

APPENDIKS B NERACA PANAS

Kapasitas = 100000 ton/tahun

Produk

$$\begin{aligned} \text{Produksi Butadiena} &= \frac{100000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{\text{tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 12626,3 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Waktu operasi = 330 hari/tahun

Basis = 1 jam

Steam yang digunakan : Superheated

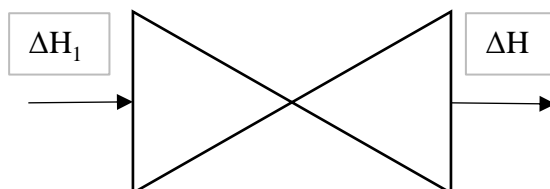
Cp pada gas (Carl. L Yaws, hal.30)

Komponen	form	a	b	c	d	e
n-Butane	1	20,056	0,28153	-1,31E-05	-9,46E-08	3,41E-11
i-Butane	1	6,772	3,41E-01	-1,03E-04	-3,68E-08	2,04E-11
Butene	1	24,915	0,20648	5,98E-05	-1,42E-07	4,71E-11
Butadiene	1	18,835	2,05E-01	6,25E-05	-1,71E-07	6,09E-11
H2O	1	33,933	-8,42E-03	2,99E-05	-1,78E-08	3,69E-12
DMF	1	29,3100	2,08E-01	1,09E-04	-2,15E-07	7,22E-11
Hidrogen	1	25,399	2,02E-02	-3,85E-05	3,19E-08	-8,76E-12

Cp pada liquid

Komponen	form	a	b	c	d
n-Butane	1	62,873	0,58913	-2,36E-03	4,23E-06
i-Butane	1	71,791	4,85E-01	-2,05E-03	4,06E-06
Butene	1	74,597	0,33434	-1,39E-03	3,02E-06
Butadiene	1	34,68	7,32E-01	-2,84E-03	4,60E-06
H2O	1	92,053	-0,039953	-2,11E-04	5,35E-07
DMF	1	63,7270	6,07,E+00	-1,62,E-03	1,86,E-06

1. Expander Valve (EV-114)



Fungsi: Menurunkan tekanan gas n-butane dari 5 atm menjadi 1 atm dari tempat penyimpanan

Keterangan :

ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam gas masuk valve

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam gas keluar valve

Panas masuk = panas keluar

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_{cv}$$

Kondisi operasi:

Suhu referensi = 25 °C

P in = 5 atm

P out = 1 atm

T in = 51 °C

T out = 30 °C

- Menghitung panas masuk (ΔH_1)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/jam	cp kcal/kmol.K	ΔH_1 (kcal/jam)
n-Butane	45688,738	58,1222	190,9482	150100,7046
i-Butane	461,5024	58,1222	174,0473	1381,9716
Jumlah				151482,676

- Menghitung panas masuk (ΔH_2)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/jam	cp (kcal/kg.K)	ΔH_2 (kcal/jam)
n-butane	45688,738	58,1222	33,2044	26101,3711
iso-butane	461,5024	58,1222	174,0473	1381,9716
Jumlah				27483,3427

Untuk menurunkan tekanan dari 5 atm menjadi 1 atm, kerja ekspander valve menghasilkan panas, sehingga perlu dihitung panas expander valve sebagai berikut :

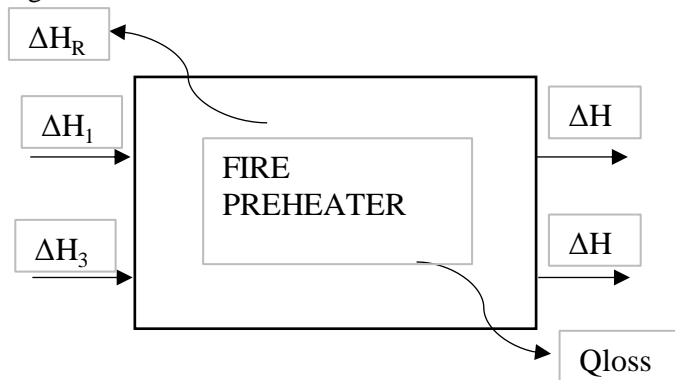
$$\begin{aligned} \Delta H_{cv} &= \Delta H_1 - \Delta H_2 \\ &= 151482,6762 - 27483,3427 \\ &= 123999,3335 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

Neraca Panas Expander Valve (EV-114)

Panas Masuk			Panas Keluar		
ΔH_1	=	151482,6762	ΔH_2	=	27483,3427
			ΔH_{cv}	=	123999,3335
Total	=	151482,6762	Total	=	151482,6762

2. Fire Preheater (E-115)

Fungsi: Untuk memanaskan feed masuk dari suhu 30 °C ke 600 °C



Panas masuk = panas keluar

Neraca panas total: $\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 + \Delta H_4 + \Delta H_R + Q_{loss}$

Dimana:

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam gas masuk fire preheater

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam gas keluar fire preheater

ΔH_3 = panas udara dan fuel oil masuk fire preheater

ΔH_4 = panas udara dan fuel oil keluar fire preheater

Q_{loss} = panas yang hilang

ΔH_R = panas reaksi

Data:

Suhu referensi : 25 °C = 298,15 K

Suhu bahan masuk FR : 30 °C = 303,15 K

Suhu bahan keluar FR : 600 °C = 873,15 K

Suhu fuel oil masuk FR : 30 °C = 303,15 K

Suhu udara masuk FR : 30 °C = 303,15 K

Suhu fuel oil keluar preheater : 30 °C = 303,15 K

- Panas yang terkandung dalam bahan masuk fire preheater (ΔH_1)

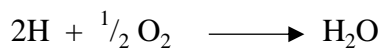
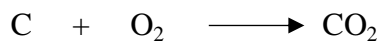
Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kcal/jam)
----------	-------------------	---------------	-------------------	----------------------------

n-butane	45688,7379	58,1222	120,9565	95081,5290
i-butane	461,5024	58,1222	22209,2081	176345,7491
Jumlah				271427,2781

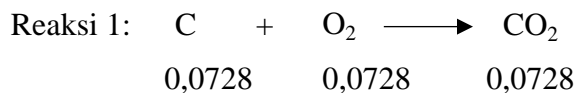
- **Panas yang terkandung dalam bahan masuk fire preheater (ΔH_2)**

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/jam	cp (kcal/kmol.K)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-butane	45688,7379	58,1222	22330,1645	17553310,6944
i-butane	461,5024	58,1222	14015,0528	111282,4455
Jumlah				17664593,1399

Reaksi pembakaran :



Menghitung reaksi yang terjadi:



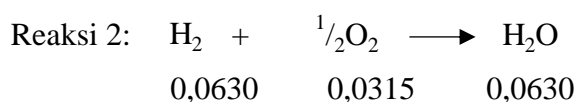
Komponen produk	Koefisien reaksi	$+\Delta H_f$ kJ/kmol	kmol/jam	$\Delta H_{rxn 1 (298,15)}$
				kkal/jam
CO ₂	1	-3,94E+02	0,0728	-6,8427
Jumlah				-6,8427

Komponen reaktan	Koefisien reaksi	$+\Delta H_f$ kJ/kmol	kmol/jam	$\Delta H_{rxn 1 (298,15)}$
				kkal/jam
C	-1	0,0000	0,0728	0,0000
O ₂	-1	0,0000	0,0728	0,0000
Jumlah				0,0000

$$\Delta H_C^\circ = \Delta H_{f 298}^\circ \text{ produk} - \Delta H_{f 298}^\circ \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_C^\circ = -6,8427 - 0$$

$$\Delta H_C^\circ = -6,8427 \text{ kkal/jam}$$



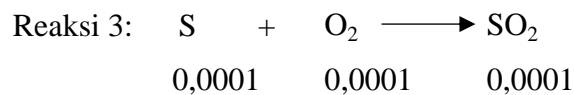
Komponen produk	Koefisien reaksi	$+\Delta H_f$ kJ/kmol	kmol/jam	$\Delta H_{\text{rxn } 2 (298,15)}$
				kcal/jam
H ₂ O	1	-2,42E+02	0,0630	-3,6384
Jumlah				-3,6384

Komponen reaktan	Koefisien reaksi	$+\Delta H_f$ kJ/kmol	kmol/jam	$\Delta H_{\text{rxn } 2 (298,15)}$
				kcal/jam
H ₂	-1	0,0000	0,0630	0,0000
O ₂	-1/2	0,0000	0,0315	0,0000
Jumlah				0,0000

$$\Delta H^{\circ}_C = \Delta H^{\circ}_{f 298 \text{ produk}} - \Delta H^{\circ}_{f 298 \text{ reaktan}}$$

$$\Delta H^{\circ}_C = -3,6384 - 0$$

$$\Delta H^{\circ}_C = -3,6384 \text{ kkal/jam}$$



Komponen produk	Koefisien reaksi	$+\Delta H_f$ kJ/kmol	kmol/jam	$\Delta H_{\text{rxn } 3 (298,15)}$
				kcal/jam
SO ₂	1	-2,97E+02	0,0001	-0,0049
Jumlah				-0,0049

Komponen reaktan	Koefisien reaksi	$+\Delta H_f$ kJ/kmol	kmol/jam	$\Delta H_{\text{rxn } 3 (298,15)}$
				kcal/jam
H ₂	-1	0,0000	0,0001	0,0000
O ₂	-1	0,0000	0,0001	0,0000
Jumlah				0,0000

$$\Delta H^{\circ}_C = \Delta H^{\circ}_{f 298 \text{ produk}} - \Delta H^{\circ}_{f 298 \text{ reaktan}}$$

$$\Delta H^{\circ}_C = -0,0049 - 0,0000$$

$$\Delta H^{\circ}_C = -0,0049 \text{ kkal/jam}$$

(Himmelblau, 1989; hal 771, pers 25.1)

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{rxn}} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} + \Delta H_{\text{rxn } 298,15} \\ &= 17664593,1399 - 271427,2781 + -10,4860 \\ &= 17393155,3758 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

ΔH_{rxn} = bernilai positif, sehingga reaksi endoterm

- **Menghitung panas hasil bahan bakar**

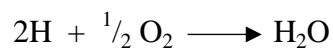
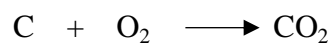
Komposisi Fuel Oil 33 °API

(Perry 8th edition, table 24-6 hal 24-9)

Basis : 1 kg/jam bahan bakar (fuel oil)

Komposisi	Kadar (%)	Massa (kg/jam)	BM (kg/kgmol)	mol (kmol/jam)
C	87,3	0,8730	12	0,0728
H ₂	12,6	0,1260	2	0,0630
O ₂	0,04	0,0004	32	0,0000125
N ₂	0,006	0,0001	28	2,1429E-06
S	0,22	0,0022	32	0,00006875
Ash	0,01	0,0001	-	-

Reaksi pembakaran:



Berdasarkan stoikiometri persamaan di atas, didapat jumlah kgmol/jam hasil reaksi dan O₂ yang dibutuhkan

Reaksi	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	O ₂
1	0,0728			0,0728
2		0,0630		0,0315
3			0,0001	0,0001
Total	0,0728	0,0630	0,0001	0,1043

$$\text{Kebutuhan } O_2 = 0,1043 \text{ kmol/jam}$$

$$O_2 \text{ dari fuel oil} = 0,0000125 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan } O_2 \text{ secara teoritis} &= 0,1043 - 0,000013 \\ &= 0,104306 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Diketahui excess O₂ sebesar 20% :

$$\begin{aligned} O_2 \text{ yang sesungguhnya yang} &= (1 + 0.2) \times 0,104306 \\ \text{dibutuhkan dari udara} &= 0,1252 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$O_2 \text{ sisa} = O_2 \text{ excess 20\%} - \text{Kebutuhan } O_2 \text{ teoritis}$$

$$= 0,1252 - 0,1043$$

$$= 0,0209 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Misal udara kering} = m \text{ kg/jam} = \frac{m}{29} \text{ kmol/jam}$$

yang digunakan

Maka:

$$\text{O}_2 = 0,21 \times (m/29) \text{ kmol/jam} = 0,0072 \text{ m kmol/jam}$$

$$\text{N}_2 = 0,79 \times (m/29) \text{ kmol/jam} = 0,0272 \text{ m kmol/jam}$$

$$\text{Humidity udara} = \frac{0,0140 \text{ lb air}}{\text{lb udara kering}} = \frac{0,0064 \text{ kg air}}{\text{kg udara kering}}$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{(0,0064 \times m)}{18}$$

$$= 0,0004 \text{ m kgmol}$$

Massa gas hasil pembakaran :

$$\text{CO}_2 = 0,0728 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{SO}_2 = 0,0001 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{H}_2\text{O} = (0,0004 \text{ m} + 0,063) \text{ kmol/jam}$$

$$\text{O}_2 = (0,0072 \text{ m} + 0,104306) \text{ kmol/jam}$$

$$\text{N}_2 = (0,0272 \text{ m} + 0,00000214) \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Menghitung } cp = \frac{600 + 30}{2} = 315 \text{ } ^\circ\text{C}$$

pada T rata-rata

(Geankoplis, 3th edition App. A.3-4 hal. 873)

$$C_p \text{ CO}_2 = 0,22 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 9,682 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ SO}_2 = 0,14 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 8,97 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O} = 0,44 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 7,920 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 0,20 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 6,40 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ N}_2 = 0,22 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 6,162 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C}$$

Menghitung panas gas hasil pembakaran:

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ CO}_2 &= 0,0728 \times 9,68 \times (600-30) \\ &= 401,4966 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ SO}_2 &= 0,0001 \times 8,97 \times (600-30) \\ &= 0,3514 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ H}_2\text{O} &= (0,0004 \text{ m} + 0,063) \times 7,920 \times (600-30) \\ &= 1,605 \text{ m} + 284,4072 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ O}_2 &= (0,0072 \text{ m} + 0,104306) \times 6,40 \times (600-30) \\ &= 26,42 \text{ m} + 380,5548 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ N}_2 = (0,0272 \text{ m} + 0,00000214) \times 6,1622 \times (600-30)$$

$$= 95,7 \text{ m} + 0,0075 \text{ kkal/jam}$$

$$\Delta H_{\text{produk}} = 123,7 \text{ m} + 1.066,818 \text{ kkal/jam}$$

(Perry, 8th edition, hal 24-9)

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{sg}} - 131,5$$

$$\text{sg} = \frac{141,5}{131,5 + 33}$$

$$\text{sg} = 0,8602$$

$$C_p \text{ udara} = 0,249 \text{ kkal/kg } ^{\circ}\text{C} \quad (\text{Geankoplis, 3th edition})$$

$$T \text{ rata-rata} = \frac{30 + 25}{2} \quad (\text{App. A.3-8 hal. 873})$$

$$\text{fuel oil}$$

$$= 27,5$$

$$C_{p \text{ fuel oil}} = \frac{1,6850 + (0,039 \times ^{\circ}\text{C})}{\sqrt{\text{sg}}}$$

$$= \frac{1,6850 + (0,039 \times 27,5)}{\sqrt{0,86018}}$$

$$= 2,9732 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{C} = 0,7106 \text{ kkal/kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta H_{\text{fuel oil}} = m \times c_p \times \Delta T$$

$$= 1 \times 0,7106 \times (30-25)$$

$$= 3,5531 \text{ kkal/jam}$$

- **Menghitung panas yang terkandung dalam udara masuk FR**

$$T = \frac{30 + 25}{2} = 27,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_p \text{ udara} = 0,2490 \text{ kkal/kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta H \text{ udara} = m \times c_p \times \Delta T$$

$$= m \times 0,249 \times (30-25)$$

$$= 1,2450 \text{ m kkal/jam}$$

$$\Delta H \text{ reaktan} = 3,5531 + 1,2450 \text{ m kkal/jam}$$

- **Menghitung panas yang hilang pada fire preheater**

Data:

$$\text{Densitas fuel Oil } 33 \text{ } ^{\circ}\text{API} = 860 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \frac{\text{Btu}}{\text{U.S. gal}} = 278,7 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$1 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} = 0,2390 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

Dianggap kehilangan panas dari FR = 0,2 dari panas pembakaran

Panas pembakaran = 130000 Btu/U.S.gal

(HV) = 10068,848 kkal/kg

(Perry, 8th edition, hal 24-9)

Total HV (THV = m × HV

$$= 1 \text{ kg/jam} \times 10.068,85 \text{ kkal/kg}$$

$$= 10068,8477 \text{ kkal/jam}$$

Q loss THV = 0,2 THV

$$= 0,2 \times 10.068,85 \text{ kkal/jam}$$

$$= 2.013,7695 \text{ kkal/jam}$$

- **Menghitung massa udara masuk fire preheater**

Total Panas Masuk = Total Panas Keluar

THV + ΔH reaktan = ΔH produk + Qloss

$$10069 + 3,5531 + 1,2450 \text{ m} = 123,7058 \text{ m} + 1.066,818 + 2.013,770$$

$$122,5 \text{ m} = 6991,8136$$

$$\text{m} = 57,0943 \text{ kg/jam}$$

Massa udara masuk FR = 57,09 kg/jam

Komposisi gas panas:

Gas	kmol/jam	BM	m (kg/jam)	% berat
CO ₂	0,0728	44	3,2010	4,9381
SO ₂	0,0001	64	0,0044	0,0068
H ₂ O	0,0833	18	1,4994	2,3131
O ₂	0,5178	32	16,5683	25,5596
N ₂	1,5553	28	43,5492	67,1824
Jumlah			64,8224	100

- **Panas yang terkandung dalam udara panas masuk FR (ΔH₃)**

$$\text{Humidity udara luar} = 0,014 \frac{\text{lb air}}{\text{lb udara kering}} = 0,006 \frac{\text{kg air}}{\text{kg udara kering}}$$

Kebutuhan udara = (1 + H) m

$$\text{per kg fuel oil} = (1 + 0.0064) \times 57,0943$$

$$= 57,4569 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Misal massa fuel oil} = a \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{THV} &= \text{HV} \times \text{massa fuel oil} \\ &= 10068,8477 \text{ kkal/kg} \times a \text{ kg/jam} \\ &= 10068,8477 a \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

- **Panas yang terkandung dalam udara masuk Fire preheater**

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ udara masuk} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= 57,09 a \times 0,2490 \times (30-25) \\ &= 71,0824 a \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

- **Panas yang terkandung dalam fuel oil masuk Fire Preheater**

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ fuel oil masuk} &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= a \times 0,7106 \times (30-25) \\ &= 3,5531 a \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= \text{THV} + \text{Panas udara masuk FR} + \text{Panas fuel oil masuk FR} \\ \Delta H_3 &= (10068,848 + 71,08 + 3,5531) \times a \text{ kkal/jam} \\ &= 10143,4832 a \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

- Menghitung panas yang terkandung dalam H₂O yang teruapkan

$$\begin{aligned} C_{pl} &= 0,999 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \text{ pada } T = (30+25)/2 = 27,5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \lambda &= 580,94 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \text{ pada } T = 30 \text{ } ^\circ\text{C} \\ C_{pv} &= 0,440 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \text{ pada } T = (600+30)/2 = 315 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas air yang} &= (m \times c_p \times \Delta T) + (m \times \lambda) + (m \times c_{pv} \times \Delta T) \\ \text{teruapkan} &= m (c_p(\Delta T) + \lambda + c_{pv}(\Delta T)) \\ &= 57,094 (0,9 \times (30-25) + 580,937 + 0,49 \times (600-30)) \\ &= 47772,6590 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

- **Menghitung panas yang terkandung dalam udara panas keluar FP (ΔH_4)**

$$\begin{aligned} \text{Harga } c_p &= \frac{600 + 30}{2} = 315 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{pada } T \text{ rata-rata} & \end{aligned}$$

(Geankoplis, 3th edition App. A.3-8 hal. 873)

$$\begin{aligned} C_p \text{ CO}_2 &= 0,27 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 11,88 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C} \\ C_p \text{ SO}_2 &= 0,19 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 12,17 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_p \text{ H}_2\text{O} &= 0,49 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 8,820 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C} \\C_p \text{ O}_2 &= 0,25 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 8,00 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C} \\C_p \text{ N}_2 &= 0,27 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} = 7,563 \text{ kkal/kgmol } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_p \text{ gas keluar} &= ((0,27 \times 6,938\%) + (0,19 \times 0,0095\%) + (0,49 \times 3,0371) \\&\quad + (0,25 \times 20,975\%) + (0,27 \times 69,04\%))\end{aligned}$$

$$C_p \text{ gas keluar} = 0,2700 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C}$$

- Panas yang terkandung dalam gas keluar FR

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{gas keluar}} &= m \times c_p \times \Delta T \\&= 57,09 \text{ a} \times 0,270 \times (600 - 30) \\&= 8785,8867 \text{ a kkal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panas yang terkandung dalam H}_2\text{O yang teruapkan} &= 47.772,6590 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panas yang terkandung dalam udara panas keluar } (\Delta H_4) &= 47772,659 + 8785,8867 \text{ a kkal/jam}\end{aligned}$$

Dianggap kehilangan panas pada FR 5% dari panas yang masuk

$$\begin{aligned}Q_{\text{loss}} &= 5\% \times (\Delta H_1 + (\Delta H_3 - Q_{\text{loss THV}})) \\&= 5\% (271427,2781 + (10143 \text{ a} - 2.014)) \\&= 13470,6754 + 507,1742 \text{ a}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{loss total}} &= Q_{\text{loss THV}} + Q_{\text{loss}} \\&= 2.013,7695 + 13.470,6754 + 507,1742 \text{ a} \\&= 15.484,4450 + 507,1742 \text{ a kkal/jam}\end{aligned}$$

- **Menghitung massa fuel oil**

Masuk :

$$\begin{aligned}\Delta H_1 &= 271427,2781 \text{ kkal/jam} \\THV &= 10068,8477 \text{ a kkal/jam} \\ \Delta H_{\text{udara masuk}} &= 71,0824 \text{ a kkal/jam} \\ \Delta H_{\text{fuel oil masuk}} &= 3,5531 \text{ a kkal/jam}\end{aligned}$$

$$\text{Total} = 271427,28 + 10143,483 \text{ a kkal/jam}$$

Keluar :

$$\begin{aligned}\Delta H_2 &= 17664593,1399 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_4 &= 47772,65903 + 8786 \text{ a kkal/jam} \\ \Delta H_R &= 17393155,3758 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{array}{l} \underline{Q_{\text{loss}} = 15.484 + 507,1742 \text{ a kkal/jam}} \\ \text{Total} = 35121006 + 9293,0608 \text{ a kkal/jam} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Panas Masuk} = \text{Panas Keluar} \\ 271427,28 + 10143,483 \text{ a} = 35121005,620 + 9293,0608 \text{ a} \\ 850,4224 \text{ a} = 34849578 \\ \text{a} = 40979,1412 \end{array}$$

$$\text{Massa fuel oil masuk FR} = 40979,1412 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa udara masuk} = 57,4569 \times 40979,1412 \\ \text{fire preheater} = 2354533,9481 \text{ kg/jam} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa gas masuk} = 64,8224 + 40979,1412 \\ \text{fire preheater} = 41043,9636 \text{ kg/jam} \end{array}$$

Maka:

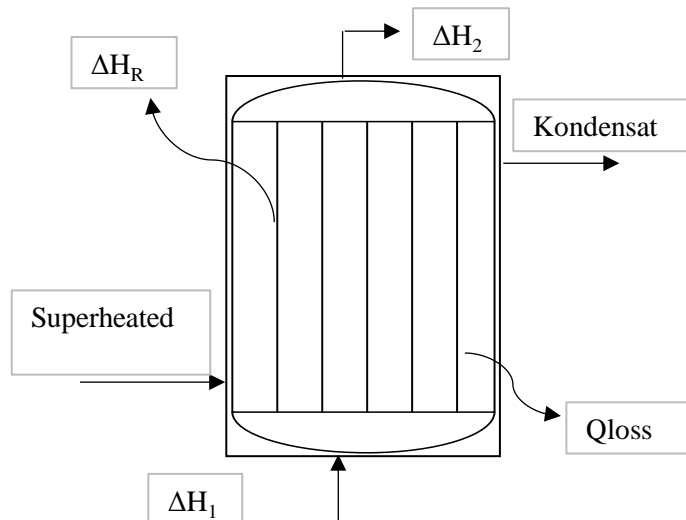
$$\begin{array}{l} \text{THV} = 412612730 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_{\text{udara masuk}} = 2912896,7 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_{\text{fuel oil masuk}} = 145602,62 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_{\text{gas keluar}} = 360038090 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_4 = 360085862 \text{ kkal/jam} \\ (\text{Q}_{\text{loss}}) = 20799046 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_3 = 415671230 \text{ kkal/jam} \end{array}$$

Neraca Panas Fire Preheater (E-115)

Neraca Panas Masuk (kkal/jam)		Neraca Panas Keluar (kkal/jam)	
Komponen	Energi (kkal/jam)	Komponen	Energi (kkal/jam)
ΔH_1	271427,2781	ΔH_2	17664593,1399
ΔH_3	415671229,6439	ΔH_4	360085862,4792
		ΔH_R	17393155,3758
		Q _{loss}	20799045,9272
Total	415942656,9221	Total	415942656,9221

3. Reaktor (R-110)

Fungsi : Untuk menghidrogenasi n-butane menjadi butadiene



Neraca Panas Total :

Panas masuk = panas keluar

$$\Delta H_1 + Q_s = \Delta H_2 + \Delta H_R + Q_{\text{loss}}$$

Dimana :

ΔH_1 = Panas yang dibawa bahan masuk reaktor dari preheater

ΔH_2 = Panas yang dibawa bahan keluar menuju quencher tower

ΔH_R = Panas yang terkandung dalam reaksi

Q_{loss} = Panas yang hilang

Q_s = Panas yang terkandung dalam steam

a. Menghitung panas yang dibawa bahan masuk dari preheater (ΔH_1)

$$\text{Suhu referensi} = 25^\circ\text{C} = 298,2 \text{ K}$$

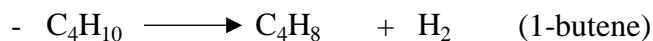
$$\text{Suhu bahan masuk} = 600^\circ\text{C} = 873,2 \text{ K}$$

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kcal/jam)
n-butane	45688,7379	58,1222	22330,1645	17553310,6944
i-butane	461,5024	58,1222	22413,9923	177971,7783
Jumlah				17731282,4727

b. Menghitung panas yang dibawa bahan keluar dari reaktor (ΔH_2)

$$\text{Suhu bahan keluar} = 600^\circ\text{C} = 873,2 \text{ K}$$

Keluar	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_3 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	18275,495	58,1222	22330,1645	7021324,2777
i-C ₄ H ₁₀	461,5024	58,1222	22413,9923	177971,7783
C ₄ H ₈	10585,016	56,1065	19371,8964	3654689,5915
C ₄ H ₆	15306,877	54,09	17842,6032	5049261,1729
H ₂	1521,3491	2,016	4032,1072	3042779,0863
Total				18946025,9068

c. Menghitung panas reaksi (ΔH_R)

$$\Delta H_{f298} \text{C}_4\text{H}_{10} = -127,1000 \text{ kJ/kmo} = -30,3515 \text{ kkal/kmol}$$

$$\Delta H_{f298} \text{C}_4\text{H}_8 = -0,6300 \text{ kJ/kmo} = -0,1504 \text{ kkal/kmol}$$

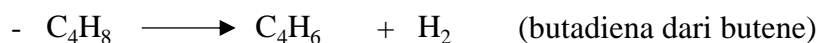
$$\Delta H_{f298} \text{H}_2 = 0,0000 \text{ kJ/kmo} = 0 \text{ kkal/kmol}$$

Komponen	Mol (kmol/jam)	koefisien	ΔH_{f298} (kkal/kmol)	ΔH_f (kkal/jam)
C ₄ H ₁₀	314,4323	-1	-30,3515	9.543,4847
C ₄ H ₈	471,6484	1	-0,1504	-70,9567
Hidrogen	471,6484	1	0,0000	0,0000

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{rxn}298}^{\circ} \text{ I} &= \Delta H_{f298}^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_{f298}^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= -70,9567 - 9.543,485 \\ &= -9.614,4414 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

Karena konversi reaksi 60% maka:

$$\Delta H_{\text{rxn}298}^{\circ} \text{ I} = -5.768,6648 \text{ kkal/jam}$$



$$\Delta H_{f298} \text{C}_4\text{H}_8 = -0,63 \text{ kJ/kmol} = -0,150 \text{ kkal/kmol}$$

$$\Delta H_{f298} \text{C}_4\text{H}_6 = 111,9 \text{ kJ/kmol} = 26,727 \text{ kkal/kmol}$$

$$\Delta H_{f298} \text{H}_2 = 0 \text{ kJ/kmol} = 0 \text{ kkal/kmol}$$

Komponen	Massa (kmol/jam)	koefisien	ΔH_{f298} (kkal/kmol)	ΔH_f (kkal/jam)
Butene	188,6594	-1	-0,1505	28,3881
Butadiena	282,9890	1	26,7268	7.563,3915
Hidrogen	282,9890	1	0,0000	0,0000

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{rxn}298}^{\circ} \text{ II} &= \Delta H_{\text{f}298}^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_{\text{f}298}^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= 7.563,3915 - 28,3881 \\ &= 7.535,0034 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

Karena konversi reaksi 60% maka:

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{rxn}298}^{\circ} \text{ II} &= 4521,00 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_{\text{rxn}} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} + \Delta H_{\text{rxn} 298,15} \\ &= 18946026 - 0 + -1.247,6628 \\ &= 18944778,2440 \text{ kkal/jam} \\ \Delta H_{\text{rxn}} &= \text{bernilai positif, sehingga reaksi endoterm}\end{aligned}$$

d. Menghitung panas yang hilang

$$\begin{aligned}Q_{\text{loss}} &= 5\% \text{ dari panas yang masuk reaktor} \\ Q_{\text{loss}} &= 5\% (\Delta H_1 + Q) \\ Q_{\text{loss}} &= 886564,12 + 0,05 Q\end{aligned}$$

e. Menghitung panas yang dibawa oleh pemanas (Q)

Neraca Panas Total :

$$\begin{aligned}\Delta H_1 + Q &= \Delta H_2 + \Delta H_R + Q_{\text{loss}} \\ 17731282,473 + Q &= 18946025,9068 + 18944778,2440 \\ &\quad 886564,1236 + 0,05Q \\ 0,95Q &= 21046085,8018 \\ Q &= 22153774,5282 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

Sehingga:

Panas yang diberikan oleh steam :

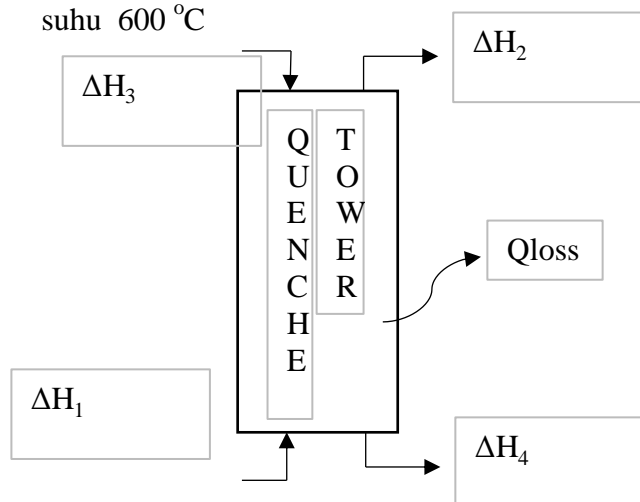
$$\begin{aligned}Q_{\text{steam}} &= m \times \lambda_s \\ &= m \text{ kg/jam} \times 538,9797 \text{ kkal/kg} \\ 22153775 &= m \times 538,9797 \\ m &= 41103,174 \text{ kg/jam} \\ Q_{\text{loss}} &= 5\% \text{ dari panas yang masuk} \\ &= 5\% \times (Q + \Delta H_1) \\ &= 1107688,7264 + 886564,1236 \text{ kkal/jam} \\ &= 1994252,8500 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

Neraca Panas Reaktor (R-110)

Masuk (kkal/jam)		Keluar (kkal/jam)	
ΔH_1	= 17731282,4727	ΔH_2	= 18946025,9068
Q	= 22153774,5282	ΔH_R	= 18944778,2440
		Qloss	= 1994252,8500
Total	= 39885057,0008	Total	= 39885057,0008

4. Quencher Tower (Q-121)

Fungsi : Untuk mendinginkan secara mendadak produk keluaran reaktor dari suhu 600 °C



Neraca Panas Total :

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

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam gas masuk quencher

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam gas keluar quencher

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam air pendingin masuk

ΔH_4 = panas yang terkandung dalam air pendingin keluar

Qloss = panas yang hilang

Data :

Suhu referensi : 25 °C = 298,2 K

Suhu bahan masuk : 600 °C = 873,2 K

Suhu bahan keluar : 30 °C = 302,2 K

Suhu air pendingin masuk : 27 °C = 300,2 K

Suhu air pendingin keluar : 60 °C = 333,2 K

a. Menghitung panas yang terkandung dalam bahan masuk quencher (ΔH_1)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	18275,4952	58,1222	22330,1645	7021324,2777
i-C ₄ H ₁₀	461,5024	58,1222	22413,9923	177971,7783
C ₄ H ₈	10585,0164	56,1065	19371,8964	3654689,5915
C ₄ H ₆	15306,8772	54,09	17842,6032	5049261,1729
H ₂	1521,3491	2,016	4032,1072	3042779,0863
Total				18946025,9068

b. Menghitung panas yang terkandung pada bahan keluar quencher (ΔH_2)

Keluar	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	18092,7402	58,1222	96,6449	30084,3893
i-C ₄ H ₁₀	456,8874	58,1222	94,8164	745,3331
C ₄ H ₈	10479,1663	56,1065	84,9226	15861,2258
C ₄ H ₆	15153,8085	54,09	78,1730	21900,8849
H ₂	1506,1356	2,016	27,5075	20550,5771
H ₂ O	2,8605	18,015	32,1679	5,1078
Total				89147,5180

c. Menghitung panas yang hilang (Qloss)

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times \text{panas masuk} \\
 &= 0,05 \times \Delta H_1 \\
 &= 0,05 \times 18946025,9068 \\
 &= 947301,2953 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

d. Menghitung panas yang diserap

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 &= \Delta H_2 + Q_s + Q_{\text{loss}} \\
 Q_s &= \Delta H_1 - (\Delta H_2 + Q_{\text{loss}}) \\
 Q_s &= 17909582,2013 - 0,1725 \text{ m} \\
 Q_s &= 17909582,2013 - 0,1725 \text{ m kkal/jam}
 \end{aligned}$$

e. Kebutuhan air proses (m)

$$\begin{aligned}
 \text{Suhu referensi} &= 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K} \\
 \text{Suhu air pendingin masuk} &= 27 \text{ }^\circ\text{C} = 300,2 \text{ K} \\
 \text{Suhu air pendingin keluar} &= 60 \text{ }^\circ\text{C} = 333,2 \text{ K}
 \end{aligned}$$

$$C_p \text{ pada suhu } 27^\circ\text{C} = 4,3130 \text{ kJ/kg.K} = 16,082 \text{ kkal/kg.K}$$

$$C_p \text{ pada suhu } 60^\circ\text{C} = 4,3200 \text{ kJ/kg.K} = 282,18 \text{ kkal/kg.K}$$

(termasuk zat inert yang terikut)

$$Q_s = \Delta H_4 - \Delta H_3$$

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

$$\Delta H_4 = m \times 282,1764 \times 35$$

$$\Delta H_4 = 9876,1740 \text{ m}$$

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

$$\Delta H_3 = m \times 16,0815 \times 2$$

$$\Delta H_3 = 32,1630 \text{ m}$$

$$Q_s = \Delta H_4 - \Delta H_3$$

$$17909582,201 = (36,19014 - 2,05988 + 0,17252) \text{ m}$$

$$m = 1819,306 \text{ kg/jam}$$

Karena menggunakan atomizer maka jumlah kebutuhan air dibagi dengan 6,3, maka:

$$m = 286,0544 \text{ kg/jam}$$

$$\Delta H_3 = 32,1630 \times 1819,3060$$

$$\Delta H_3 = 58514,3391 \text{ kkal/jam}$$

$$\Delta H_4 = 9876,1740 \times 1819,3060$$

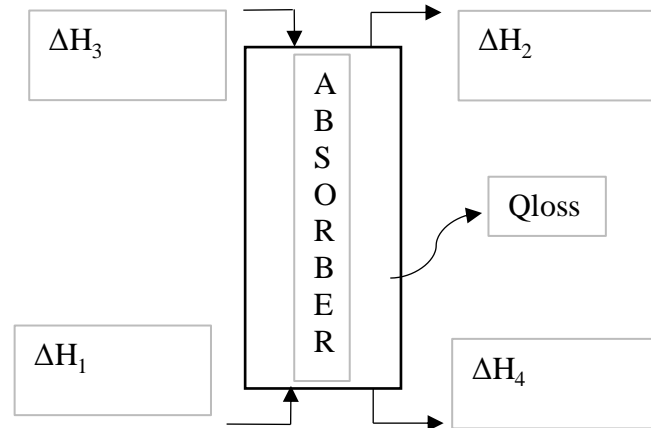
$$\Delta H_4 = 17967783 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas Quencher (Q-121)

Masuk (kkal/jam)	Keluar (kkal/jam)
$\Delta H_1 = 18946025,9068$	$\Delta H_2 = 89147,5180$
$\Delta H_3 = 58514,3391$	$\Delta H_4 = 17967782,6737$
	$Q_{\text{loss}} = 947565,0733$
Total = 19004540,2459	Total = 19004495,2650

5. Absorber (D-120)

Fungsi : Untuk proses penyerapan butadiene dari gas masuk dengan menggunakan solvent dimethylformamide



Neraca Panas Total :

Panas masuk = panas keluar

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

Keterangan :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam gas masuk absorber

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam solvent masuk absorber

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam gas inert keluar absorber

ΔH_4 = panas yang terkandung dalam liquid keluar absorber

Q_{loss} = panas yang hilang

Data :

Suhu referensi = 25 °C = 298,2 K

Suhu bahan masuk = 30 °C = 303,2 K

Suhu bahan atas keluar = 27 °C = 300,2 K

Suhu bahan bawah keluar = 27 °C = 300,2 K

Suhu solvent masuk = 27 °C = 300,2 K

a. Menghitung panas yang terkandung dalam bahan masuk (ΔH_1)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kcal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	18092,740	58,1222	120,9565	37652,2855
i-C ₄ H ₁₀	456,887	58,1222	118,6829	932,9431
C ₄ H ₈	10479,166	56,1065	106,2782	19849,8685
C ₄ H ₆	15153,808	54,09	97,8372	27409,9798
H ₂	1506,136	2,016	34,3871	25690,3091

H ₂ O	2,861	18,015	40,2129	6,3853
Total				111541,7712

b. Menghitung panas gas inert yang keluar absorber bagian atas (ΔH_2)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	17911,813	58,1222	48,2021	14854,6844
i-C ₄ H ₁₀	452,319	58,1222	47,2781	367,9278
C ₄ H ₈	10374,375	56,1065	42,3613	7832,8169
C ₄ H ₆	151,538	54,09	38,9897	109,2333
H ₂	1506,136	2,016	13,7515	10273,6080
Total				33438,2705

c. Menghitung panas solvent yang masuk absorber (ΔH_3)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_3 (kkal/jam)
H ₂ O	754,6593	18,015	36,1034	1512,3947
DMF	74711,2755	73,095	853,0440	871906,5141
Total				873418,9088

d. Menghitung panas liquid keluaran absorber (ΔH_4)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_4 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	180,9274	58,1222	67,4687	210,0218
i-C ₄ H ₁₀	4,5689	58,1222	67,8528	5,3338
C ₄ H ₈	104,7917	56,1065	62,6450	117,0038
C ₄ H ₆	15002,2704	54,09	58,5683	16244,3637
H ₂ O	757,5199	18,015	36,1034	1518,1275
DMF	74711,2755	73,095	853,0440	871906,5141
Jumlah				902274,3755

e. Menghitung panas yang hilang (Q_{loss})

$$Q_{\text{loss}} = 5 \% \text{ dari panas masuk}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% (\Delta H_1 + \Delta H_3)$$

$$Q_{\text{loss}} = 0,05 \times 111541,7712 + 873.418,9088$$

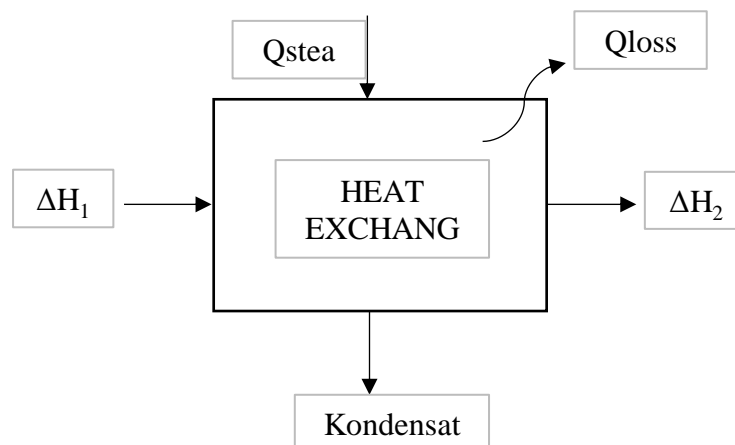
$$Q_{\text{loss}} = 49248,034 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas Absorber (D-120)

Masuk (kkal/jam)	Keluar (kkal/jam)
$\Delta H_1 = 111541,7712$	$\Delta H_2 = 33438,2705$
$\Delta H_3 = 873.418,9088$	$\Delta H_4 = 902274,3755$
	$Q_{loss} = 49.248,0340$
Total = 984960,6800	Total = 984960,6800

6. Heat Exchanger (E-123)

Fungsi : Untuk memanaskan produk keluaran absorber ke stripping dari suhu 27 °C ke 110 °C



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

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

Keterangan :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam bahan masuk heat exchanger

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam produk keluar

Q_{steam} = panas yang masuk

Q_{loss} = Panas yang hilang

Data:

Suhu referensi : 25 °C = 298,2 K

Suhu produk masuk : 27 °C = 300,2 K

Suhu air pemanas masuk : 800 °C = 1073,2 K

Suhu produk keluar : 110 °C = 383,2 K

- ΔH_1 = Panas yang terkandung bahan masuk heat exchanger

Komponen	Massa	BM	cp	ΔH_1
----------	-------	----	----	--------------

Komponen	(kg/jam)	kg/kmol	(kcal/kmol)	(kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	180,9274	58,1222	48,2021	150,0473
i-C ₄ H ₁₀	4,5689	58,1222	47,2781	3,7164
C ₄ H ₈	104,7917	56,1065	42,3613	79,1194
C ₄ H ₆	15002,2704	54,0900	38,9897	10814,0944
H ₂ O	757,5199	18,0150	16,0815	676,2167
DMF	74711,2755	73,0950	45,9978	47014,9141
Jumlah				58738,1084

- **Menghitung panas yang hilang (Q_{Loss})**

$$\begin{aligned}
 Q_{Loss} &= 5\% \times \text{Panas yang masuk} \\
 &= 0,05 \times \Delta H_1 + Q_{steam} \\
 &= 0,05 \times 58738,1 + Q_{steam} \\
 &= 2936,905 + 0,05 Q \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **$\Delta H_2 =$ Panas yang terkandung bahan keluar heat exchanger**

Komponen	Massa	BM	cp	ΔH_2
	(kg/jam)	kg/kmol	(kcal/kmol)	(kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	180,9274	58,1222	2257,0727	7025,9953
i-C ₄ H ₁₀	4,5689	58,1222	2232,9752	175,5299
C ₄ H ₈	104,7917	56,1065	1974,5656	3687,9508
C ₄ H ₆	15002,2704	54,09	1824,8106	506125,0026
H ₂ O	757,5199	18,015	688,4606	28949,3522
DMF	74711,2755	73,095	2140,9593	2188300,1330
Jumlah				2734263,9638

- **Menghitung panas steam**

$$\text{Suhu referensi} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} = 298,2 \text{ K}$$

$$\text{Suhu kond. steam masuk} = 800 \text{ } ^\circ\text{C} = 1073 \text{ K}$$

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

$$Q_{steam} = m \times 501,2936 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{masuk} = 501,2936 \text{ m kkal/jam}$$

$$= 501,2936 \text{ m kkal/jam}$$

- **Menghitung panas yang hilang (Q_{loss})**

$$Q_{loss} = 5\% \text{ dari panas yang masuk}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5\% \times (Q + \Delta H_1) \\
 &= 0,05 \times (501,2936 \text{ m} + 58738,1) \text{ kkal/jam} \\
 &= 25,0647 \text{ m} + 2936,9054 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan steam

$$\begin{aligned}
 \text{Neraca Panas Total : } \Delta H_1 + Q_{\text{steam}} &= \Delta H_2 + Q_{\text{loss}} \\
 58738,1 + 501,2936 \text{ m} &= 2734264 + 25,06 \text{ m} \\
 &+ 2937 \\
 &\text{m} = 5624,3180 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Panas yang hilang:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 25,0647 \text{ m} + 2936,9054 \text{ kkal/jam} \\
 &= 25,0647 \times 5624 + 2936,9054 \text{ kkal/jam} \\
 &= 143909 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{steam}} &= 501,2936 \text{ m} \\
 &= 501,2936 \times 5624,318 \\
 &= 2819434,4851 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas Pada Heat Exchanger (E-123)

Neraca panas masuk (Kkal/jam)		Neraca panas keluar (Kkal/jam)	
ΔH_1	58738,1084	ΔH_2	2734263,9638
Q_{steam}	2819434,4851	Q_{loss}	143908,6297
Total	2878172,5935	Total	2878172,5935

7. Stripping (D-130)

Fungsi: Memisahkan C_4H_6 dari DMF

a. Aliran komponen masuk stripping:

Komponen	BM	Mol Feed	
		kmol/jam	kg/jam
n- C_4H_{10}	58,12	3,1129	180,9274
i- C_4H_{10}	58,12	0,0786	4,5689
C_4H_8	56,11	1,8677	104,7917
C_4H_6	54,09	277,3473	15002,2704
H_2O	18,02	42,0494	757,5199
DMF	73,10	1022,1120	74711,2755

Jumlah	1346,5679	90761,3538
---------------	-----------	------------

Tidak dididih komponen pada 1 atm:

$$n\text{-C}_4\text{H}_{10} = -0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$i\text{-C}_4\text{H}_{10} = -0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{C}_4\text{H}_8 = -1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{C}_4\text{H}_6 = -4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{C}_3\text{H}_7\text{NO} = 153 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$F = D + B$$

$$F \cdot X_F = D \cdot X_D + B \cdot X_B$$

Komponen	Feed, F (M ₁₆)		Destilat (M ₁₈)		Bottom (M ₁₇)	
	kmol/jam	x _F	kmol/jam	x _D	kmol/jam	x _B
n-C ₄ H ₁₀	3,1129	0,0023	0,2490	0,0007	2,8638	0,0027
i-C ₄ H ₁₀	0,0786	0,0001	0,0063	0,0000	0,0723	0,0001
C ₄ H ₈	1,8677	0,0014	0,1494	0,0004	1,7183	0,0016
C ₄ H ₆ (LK)	277,3473	0,2060	277,3473	0,7643	0,0000	0,0000
H ₂ O (HK)	42,0494	0,0312	3,3640	0,0093	38,6854	0,0363
C ₃ H ₇ NO	1022,1120	0,7590	81,7690	0,2253	1022,1120	0,9593
Jumlah	1347	1,0000	362,885	1,0000	1065,4519	1,0000

Komponen	Feed, F (M ₁₆)		Destilat (M ₁₈)		Bottom (M ₁₇)	
	kg/jam	x _F	kg/jam	x _D	kg/jam	x _B
n-C ₄ H ₁₀	180,9274	0,0020	14,4742	0,0007	166,4532	0,0022
i-C ₄ H ₁₀	4,5689	0,0001	0,3655	0,0000	4,2034	0,0001
C ₄ H ₈	104,7917	0,0012	8,3833	0,0004	96,4083	0,0013
C ₄ H ₆	15002,270	0,1653	15002,270	0,7123	0,0000	0,0000
H ₂ O	757,5199	0,0083	60,6016	0,0029	696,9183	0,0092
C ₃ H ₇ NO	74711,276	0,8232	5976,9020	0,2838	74711,2755	0,9873
Jumlah	90761,354	1,0000	21062,997	1,0000	75675,2587	1,0000

b. Menentukan suhu Bubble Point dan Dew Point pada kolom destilasi

Untuk mendapatkan komponen yang cocok untuk proses destilasi

maka dilakukan perhitungan trial dan error terhadap

kondisi operasi dengan menggunakan persamaan 11.5a-11.5b

(Coulson dan Richardson).

$$x_i = \sum [y_i / K_i] = 1$$

$$y_i = \sum [K_i \cdot x_i] = 1$$

Koefisien Antoine (Yaws, C. L)

Komponen	A	B	C
n-C ₄ H ₁₀	6,8090	935,86	238,7300
i-C ₄ H ₁₀	6,9105	946,35	246,6800
C ₄ H ₈	6,8429	926,1	240,0000
C ₄ H ₆	7,0301	1000,0303	245,5630
H ₂ O	8,0557	1723,6425	233,0800
C ₃ H ₇ NO	7,2413	1597,9245	213,4570

Menentukan bubble point untuk bahan feed masuk stripping

$$P_i = 3638,1938 \text{ mmHg}$$

$$T = 110,0000 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Komponen	xif	Pi sat	Ki	yi = ki.xi
n-C ₄ H ₁₀	0,0023	13345,6	3,6682	0,0085
i-C ₄ H ₁₀	0,0001	18082,6	4,970	0,0003
C ₄ H ₈	0,0014	15736,205	4,3253	0,0060
C ₄ H ₆	0,2060	16503,029	4,5361	0,9343
H ₂ O	0,0312	1075,7342	0,2957	0,0092
C ₃ H ₇ NO	0,7590	200,0483	0,0550	0,0417
				1,0000

Menentukan dew point di kondensor

$$P_i = 3952,0000 \text{ mmHg}$$

$$T = 52,1803 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Komponen	yid	Pi sat	Ki	xi= yi/ki
n-C ₄ H ₁₀	0,0007	3908,0015	0,9889	0,0007
i-C ₄ H ₁₀	0,0000	5545,6244	1,4032	0,0000
C ₄ H ₈	0,0004	4712,8312	1,1925	0,0003
C ₄ H ₆	0,7643	4692,3512	1,1873	0,6437

H ₂ O	0,0093	103,1289	0,0261	0,3552
C ₃ H ₇ NO	0,0000	16,8207	0,0043	0,0000
				1,0000

$$P_i = 3952,0000 \text{ mmHg}$$

$$T = 57,4634 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Komponen	x _{if}	P _{i sat}	K _i	y _i = k _i .x _i
n-C ₄ H ₁₀	0,0007	4460,0087	1,2259	0,0008
i-C ₄ H ₁₀	0,0000	6294,4061	1,7301	0,0000
C ₄ H ₈	0,0004	5365,0807	1,4747	0,0006
C ₄ H ₆	0,7643	5369,6747	1,4759	1,1280
H ₂ O	0,0093	132,8166	0,0365	0,0003
C ₃ H ₇ NO	0,0000	22,0368	0,0061	0,0000
				1,1298

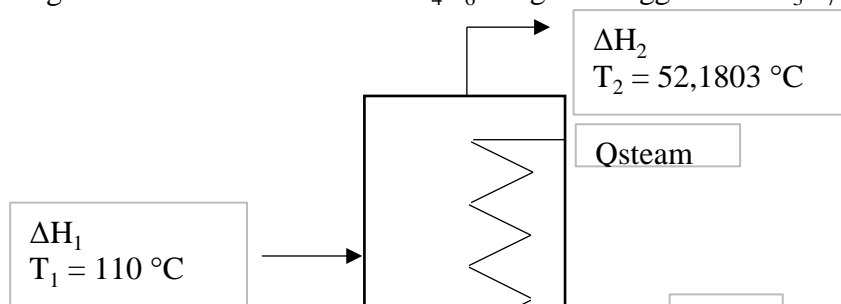
Menentukan bubble point di reboiler

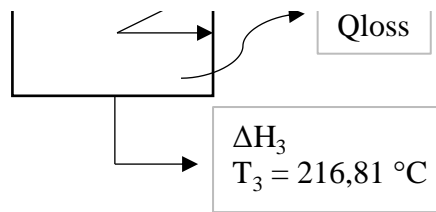
$$P_i = 4104,0000 \text{ mmHg}$$

$$T = 216,8100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Komponen	x _{ib}	P _{i sat}	K _i	y _i = k _i .x _i
n-C ₄ H ₁₀	0,0027	56828,085	13,8470	0,0372
i-C ₄ H ₁₀	0,0001	73907,477	18,0086	0,0012
C ₄ H ₈	0,0016	65400,355	15,9358	0,0257
C ₄ H ₆	0,0000	73666,227	17,9499	0,0000
H ₂ O	0,0363	16767,828	4,0857	0,1483
C ₃ H ₇ NO	0,9593	3368,8566	0,8209	0,7875
				1,0000

Fungsi : Untuk memisahkan C₄H₆ dengan menggunakan C₃H₇NO





Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

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

Keterangan :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam bahan masuk stripping

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam gas keluar stripping

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam liquid keluar stripping

Q_{Steam} = Panas yang terkandung dalam steam

Q_{loss} = Panas yang hilang

Data:

Suhu referensi : 25 °C = 298,2 K

Suhu bahan masuk : 110 °C = 383,2 K

Suhu bahan gas keluar stripping : 52,2 °C = 325,3 K

Suhu bahan liquid keluar stripping : 216,8 °C = 490,0 K

Kondisi steam masuk:

T = 800 °C

P = 5,4 atm

λ = 2097,4100 kJ/kg = 501,29 kkal/kg

- ΔH_1 = Panas yang terkandung bahan masuk stripping

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	180,9274	58,1222	2257,0727	7025,9953
i-C ₄ H ₁₀	4,5689	58,1222	2232,9752	175,5299
C ₄ H ₈	104,7917	56,1065	1974,5656	3687,9508
C ₄ H ₆	15002,2704	54,09	1824,8106	506125,0026
H ₂ O	757,5199	18,015	688,4606	28949,3522
DMF	74711,2755	73,095	2140,9593	2188300,1330
Jumlah				2734263,9638

- ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam keluaran atas stripping

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
----------	-------------------	---------------	-------------------	----------------------------

n-C ₄ H ₁₀	14,4742	58,1222	675,5633	168,2358
i-C ₄ H ₁₀	0,3655	58,1222	664,6101	4,1795
C ₄ H ₈	8,3833	56,1065	592,7505	88,5677
C ₄ H ₆	15002,2704	54,09	546,3591	151536,8342
H ₂ O	60,6016	18,015	218,9879	736,6648
DMF	0,0000	73,095	643,3406	0,0000
Jumlah				152534,4820

- ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam keluaran bawah stripping

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_3 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	166,4532	58,1222	944,6198	2705,2487
i-C ₄ H ₁₀	4,2034	58,1222	952,9799	68,9190
C ₄ H ₈	96,4083	56,1065	878,9886	1510,3744
C ₄ H ₆	0,0000	54,09	819,7773	0,0000
H ₂ O	696,9183	18,015	489,1963	18924,7752
DMF	74711,2755	73,095	12051,2270	12317703,5808
Jumlah				12340912,8981

- **Pehitungan panas yang diberikan oleh steam (Qsteam)**

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{steam}} &= m \times \lambda_s \\
 &= m \text{ kg/jam} \times 501,29 \text{ kkal/kg} \\
 &= 501,2936 \text{ m Kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan panas yang hilang (Qloss)**

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 0,05 \text{ dari panas yang masuk} \\
 &= 5\% \times (\Delta H_1 + Q_{\text{steam}}) \\
 &= 0,05 \times (2734264 + 501,3 \text{ m}) \text{ Kkal/jam} \\
 &= 136713,1982 + 25,06 \text{ m Kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan kebutuhan steam**

Neraca Panas Total :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 + Q_{\text{steam}} &= \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{\text{loss}} \\
 2734264 + 501,2936 \text{ m} &= 152534,5 + 12340913 \\
 &\quad + 136713,198 + 25,065 \text{ m} \\
 476,2 \text{ m} &= 9895897 \\
 \text{m} &= 20779,7064 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$Q_{\text{loss}} = 657549,8621 \text{ kkal/jam}$$

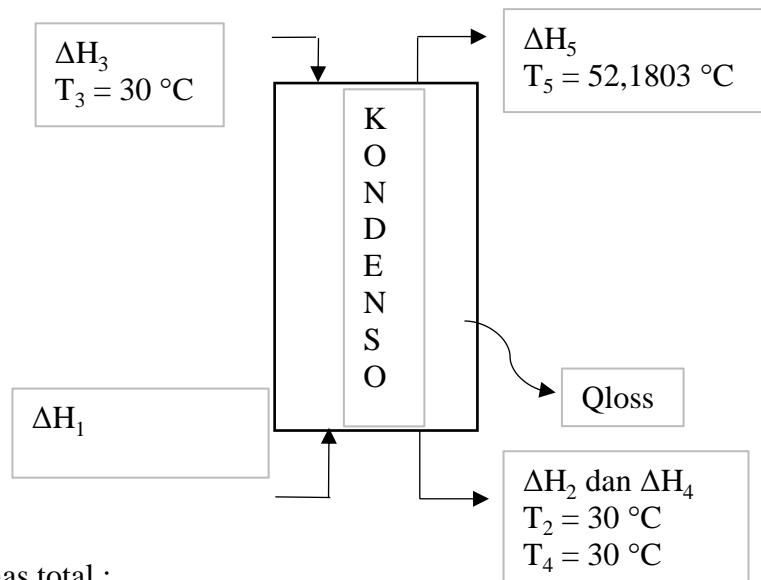
$$Q_{\text{steam}} = 10416733,2784 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas Pada Stripping (D-130)

Neraca panas masuk (kkal/jam)		Neraca panas keluar (kkal/jam)	
Komponen	Energi kkal/jam	Komponen	Energi kkal/jam
ΔH_1	2734263,9638	ΔH_2	152534,4820
Qsteam	10416733,2784	ΔH_3	12340912,8981
Total	13150997,2422	Qloss	657549,8621
		Total	13150997,2422

8. Kondensator (E-131)

Fungsi : Untuk mengkondensasi produk atas keluaran stripping sampai suhu 30 °C



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

$$\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + Q_{\text{loss}}$$

Keterangan :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam gas masuk kondensator

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam liquid kembali ke stripping

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam air pendingin masuk

ΔH_4 = panas yang terkandung dalam liquid keluar kondensator

ΔH_5 = panas yang terkandung dalam air pendingin keluar

Q_{loss} = panas yang hilang

Data:

Suhu referensi	:	25 °C = 298,2 K
Suhu bahan masuk	:	110,0 °C = 383,15 K
Suhu bahan gas keluar	:	30 °C = 303,15 K
Suhu bahan liquid keluar	:	30 °C = 303,15 K
Suhu air pendingin masuk	:	30 °C = 303,15 K
Suhu air pendingin keluar	:	60 °C = 333,15 K

- ΔH_1 = Panas yang terkandung gas masuk kondensor

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	15,3102	58,1222	2257,0727	594,5444
i-C ₄ H ₁₀	0,3866	58,1222	2232,9752	14,8535
C ₄ H ₈	8,8675	56,1065	1974,5656	312,0768
C ₄ H ₆	15868,7759	54,09	1824,8106	535357,9172
H ₂ O	64,1018	18,015	688,4606	2449,7134
DMF	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Jumlah				538729,1053

- ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam liquid kembali ke absorber

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	0,8360	58,1222	169,2385	2,4343
i-C ₄ H ₁₀	0,0211	58,1222	170,2634	0,0618
C ₄ H ₈	0,5016	56,1065	157,1813	1,4052
C ₄ H ₆	898,7760	54,09	146,9060	2441,0354
H ₂ O	10,5099	18,015	90,2192	52,6335
DMF	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Jumlah				2497,5702

- ΔH_4 = Panas yang terkandung dalam liquid ke destilasi

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_4 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	14,4742	58,1222	169,2385	42,1455
i-C ₄ H ₁₀	0,3655	58,1222	170,2634	1,0707
C ₄ H ₈	8,3833	56,1065	157,1813	23,4857
C ₄ H ₆	15002,2704	54,09	146,9060	40745,4964

H ₂ O	60,6016	18,015	90,2192	303,4932
DMF	0,0000	0,00	0,0000	0,0000
Jumlah				41115,6916

- Menghitung panas yang hilang (Q_{Loss})

$$\begin{aligned}
 Q_{Loss} &= 5\% \times \text{Panas yang masuk} \\
 &= 0,05 \times \Delta H_1 \\
 &= 0,05 \times 538729,1 \\
 &= 26936,4553 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- Menghitung panas yang diserap (Q_s)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 + \Delta H_3 &= \Delta H_2 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + Q_{loss} \\
 Q_s &= \Delta H_1 - (\Delta H_2 + \Delta H_4 + Q_{loss}) \\
 Q_s &= 538729,11 - (2497,570 + 26936,4553 + 41115,69) \\
 Q_s &= 468179,39
 \end{aligned}$$

- Kebutuhan air proses (m)

$$\text{Suhu referensi} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,2 \text{ K}$$

$$\text{Suhu air pendingin masuk} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303,2 \text{ K}$$

$$\text{Suhu air pendingin keluar} = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 333,2 \text{ K}$$

$$\text{Cp pada suhu } 30 \text{ }^\circ\text{C} = 4,313 \text{ kJ/kg.K} = 1,0308 \text{ kkal/kg.K}$$

$$\text{Cp pada suhu } 60 \text{ }^\circ\text{C} = 4,329 \text{ kJ/kg.K} = 1,0347 \text{ kkal/kg.K}$$

$$Q_s = \Delta H_5 - \Delta H_3$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_5 &= m \times Cp \times \Delta T \\
 &= m \times 1,0347 \times (60 - 25) \\
 &= 36,2130 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_3 &= m \times Cp \times \Delta T \\
 &= m \times 1,0308 \times (30 - 25) \\
 &= 5,1542 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \Delta H_4 - \Delta H_3 \\
 468179,3882 &= 36,2130 \text{ m} - 5,1542 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$468179,3882 = 31,0588 \text{ m}$$

$$m = 15073,9712 \text{ kg/jam}$$

maka, didapatkan :

$$\Delta H_3 = 5,1542 \text{ m}$$

$$= 77693,6399 \text{ kkal/jam}$$

$$\Delta H_5 = 36,2130 \text{ m}$$

$$= 545873,0282 \text{ kkal/jam}$$

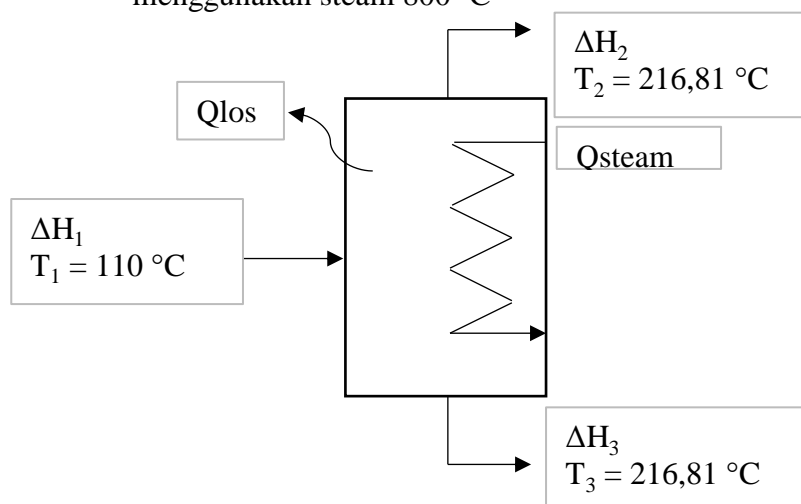
$$Q_{\text{loss}} = 26936,4553 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas Pada Kondensor (E-131)

Neraca panas masuk (Kkal/jam)		Neraca panas keluar (Kkal/jam)	
Komponen	Energi kkal/jam	Komponen	Energi kkal/jam
ΔH_1	538729,1053	ΔH_2	2497,5702
ΔH_3	77693,6399	ΔH_4	41115,6916
		ΔH_5	545873,0282
		Q_{loss}	26936,4553
Total	616422,7452	Total	616422,7452

9. Reboiler (H-135)

Fungsi : Untuk memanaskan kembali solvent dimethylformamide dengan menggunakan steam 800 °C



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

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

Keterangan :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam gas masuk reboiler

- ΔH_2 = panas yang terkandung dalam gas keluar reboiler
 ΔH_3 = panas yang terkandung dalam liquid keluar reboiler
 Q_{steam} = panas yang terkandung dalam steam masuk
 Q_{loss} = Panas yang hilang

Data:

- Suhu referensi : 25 °C = 298,2 K
 Suhu bahan masuk : 110,0 °C = 383,15 K
 Suhu bahan gas keluar : 216,8 °C = 489,96 K
 Suhu bahan liquid keluar : 216,8 °C = 489,96 K
 Suhu steam masuk : 800 °C = 1073,2 K

- ΔH_1 = Panas yang terkandung gas masuk reboiler

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	222,3599	58,1222	2257,0727	8634,9527
i-C ₄ H ₁₀	5,6151	58,1222	2232,9752	215,7263
C ₄ H ₈	128,7890	56,1065	1974,5656	4532,4939
C ₄ H ₆	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
H ₂ O	930,9924	18,015	688,4606	35578,7723
C ₃ H ₇ NO	99804,5709	73,095	2140,9593	2923285,0611
Jumlah				2972247,0063

- ΔH_2 = Panas yang terkandung keluaran liquid reboiler

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	175,9051	58,1222	5670,9691	17163,0206
i-C ₄ H ₁₀	4,2034	58,1222	5649,1503	408,5433
C ₄ H ₈	96,4083	56,1065	4943,7231	8494,8462
C ₄ H ₆	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
H ₂ O	696,9183	18,015	1572,1925	60820,9692
C ₃ H ₇ NO	74711,2755	73,095	5350,1459	5468448,2346
Jumlah				5555335,6140

- ΔH_3 = Panas yang masuk kembali ke absorber

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_3 (kkal/jam)
----------	-------------------	---------------	-------------------	----------------------------

n-C ₄ H ₁₀	46,4548	58,1222	5670,9691	4532,5808
i-C ₄ H ₁₀	1,4118	58,1222	5649,1503	137,2175
C ₄ H ₈	32,3807	56,1065	4943,7231	2853,1662
C ₄ H ₆	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
H ₂ O	234,0741	18,015	1572,1925	20427,9546
C ₃ H ₇ NO	25093,2953	73,095	5350,1459	1836689,1140
Jumlah				1864640,0331

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Loss}} &= 5\% \times \text{Panas yang masuk} \\
 &= 0,05 \times \Delta H_1 + Q_{\text{steam}} \\
 &= 0,05 \times 2972247,0063 + Q_{\text{steam}} \\
 &= 148612,3503 + 0,05 Q \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **Pehitungan panas yang diberikan oleh steam (Qsteam)**

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{steam}} &= m \times \lambda_s \\
 &= m \text{ kg/jam} \times 501,2936 \text{ kkal/kg} \\
 &= 501,2936 m \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan kebutuhan steam**

Neraca Panas Total :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 + Q_{\text{steam}} &= \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{\text{loss}} \\
 2972247,0063 + 501,2936 m &= 5555335,6140 + 1864640,0331 \\
 &\quad + 148612,3503 + 25,065 m \\
 476,2289 m &= 4596340,9911 \\
 m &= 9651,5374 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 390525,0341 \text{ kkal/jam} \\
 Q_{\text{steam}} &= 4838253,6748 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas Pada Reboiler (H-135)

Neraca panas masuk (Kkal/jam)		Neraca panas keluar (Kkal/jam)	
Komponen	Energi kkal/jam	Komponen	Energi kkal/jam
ΔH_1	2972247,0063	ΔH_2	5555335,6140
Qsteam	4838253,6748	ΔH_3	1864640,0331
		Qloss	390525,0341
Total	7810500,6811	Total	7810500,6811

10. Kolom Destilasi (D-140)

Fungsi: Memisahkan C_4H_6 dari sisa impuritis yang terikut

a. Aliran komponen masuk destilasi:

Komponen	BM	Mol Feed	
		kmol/jam	kg/jam
n- C_4H_{10}	58,12	0,2490	14,4742
i- C_4H_{10}	58,12	0,0063	0,3655
C_4H_8	56,11	0,1494	8,3833
C_4H_6	54,09	277,3473	15002,270
H_2O	18,02	3,3640	60,6016
Jumlah		281,1160	15086,095

Tidak didih komponen pada 1 atm:

$$\begin{aligned} n-C_4H_{10} &= -0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ i-C_4H_{10} &= -0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ C_4H_8 &= -1 \text{ } ^\circ\text{C} \\ C_4H_6 &= -4,4 \text{ } ^\circ\text{C} \\ H_2O &= 100 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$F = D + B$$

$$F \cdot X_F = D \cdot X_D + B \cdot X_B$$

Komponen	Feed, F (M_{16})		Destilat (M_{18})		Bottom (M_{17})	
	kmol/jam	x_F	kmol/jam	x_D	kmol/jam	x_B
n- C_4H_{10}	0,2490	0,0009	0,2092	0,0009	0,0398	0,0008
i- C_4H_{10}	0,0063	0,0000	0,0053	0,0000	0,0010	0,0000
C_4H_8	0,1494	0,0005	0,1255	0,0005	0,0239	0,0005
C_4H_6	277,3473	0,9866	232,9717	0,9974	44,3756	0,9335
H_2O	3,3640	0,0120	0,2691	0,0012	3,0948	0,0651
Jumlah	281,1160	1,0000	233,5808	1,0000	47,5352	1,0000

Komponen	Feed, F (M_{16})		Destilat (M_{18})		Bottom (M_{17})	
	kg/jam	x_F	kg/jam	x_D	kg/jam	x_B
n- C_4H_{10}	14,4742	0,0010	12,1583	0,0010	2,3159	0,0009
i- C_4H_{10}	0,3655	0,0000	0,3070	0,0000	0,0585	0,0000
C_4H_8	8,3833	0,0006	7,0420	0,0006	1,3413	0,0005
C_4H_6	15002,270	0,9944	12601,907	0,9981	2400,3633	0,9758

H ₂ O	60,6016	0,0040	4,8481	0,0004	55,7535	0,0227
Jumlah	15086,095	1,0000	12626,263	1,0000	2459,8324	1,0000

- b. Menentukan suhu Bubble Point dan Dew Point pada kolom destilasi
Untuk mendapatkan komponen yang cocok untuk proses destilasi maka dilakukan perhitungan trial dan error terhadap kondisi operasi dengan menggunakan persamaan 11.5a-11.5b (Coulson dan Richardson).

$$x_i = \sum [y_i / K_i] = 1$$

$$y_i = \sum [K_i \cdot x_i] = 1$$

Koefisien Antoine (Yaws, C. L)

Komponen	A	B	C
n-C ₄ H ₁₀	6,8090	935,86	238,7300
i-C ₄ H ₁₀	6,9105	946,35	246,6800
C ₄ H ₈	6,8429	926,1	240,0000
C ₄ H ₆	7,0301	1000,0303	245,5630
H ₂ O	8,0557	1723,6425	233,0800

Menentukan bubble point untuk bahan feed masuk kolom destilasi

$$P_i = 4066,9998 \text{ mmHg}$$

$$T = 47,2194 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Komponen	x _f	P _{i sat}	K _i	y _i = k _i .x _i
n-C ₄ H ₁₀	0,0009	3436,709	0,8450	0,0007
i-C ₄ H ₁₀	0,0000	4903,433	1,2057	0,0000
C ₄ H ₈	0,0005	4154,657	1,0216	0,0005
C ₄ H ₆	0,9866	4116,046	1,0121	0,9985
H ₂ O	0,0120	80,6192	0,0198	0,0002
				1,0000

Menentukan dew point di kondensor

$$P_i = 3952,0000 \text{ mmHg}$$

$$T = 47,7736 \text{ } ^\circ\text{C}$$

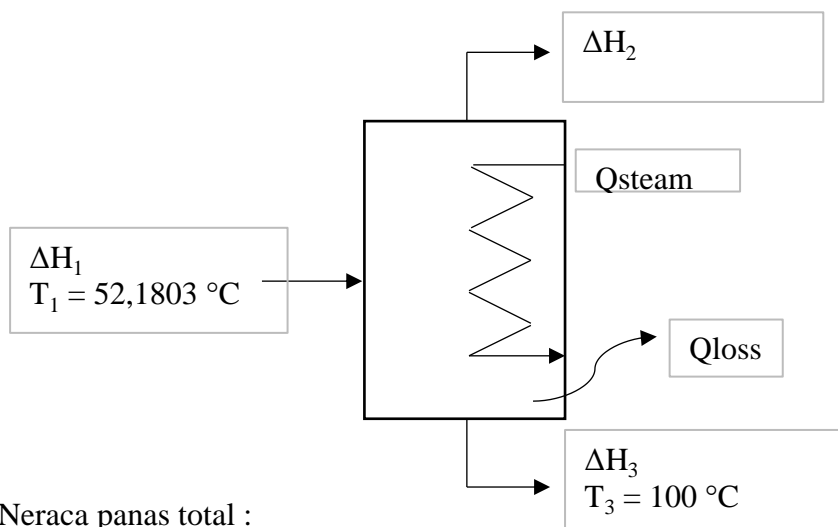
Komponen	y_{id}	Pi sat	Ki	$x_i = y_i/k_i$
n-C ₄ H ₁₀	0,0009	3487,177	0,8824	0,0010
i-C ₄ H ₁₀	0,0000	4972,343	1,2582	0,0000
C ₄ H ₈	0,0005	4214,492	1,0664	0,0005
C ₄ H ₆	0,9974	4177,667	1,0571	0,9435
H ₂ O	0,0012	82,904	0,0210	0,0549
				1,0000

$$P_i = 3952,0000 \text{ mmHg}$$

$$T = 45,7596 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Komponen	x_{if}	Pi sat	Ki	$y_i = k_i \cdot x_i$
n-C ₄ H ₁₀	0,0009	3306,3546	0,8366	0,0007
i-C ₄ H ₁₀	0,0000	4725,2758	1,1957	0,0000
C ₄ H ₈	0,0005	4000,0370	1,0122	0,0005
C ₄ H ₆	0,9974	3956,9928	1,0013	0,9987
H ₂ O	0,0012	74,8594	0,0189	0,0000
				1,0000

Fungsi : Untuk memisahkan C₄H₆ dengan sisa impuritisnya



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

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

Keterangan :

$$\Delta H_1 = \text{panas yang terkandung dalam bahan masuk destilasi}$$

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam gas keluar destilasi

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam liquid keluar destilasi

Q_{Steam} = Panas yang terkandung dalam steam

Q_{loss} = Panas yang hilang

Data:

Suhu referensi : 25 °C = 298,2 K

Suhu bahan masuk : 52,18 °C = 325,3 K

Suhu bahan gas keluar destilasi : 52,18 °C = 325,3 K

Suhu bahan liquid keluar destilasi : 100 °C = 373,2 K

Kondisi steam masuk:

T = 800 °C

P = 5,4 atm

λ = 2097,41 kJ/kg = 501,3 kkal/kg

- ΔH_1 = Panas yang terkandung bahan masuk destilasi

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	14,4742	58,1222	675,5633	168,2358
i-C ₄ H ₁₀	0,3655	58,1222	664,6101	4,1795
C ₄ H ₈	8,3833	56,1065	592,7505	88,5677
C ₄ H ₆	15002,2704	54,0900	546,3591	151536,8342
H ₂ O	60,6016	18,0150	218,9879	736,6648
Jumlah				152534,4820

- ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam keluaran atas destilasi

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	12,1583	58,1222	944,6198	197,6008
i-C ₄ H ₁₀	0,3070	58,1222	952,9799	5,0341
C ₄ H ₈	7,0420	56,1065	878,9886	110,3230
C ₄ H ₆	12601,9071	54,0900	819,7773	190992,0002
H ₂ O	4,8481	18,0150	489,1963	131,6506
Jumlah				191436,6087

- ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam keluaran bawah destilasi

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_3 (kkal/jam)
----------	-------------------	---------------	-------------------	----------------------------

n-C ₄ H ₁₀	2,3159	58,1222	944,6198	37,6382
i-C ₄ H ₁₀	0,0585	58,1222	952,9799	0,9589
C ₄ H ₈	1,3413	56,1065	878,9886	21,0139
C ₄ H ₆	2400,3633	54,0900	819,7773	36379,4286
H ₂ O	55,7535	18,0150	489,1963	1513,9820
Jumlah				37953,0216

- **Perhitungan panas yang diberikan oleh steam (Qsteam)**

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{steam}} &= m \times \lambda_s \\
 &= m \text{ kg/jam} \times 501,3 \text{ kkal/kg} \\
 &= 501,2936 \text{ m Kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan panas yang hilang (Qloss)**

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 0,05 \text{ dari panas yang masuk} \\
 &= 5\% \times (\Delta H_1 + Q_{\text{steam}}) \\
 &= 0,05 \times (152534 + 501,3 \text{ m}) \text{ Kkal/jam} \\
 &= 7626,7241 + 25,065 \text{ m Kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan kebutuhan steam**

Neraca Panas Total :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 + Q_{\text{steam}} &= \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{\text{loss}} \\
 152534 + 501,2936 \text{ m} &= 191436,6087 + 37953,0216 \\
 &\quad 7626,7241 + 25,065 \text{ m} \\
 476,2289 \text{ m} &= 84481,8724 \\
 \text{m} &= 177,3976 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$Q_{\text{loss}} = 12073,138 \text{ kkal/jam}$$

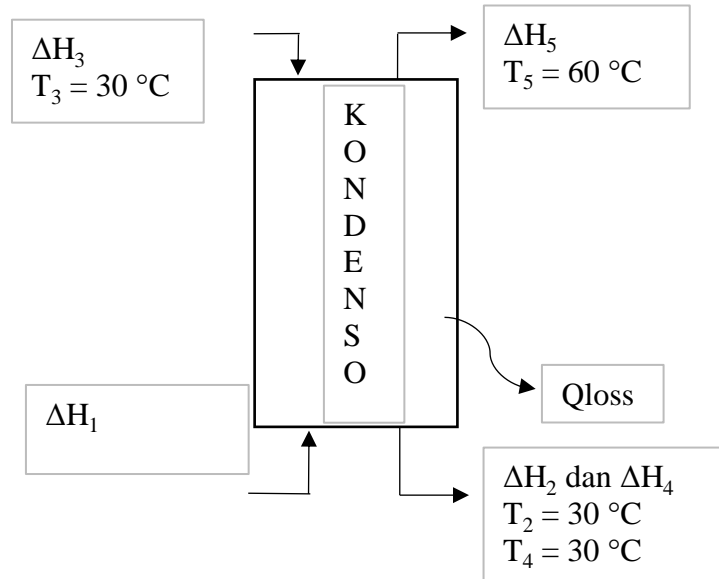
$$Q_{\text{steam}} = 88928,29 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas Pada Destilasi (D-140)

Neraca panas masuk (kkal/jam)		Neraca panas keluar (kkal/jam)	
Komponen	Energi kkal/jam	Komponen	Energi kkal/jam
ΔH_1	152534,4820	ΔH_2	191436,6087
Qsteam	88928,2867	ΔH_3	37953,0216
		Qloss	12073,1384
Total	241462,7687	Total	241462,7687

8. Kondensor (E-141)

Fungsi : Untuk mengkondensasi produk atas keluaran destilasi sampai suhu 30 °C



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

$$\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + Q_{\text{loss}}$$

Keterangan :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam gas masuk kondensor

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam liquid kembali ke destilasi

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam air pendingin masuk

ΔH_4 = panas yang terkandung dalam liquid keluar kondensor

ΔH_5 = panas yang terkandung dalam air pendingin keluar

Q_{loss} = panas yang hilang

Data:

Suhu referensi	:	25 °C	=	298,2 K
Suhu bahan masuk	:	52,18 °C	=	325,33 K
Suhu bahan gas keluar	:	30 °C	=	303,15 K
Suhu bahan liquid keluar	:	30 °C	=	303,15 K
Suhu air pendingin masuk	:	30 °C	=	303,15 K
Suhu air pendingin keluar	:	60 °C	=	333,15 K

- ΔH_1 = Panas yang terkandung gas masuk kondensor

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	12,8480	58,1222	130,2856	28,7997
i-C ₄ H ₁₀	0,3244	58,1222	43,9915	0,2456
C ₄ H ₈	7,4414	56,1065	161,8501	21,4663
C ₄ H ₆	13316,7049	54,0900	122,3539	30122,9546
H ₂ O	5,1231	18,0150	220,4319	62,6866
Jumlah				30236,1527

- ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam liquid kembali ke destilasi

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	0,6896	58,1222	120,9565	1,4352
i-C ₄ H ₁₀	0,0174	58,1222	118,6829	0,0356
C ₄ H ₈	0,3994	56,1065	106,2782	0,7566
C ₄ H ₆	714,7978	54,0900	97,8372	1292,9155
H ₂ O	0,2750	18,0150	40,2129	0,6138
Jumlah				1295,7567

- ΔH_4 = Panas yang terkandung dalam liquid ke penampung

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_4 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	12,1583	58,1222	120,9565	25,3023
i-C ₄ H ₁₀	0,3070	58,1222	118,6829	0,6269
C ₄ H ₈	7,0420	56,1065	106,2782	13,3391
C ₄ H ₆	12601,9071	54,0900	97,8372	22794,1392
H ₂ O	4,8481	18,0150	40,2129	10,8219
Jumlah				22844,2295

- Menghitung panas yang hilang (Q_{Loss})

$$\begin{aligned}
 Q_{Loss} &= 5\% \times \text{Panas yang masuk} \\
 &= 0,05 \times \Delta H_1 \\
 &= 0,05 \times 30236,1527 \\
 &= 1511,8076 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- Menghitung panas yang diserap (Q_s)

$$\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + Q_{\text{loss}}$$

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

$$Q_s = 30236,15 - (1295,757 + 1511,8076 + 22844,23)$$

$$Q_s = 4584,3589$$

- Kebutuhan air proses (m)

$$\text{Suhu referensi} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,2 \text{ K}$$

$$\text{Suhu air pendingin masuk} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303,2 \text{ K}$$

$$\text{Suhu air pendingin keluar} = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 333,2 \text{ K}$$

$$\text{Cp pada suhu } 30 \text{ }^\circ\text{C} = 40,2129 \text{ kkal/kg.K}$$

$$\text{Cp pada suhu } 60 \text{ }^\circ\text{C} = 282,1764 \text{ kkal/kg.K}$$

$$Q_s = \Delta H_5 - \Delta H_3$$

$$\Delta H_5 = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= m \times 282,1764 \times (60 - 25)$$

$$= 9876,1729 \text{ m}$$

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

$$= m \times 40,2129 \times (30 - 25)$$

$$= 201,0645 \text{ m}$$

$$Q_s = \Delta H_4 - \Delta H_3$$

$$4584,3589 = 9876,1729 \text{ m} - 201,0645 \text{ m}$$

$$4584,3589 = 9675,1084 \text{ m}$$

$$m = 0,4738 \text{ kg/jam}$$

maka, didapatkan :

$$\Delta H_3 = 201,0645 \text{ m}$$

$$= 95,2704 \text{ kkal/jam}$$

$$\Delta H_5 = 9876,1729 \text{ m}$$

$$= 4679,629348 \text{ kkal/jam}$$

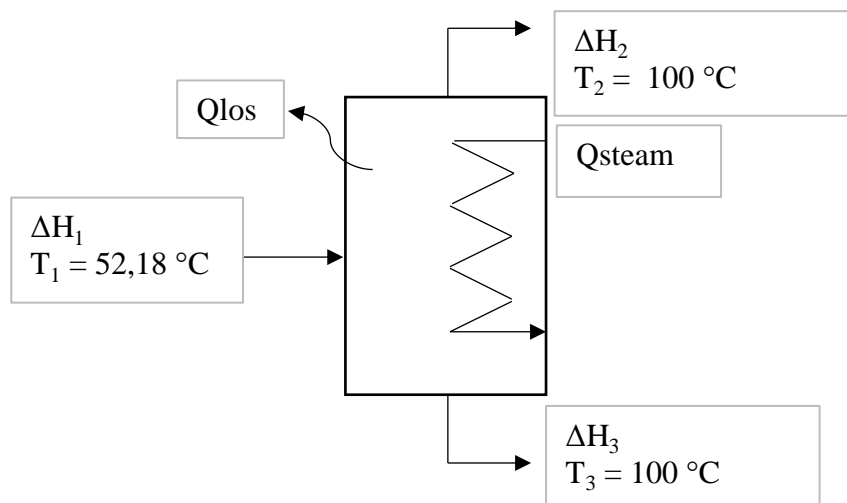
$$Q_{\text{loss}} = 1511,8076 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas Pada Kondensor (E-141)

Neraca panas masuk (Kkal/jam)		Neraca panas keluar (Kkal/jam)	
Komponen	Energi kkal/jam	Komponen	Energi kkal/jam
ΔH_1	30236,1527	ΔH_2	1295,7567
ΔH_3	95,2704	ΔH_4	22844,2295
		ΔH_5	4679,6293
		Q _{loss}	1511,8076
Total	30331,4232	Total	30331,4232

9. Reboiler (E-145)

Fungsi : Untuk memanaskan kembali impuritis



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

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

Keterangan :

- ΔH_1 = panas yang terkandung dalam gas masuk reboiler
- ΔH_2 = panas yang terkandung dalam gas keluar reboiler
- ΔH_3 = panas yang terkandung dalam liquid keluar reboiler
- Q_{steam} = panas yang terkandung dalam steam masuk
- Q_{loss} = Panas yang hilang

Data:

- Suhu referensi : 25 °C = 298,2 K
- Suhu bahan masuk : 52,18 °C = 325,33 K
- Suhu bahan gas keluar : 100 °C = 373,15 K
- Suhu bahan liquid keluar : 100 °C = 373,15 K

- ΔH_1 = Panas yang terkandung gas masuk reboiler

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	14,9565	58,1222	675,5633	173,8423
i-C ₄ H ₁₀	0,3777	58,1222	664,6101	4,3188
C ₄ H ₈	8,6627	56,1065	592,7505	91,5192
C ₄ H ₆	15502,2222	54,0900	546,3591	156586,8108
H ₂ O	360,0716	18,0150	218,9879	4376,9817
Jumlah				161233,4728

- ΔH_2 = Panas yang terkandung keluaran liquid reboiler

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	2,3159	58,1222	2788,2713	111,0983
i-C ₄ H ₁₀	0,0585	58,1222	2830,9034	2,8484
C ₄ H ₈	1,3413	56,1065	2602,5709	62,2194
C ₄ H ₆	2400,3633	54,0900	2420,9998	107437,2169
H ₂ O	55,7535	18,0150	1348,6861	4173,9618
Jumlah				111787,3449

- ΔH_3 = Panas yang masuk kembali ke destilasi

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_3 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	12,6407	58,1222	1969,7450	428,3889
i-C ₄ H ₁₀	0,3192	58,1222	1947,0459	10,6932
C ₄ H ₈	7,3214	56,1065	1723,9690	224,9619
C ₄ H ₆	13101,8589	54,0900	1592,5983	385764,4421
H ₂ O	304,3181	18,0150	606,8714	10251,5655
Jumlah				396680,0516

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Loss}} &= 5\% \times \text{Panas yang masuk} \\
 &= 0,05 \times \Delta H_1 + Q_{\text{steam}} \\
 &= 0,05 \times 161233,4728 + Q_{\text{steam}} \\
 &= 8061,6736 + 0,05 Q \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

- **Pehitungan panas yang diberikan oleh steam (Qsteam)**

$$\begin{aligned} Q_{\text{steam}} &= m \times \lambda_s \\ &= m \text{ kg/jam} \times 501,3 \text{ kkal/kg} \\ &= 501,3 \text{ m kkal/jam} \end{aligned}$$

- **Perhitungan kebutuhan steam**

Neraca Panas Total :

$$\begin{aligned} \Delta H_1 + Q_{\text{steam}} &= \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{\text{loss}} \\ 161233,4728 + 501,29 \text{ m} &= 111787,3449 + 396680 \\ &+ 8061,6736 + 25,06 \text{ m} \\ 476,2 \text{ m} &= 355295,5973 \\ \text{m} &= 746,0606 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$Q_{\text{loss}} = 26761,442 \text{ kkal/jam}$$

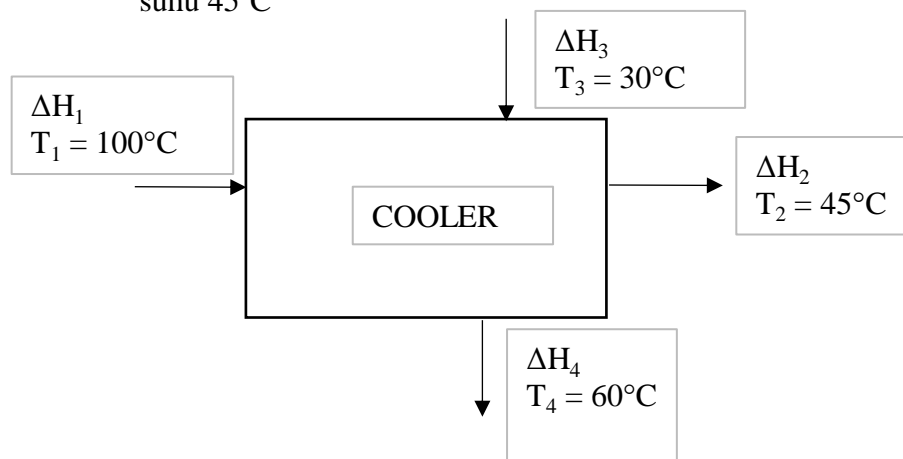
$$Q_{\text{steam}} = 373995,37 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas Pada Reboiler (H-145)

Neraca panas masuk (Kkal/jam)		Neraca panas keluar (Kkal/jam)	
Komponen	Energi kkal/jam	Komponen	Energi kkal/jam
ΔH_1	161233,4728	ΔH_2	111787,3449
Qsteam	373995,3656	ΔH_3	396680,0516
		Qloss	26761,4419
Total	535228,8384	Total	535228,8384

10. Cooler (E-137)

Fungsi : untuk mendinginkan produk samping dari suhu 100°C sampai dengan suhu 45°C



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

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

Keterangan:

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam bahan masuk cooler

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam produk samping keluar

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam air pendingin masuk

ΔH_4 = panas yang terkandung dalam air pendingin keluar

Q_{loss} = Panas yang hilang

Data:

Suhu referensi : 25 °C = 298,15 K

Suhu produk samping masuk : 100 °C = 373,15 K

Suhu air pendingin masuk : 30 °C = 303,15 K

Suhu air pendingin keluar : 60 °C = 333,15 K

Suhu produk samping keluar : 45 °C = 318,15 K

- **ΔH_1 = Panas yang terkandung bahan masuk cooler**

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_1 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	2,3159	58,1222	1969,7450	78,4842
i-C ₄ H ₁₀	0,0585	58,1222	1947,0459	1,9591
C ₄ H ₈	1,3413	56,1065	1723,9690	41,2148
C ₄ H ₆	2400,3633	54,0900	1592,5983	70675,0698
H ₂ O	55,7535	18,0150	606,8714	1878,1672
Jumlah				72674,8950

- **Menghitung panas yang hilang (Q_{Loss})**

$$Q_{\text{Loss}} = 5\% \times \text{Panas yang masuk}$$

$$= 0,05 \times \Delta H_1$$

$$= 0,05 \times 72674,8950$$

$$= 3633,745 \text{ kkal/jam}$$

- **Menghitung panas yang diserap oleh air**

Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K

Suhu air pendingin masuk = 30 °C = 303,15 K

Suhu air pendingin keluar = 60 °C = 333,15 K

Cp pada suhu 30 °C = 40,2129 kkal/kg.K

$$C_p \text{ pada suhu } 60 \text{ }^\circ\text{C} = 835,6788 \text{ kkal/kg.K}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \times 40,2129 \times (30 - 25) \\ &= 201,0645 \text{ m kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_4 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \times 835,6788 \times (60 - 25) \\ &= 29248,7591 \text{ m kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \Delta H_4 - \Delta H_3 \\ &= (29248,7591 - 201,0645) \text{ m} \\ &= 29047,6946 \text{ m kkal/jam} \end{aligned}$$

- $\Delta H_2 =$ Panas yang terkandung pada hasil cooler

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kkal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	2,3159	58,1222	492,8153	19,6362
i-C ₄ H ₁₀	0,0585	58,1222	484,4282	0,4874
C ₄ H ₈	1,3413	56,1065	432,5927	10,3420
C ₄ H ₆	2400,3633	54,0900	398,5801	17687,8709
H ₂ O	55,7535	18,0150	161,0421	498,3989
Jumlah				18216,7353

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

$$\begin{aligned} Q_s &= \Delta H_1 - (\Delta H_2 + Q_{\text{loss}}) \\ &= 72674,8950 - (18216,7353 + 3633,7448) \\ &= 50824,4149 \end{aligned}$$

$$Q_s = \Delta H_4 - \Delta H_3$$

$$50824,4149 = 29047,6946 \text{ m}$$

$$m = 1,7497 \text{ kg/jam}$$

Neraca Panas Pada Cooler (E-147)

Neraca panas masuk (Kkal/jam)		Neraca panas keluar (Kkal/jam)	
Komponen	Energi kkal/jam	Komponen	Energi kkal/jam
ΔH_1	72674,8950	ΔH_2	18216,7353
ΔH_3	351,8002	ΔH_4	51176,2152
		Q_{loss}	3633,7448
Total	73026,6952	Total	73026,6952

11. Expander Valve (EV-138)

Fungsi : Menurunkan tekanan gas produk bawah dari 5,4 atm menjadi 1 atm



Neraca panas total :

Panas masuk = panas keluar

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_{cv}$$

Keterangan:

ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam gas masuk valve

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam gas keluar valve

ΔH_{cv} = Panas yang dihasilkan dari kerja valve

Kondisi operasi :

$$P_{\text{in}} = 5,4 \text{ atm}$$

$$P_{\text{out}} = 1 \text{ atm}$$

$$T_{\text{in}} = 45 \text{ }^\circ\text{C} = 318,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

- Menghitung panas masuk (ΔH_1)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	2,3159	58,1222	492,8153	19,6362
i-C ₄ H ₁₀	0,0585	58,1222	484,4282	0,4874
C ₄ H ₈	1,3413	56,1065	432,5927	10,3420
C ₄ H ₆	2400,3633	54,0900	398,5801	17687,8709
H ₂ O	55,7535	18,0150	161,0421	498,3989

Jumlah	18216,7353
--------	------------

- **Menghitung suhu keluar valve**

Data :

$$C_p \text{ campuran} = 145,8 \text{ kJ/kmol}^\circ\text{C}$$

$$R = 8,314 \text{ kmol.K}$$

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p}{(C_p - R)}$$

$$k = \frac{145,8}{145,8 - 8,314}$$

$$k = 1,0604716$$

$$\frac{k-1}{k} = 0,057$$

$$\Delta H = C_p \times T_1 \times \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \times 0,5$$

$$\Delta H = 145,8 \times 318,15 \left[1 - \left(\frac{1}{5,4} \right)^{0,057} \right] \times 0,5$$

$$\Delta H = 46386 \times 0,0936 \times 0,5$$

$$\Delta H = 2171,7706 \text{ kJ/kmol}$$

$$T_2 = T_1 \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] + \left(\frac{\Delta H}{C_p} \right)$$

$$T_2 = 318,15 \times \left[\left(\frac{1}{5,4} \right)^{0,057} \right] + \left(\frac{2022,5392}{142,5} \right)$$

$$T_2 = 288,36 + 14,896$$

$$T_2 = 303,3 \text{ K}$$

- Menghitung panas masuk (ΔH_2)

Komponen	Massa (kg/jam)	BM kg/kmol	cp (kcal/kmol)	ΔH_2 (kkal/jam)
n-C ₄ H ₁₀	2,3159	58,1222	123,4994	4,9208
i-C ₄ H ₁₀	0,0585	58,1222	121,1796	0,1219
C ₄ H ₈	1,3413	56,1065	108,5117	2,5942
C ₄ H ₆	2400,3633	54,0900	99,8940	4433,0150
H ₂ O	55,7535	18,0150	41,0533	127,0532
Jumlah				4567,7052

Untuk menurunkan tekanan dari 5,4 atm menjadi 1 atm, kerja ekspander valve menghasilkan panas, sehingga perlu dihitung panas expander valve sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{cv} &= \Delta H_1 - \Delta H_2 \\
 &= 18216,74 - 4567,71 \\
 &= 13649,03 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas Expander Valve (EV-138)

Panas Masuk		Panas Keluar	
ΔH_1	= 18216,7353	ΔH_2	= 4567,7052
		ΔH_{cv}	= 13649,0301
Total	= 18216,7353	Total	= 18216,7353