperlukan suatu optimasi desain sistem pemanas *Tumble Dryer* dengan mengganti *Electric Heater* ke Alat penukar kalor yang sumber energinya menggunakan energi panas terbuang sehingga energi listrik tidak diperlukan lagi untuk sistem pemanas *Tumble Dryer*, Alat penukar kalor ditentukan berdasarkan fungsi, ketahanan terhadap temperatur tinggi, mudah dalam perawatan dan biaya yang rendah,

berdasarkan kriteria tersebut pemanas yang cocok untuk menggantikan *Electric Heater* adalah Alat penukar kalor jenis *shell and tube*.

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka dapat diidentifikasi permasalahan penggunaan energi saat ini di Plant SSP-2. Sistem pemanas *Tumble Dryer* di Plant SSP-2 menggunakan *Electric Heater* dengan daya 8960 kWh perhari. hasil tinjauan energi perlu dilakukan penghematan energi sistem pemanas *Tumble Dryer* yang saat ini masih menggunakan energi listrik dengan mengganti sistem pemanas menggunakan Alat penukar kalor *shell and tube* yang sumber panasnya memanfaatkan energi panas terbuang.

## METODE PENELITIAN

Agar penelitian ini memperoleh gambaran yang jelas dan terarah maka dibuat diagram alir penelitian, diagram alir penelitian dapat di lihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Alur Penelitian

Tabel 1. Data Temperatur Proses *Tumble Dryer* untuk Produk Chip SSP

Process	Time	Product Temp °C	HTM Supply Temp °C	HTM Return Temp °C	Delta T °C	HTM Primary Pressure Bar	Speed Rotary Dryer Rpm	Vacuum Mbar
Pre-Heating	13.15	121	121	111	10	1.67	1.86	10
	14.15	136	223	206	17	1.55	1.86	1.61
	15.15	162	228	208	20	1.54	1.86	1.61
	16.15	179	228	210	18	1.55	1.86	1.61
	17.00	190	228	212	16	1.55	1.86	1.61
Heating Dan Holding Temperatur	18.00	200	228	213	15	1.55	1.86	1.61
	19.00	207	228	214	14	1.56	1.86	1.61
	20.00	212	228	214	14	1.56	1.86	1.61
	21.00	215	228	215	13	1.56	1.86	1.61
	22.00	217	228	215	13	1.56	1.86	1.62
	23.00	219	228	215	13	1.56	1.86	1.62
	24.00	220	228	215	13	1.56	1.86	1.62
	1.00	220	228	215	13	1.56	1.86	1.62
	2.00	221	228	215	13	1.56	1.86	1.62
	3.00	221	228	215	13	1.56	1.86	1.62
Cooling	4.00	221	228	215	13	1.56	1.86	1.62
	5.00	221	228	215	13	1.56	1.86	1.62
	6.00	216	173	170	3	1.64	1.86	10.31
	7.00	200	151	148	3	1.63	1.86	10.31
	8.00	185	142	137	5	1.65	1.86	10.11
9.00	170	131	127	4	1.68	1.86	10.31	

Tabel 2. Data masukan untuk perhitungan menggunakan HTRI

Deskripsi	Simbol	Satuan	Fluida panas		Fluida dingin	
			In	Out	In	Out
Temperatur	T	°C	270	253.34	215	228
Viskositas Dinamik	$\mu$	mPas	0.01086		0.705	
Enthalphy	h	kJ/kg	759.74		491.55	
Konduktivitas termal	k	W/m.K	0.022		0.119	
Densitas	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	4.36		737.1	
Laju aliran massa	m	kg/s	0.9106		0.7719	
Kapasitas panas	cp	kJ/kg.K	1.74		2.62	
Type Heat Exchanger			BEM (1 pass shell, 2 pass tube)			
Jarak Baffle = L/6		m	0.25			
Baffle cut single segmental % ID			25%			

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3. Hasil perhitungan eksperimen *full factorial*

No	Do (in)	CL (°)	Pitch Ratio	L (m)	Nt (tube)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	A (m <sup>2</sup> )	Q (kW)	Rf	*	NTU
1	0.5	30	1.25	1.5	110	61.781281	6.58	15.91	0.016	0.183	0.257
2	0.5	45	1.25	1.5	110	61.774258	6.58	15.91	0.016	0.183	0.257
3	0.5	60	1.25	1.5	110	61.781281	6.58	15.91	0.016	0.183	0.257
4	0.5	30	1.35	1.5	110	61.740618	6.58	15.90	0.016	0.183	0.257
5	0.5	45	1.35	1.5	110	61.730800	6.58	15.90	0.016	0.183	0.257
6	0.5	60	1.35	1.5	110	61.740618	6.58	15.90	0.016	0.183	0.257
7	0.5	30	1.50	1.5	110	61.679725	6.58	15.88	0.016	0.183	0.257
8	0.5	45	1.50	1.5	110	61.665727	6.58	15.88	0.016	0.183	0.257
9	0.5	60	1.50	1.5	110	61.679725	6.58	15.88	0.016	0.183	0.257
10	0.75	30	1.25	1.5	104	64.551353	9.33	23.58	0.015	0.271	0.381
11	0.75	45	1.25	1.5	104	64.540172	9.33	23.57	0.015	0.271	0.381
12	0.75	60	1.25	1.5	104	64.551353	9.33	23.58	0.015	0.271	0.381
13	0.75	30	1.35	1.5	104	64.486631	9.33	23.55	0.015	0.271	0.381
14	0.75	45	1.35	1.5	104	64.471010	9.33	23.55	0.015	0.271	0.381
15	0.75	60	1.35	1.5	104	64.486631	9.33	23.55	0.015	0.271	0.381
16	0.75	30	1.50	1.5	104	64.389791	9.33	23.52	0.015	0.271	0.380
17	0.75	45	1.50	1.5	104	64.367544	9.33	23.51	0.015	0.270	0.380
18	0.75	60	1.50	1.5	104	64.389791	9.33	23.52	0.015	0.271	0.380
19	1	30	1.25	1.5	98	65.362437	11.72	29.99	0.015	0.345	0.485
20	1	45	1.25	1.5	98	65.347600	11.72	29.99	0.015	0.345	0.485
21	1	60	1.25	1.5	98	65.362437	11.72	29.99	0.015	0.345	0.485
22	1	30	1.35	1.5	98	65.276576	11.72	29.95	0.015	0.345	0.484
23	1	45	1.35	1.5	98	65.255860	11.72	29.94	0.015	0.344	0.484
24	1	60	1.35	1.5	98	65.276576	11.72	29.95	0.015	0.345	0.484
Iterasi ke 25 sampai ke 80 tidak ditampilkan											
81	1	60	1.50	2.5	44	65.098378	8.77	22.35	0.015	0.257	0.361

Tabel 4. Dimensi desain optimum hasil eksperimen *full factorial*

No	Parameter / Dimensi	Simbol	Nilai	Satuan
1	Diameter <i>shell</i>	$D_s$	0.350	m
2	Panjang <i>tube</i>	L	1.5	m
3	Jumlah <i>tube</i>	$N_t$	98	
4	Diameter <i>tube</i>	$d_o$	0.02540	m
5	Koefisien perpindahan panas menyeluruh	U	65.34	$W/m^2K$
6	Kapasitas perpindahan panas	Q	29.99	kW
7	Luas area	A	11.72	$m^2$
8	Jarak antar <i>tube</i>	C	0.00635	m
9	<i>Baffle</i> = L/6		0.2500	m
10	<i>Baffle cut</i> %ID	%	25	
11	<i>Pitch</i>	Pt	0.03175	m
12	<i>Pitch rasio</i>	PR	1.25	
13	Susunan antara <i>tube</i>	CL	30	Derajat
14	Konstanta <i>tube pass</i>	CTP	0.90	

Tabel 5. Perbedaan perhitungan manual dan perhitungan HTRI

Alat penukar kalor tipe BEM 1 pass shell 2 pass tube						
Parameter / Dimensi	Satuan	Simbol	Manual	HTRI	$\Delta\%$	
Diameter <i>shell</i>	M	$D_s$	0.35	0.3864	0.09	
Total area	$m^2$	A	11.72	11.73	0.00	
Panjang <i>tube</i>	M	L	1.5	1.5	0.00	
Jumlah <i>tube</i>	Pcs	$N_t$	98	98	0.00	
Diameter <i>tube</i>	M	$d_o$	0.0254	0.0254	0.00	
<i>Pitch rasio</i>		PR	1.25	1.25	0.00	
<i>Pitch</i>	Mm	Pt	31.75	31.75	0.00	
Susunan antara <i>tube</i>	(°)	CL	30	30	0.00	
1 pass shell, 2 pass tube		CTP	0.9	0.9	0.00	
<i>Baffle cut pct dia</i>	%	L/D	25	19.66	0.21	
Kinerja alat penukar kalor						
Koefisien perpindahan panas	$W/m^2K$	U	65.36	65.67	0.005	
Beban termal	kW	Q	29.99	26.5	0.12	
EMTD	°C		39.14	39.2	0.00	
Perbedaan tekanan sisi <i>shell</i>	(kPa)	$\Delta P_s$	0.19	2.4	2.32	
Perbedaan tekanan sisi <i>tube</i>	(kPa)	$\Delta P_t$	2.2	1.4	1.56	
Faktor pengotoran	( $m^2-KW$ )	Rf	0.0149	0.0000	0.01	

Tabel 6. Variasi Kinerja alat penukar kalor berdasarkan kebutuhan operasional

No	Tc.o	Tc.i	Th.i	Th.o	U	A	Q	Rf	e	NTU
	°C	°C	°C	°C	( $W/m^2K$ )	$m^2$	kW			
1	121	111	270	259.10	65.2516	11.72	110.80	0.015	0.441	0.484
2	223	206	270	248.49	65.3538	11.72	33.40	0.015	0.330	0.485
3	228	208	270	244.52	65.3538	11.72	29.28	0.015	0.299	0.485
4	228	210	270	247.03	65.3594	11.72	29.48	0.015	0.311	0.485
5	228	212	270	249.55	65.3604	11.72	29.69	0.015	0.324	0.485
6	228	213	270	250.81	65.3609	11.72	29.79	0.015	0.331	0.485
7	228	214	270	252.08	65.3614	11.72	29.89	0.015	0.338	0.485
8	228	214	270	252.08	65.3614	11.72	29.89	0.015	0.338	0.485
9	228	215	270	253.34	65.3624	11.72	29.99	0.015	0.345	0.485

Tabel 7. Perbandingan konsumsi energi dan biaya investasi

Uraian	Jumlah	Total	Biaya/	Total
	hari	kWh	kWh	
a. Konsumsi energi	360	8960	685	Rp 2,209,536,000
b. Biaya Investasi				Rp 2,313,771,801
			a/b	1.04

Analisis kelayakan investasi dilakukan dengan simulasi perhitungan 10 tahun kedepan dengan pertimbangan dan asumsi sebagai berikut:

1. Investasi

- a. Nilai investasi berdasarkan pengadaan alat penukar kalor, material pendukung yang dibutuhkan dan instalasi dari alat penukar kalor *shell and tube*
- b. Sumber modal untuk investasi berasal dari pinjaman bank dengan bunga 12% selama 10 tahun, perhitungan dalam lampiran

2. Pendapatan

- a. Biaya produksi listrik Rp 685/kWh, kemudian 10 tahun kedepan diasumsikan terjadi fluktuasi, berdistribusi normal dengan mean = 100% dan standar deviasi = 5%
- b. Lama penggunaan *electric heater* berbeda dari setiap produk yang diproses berdistribusi uniform dengan maksimal = 16 jam dan minimal = 11 jam perhari

Tabel 8. Simulasi dari pendapatan penghematan listrik

Tahun	Hari	Biaya listrik kWh			Penggunaan energi listrik (kWh)		Pendapatan
		A	B	C = 685 x B	D	E = 8960 x D	
1	360	0.993	Rp 680.27	14.987	8392.173	Rp 2,055,228,159	
2	360	1.112	Rp 761.40	11.351	6356.283	Rp 1,742,291,589	
3	360	0.904	Rp 619.44	11.645	6521.205	Rp 1,454,221,310	
4	360	1.059	Rp 725.19	14.606	8179.568	Rp 2,135,430,691	
5	360	1.103	Rp 755.31	15.660	8769.87	Rp 2,384,613,677	
6	360	0.997	Rp 683.17	15.769	8830.455	Rp 2,171,777,918	
7	360	1.039	Rp 711.73	13.881	7773.587	Rp 1,991,770,133	
8	360	0.984	Rp 674.07	11.982	6710.139	Rp 1,628,319,871	
9	360	1.058	Rp 724.49	14.607	8179.739	Rp 2,133,411,196	
10	360	1.023	Rp 700.44	15.716	8800.803	Rp 2,219,207,514	

3. Biaya operasional

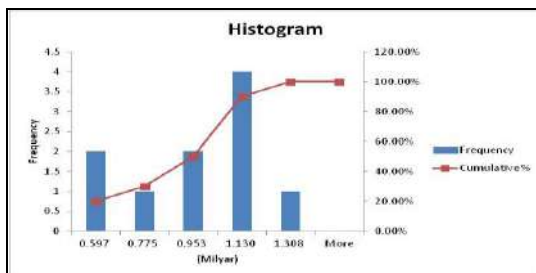
- a. Inflasi 10 tahun kedepan diasumsikan terjadi fluktuasi, berdistribusi normal dengan mean = 7% dan standar deviasi = 1%
- b. Biaya operasional dengan adanya Alat penukar kalor terjadi penambahan 1 karyawan dengan gaji Rp 3,500,000 / bulan dan biaya perawatan mesin diasumsikan 10% dari nilai investasi dan keduanya terjadi kenaikan setiap tahunnya mengikuti laju inflasi

Tabel 9. Biaya operasional

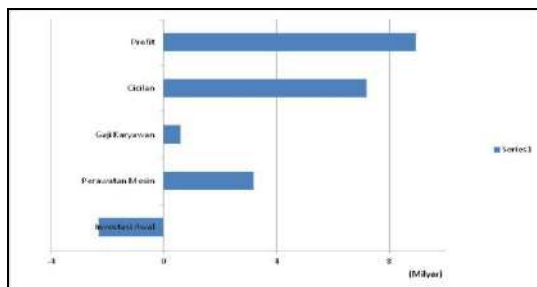
Tahun	Inflasi	Perawatan Meán	Gaji Karyawan	Angsuran Pinjaman	Total Biaya
1	0.080	Rp 231,377,180	Rp 42,000,000	Rp 718,622,400	Rp 991,999,580
2	0.077	Rp 249,218,974	Rp 45,238,674	Rp 718,622,400	Rp 1,013,080,048
3	0.072	Rp 267,314,965	Rp 48,523,491	Rp 718,622,400	Rp 1,034,460,856
4	0.069	Rp 285,872,022	Rp 51,892,001	Rp 718,622,400	Rp 1,056,386,424
5	0.060	Rp 303,127,873	Rp 55,024,314	Rp 718,622,400	Rp 1,076,774,587
6	0.059	Rp 321,019,048	Rp 58,271,952	Rp 718,622,400	Rp 1,097,913,401
7	0.074	Rp 344,939,230	Rp 62,613,987	Rp 718,622,400	Rp 1,126,175,616
8	0.070	Rp 369,357,442	Rp 67,046,424	Rp 718,622,400	Rp 1,155,026,266
9	0.073	Rp 396,525,650	Rp 71,978,046	Rp 718,622,400	Rp 1,187,126,096
10	0.069	Rp 424,267,127	Rp 77,013,729	Rp 718,622,400	Rp 1,219,903,256

Tabel 10. Keuntungan, Nilai NPV dan IRR

Tahun	Pendapatan	Biaya Operasional	Profit
0			<b>Rp (2,313,771,801)</b>
1	Rp 2,055,228,159	Rp 991,999,580	Rp 1,063,228,579
2	Rp 1,742,291,589	Rp 1,013,080,048	Rp 729,211,540
3	Rp 1,454,221,310	Rp 1,034,460,856	Rp 419,760,455
4	Rp 2,135,430,691	Rp 1,056,386,424	Rp 1,079,044,268
5	Rp 2,384,613,677	Rp 1,076,774,587	Rp 1,307,839,090
6	Rp 2,171,777,918	Rp 1,097,913,401	Rp 1,073,864,517
7	Rp 1,991,770,133	Rp 1,126,175,616	Rp 865,594,517
8	Rp 1,628,319,871	Rp 1,155,026,266	Rp 473,293,604
9	Rp 2,133,411,196	Rp 1,187,126,096	Rp 946,285,100
10	Rp 2,219,207,514	Rp 1,219,903,256	Rp 999,304,258
		<b>NPV</b>	<b>Rp 2,733,243,422</b>
		<b>IRR</b>	<b>37 %</b>



Gambar 2. Grafik probabilitas profit dari investasi



Gambar 3. Grafik sensitivitas biaya operasional

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini agar hasil optimasi desain dapat diperoleh maka menggunakan analisis *full factorial* 4 variabel bebas 3 level, yang hasilnya ditabulasikan dalam sebuah tabel, hasil perhitungan dipilih koefisien perpindahan panas (U) yang paling besar, sehingga dapat disimpulkan:

- Hasil eksperimen *full factorial* bahwa perhitungan desain No.19 merupakan hasil yang paling optimal yaitu dengan Diameter *tube* = 0.0254 m, Bentuk susunan pipa adalah 30° dengan CL 0.90, *Pitch rasio* (PR) 1.25, Panjang *tube* (L) = 1.5 m menghasilkan nilai Koefisien perpindahan panas (U) = 65.362437 W/m<sup>2</sup>.K ,luas area (A) = 11.72 m<sup>2</sup>,dengan  $F\Delta T_{imtd} = 39.19$ , maka nilai (Q) = 29.99 kW.
- Hasil perhitungan menggunakan *software* HTRI tidak jauh berbeda dengan perhitungan manual, hasil dari perhitungan *software* HTRI nilai U= 65.67 W/m<sup>2</sup>.K , Luas area (A) = 11.73 m<sup>2</sup> dan beban termal (Q) = 26.5 kW
- Penggantian *Electric Heater* ke Alat penukar kalor *shell and tube* mendapatkan penghematan energi listrik = 8960 kWh per hari , dari analisis kelayakan investasi, didapat nilai modal kembali setelah 1 tahun, dan nilai NPV adalah positif dan nilai IRR diatas bunga bank.

Berdasarkan hasil perhitungan eksperimen *full factorial* 4 variabel bebas 3 level, perhitungan menggunakan *software* HTRI dan juga perhitungan dari sisi kelayakan investasi maka optimasi desain Alat penukar kalor *shell and tube* dapat menggantikan *Electric Heater* untuk sistem pemanas *Tumble Dryer*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] HTRI, "Fundamentals of Heat Exchanger Technology."
- [2] "Sadik Kakac - Heat Exchangers - Selection Rating and Thermal Desgin.pdf." 2002.
- [3] T. Heat dan E. Design, "SHELL & TUBE Int roduction."
- [4] J. P. Holman, "Heat Transfer," *McGraw-Hill*. hal. 702, 1986.
- [5] S. K. Patel dan A. M. Mavani, "Shell & Tube Heat Exchanger Thermal Design With Optimization of Mass Flow Rate and Baffle Spacing," *Int. J. Adv. Eng. Res.*, hal. 130–135, 2012.
- [6] G. F. Hewitt, "Heat Exchanger Design Handbook," in *Design*, vol. 2, 1987, hal. 1–10.
- [7] Z. H. Ayub, "A new chart method for evaluating single-phase shell side heat transfer coefficient in a single segmental shell and tube heat exchanger," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 25, no. 14–15, hal. 2412–2420, 2005.
- [8] I. Bizzy *et al.*, "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Dengan Program Heat Transfer," vol. 13, no. 1, hal. 67–77, 2013.
- [9] D. Q. Kern, "Process heat transfer." hal. 757, 1965.
- [10] P. Merle C. Potter, Ph.D David C Wiggert, *Fluida 480*. .
- [11] P. McCabe, Warren L, Smith, J., Harriot, "Unit operations of chemical engineering.," *Chemical Engineering Science*, vol. 6, no. 6. hal. 287, 1993.
- [12] S. Sa, Y. O. G. I. S. I. G. Aos, dan C. A. D. A. W. Idiawati, "Pengaruh Perubahan Material CuNi dengan Stainless Steel SA 213 TP304 terhadap Performansi," hal. 1–6.
- [13] J. Charnes, *Financial Modeling with Crystal Ball and Excel*. .