APPENDIKS B
PERHITUNGAN NERACA PANAS

Kapasitas Pabrik = 50000 ton/tahun
Waktu Operasi = 300 hari = 24 jam/hari
Satuan Operasi = kg/jam
Kapasitas Produk = $\frac{50000}{1\ \text{Tahun}} \quad \frac{1000}{1\ \text{ton}} \quad \text{x} \quad \frac{1\ \text{tahun}}{330} \quad \text{x} \quad \frac{1\ \text{hari}}{24\ \ \text{jam}}$
= 6313,1313 kg/jam
Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K
Suhu lingkungan = 30 °C = 303,15 K
Basis Bahan Baku = 2542,1712 kg/jam

Data kapasitas panas gas ideal[8]

Komponen	Cp			
	a	b	c	d
CH_3OH	40,460	-3,8,E-02	2,4529,E-04	-2,1680,E-07
O_2	29,526	-8,9000,E-03	3,8083,E-05	-3,2630,E-08
N_2	29,414	-4,5990,E-03	1,3004,E-05	-5,4760,E-09
H_2O	33,933	-8,4186,E-03	2,9906,E-05	-1,7825,E-08
CH_2O	32,428	-2,9780,E-02	1,5104,E-04	-1,2730,E-07

Data kapasitas panas liquid[8]

Komponen	BM	a	b	c
CH_3OH	32,000	1,3431,E+01	-5,1280,E-02	1,3113,E-04
H_2O	18,000	8,7120,E+00	1,2500,E-03	-1,8000,E-07

Data kapasitas formaldehid liquid dengan metode Ruzicka-Domalski[3]

Komponen	Jumlah	CH_2=		
CH_2O		a	b	d
	1	4,1763	-0,47392	0,099928
		C=O		
		a	b	d
	1	-35,127	28,409	-4,9593

dari estimasi kapasitas panas untuk CH_2O didapatkan:

Komponen	BM	a	b	d
CH_2O	30	-30,9507	27,93508	-4,8594

Rumus kapasitas panas liquid[9]:

$$\frac{Cp}{R} = a + b\,T + c\,T^2 + d\,T^{-2}$$

$$\int_{T_0}^{T} \frac{Cp}{R} dT = a\,T + \frac{b}{2}T^2 + \frac{c}{3}T^3 - d\left(\frac{1}{T}\right) \Big|_{T_0}^{T}$$

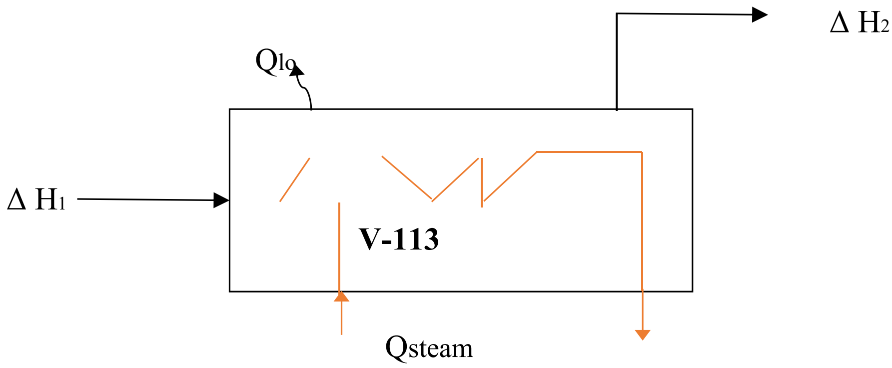
$$= a\left(T - T_0\right) + \frac{b}{2}\left(T^2 - T_0^2\right) + \frac{c}{3}\left(T^3 - T_0^3\right) - d\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right]$$

Rumus kapasitas panas liquid dengan menggunakan estimasi[3]:

$$\frac{Cp}{R} = a + b\left(\frac{T}{100\ K}\right) + d\left(\frac{T}{100\ K}\right)^2$$

1 Vaporizer (V-113)

Fungsi: untuk merubah fase metanol liquid menjadi gas



Keterangan:

ΔH_1 = Panas yang terkandung pada bahan masuk Vaporizer.

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar.

Q_{steam} = Panas yang terkandung dalam pemanas.

Q_{loss} = Panas yang hilang.

Neraca panas overall:

Panas masuk = Panas keluar

$\Delta H_1 + Q_{steam}$ = $\Delta H_2 + Q_{loss}$

dimana:

$\Delta H = m \cdot Cp \cdot \Delta T$

Panas yang terkandung dalam umpan masuk vaporizer (ΔH_1)

Konversi (kkal/kı 0,2390057

A. Panas yang dibawa oleh bahan masuk storage

Temperatur Fresh Feed = 30 °C = 303,2 K

Menghitung kapasitas panas bahan mas

Komponen	BM	kg/jam	kgmol/jam	CpdT
CH_3OH	32,0	#REF!	#REF!	49,3342
H_2O	18,0	#REF!	#REF!	45,3577
Total		#REF!	#REF!	94,6919

Menghitung kandungan panas bahan masuk

Komponen	BM	kg/jam	CpdT	Δ H_1 (kkal/jam)
CH_3OH	32,0	#REF!	11,7912	#REF!
H_2O	18,0	#REF!	10,8408	#REF!
Total		#REF!	22,6319	#REF!

B. Panas yang digunakan untuk memanaskan dari 30 °C menjadi 280 °C

mperatur bahan keluar vapori = 280 °C = 553,15 K

Menghitung kapasitas panas bahan kelu

Komponen	BM	kg/jam	kgmol/jam	CpdT
CH_3OH	32,0	#REF!	#REF!	17832,7006
H_2O	18,0	#REF!	#REF!	9162,1457
Total		#REF!	#REF!	26994,8463

Menghitung kandungan panas bahan yang keluar

Komponen	BM	kg/jam	CpdT	Δ H_2 (kkal/jam)
CH_3OH	32,0	#REF!	4273,9089	#REF!
H_2O	18,0	#REF!	2200,6461	#REF!
Total		#REF!	6474,5550	#REF!

Panas yang hilan

Asumsi: = 2% × panas yang masuk = #REF!

Sehingga:

$\Delta H_1 + Q_{steam} = \Delta H_2 + Q_{loss}$

$\Delta H_1 + Q_{steam} = \Delta H_2 + 2\% \times (\Delta H_1 + Q_{steam})$

#REF! + Q_{steam} = #REF! + 37,1853 + 0,02 Q_{ste}

0,98 Q_{steam} = #REF!

Q_{steam} = #REF!

Kebutuhan uap

Berdasarkan steam tabel hal. 673 pada buku Van Ness[9],

pada suhu 300 °C dan tekanan 9870,0 kPa

$\lambda = H_V - H_l$

= 2731,0 - 1345,1

λ = 1385,9 kJ/g × 0,2390 kkal/kJ

= 331,2380 kkal/kg

$Q_{steam} = m \times \lambda$

#REF! = m × 331,2380

m = #REF! kg/jam

Perhitungan panas yang hilang selama proses

$Q_{loss} = 2\% \times (\Delta H_1 + Q_{steam})$

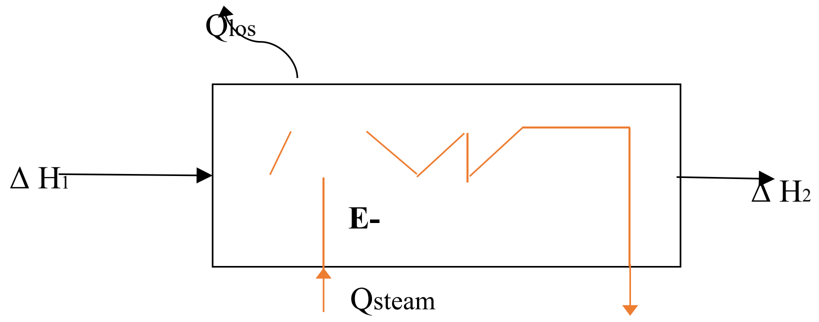
= #REF! kkal/jam

Neraca panas pada vaporizer (V-113)

Aliran Panas Masuk		Aliran Panas Keluar	
Komponen	Energi (kkal/jam)	Komponen	Energi (kkal/jam)
ΔH_1	#REF!	ΔH_2	#REF!
Qsteam	#REF!	Qloss	#REF!
Total	#REF!	Total	#REF!

3. Heater Udara (E-116B)

Fungsi: Untuk menaikkan suhu udara dari 30 °C menjadi 280 °C



Keterangan:

ΔH_1 = Panas yang terkandung pada bahan masuk udara ke heater

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar heater.

Q_{steam} = Panas yang diberikan oleh steam.

Q_{loss} = Panas yang hilang.

Neraca panas overall:

Panas masuk = Panas keluar

$\Delta H_1 + Q_{steam} = \Delta H_2 + Q_{loss}$

Menghitung kapasitas panas masuk heater (ΔH_1)

uhu bahan masuk = 30 °C = 303,15 K

Komponen	BM	kg/jam	$CpdT_g$
O_2	32,0	#REF!	151,4632
N_2	28,0	#REF!	146,0339
Total		#REF!	297,4970

Menghitung kandungan panas bahan masuk

Komponen	BM	kg/jam	CpdT	ΔH_1 (kkal/jam)
O_2	32,0	#REF!	36,2006	#REF!
N_2	28,0	#REF!	34,9029	#REF!
Total				#REF!

Menghitung kapasitas panas keluar heater (ΔH_3)

Suhu bahan kelu: 280 °C = 553,15

Komponen	BM	kg/jam	$CpdT_g$
O_2	32,0	#REF!	8375,1884
N_2	28,0	#REF!	7620,1494
Total		#REF!	15995,3378

Menghitung kandungan panas yang keluar

Komponen	BM	kg/jam	CpdT	ΔH_2 (kkal/jam)
O_2	32,0	#REF!	2001,7181	#REF!
N_2	28,0	#REF!	1821,2594	#REF!
Total				#REF!

Panas yang hilang:

Asumsi: Q_{loss} = 2% × panas yang masuk = #REF!

Sehingga:

ΔH_1 + Q_{steam} = ΔH_2 + Q_{loss}

ΔH_1 + Q_{steam} = ΔH_2 + % × (ΔH_3 + Q_{stear}

#REF! + Q_{steam} = #REF! +18,6673+0,02Q_{st}

0,98 Q_{steam} = #REF!

Q_{steam} = #REF!

Kebutuhan uap

Berdasarkan steam tabel hal. 673 Van Ness[9],

pada suhu 300 °C dan tekanan 9870,0 kPa

λ = H_v - H_l

= 2731,0 - 1345,1

λ = 1385,9 kJ/g × 0,2390 kkal/kJ

= 331,2380 kkal/kg

Q_{steam} = m × λ

#REF! = m × 331,2380

m = #REF! kg/jam

Perhitungan panas yang hilang selama proses

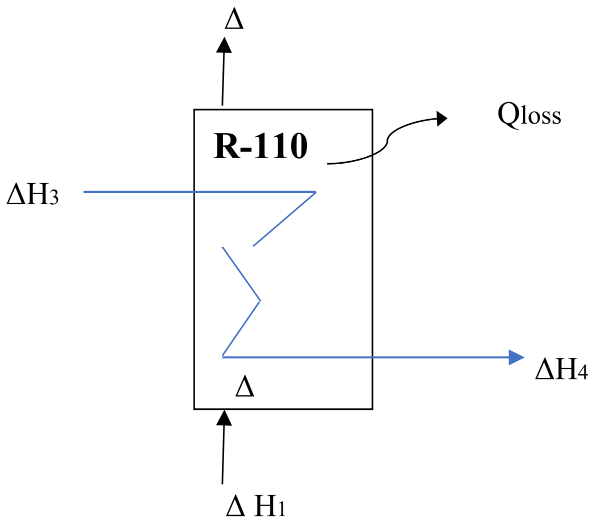
Q_{loss} = 2% × (ΔH_1 + Q_{steam})

= #REF! kkal/jam

Neraca panas pada heater (E-116B)			
Aliran Panas Masuk		Aliran Panas Keluar	
Komponen	Energi (kkal/jam)	Komponen	Energi (kkal/jam)
ΔH_1	#REF!	ΔH_2	#REF!
Q_{steam}	#REF!	Q_{loss}	#REF!
Total	#REF!	Total	#REF!

4. Reaktor (R-110)

Fungsi: Untuk mereaksikan CH_3OH dan udara menjadi CH_2O



Neraca panas overall:

Panas masuk	=	Panas keluar
$\Delta H_1 + \Delta H_3 + \Delta H_R$	=	$\Delta H_2 + \Delta H_4 + Q_{loss}$
$\Delta H_1 + \Delta H_R$	=	$\Delta H_2 + (\Delta H_4 - \Delta H_3) + Q_{loss}$
$\Delta H_1 + \Delta H_R$	=	$\Delta H_2 + Q_{serap} + Q_{loss}$

Keterangan :

ΔH_1 = Panas yang terkandung dari kompresor

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar produk atas

ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam pendingin bahan masuk reaktor

ΔH_4 = Panas yang terkandung dalam pendingin bahan keluar reaktor

Q_{loss} = Panas yang hilang

Q_{serap} = Panas yang diserap oleh pendingin

ΔH_R = Panas yang timbul akibat terjadinya reaksi

Data panas pembentukan gas[3]:

Komponen	BM	ΔHf	Konversi (kkal/kmol)
CH_3OH	32,000	-20,094	0,239005736
H_2O	18,000	-24,1814	
O_2	32,000	0	
CH_2O	30,000	-10,86	
N_2	28,000	0	

Menghitung kandungan udara panas bahan masuk

Suhu udara masuk reak	=	280	°C	=	553,15	K
Suhu referensi	=	25	°C	=	298,15	K

Komponen	m (kg)	BM	CpdT	H (kkal/jam)
O_2	#REF!	32,0	2001,7181	#REF!

N_2	#REF!	28,0	1821,2594	#REF!
CH_3OH	#REF!	32,0	4273,9089	#REF!
H_2O	#REF!	18,0	2200,6461	#REF!
Δ H_1			10297,5325	#REF!

Menghitung kapasitas panas bahan keluar reaktor

Suhu produk keluar rea = 280 °C = 553,15 K

Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K

Komponen	m (kg)	BM	CpdT	H (kkal/jam)
CH_2O	2335,9000	30,0	12223,6046	951770,6015
H_2O	1401,5000	18,0	9162,1457	713374,8416
O_2 sisa	12,5840	32,0	2001,7181	787,1756301
N_2	4100,7000	28,0	1821,2594	266729,9455
CH_3OH	25,1670	32,0	4273,9089	3361,295783
Δ H_2				1936023,8601

Menghitung panas reaksi:

Reaksi:

$$CH_3OH_{(g)} + 0.5\ O_{2\,(g)} \xrightarrow{0,99} CH_2O_{(g)} + H_2O_{(g)}$$

Δ H_{f298} Rea

Komponen	n bereaksi (kmol/jam)	ΔH°f298 KJ/Kmol	ΔH°f298 (kkal/kmol)	H (kkal/jam)
CH_3OH	124,5791	-200660	-47958,8910	-5974676,6542
O_2	62,2896	0,0000	0	0
Σ ΔH_{f298}				-5974676,6542

Δ H_{f298} Pro

Komponen	n bereaksi (kmol/jam)	ΔH°f298 KJ/Kmol	ΔH°f298 (kkal/kmol)	H (kkal/jam)
CH_2O	124,5791	-108570	-25948,8528	-3232685,3600
H_2O	124,5791	-241818	-57795,8891	-7200161,2636
Σ ΔH_{f298}				-10432846,6237

Δ H_{f298} = Δ H_{f298} Produk - Δ H_{f298} Reaktan

= -10432846,6237 - -5974676,6542

= -4458169,9695 kkal/jam

Δ$H_{reaktan}$ = ΔH CH_3OH + ΔH O_2

= #REF! kkal/jam

ΔH_{produk} = ΔH CH_2O + ΔH H_2O

= 227478,63 + 170500,6792

= 397979,31 kkal/jam

Sehingga

ΔH_R = ΔHproduk - ΔHreaktan + ΔH_{f298}
= 397979,31 - #REF! + -4458169,9695
= #REF! kkal/jam (eksotermis)

Panas yang hilang:
Asumsi:
Q_{loss} = 2% × panas yang masuk
Q_{loss} = 2% × ($\Delta H_1 + \Delta H_R$)
= 2% × #REF! + #REF!
= 2% × #REF!
= #REF! kkal/jam

Panas yang diserap Dowtherm A (Q_{serap}):
$\Delta H_1 + \Delta H_R$ = $\Delta H_2 + Q_{serap} + Q_{loss}$
Q_{serap} = ($\Delta H_1 + \Delta H_R$) - ($\Delta H_2 + Q_{loss}$)
= #REF! - 1936023,8601 + #REF!
= #REF! kkal/jam

Menghitung kebutuhan Dowtherm A
Pendingin masuk = 30 °C = 303,15 K
Pendingin keluar = 300 °C = 573,15 K
Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K
C_p Dowtherm A = 1,6 kkal/kg.°C
C_p Dowtherm A = 1,94 kkal/kg.°C

ΔH_4 = m × Cp × ΔT
= m × 1,940 × (300 - 25)
= 534 m
ΔH_3 = m × Cp × ΔT
= m × 1,601 × (30 - 25)
= 8,01 m

Q_{serap} = ΔH_4 - ΔH_3
#REF! = 533,50 m - 8,005 m
#REF! = 525,50 m
m = #REF! kg/jsm

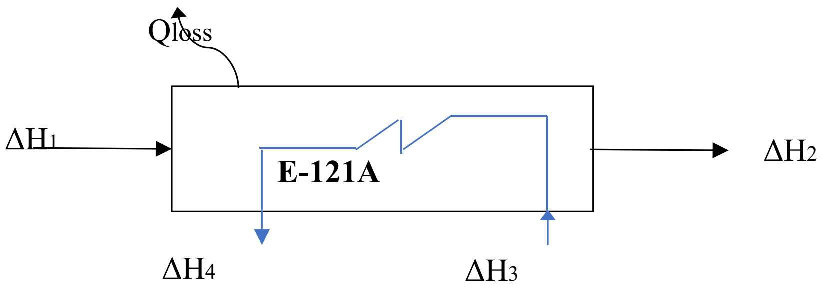
Sehungga
ΔH_4 = 534 × m
= #REF! kkal/jam
ΔH_3 = 8,01 × m
= #REF! kkal/jam

Neraca panas pada reaktor (R-110)			
Aliran Panas Masuk		Aliran Panas Keluar	
Komponen	Energi (kkal/jam)	Komponen	Energi (kkal/jam)
ΔH_1	#REF!	ΔH_2	1936023,8601

ΔH_R	#REF!	Q_{serap}	#REF!
		Q_{loss}	#REF!
Total	#REF!	Total	#REF!

5. Cooler I (E-121A)

Fungsi: Untuk menurunkan suhu produk keluar reaktor dari 300 °C menjadi 60 °C



Keterangan:

ΔH_1 = Panas yang terkandung pada produk keluaran reaktor
ΔH_2 = Panas yang terkandung pada produk keluaran cooler I
ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam pendingin masuk
ΔH_4 = Panas yang terkandung dalam pendingin keluar
Q_{loss} = Panas yang hilang
Q_{serap} = Panas yang diserap oleh pendingin

Neraca panas overall:

Panas masuk = Panas keluar

$\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 + \Delta H_4 + Q_{loss}$

$\Delta H_1 = \Delta H_2 + (\Delta H_4 - \Delta H_3) + Q_{loss}$

$\Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{serap} + Q_{loss}$

Menghitung kapasitas panas bahan masuk cooler

Suhu masuk cool = 280 °C = 553,15 K

Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K

Komponen	m (kg)	$CpdT_g$	H (kkal/jam)
CH_2O	2335,9000	12223,6046	951770,6015
H_2O sisa	1401,5000	9162,1457	713374,8416
O_2 sisa	12,5840	2001,7181	787,1756
N_2	4100,7000	1821,2594	266729,9455
CH_3OH	25,1670	4273,9089	3361,2958
ΔH_1			1936023,8601

Menghitung kapasitas panas bahan keluar cooler

Suhu keluar cool = 60 °C = 333,15 K

Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K

Komponen	BM	kg/jam	$CpdT_g$

CH_2O	30,0	2335,9000	1333,2277
H_2O	18,0	1401,5000	1199,0441
O_2 sisa	32,0	12,5840	1068,0250
N_2	28,0	4100,7000	1024,0757
CH_3OH	32,0	25,1670	1849,3388

Menghitung kandungan panas yang keluar

Komponen	BM	kg/jam	CpdT	H (kkal/jam)
CH_2O	30,0	2335,9000	318,6491	24811,0788
H_2O	18,0	1401,5000	286,5784	22313,3146
O_2 sisa	32,0	12,5840	255,2641	100,3826
N_2	28,0	4100,7000	244,7600	35845,9712
CH_3OH	32,0	25,1670	442,0026	347,6212
ΔH_2				83418,36844

Panas yang hilang selama proses (Q_{loss}):

Asumsi:

Q_{loss} = 2% × panas yang masuk (ΔH_1)

= 2% × 1936023,8601

= 38720,477 kkal/jam

Sehingga:

$\Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{serap} + Q_{loss}$

$1936024 = 83418,37 + Q_{serap} + 38720,4772$

Q_{serap} = 1813885,0144 kkal/jam

Menghitung kebutuhan Dowtherm A

Pendingin masuk	=	30 °C	=	303,15	K
Pendingin keluar	=	280 °C	=	553,15	K
Suhu referensi	=	25 °C	=	298,15	K
C_p Dowtherm A	=	1,6 kkal/kg.°C			
C_p Dowtherm A	=	2,30 kkal/kg.°C			

$\Delta H_4 = m \times Cp \times \Delta T$

$= m \times 1,601 \times 5$

= 8,01 m

$\Delta H_3 = m \times Cp \times \Delta T$

$= m \times 2,302 \times 255$

= 587 m

$Q_{serap} = \Delta H_4 - \Delta H_3$

1813885 = 587 m - 8,005 m

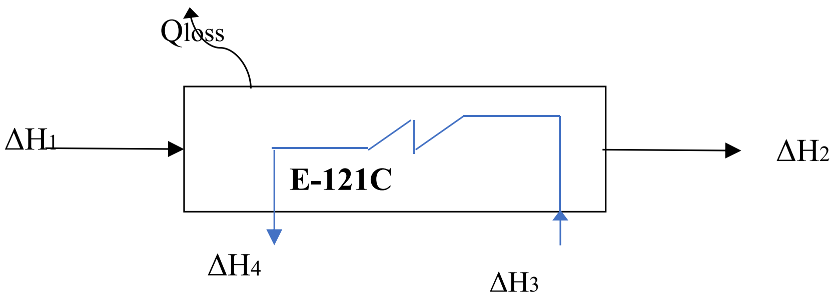
1813885 = 579,01 m

m = 3132,7623 kg/jam

Neraca panas pada cooler I (E-121A)			
Aliran Panas Masuk		Aliran Panas Keluar	
Komponen	Energi (kkal/jam)	Komponen	Energi (kkal/jam)
ΔH_1	1936023,8601	ΔH_2	83418,3684
		Q_{loss}	38720,4772
		Q_{serap}	1813885,0144
Total	1936023,8601	Total	1936023,8601

7. Cooler II (E-121C)

Fungsi: Untuk menurunkan suhu produk keluar dari bagian bawah absorber



Keterangan:

ΔH_1 = Panas yang terkandung pada produk keluaran absorber
ΔH_2 = Panas yang terkandung pada produk keluaran cooler II
ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam pendingin masuk
ΔH_4 = Panas yang terkandung dalam pendingin keluar
Q_{serap} = Panas yang diserap pendingin
Q_{loss} = Panas yang hilang

Neraca panas overall:

Panas masuk = Panas keluar

$\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 + \Delta H_4 + Q_{loss}$

$\Delta H_1 = \Delta H_2 + (\Delta H_4 - \Delta H_3) + Q_{loss}$

$\Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{serap} + Q_{loss}$

Menghitung kapasitas panas bahan masuk cooler

Suhu masuk cool = 60 °C = 333,15 K

Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K

Komponen	m (kg)	CpdTg	H (kkal/jam)
CH_2O	3737,3737	931,9937	116106,9604
H_2O	6323,3684	1119,5996	393313,3675
CH_3OH sisa	40,2680	1197,7320	1507,196031
ΔH_1			510927,5239

Menghitung kapasitas panas bahan keluar cooler

Suhu keluar cool	=	30 °C	=	303,15 K
Suhu referensi	=	25 °C	=	298,15 K

Komponen	BM	kg/jam	$CpdT_g$
CH_2O	30,0	3737,3737	185,6376
H_2O	18,0	6323,3684	170,5261
CH_3OH sisa	32,0	40,2680	255,6024

Menghitung kandungan panas yang keluar

Komponen	BM	kg/jam	CpdT	H (kkal/jam)
CH_2O	30,0	3737,3737	44,3685	5527,3839
H_2O	18,0	6323,3684	40,7567	14317,7653
CH_3OH	32,0	40,2680	61,0905	76,8747
ΔH_2				19922,0239

Panas yang hilang selama proses:

Asumsi:

Q_{loss} = 2% × panas yang masuk

= 2% × 510927,5239

= 10218,55 kkal/jam

Sehingga:

$\Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{serap} + Q_{loss}$

$510927,5 = 19922,02 + Q_{serap} + 10218,55048$

$Q_{serap} = 480786,9496$

Menghitung kebutuhan Dowtherm A

Pendingin masuk	=	30 °C	=	303,15 K
Pendingin keluar	=	50 °C	=	323,15 K
Suhu referensi	=	25 °C	=	298,15 K
C_p Dowtherm A	=	1,6 kkal/kg.°C		
C_p Dowtherm A	=	1,94 kkal/kg.°C		

$\Delta H_4 = m \times Cp \times \Delta T$

$= m \times 1,601 \times 5$

$= 8,01\ m$

$\Delta H_3 = m \times Cp \times \Delta T$

$= m \times 1,940 \times 25$

$= 48,5\ m$

$Qserap = \Delta H_4 - \Delta H_3$

$480786,9 = 48,5\ m - 8,005\ m$

480786,9 = 40,50 m

m = 11872,748 kg/jam

Neraca panas pada cooler II (E-121C)			
Aliran Panas Masuk		Aliran Panas Keluar	
Komponen	Energi (kkal/jam)	Komponen	Energi (kkal/jam)
ΔH_1	510927,5239	ΔH_2	19922,0239
		Q_{loss}	10218,5505
		Q_{serap}	480786,9496
Total	510927,5239	Total	510927,5239