

PERHITUNGAN PERFORMA ALAT PENUKAR KALOR TIPE PELAT SH1 54-M10-50 TERHADAP VARIASI JUMLAH PELAT PADA PROSES RECOVERY CS2 di PT ASIA PACIFIC RAYON

Sipry T. Allo, Hengky Luntungan, Benny L. Maluegha
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Penukar kalor tipe pelat dalam industri proses umumnya digunakan untuk perpindahan kalor yang efisien antara dua aliran fluida. Jumlah pelat yang digunakan mempengaruhi kinerja penukar kalor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa penukar kalor tipe pelat SH1 54-M10-50 terhadap variasi jumlah pelat yang sedang digunakan pada proses *recovery* CS2 dan performa pada jumlah pelat hasil perhitungan serta menentukan jumlah pelat yang efektif pada penukar kalor tipe pelat untuk proses *recovery* CS2 berdasarkan perhitungan kinerja dan simulasi.

Penelitian dilakukan di PT Asia Pacific Rayon di Pangkalan Kerinci, Riau dan Lab CAD-CAM jurusan teknik mesin, Universitas Sam Ratulangi Manado, pada bulan Februari hingga April 2024. Performa alat penukar kalor ditentukan dengan perhitungan dan simulasi. Simulasi kinerja penukar kalor tipe pelat menggunakan perangkat lunak *Solidworks*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan 40 pelat, temperatur keluar fluida panas sebesar 69,31°C dan temperatur keluar fluida dingin sebesar 67,4°C, dengan tekanan total masing-masing sebesar 4,48 bar dan 4,76 bar, pada perhitungan hasil adalah mirip dengan hasil simulasi dengan selisih terbesar adalah 2,6 % . Untuk 50 pelat, temperaturnya 65,92°C dan 58,55°C, dengan tekanan total masing-masing 4,34 bar dan 4,57 bar.

Berdasarkan perhitungan dan simulasi pada variasi jumlah pelat yang dilakukan menunjukkan bahwa variasi jumlah pelat yang efektif untuk proses *recovery* CS2 antara variasi 40 pelat dan variasi 50 pelat adalah pada variasi 40 pelat.

Kata kunci: penukar kalor tipe pelat, performa, perangkat lunak.

ABSTRACT

Plate-type heat exchangers in the process industry are generally used for efficient heat transfer between two fluid streams. The number of plates used affects the performance of the heat exchanger. This study aims to determine the performance of the SH1 54-M10-50 plate type heat exchanger against the variation in the number of plates being used in the CS2 recovery process and the performance at the number of calculated plates and determine the effective number of plates in the plate type heat exchanger for the CS2 recovery process based on performance calculations and simulations.

The research was conducted at PT Asia Pacific Rayon in Pangkalan Kerinci, Riau and the CAD-CAM Lab of the mechanical engineering department, Sam Ratulangi University Manado, from February to April 2024. The performance of the heat exchanger was determined by calculation and simulation. Simulation of plate-type heat exchanger performance using Solidworks software.

The results show that with 40 plates, the hot fluid exit temperature is 69.31°C and the cold fluid exit temperature is 67.4°C, with a total pressure of 4.48 bar and 4.76 bar, respectively. The calculation results are similar to the simulation results with the largest difference being 2.6%. For 50 plates, the temperatures are 65.92°C and 58.55°C, with total pressures of 4.34 bar and 4.57 bar, respectively.

Based on calculations and simulations on the variation in the number of plates carried out, it shows that the effective variation in the number of plates for the CS2 recovery process between the 40 plate variation and the 50 plate variation is the 40 plate variation.

Keywords: plate heat exchanger, performance, software.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada proses produksi serat rayon terdapat gas buang yang berupa *carbon disulfida* (CS2). Tingginya bahaya paparan *carbon disulfida* (CS2) akan kesehatan dan lingkungan pada proses pembuatan rayon maka pemulihan *carbon disulfida* (CS2) sangat penting. Dalam proses *recovery carbon*

disulfida (CS2) ada beberapa komponen yang dibutuhkan salah satunya alat penukar kalor tipe pelat .

Peran penukar kalor tipe pelat pada proses *recovery* CS2 sangat penting yaitu mengatur temperatur air panas dari *Hot Water Tank* yang kemudian disuplay ke *scrubber* dengan temperatur tertentu yang dibutuhkan dalam proses *recovery*

CS2, dimana Proses recovery CS2 terjadi pada *scrubber*. Pengaturan temperatur oleh penukar kalor tipe pelat sangat penting untuk mencegah terjadinya *back pressure* dari *scrubber* yang akan terjadi apabila temperatur air tinggi dan sebaliknya jika temperatur rendah *recovery* CS2 tidak maksimal.

Pada kasus yang terjadi di lapangan, pemasangan awal penukar kalor tipe pelat pada proses *recovery* CS2 berjumlah 25 pelat. Dalam oprasionalnya penukar kalor tipe pelat tersebut tidak mampu menurunkan temperatur air panas sesuai yang dibutuhkan pada proses *recovery* CS2. Maka dari itu pihak perusahaan melakukan penambahan pelat dari 25 menjadi 50 pelat. Untuk itu penulis melakukan perhitungan performa terhadap penukar kalor tipe pelat pada proses *recovery* CS2 dan dilanjutkan dengan simulasi pada hasil perhitungan untuk mengetahui kinerja alat penukar kalor tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana performa pada setiap variasi jumlah pelat, baik yang sedang digunakan pada proses *recovery* CS2 maupun hasil perhitungan jumlah pelat yang dilakukan
2. Pada variasi jumlah pelat berapa yang sebaiknya digunakan untuk mendapat hasil efektif pada oprasional penukar kalor tipe pelat pada proses *Recovery* CS2 berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang dilakukan.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui performa penukar kalor tipe pelat SH1 54-M10-50 terhadap variasi jumlah pelat yang sedang digunakan pada proses *recovery* CS2 dan performa pada jumlah pelat hasil perhitung.
2. Penentuan jumlah pelate penukar kalor tipe pelat yang efektif pada proses *Recovery* CS2 berdasarkan perhitungan dan simulasi pada variasi jumlah pelat menggunakan perangkat lunak *solidworks*

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan jelas, perlu adanya pembatasan masalah yang dibatasi pada beberapa hal berikut :

1. Penelitian ini dilaksanakan di *PT. Asia Pacific Rayon* (PT APR) dan Lab CAD-CAM jurusan teknik mesin, Universitas Sam Ratulangi Manado.
2. Objek Penelitian yaitu alat penukar kalor tipe pelat pada sistem *Recovery* CS2
3. Perhitungan performa alat penukar kalor tipe pelat berdasarkan *pressure drop*, temperatur dan simlusi menggunakan *software solidworks*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi penulis

- a. Penulis mendapatkan sarana pengaplikasian ilmu perpindahan kalor yang telah didapatkan dalam perkuliahan.
 - b. Memberikan pemahaman dan memperdalam pengetahuan akan alat penukar kalor terutama alat penukar kalor tipe pelat.
2. Bagi pembaca
Hasil penelitian ini dapat menjadi sumber bacaan ilmiah dan juga sebagai tambahan referensi untuk penelitian kedepanya.
 3. Bagi perusahaan
Dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penentuan jumlah pelat pada alat penukar kalor tipe pelat.

II. DASAR TEORI

Perpindahan kalor adalah ilmu yang berusaha memprediksi perpindahan energi yang mungkin terjadi antara benda-benda material sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Termodinamika mengajarkan bahwa perpindahan energi ini didefinisikan sebagai panas. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan bagaimana energi panas dapat ditransfer, tetapi juga untuk memprediksi tingkat dimana pertukaran akan terjadi dibawah kondisi tertentu yang ditentukan (Holman, 2010).

2.1 Penukar kalor

Penukar kalor adalah perangkat yang digunakan untuk mentransfer energi panas (entalpi) antara dua atau lebih cairan, antara permukaan padat dan cairan, atau antara partikulat padat dan fluida, pada temperatur yang berbeda dan dalam kontak termal. Dalam penukar kalor, biasanya tidak ada panas eksternal dan interaksi kerja (Shah dan Sekulić, 2003)

2.2 Klasifikasi Penukar kalor

Penukar kalor dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara, yaitu klasifikasi menurut proses transfer, jumlah cairan, berdasarkan kekompakan permukaan, menurut konstruksii, menurut pengaturan aliran , mekanisme perpindahan kalor (Shah dan Sekulić, 2003).

- a. Klasifikasi Menurut Proses Transfer
 - 1) Kontak langsung
 - 2) Kontak tidak langsung
- b. Klasifikasi Berdasarkan Jumlah Cairan
 - 1) Dua fluida
 - 2) Tiga fluida
 - 3) N-fluida (N>3)
- c. Klasifikasi Berdasarkan Kekompakan Permukaan
 - 1) Gas ke fluida
 - 2) Cair ke cair dan perubahan fasa
- d. Klasifikasi Menurut Konstruksi
 - 1) Tabung (*tubular*)
 - 2) *Pelate-Type*
 - 3) Permukaan yang diperluas

- 4) *Regenerative*
- e. Klasifikasi Menurut Pengaturan Aliran
 - 1) *Single Pass*
 - 2) *Multi Pass*
- f. Klasifikasi Menurut Mekanisme Perpindahan kalor
 - 1) Konveksi fasa tunggal dikedua sisi
 - 2) Konveksi satu fasa disatu sisi dan konveksi dua fasa disisi lain
 - 3) Konveksi dua fasa dikedua sisi
 - 4) Gabungan konveksi dan perpindahan kalor radiasi

2.3 Klasifikasi Menurut Konstruksi

Klasifikasi penukar kalor menurut konstruksi terbagi dalam empat jenis konstruksi utama yaitu tubular, tipe pelat, permukaan yang diperluas, dan penukar regeneratif. Pembahasan alat penukar kalor menurut kontruksi hanya akan membahas mengenai penukar kalor yang paling umum digunakan yaitu *Shell & tube heat exchanger* dan alat penukar kalor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat penukar kalor tipe pelat (*palate haat exchanger*).

2.3.1 Penukar kalor shell and tube

Penukar kalor *shell and tube* umumnya dibangun dari seikat tabung bundar yang dipasang dalam cangkang silinder dengan sumbu tabung sejajar dengan cangkang. Satu fluida mengalir didalam tabung, yang lain mengalir melintasi dan di sepanjang tabung (Shah dan Sekulić, 2003). Penelitian mengenai Shell and Tube pernah dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi, yaitu tentang Revitalisasi Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube (Tumbade, 2022). Gambar *Shell-and-tube exchanger* berserta komponen-komponennya pada gambar 2.1 berikut.

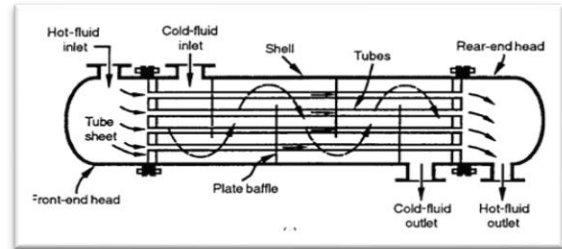


Gambar 2.1 Shell-and-tube exchanger

2.3.2 Penukar kalor tipe pelat

Penukar kalor tipe pelat adalah perangkat yang memungkinkan pemulihan panas yang terkandung dalam fluida ditransfer ke cairan lain. Kedua fluida tidak pernah saling bersentuhan karena

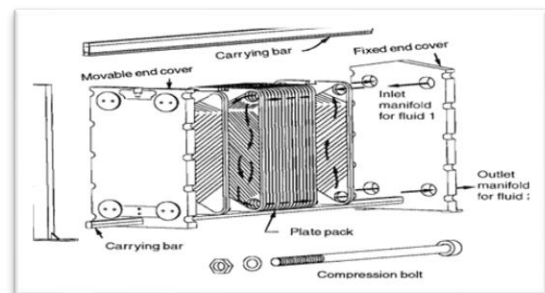
dipisahkan oleh lembaran logam. Lembaran-lembaran ini, yang disebut pelat (Jun dan Puri, 2007). Gambar penukar kalor tipe pelat pada proses *recovery CS2* di PT. Asia Pacific Rayoditmpilkan pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Penukar kalor tipe pelat

a) **Komponen penukar kalor tipe pelat**

Penukar kalor tipe pelat terdiri dari beberapa bagian yang relatif sedikit yaitu, gasket dan pelat digunakan untuk memisahkan media yang mengalir dan mencegah pencampuran fluida, gasket dipasang di satu sisi setiap pelat, sedangkan pelat digantung di atas batang pengangkut dan dipres bersama-sama menggunakan baut pengikat. Palang pemandu memastikan pelat sejajar dengan benar saat tumpukan pelat dibuka dan ditutup. Komponen terakhir yang penting adalah dua penutup di ujung yang berlawanan dari tumpukan pelat. Satu penutup adalah dapat digerakkan sementara yang lainnya tetap. Penutup yang dapat digerakkan dan penutup tetap juga kadang-kadang disebut disebut sebagai pelat rangka dan pelat tekanan (Jun dan Puri, 2007). Berikut komponen penukar kalor tipe pelat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komponen penukar kalor tipe pelat

b) **Prinsip Kerja Penukar kalor pelat**

Penukar kalor tipe pelat memiliki dua fluida yang mengalir, fluida panas memasuki penukar kalor melalui saluran masuk media panas. Gasket mengarahkan fluida yang panas saat mengalir melalui penukar kalor . Setiap pelat memiliki pola paking bolak-balik. Pada saat yang sama, fluida dingin masuk penukar kalor melalui saluran masuk media dingin, dengan demikian memiliki pola aliran panas, dingin, panas, dingin, saat mengalir melalui penukar kalor (Jun dan Puri, 2007).

2.4 Perhitungan Penukar kalor tipe pelat

2.4.1 Laju Perpindahan kalor

$$Q_{total} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \quad (2.1)$$

$$Q_h = m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.2)$$

$$Q_c = m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.3)$$

Keterangan :

Q = laju perpindahan kalor total (kW)

Q_h = laju perpindahan kalor fluida panas

Q_c = laju perpindahan kalor fluida dingin

m_h, m_c = laju aliran massa fluida (kg/s)

$C_{p,c}, C_{p,h}$ = panas spesifik ($kJ/kg\ ^\circ C$)

2.4.2 Log Mean Temperature Difference

Correction Factor Method (LMTD)

$$MTD = \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (2.4)$$

$$T_1 = T_{h,i} - T_{c,o} \quad (2.5)$$

$$T_2 = T_{h,o} - T_{c,i} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$T_{h,in}$ = temperatur fluida panas masuk ($^\circ C$)

$T_{h,out}$ = temperatur fluida panas keluar ($^\circ C$)

$T_{c,in}$ = temperatur fluida dingin masuk ($^\circ C$)

$T_{c,out}$ = temperatur fluida dingin keluar ($^\circ C$)

2.4.3 Koefisien Perpindahan kalor

$$U = \frac{Q_{total}}{A \cdot LMTD} \quad (2.7)$$

Keterangan:

U = koefisien Perpindahan kalor keseluruhan ($kW/m^2\ ^\circ C$)

A = total luas perpindahan kalor (m^2)

2.4.4 Perhitungan Luas Permukaan Perpindahan kalor

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{lm}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

A = luas permukaan Perpindahan kalor yang dibutuhkan (m^2)

q = laju Perpindahan kaloryang diinginkan (kW)

U = Koefisien Perpindahan kalor menyeluruh ($kW/m^2\ ^\circ C$)

ΔT_{lm} = Beda temperatur rata-rata logaritmik ($^\circ C$)

2.4.5 Perhitungan Pelat

$$N = \frac{A_{total}}{A_{plat}} \quad (2.9)$$

Keterangan:

N = Jumlah pelat

A_{total} = total luas perpindahan kalor (m^2)

A_{pelat} = Luas perpindahan tiap pelat (m^2)

2.4.6 Perhitungan Jumlah Lintasan per fluida

$$N_c = \frac{N-1}{2} \quad (2.10)$$

Keterangan :

N_c = Jumlah lintasan per fluida

N = Jumlah pelat

2.4.7 Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{u_m \cdot d}{\nu} \quad (2.11)$$

Keterangan:

Re = angka reynolds di dalam tabung

u_m = kecepatan rata-rata fluida (m/s)

ν = viskositas kinematik fluida ($N.s/m$)

d = diameter dalam tabung (m)

2.4.8 Bilangan Nusselt

$$Nu = \frac{h \cdot l}{k} \quad (2.12)$$

Keterangan :

Nu = angka Nusselt

h = koefisien Perpindahan kalorkonveksi (W/m^2)

L = panjang efektif (m)

2.4.9 Bilangan Prandtl

$$Pr = \frac{C_p \mu}{kf} \quad (2.13)$$

Keterangan :

C_p = Spesific heat fluida ($W/kg\ ^\circ C$)

μ = Viskositas Fluida ($kg/m\ s$)

kf = konduktifitas Thermal Fluida ($kg/m\ s$)

2.4.10 Perhitungan Faktor Gesekan

$$Jf = 0,60 (R)^{-0,3} \quad (2.14)$$

Keterangan:

Jf = faktor gesekan

R = reynold number

2.4.11 Perhitungan Pressure drop pelat

$$\Delta P_p = 4jf \left(\frac{L_p}{de} \right) \left(\frac{\rho u_p^2}{2} \right) \quad (2.15)$$

Keterangan :

Jf = faktor gesekan

L_p = panjang pelat (m)

de = diameter (hidrolik) (m)

ρ = densitas fuida (kg/m^3)

u_p = kecepatan saluran (m^2)

2.4.12 Kecepatan Fluida di antara pelat

$$V = \frac{Q}{(N \cdot b \cdot L_v)} \quad (2.16)$$

Keterangan:

V = kecepatan fluida (m/s)

Q = laju aliran volumetrik (m^3/s)

N = jumlah celah/channel di antara pelat

b = lebar pelat (m)

L_v = panjang tinggi pelat (m)

2.4.13 Perhitungan Channel Velocity

$$U_{pt} = \frac{m}{\rho A_{pt}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

m = Laju aliran massa fluida (kg/s)
 ρ = Densitas fluida (kg/m^3)
 A_{pt} = luas area port (m^2)

2.4.14 Perhitungan Diameter hidrolis

$$e = 2d \tag{2.18}$$

Keterangan:

d_e = diameter hidrolis (mm)
 d = jarak antar pelat (m)

2.4.15 Koefisien Perpindahan Kalor Keseluruhan Bersih

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_w + \frac{1}{h_o} \tag{2.19}$$

Keterangan:

U = koefisien Perpindahan kalorkeseluruhan ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 h_i = koefisien Perpindahan Kalor konveksi pada sisi dingin ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 h_o = koefisien Perpindahan Kalor konveksi pada sisi panas ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 R_w = resistansi termal pelat ($m^2 \text{ } ^\circ C / W$)

2.4.16 Perhitungan Kecepatan Massa Melalui Saluran

$$G = \frac{m}{N \cdot b \cdot L_v} \tag{2.20}$$

Keterangan:

G = Mass velocity ($kg/m^2 \cdot s$)
 m = Laju aliran massa (kg/s)
 N = Jumlah saluran (*channel*)
 b = Lebar pelat (m)
 L_v = Panjang tinggi pelat (m)

2.4.17 Perhitungan Total pressure Drop

$$\Delta P_t = \Delta P_p + \Delta P_{pt} \tag{2.21}$$

Keterangan:

ΔP_p : pressure drop pelat (bar)
 ΔP_{pt} : pressure drop port (bar)

2.5 **Perhitungan Performa Penukar Kalor Tipe Pelat**

Perhitungan performa penukar kalor tipe pelat akan menggunakan perangkat lunak *microsoft excel* untuk memudahkan dalam melakukan perhitungan secara keseluruhan dalam analisis performa penukar kalor tipe pelat. Proses perhitungannya pada perangkat lunak *microsoft excel* dilakukan dalam 5 tahapan sebagai berikut.

2.5.1 Tahap Pertama

Tahap pertama merupakan input data operasional dan data spesifikasi teknik penukar kalor tipe pelat pada proses *recovery* CS2. Tampilan lembar kerja untuk input data operasional dan data spesifikasi teknik pada gambar 2.7 sebagai berikut.

Step 1 : Gather the data required for the design			
Process data			
If one of the temperature of the fluids at inlet and outlet, enter NA for the temperature			
Hot Fluid to cool			
Hot fluid flowrate	m_hot		kg/h
Hot fluid density	rho_hot		kg/m3
Hot fluid viscosity	mu_hot		Pa.s
Hot fluid thermal conductivity	lambda_hot		W/mK
Specific heat hot fluid	Cp_hot		kJ/kg
Hot fluid inlet temperature	T_hot_inlet		°C
Hot fluid outlet temperature	T_hot_outlet		°C
Cold Fluid			
Cold fluid flowrate	m_cold		kg/h
Cold fluid density	rho_cold		kg/m3
Cold fluid viscosity	mu_cold		Pa.s
Cold fluid thermal conductivity	lambda_cold		W/mK
Specific heat cold fluid	Cp_cold		kJ/kg
Cold fluid inlet temperature	T_cold_inlet		°C
Cold fluid outlet temperature	T_cold_outlet	NA	°C
Heat exchanger data 1 pass			
Type of heat exchanger			
Number of passes	Np	1	
Plate material			
Plate thickness	e		mm
Corrugation angle of the plates	alpha		deg
Thermal conductivity material of the plate	lambda		W/m.K
Effective surface area of a single plate (from manufacturer data)	Sr		m2
Projected area of a single plate	Spr		m2
Surface enlargement factor	phi	#DIV/0!	
Verification surface enlargement factor ok		#DIV/0!	
Height of a plate	lv		m
Width of a plate	lw		m
Gap in between each plate	b		mm
Channel passing area			m2
Port diameter hot fluid	Dp_hot		mm
Port diameter cold fluid	Dp_cold		mm
Fouling resistance hot side	Rfhot		m2.k/W
Fouling resistance cold side	Rfcold		m2.k/W

Gambar 2.7 lembar kerja untuk input data penukar kalor tipe pelat

2.5.2 Tahap dua dan tahap tiga

Tahap dua merupakan perhitungan *fluks* panas yang diperlukan dan perkiraan luas perpindahan panas yang diperlukan. Sementara itu tahap tiga merupakan proses perhitungan jumlah pelat yang dibutuhkan. Lembar kerja untuk tahap dua dan tahap tiga akan ditampilkan pada gambar 2.8 sebagai berikut.

Step 2 Calculate the required heat flux and estimate exchange area required			
Required heat flux	Phi	0,00	kW
If one temperature is missing the tool calculated it automatically below			
Missing temperature to calculate		Cold outlet	
		#DIV/0!	°C
Check calculation is ok (heat flux is same on both sides)			
		#DIV/0!	
DTML then surface area calculated from fluid properties, temperature and heat transfer coeff			
	DTML	#DIV/0!	°C
Estimated heat transfer surface required	S	#DIV/0!	m2
Step 3 Calculate the number of plates required			
Hydraulic diameter	Dh	#DIV/0!	m
Number of plates required	N	#DIV/0!	plates
Number of channels per fluid	n	#DIV/0!	channels

Gambar 2.8 lembar kerja untuk proses perhitungan tahap 2 dan tahap 3

2.5.3 Tahap empat

Tahap empat merupakan proses perhitungan kecepatan fluida diantara pelat, perhitungan bilangan *reynolds*, perhitungan bilangan *musult*, perhitungan *prantl* hingga perhitungan koefisien perpindahan panas. Lembar kerja untuk tahap empat akan ditampilkan pada gambar 2.10 sebagai berikut.

Step 4 Confirmation of the heat exchanger size			
Velocity of hot fluid in between plates	uhot	#DIV/0!	m/s
Velocity of cold fluid in between plates	ucold	#DIV/0!	m/s
Mass velocity through hot channel	Gchot	#DIV/0!	kg/m2.s
Mass velocity through cold channel	Gccold	#DIV/0!	kg/m2.s
Reynolds number flow on hot side	Rehot	#DIV/0!	
Reynolds number flow on cold side	Recold	#DIV/0!	
Enter below the Nusselt correlation coefficient, read them in sheet "coefficients"			
Nusselt correlation coefficient a	a		
Nusselt correlation coefficient b	b		
Prandtl number on hot side	Prhot	#DIV/0!	
Prandtl number on cold side	Prcold	#DIV/0!	
Assumption : Pr_wall = Prhot resp. Prcold depending on side			
Nusselt number on hot side	Nuhot	#DIV/0!	
Nusselt number on cold side	Nucold	#DIV/0!	
Heat transfer coefficient hot side	hhot	#DIV/0!	W/m2.c
Heat transfer coefficient cold side	hcold	#DIV/0!	W/m2.c
Overall heat transfer coefficient clean	H_clean	#DIV/0!	W/m2.c
Overall heat transfer coefficient dirty	H_fouled	#DIV/0!	W/m2.c

Gambar 2.9 lembar kerja untuk perhitungan tahap 4

2.5.4 Tahap lima

Pada tahap lima secara keseluruhan merupakan proses perhitungan untuk mengetahui *pressure drop* fluida panas dan fluida dingin pada penukar kalor tipe pelat pada proses *recovery* CS2. Lembar kerja untuk tahap lima akan ditampilkan pada gambar 2.11 sebagai berikut.

Step 5 Pressure drop calculation			
Enter below the Nusselt correlation coefficient, read them in sheet "coefficients"			
Friction factory correlation coefficient Kp	Kp		
Friction factory correlation coefficient m	m		
Friction factor in hot fluid channel	fhot	#DIV/0!	
Friction factor in cold fluid channel	fcold	#DIV/0!	
Pressure drop in hot fluid channel	Dphot	#DIV/0!	Pa
Pressure drop in cold fluid channel	Dpcold	#DIV/0!	Pa
Hot fluid port velocity	Gphot	#DIV/0!	
Cold fluid port velocity	Gpcold	#DIV/0!	
Pressure drop in hot fluid port		#DIV/0!	Pa
Pressure drop in cold fluid port		#DIV/0!	Pa
Total pressure drop hot fluid	Dphot	#DIV/0!	Pa
Total pressure drop cold fluid	Dptcold	#DIV/0!	Pa

Gambar 2.10 lembar kerja untuk perhitungan tahap 5

2.6 Simulasi

Simulasi merupakan metode pelatihan yang memungkinkan untuk mempraktikkan sesuatu dalam situasi yang menyerupai keadaan sebenarnya, tetapi tanpa risiko atau konsekuensi nyata. Dalam bidang teknik, simulasi sangat bermanfaat karena sering kali eksperimen pada sistem nyata tidak memungkinkan atau terlalu mahal untuk dilakukan. Dalam penelitian ini digunakan *Solidworks* 2016 dengan fitur *flow simulation* atau CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

III. METODE PENELITIAN

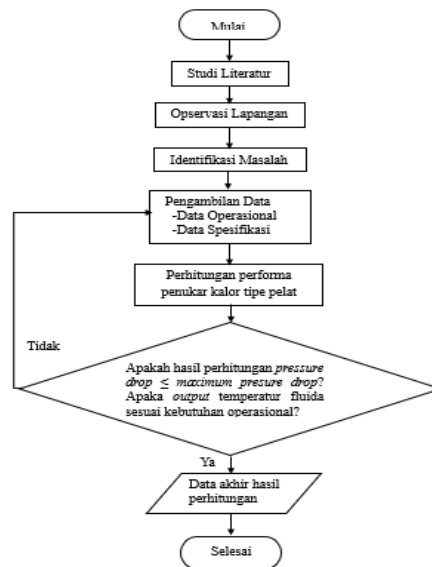
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan februari 2023 sampai dengan bulan April 2024 di PT. Asia Pacific Rayon (APR), Pangkalan Kerinci Kabupaten Palalawan Provinsi Riau dan Lab CAD-CAM jurusan teknik mesin, Universitas Sam Ratulangi Manado.

3.2 Diagram Alir Penelitian

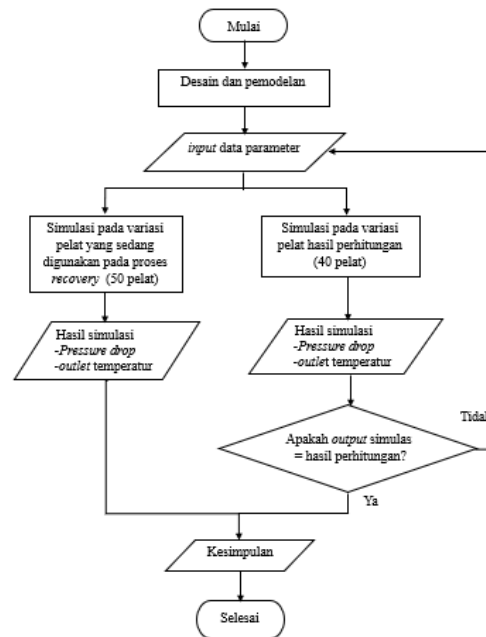
Adapun diagram alir penelitian sebagai berikut:

1. Diagram alir perhitungan:



Gambar 3.1 Diagram alir perhitungan

2. Diagram alir simulasi



Gambar 3.2 Diagram alir simulasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Operasional Penukar Kalor Tipe Pelat

Hasil Pengambilan Tabel 4.1 Data operasional penukar kalor tipe pelat

No	Parameter	Variabel	Nilai	Satuan
Hot Fluid (water)				
1	Hot fluid flowrate	m_{hot}	140000	kg/h
2	Hot fluid density	ρ_{hot}	980,1	kg/m ³
3	Hot fluid viscosity	μ_{hot}	0,306	Pa.s
4	Hot fluid thermal conductivity	λ_{hot}	0,663	W/mK
5	Specific heat hot fluid	$C_{p_{hot}}$	4,194	kJ/kg
6	Hot fluid inlet temperature	$t_{hot\ inlet}$	93	°C
7	Hot fluid outlet temperature	$t_{hot\ outlet}$	70	°C
Cold Fluid (water)				
Water				
1	Cold fluid flowrate	m_{cold}	100000	kg/h
2	Cold fluid density	ρ_{cold}	986,9	kg/m ³
3	Cold fluid viscosity	μ_{cold}	0,74	Pa.s
4	Cold fluid thermal conductivity	λ_{cold}	0,643	W/mK
5	Specific heat cold fluid	$C_{p_{cold}}$	4,178	kJ/kg
6	Cold fluid inlet temperature	$t_{cold\ inlet}$	35	°C

4.2 Data Spesifikasi Teknik

Tabel 4.2 Data spesifikasi teknik penukar kalor tipe pelat padap proses recovery CS2 (sumber : Manual book & Technical data sheet)

Parameter	Nilai	Satuan
Pelate material (Stainless Steel 316L)		
Pelate thickness	0,5	mm
Thermal conductivity material of the pelate	16,5	W/m.K
Height of a pelate	1,257	m
Width of a pelate	0,55	m
Gap in between each pelate	5	mm
Corrugation angle of the pelates	45	derajat
Effective surface area of a single pelate	1,02	m ²
Maximum allowable pressure drop cold side	5	Bar
Maximum allowable pressure drop hot side	5	Bar
ESTIMATED heat transfer coefficient.	3000	W/m ² .°C
Projected area of a single pelate	0,85	m ²
Port diameter hot fluid	150	mm
Port diameter cold fluid	150	m
Fouling resistance hot side	0,00007	m ² .k/w
Fouling resistance cold side	0,00007	m ² .k/w

4.3 Hasil Perhitungan Performa Penukar Kalor Tipe Pelat

Tabel 4.3 Perhitungan performa penukar kalor tipe pelat.

Parameter	Nilai	Satuan
Step 2 Calculate the required heat flux and estimate exchange area required		
Required heat flux	3751,3	kW
If one temperature is missing the tool calculated it automatically below		
Missing temperature to calculate	Cold	
	outlet	
	67,32	°C
Check calculation is ok (heat flux is same on both sides)	Ok	
DTML then surface are calculated from fluid properties, temperature and heat transfer coeff		
Logarithmic Mean Temperature Difference	30,1	°C
Estimated heat transfer surface required	41,55	m ²

(Lanjutan) Tabel 4.3 Perhitungan Performa Penukar kalor tipe pelat.

Step 3 Calculate the number of pelates required		
Hydraulic diameter	0,00804	m
Number of pelates required	41	Plates
Number of channels per fluid	20	channels
Step 4 Confirmation of the heat exchanger size		
Velocity of hot fluid in between pelates	0,72	m/s
Velocity of cold fluid in between pelates	0,51	m/s
Mass velocity through hot channel	707,07	kg/ m ² s
Mass velocity through cold channel	505,05	kg/ m ² s
Reynolds number flow on hot side	18,57	
Reynolds number flow on cold side	5,48	
Enter below the Nusselt correlation coefficient, read them in sheet "coefficients"		
Nusselt correlation coefficient a	0,4	
Nusselt correlation coefficient b	0,598	
Prandtl number on hot side	1935,69	
Prandtl number on cold side	4808,27	
Assumption : Pr _{wall} = Pr _{hot} resp. Pr _{cold} depending on side		
Nusselt number on hot side	27,89	
Nusselt number on cold side	18,16	
Heat transfer coefficient hot side	2301,01	W/m ² °C
Heat transfer coefficient cold side	1453,09	W/m ² °C
Overall heat transfer coefficient clean	867,24	W/m ² °C
Overall heat transfer coefficient dirty	773,35	W/m ² °C
Safety factor	0,28	
Step 5 pressure drop calculation		
Enter below the Nusselt correlation coefficient, read them in sheet "coefficients"		
Friction factory correlation coefficient Kp	18,29	
Friction factory correlation coefficient m	0,652	
Friction factor in hot fluid channel	2,72	
Friction factor in cold fluid channel	6,03	
Pressur drop in hot fluid channel	434450,37	Pa
Pressur drop in cold fluid channel	487534,69	Pa
Hot fluid port velocity	2200,66	m/s
Cold fluid port velocity	1571,9	m/s
Pressur drop in hot fluid port	3458,87	Pa
Pressur drop in cold fluid port	1752,57	Pa
Total pressure drop hot fluid	437909,23	Pa
Total pressure drop cold fluid	489287,26	Pa

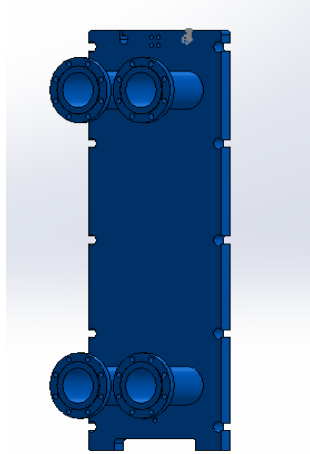
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa outlet temperatur untuk fluida dingin adalah 67,32°C. Selanjutnya, pada tahap perhitungan jumlah pelat, diperoleh hasil bahwa total pelat yang digunakan adalah 40 pelat, dengan rincian 20 pelat untuk fluida dingin dan 20 pelat untuk fluida panas. Dalam perhitungan total pressure drop yang ditunjukkan pada tahap selanjutnya, diperoleh hasil bahwa pressure drop pada fluida dingin sebesar 489287,26 Pa (4,9 bar) dan pada fluida panas sebesar 437909,23 Pa (4,4 bar). Adapun batas maksimum pressure drop yang diizinkan untuk fluida panas dan fluida dingin adalah 5 bar.

4.4 Desain Penukar Kalor Tipe Pelat

Dalam proses desain penukar kalor tipe pelat pada penelitian ini, data dimensi telah diketahui yang diperoleh dari data spesifikasi teknik. Desain penukar kalor tipe pelat dilakukan per komponen, lalu dilanjutkan dengan tahap desain 3D menggunakan perangkat lunak Solidworks 2016 dan pada tahapan terakhir, simulasi dilakukan pada rancangan yang telah dibuat.

4.4.1 Desain Bingkai Tetap (*fixed frame*)

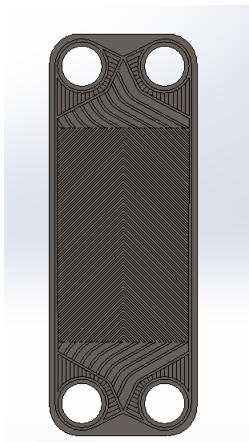
Desain bingkai tetap pada penukar kalor tipe pelat didesain dengan tujuan utama untuk menopang dan menjepit seluruh susunan pelat yang membentuk *pelate pack*. Berikut gambar 4.1 bingkai tetap yang telah didesain.



Gambar 4.1 Bingkai tetap (*fixed frame*)

4.4.2 Desain Pelat

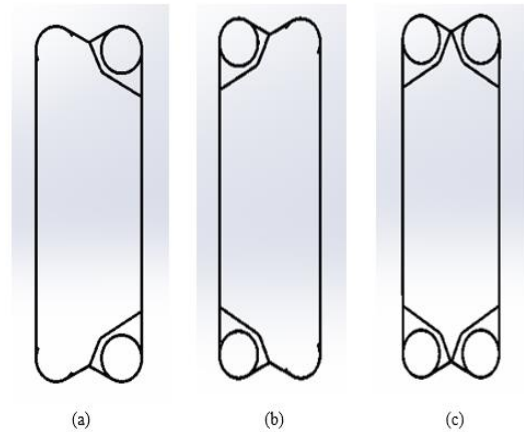
Proses desain pelat pada penukar kalor pelat didasarkan pada data dimensi yang telah tersedia, meliputi panjang, lebar, ketebalan, dan diameter *port*. Berikut adalah gambar pelat yang didesain



Gambar 4.2 Pelat hasil desain

4.4.3 Desain Gasket

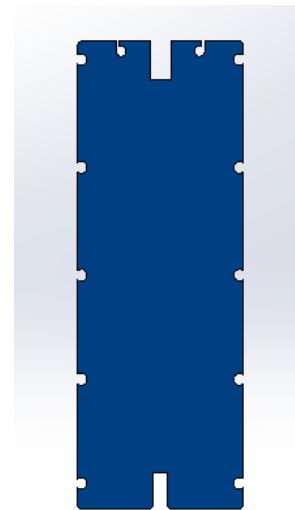
Dalam desain *gasket* pada penukar kalor tipe pelat, terdapat tiga model *gasket* yang berbeda dengan jenis material yang sama, yaitu *rubber EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer)*. Perbedaan utama pada ketiga model *gasket* tersebut terletak pada fungsi spesifik dari masing-masing *gasket*. Berikut adalah gambar *gasket* yang dirancang.



Gambar 4.3 *Gasket* hasil desain

4.4.4 Desain Bingkai Bergerak (*Moveable Frame*)

Desain bingkai bergerak pada penukar kalor pelat memiliki kemiripan dengan desain bingkai tetap, namun terdapat perbedaan utama pada fungsi dan mekanisme penggerakannya. Berikut gambar bingkai bergerak yang dirancang.



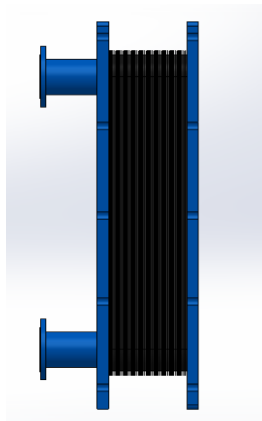
Gambar 4.4 Bingkai Bergerak (*Moveable Frame*)

4.5 **Simulasi Variasi Jumlah Pelat Pada Penukar Kalor Tipe Pelat**

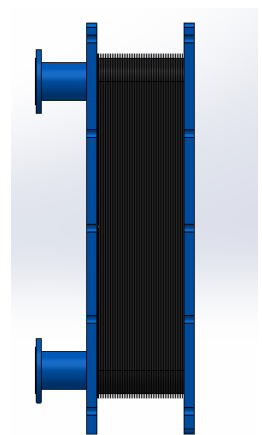
Simulasi dilakukan berdasarkan pada dua variasi jumlah pelat yang berbeda, yaitu simulasi pada jumlah pelat berdasarkan keadaan yang sedang digunakan pada proses *recovery* CS₂ yakni 50 pelat dan simulasi pada jumlah 40 pelat yang merupakan hasil perhitungan yang telah dilakukan.

4.5.1 Pemodelan Penukar kalor tipe pelat

Permodelan akan dibuat dalam dua bentuk pemodelan, yaitu pemodelan dengan jumlah 40 pelat dan dengan jumlah 50 pelat. Untuk keseluruhan hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6. berikut.



Gambar 4.5 Pemodelan PHE Pada Variasi 40 Pelat Dalam Bentuk 3D



Gambar 4.6 Pemodelan PHE Pada Variasi 50 Pelat Dalam Bentuk 3D

4.5.2 Parameter Input Flow Simulation

Sebelum melakukan simulasi aliran pada *Solidworks*, dilakukan input data pada beberapa parameter terlebih dahulu. Input data dilakukan setelah proses pemodelan selesai, di mana data parameter dimasukkan pada *wizard* di menu *flow simulation*. *Input data flow simulation* pada kedua variasi jumlah pelat menggunakan data parameter yang sama, namun terdapat perbedaan pada jumlah pelat yang digunakan. Paramater input simulasi ditampilkan pada tabel 4.4 berikut .

Tabel 4.4 Parameter *input* simulasi

Parameter	Hot side	Cold side
<i>Inlet Volume flow</i> (m^3/s)	0.0389	0.028
<i>environment pressure</i> (Pa)	101325	101325
Jenis fluida	Air	Air
<i>Inlet temperature</i> ($^{\circ}C$)	93	35

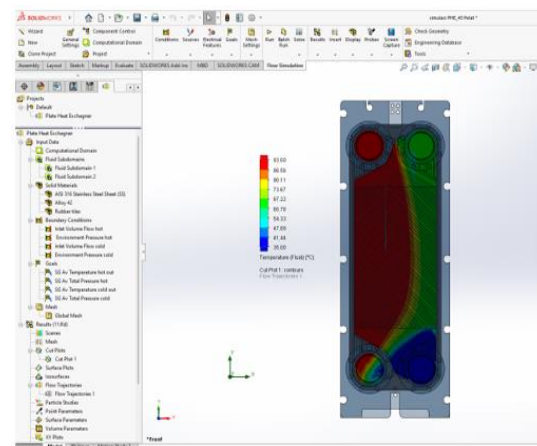
4.5.3 Hasil Simulasi Pada Variasi 40 Pelat

Hasil simulasi merupakan hasil yang didapatkan setelah proses *running* selesai pada

Solidworks. Berikut *output* hasil simulasi pada variasi 40 pelat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
SG Av Temperature hot out	[$^{\circ}C$]	69.31	69.47	69.31	69.74	85	Yes
SG Av Total Pressure hot	[Pa]	448244.07	448251.37	448244.07	448259.39	100	Yes
SG Av Temperature cold out	[$^{\circ}C$]	67.40	67.40	67.40	67.40	100	Yes
SG Av Total Pressure cold	[Pa]	476781.05	476781.05	476781.05	476781.05	100	Yes

Gambar 4.11 Tampilan *output* hasil simulasi variasi 40 pelat



Gambar 4.12 Hasil simulasi variasi 40 pelat

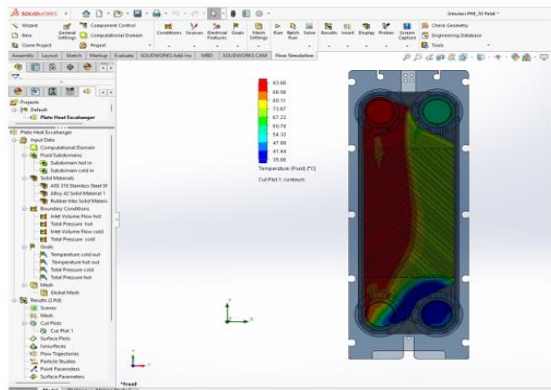
Hasil simulasi pada variasi 40 pelat diperoleh temperatur keluaran (*outlet temperature*) untuk fluida dingin adalah $67,40^{\circ}C$ dan temperatur keluaran (*outlet temperature*) untuk fluida panas adalah $69,31^{\circ}C$. Selanjutnya, diperoleh hasil tekanan keluaran (*output pressure*) untuk fluida dingin sebesar $476781 Pa$ ($4,77 bar$) dan tekanan keluaran (*output pressure*) untuk fluida panas adalah $448244 Pa$ ($4,48 bar$). Hasil simulasi ini menggambarkan performa penukar kalor pelat dengan variasi 40 pelat,

4.5.4 Hasil Simulasi Pada Variasi 50 Pelat

Hasil simulasi pada variasi 50 pelat diperoleh setelah proses *running* selesai pada *Solidworks*. Berikut *output* hasil simulasi pada variasi 50 pelat pada gambar 4.13 dan gambar 4.14.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
Temperature cold out	[$^{\circ}C$]	58.55	58.55	58.55	58.55	100	Yes
Temperature hot out	[$^{\circ}C$]	65.92	66.22	65.92	66.60	100	Yes
Total Pressure cold	[Pa]	456724.89	456724.89	456724.89	456724.89	100	Yes
Total Pressure hot	[Pa]	434297.76	434313.30	434297.44	434343.85	100	Yes

Gambar 4.13 Tampilan *output* hasil simulasi variasi 50 pelat



Gambar 4.14 Hasil simulasi variasi 50 pelat

Hasil simulasi pada variasi 50 pelat diperoleh temperatur keluaran (*outlet temperature*) untuk fluida dingin adalah $58,55^{\circ}\text{C}$ dan temperatur keluaran (*outlet temperature*) untuk fluida panas adalah $65,92^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya, diperoleh hasil tekanan keluaran (*output pressure*) untuk fluida dingin sebesar 456724 Pa ($4,57\text{ bar}$) dan tekanan keluaran (*output pressure*) untuk fluida panas adalah 434297 Pa ($4,34\text{ bar}$).

4.6 Pembahasan

Hasil simulasi yang dilakukan pada variasi 40 pelat dan variasi 50 pelat dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 *Output* simulasi pada kedua variasi jumlah pelat

Parameter	Variasi 40 pelat	Variasi 50 Pelat
<i>outlet temperature hot</i> ($^{\circ}\text{C}$)	69,31	65,92
<i>outlet temperature cold</i> ($^{\circ}\text{C}$)	67,4	58,55
<i>output pressure hot</i> (Pa)	448244	434297
<i>output pressure cold</i> (Pa)	476781	456724

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa hasil simulasi yang relevan atau berbanding lurus dengan hasil perhitungan performa dan sesuai dengan kebutuhan operasional pada proses *recovery CS2* yaitu dengan *outlet* temperatur fluida panas 70°C dan *maximum pressure drop* sebesar 5 bar , adalah pada variasi 40 pelat.

Tabel 4.6 Selisih hasil perhitungan dan hasil simulasi

Parameter	Hasil simulasi	Hasil Perhitungan	Selisih
<i>outlet temperature hot</i> ($^{\circ}\text{C}$)	69,31	70	0,69 (1%)
<i>outlet temperature cold</i> ($^{\circ}\text{C}$)	67,4	67,32	0,08 (0,11%)
<i>output total pressure hot</i> (Pa)	448244	437909	10335 (2,3%)
<i>output total pressure cold</i> (Pa)	476781	489287	12506 (2,6%)

Selisih hasil perhitungan dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 4.6 berada dalam kisaran 1% - 2%. Secara rinci, selisih *outlet* temperatur fluida panas adalah sebesar 1%, selisih *outlet* temperatur fluida dingin adalah 0,11%, selisih *output total pressure* fluida panas adalah 2,3%, serta selisih *output total pressure* fluida dingin adalah 2,6%. Selisih-selisih tersebut menunjukkan perbedaan yang sangat kecil antara hasil perhitungan dan hasil simulasi. Secara keseluruhan, hasil perhitungan dan simulasi dapat dikatakan sesuai dan menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Hasil perhitungan performa dan simulasi pada variasi 40 pelat adalah 70°C pada hasil perhitungan dan $69,31^{\circ}\text{C}$ pada hasil simulasi, dengan selisih sebesar 1%. Sementara itu, *output temperature* fluida dingin adalah $67,32^{\circ}\text{C}$ pada hasil perhitungan dan $67,4^{\circ}\text{C}$ pada hasil simulasi, dengan selisih 0,11%. Untuk *total pressure*, fluida panas memiliki nilai 448244 Pa ($4,48\text{ bar}$) pada hasil simulasi dan 437909 Pa ($4,37\text{ bar}$) pada hasil perhitungan, dengan selisih 2,3%. *Total pressure* fluida dingin adalah 476781 Pa ($4,76\text{ bar}$) pada hasil simulasi dan 489287 Pa ($4,50\text{ bar}$) pada hasil perhitungan, dengan selisih 2,6%.
- Hasil simulasi pada variasi 50 pelat adalah *output temperature* fluida panas adalah $65,9^{\circ}\text{C}$ pada hasil simulasi dan 70°C pada hasil perhitungan, dengan selisih 6,18%. Untuk *output temperature* fluida dingin, nilai pada hasil simulasi adalah $58,55^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada hasil perhitungan adalah $67,32^{\circ}\text{C}$, dengan selisih 14%. Sementara itu, *total pressure* fluida panas adalah 434297 Pa ($4,34\text{ bar}$) pada hasil simulasi dan 437909 Pa ($4,37\text{ bar}$) pada hasil perhitungan, dengan selisih 0,8%. Untuk *total pressure* fluida dingin, nilai pada hasil simulasi adalah 456724 Pa ($4,57\text{ bar}$), sedangkan pada hasil perhitungan adalah 489287 Pa ($4,90\text{ bar}$), dengan selisih 7%.
- Berdasarkan perhitungan performa pada penukar kalor tipe pelat dan simulasi menggunakan Solidworks yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa variasi jumlah pelat yang efektif untuk proses *recovery CS2* antara variasi 40 pelat dan variasi 50 pelat adalah pada variasi 40 pelat.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jenis penukar kalor yang berbeda untuk melihat perbandingan performa

dengan performa penukar kalor tipe pelat yang telah dilakukan.

2. Peneliti selanjutnya dapat menggunakan software yang berbeda dalam proses simulasi, yang searah dengan flow simulation

DAFTAR PUSTAKA

- Egeten, H. S. F., Sappu, F. P., & Maluegha, B. (2014). Efektivitas Penukar Kalor Tipe Plate P41 73tk Di Pltp Lahendong UNIT 2. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin Unsrat*, 3(1), 66–76..
- Holman, Jack P. (2010) *Heat transfer. McGraw-Hill Companies, Inc.*, 1221
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer* (Vol. 6, p. 116). New York: Wiley.
- Jun, S., & Puri, V. (2007). *Plate Heat Exchanger*. 417–431.
<https://doi.org/10.1201/9781420009217.ch17>
- L. Wang, B. Sundén, R.M. Manglik. (2007) *Plate Heat Exchangers Design, Applications and Performance*. (Vol. 11). Wit Press.
- Pramua, S. kakac; H. L. A. (2012). *Heat Exchangers, Selection, Rating, and Thermal Design* (Third Edit). Taylor & Francis Group.
- Shah, R. K., & Sekulić, D. P. (2003). *Selection of Heat Exchangers and Their Components*. In *Fundamentals of Heat Exchanger Design*.
<https://doi.org/10.1002/9780470172605.ch10>
- Thulukkanam, K. (2000). *Heat Exchanger Design Handbook. In Heat Exchanger Design Handbook*.
<https://doi.org/10.1201/9781420026870>
- Tumbade, F. G., Sappu, F. P., & Lumintang, R. C. A. (2022). Revitalisasi Alat Penukar Kalor Tipe *Shell and Tube* Pada Laboratorium Teknik Mesin Unsrat. *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, 11(1), 35–48.
- Yunus, & Cengel, A. (2004). *Heat Transference a Practical Approach. MacGraw-Hill*, 4(9), 874.
- Zheng, D., Wang, J., Chen, Z., Baleta, J., & Sundén, B. (2020). *Performance analysis of a plate heat exchanger using various nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer*, 158.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119993>