

APPENDIKS A PERHITUNGAN NERACA MASSA

Kapasitas produksi = 100000 Ton/Tahun
 Jumlah hari kerja = 1 Tahun = 330 Hari
 Jumlah waktu kerja per hari = 1 Hari = 24 Jam
 Basis satuan = Kg/jam
 Kapasitas produksi Vinil asetat = $\frac{100000}{\text{Tahun}} \times \frac{1000}{\text{Ton}} \times \frac{1}{330} \times \frac{1}{24}$
 = 12626.2626 Kg/jam
 Basis bahan baku = 4365.9164 Kg/jam C₂H₄

Berat molekul bahan baku dan produk:

Komponen	Formula	BM(kg/kmol)
Asam Asetat	CH ₃ COOH	60
Air	H ₂ O	18
Oksigen	O ₂	32
Nitrogen	N ₂	28
Etilen	C ₂ H ₄	28
Metana	CH ₄	16
Etana	C ₂ H ₆	30
Vinil asetat	C ₄ H ₆ O ₂	86

Perhitungan Bahan Baku :

a. Komposisi Etilen :

Komponen	Komposisi
C ₂ H ₄	99.5%
CH ₄	0.3%
C ₂ H ₆	0.2%

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam
C ₂ H ₄	28	4344.0869	155.1460
CH ₄	16	13.0977	0.8186
C ₂ H ₆	30	8.7318	0.2911
Jumlah		4365.9164	156.2556

b. Komposisi Asam Asetat :

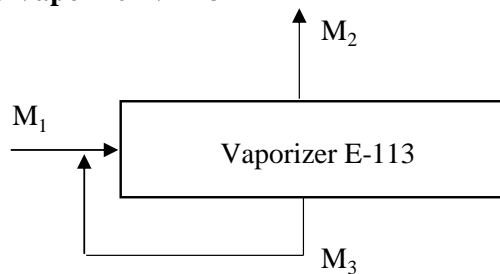
Komponen	Komposisi
CH ₃ COOH	98%
H ₂ O	2%

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam
CH ₃ COOH	60	11635.9469	193.9324
H ₂ O	18	237.4683	13.1927
Jumlah		11873.4152	207.1251

c. **Komposisi Udara :**

Komponen	Komposisi
O ₂	21%
N ₂	79%

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam
O ₂	32	2482.3353	77.5730
N ₂	28	9338.3092	333.5110
Jumlah		11820.6445	411.0840

1. **Vaporizer V-113**

Keterangan :

M₁ = Aliran asam asetat masuk vaporizerM₂ = Alliran asam asetat masuk reaktorM₃ = Aliran asam asetat recycle

Pada vaporizer terjadi perubahan fasa yaitu dari fasa liquid ke fasa gas. Perubahan fasa terjadi dengan memanaskan liquid hingga $T = 120^{\circ}\text{C}$ dan $P = 1 \text{ atm}$. Dapat diasumsikan bahwa 80% liquid yang masuk kedalam vaporizer berubah menjadi gas serta 20% merupakan liquid yang tidak teruapkan dan direcycle.

Komponen	BM	M ₁	M ₂	M ₃
		kg/jam	kg/jam	kg/jam
CH ₃ COOH	60	11635.9469	9308.7576	2327.1894
H ₂ O	18	237.4683	189.9746	47.4937
Jumlah		11873.4152	9498.7322	2374.6830
Total massa		11873.4152	11873.4152	

Komponen	BM	M ₁	M ₂	M ₃
		kmol/jam	kmol/jam	kmol/jam
CH ₃ COOH	60	193.9324	155.1460	38.7865
H ₂ O	18	13.1927	10.5541	2.6385
Jumlah		207.1251	165.7001	41.4250
Total massa		207.1251	207.1251	

2. Reaktor (R-110)

Reaktor berfungsi untuk mereaksikan antara Etilen, Asam Asetat dan Oksigen dengan rasio yang digunakan 1:1:0,5



Diketahui yield $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ dari $\text{C}_2\text{H}_4 = 95\%$ kg $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2/\text{kg C}_2\text{H}_4$

Asumsi : Massa Reaktan = 4,365.916 Kg = 155.9256 kmol

Dengan pers. 2.9 Hal. 48 Couldson and Richardson's^[22]

$$\text{Yield} = \frac{\text{mol produk} \times \text{faktor stokiometri}}{\text{mol reaktan}} \times 100\%$$

dimana dibutuhkan 1 mol C_2H_4 untuk membentuk 1 mol $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$, maka = 1

$$95\% = \frac{\text{mol produk} \times 1}{155.9256} \times 100\%$$

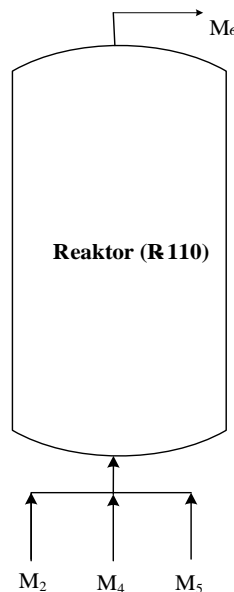
mol produk = 148.1293 kmol

Dengan pers. 2.8 Hal. 47 Couldson and Richardson's^[22]

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol reaktan yang bereaksi}}{\text{mol reaktan yang disupply}} \times 100\%$$

dari persamaan reaksi, 1 mol C_2H_4 yang bereaksi = 1 mol $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ yang terbentuk

$$\begin{aligned} \text{Konversi} &= \frac{148.1293}{155.9256} \times 100\% \\ &= 95\% \end{aligned}$$



Keterangan :

Neraca Massa : $M_2 + M_4 + M_5 = M_6$

M_2 = Aliran Asam Asetat masuk reaktor

M_4 = Aliran Etilen masuk reaktor

M_5 = Aliran udara masuk

M_6 = Aliran produk keluar reaktor

a. komposisi Asam Asetat masuk reaktor (M_2)

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam
CH_3COOH	60	9308.7576	155.1460
H_2O	18	189.9746	10.5541
Jumlah		9498.7322	165.7001

b. komposisi Etilen masuk reaktor

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam
C ₂ H ₄	28	4344.087	155.1460
CH ₄	16	13.098	0.8186
C ₂ H ₆	30	8.732	0.2911
Jumlah		4365.916	156.2556

c. komposisi udara masuk

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam
O ₂	32	2482.3353	77.5730
N ₂	28	9338.3092	333.5110
Jumlah		11820.6445	411.0840

d. komposisi produk keluar reaktor

konversi reaksi = 95%

$$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{CH}_3\text{COOH} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOCH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

m	155.1460	155.1460	77.5730	-	-
r	147.3887	147.3887	73.6943	147.3887	147.3887
s	7.7573	7.7573	3.8786	147.3887	147.3887

Senyawa yang bereaksi

- CH₃COOH = 147.389 Kmolek/jam x 60 Kg/kmolek = 8843.3197 Kg/jam
- O₂ = 73.694 Kmolek/jam x 32 Kg/kmolek = 2358.2186 Kg/jam
- C₂H₄ = 147.389 Kmolek/jam x 28 Kg/kmolek = 4126.8825 Kg/jam

Senyawa yang terbentuk

- C₄H₆O₂ = 147.389 Kmolek/jam x 86 Kg/kmolek = 12675.4249 Kg/jam
- H₂O = 147.389 Kmolek/jam x 18 Kg/kmolek = 2652.9959 Kg/jam

Senyawa sisa reaksi

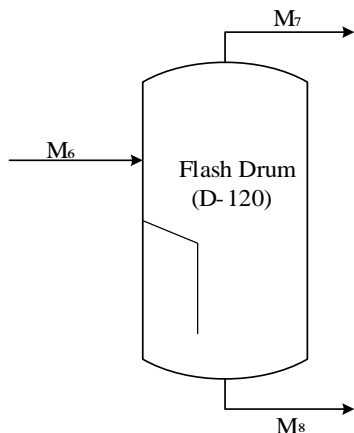
- CH₃COOH = 7.7573 Kmolek/jam x 60 Kg/kmolek = 465.4379 Kg/jam
- O₂ = 3.8786 Kmolek/jam x 32 Kg/kmolek = 124.1168 Kg/jam
- C₂H₄ = 7.7573 Kmolek/jam x 28 Kg/kmolek = 217.2043 Kg/jam

Neraca Massa Reaktor			
Aliran masuk reaktor		Aliran keluar reaktor	
Asam Asetat (M ₂)		Produk (M ₆)	
Komponen	kg/jam	Komponen	kg/jam
CH ₃ COOH	9308.7576	CH ₃ COOH	465.4379
H ₂ O	189.9746	H ₂ O	2842.9705
Jumlah	9498.7322	O ₂	124.1168
Etilen (M₄)		N ₂	9338.3092
Komponen	kg/jam	C ₂ H ₄	217.2043
C ₂ H ₄	4344.0869	CH ₄	13.0977

CH ₄	13.0977	C ₂ H ₆	8.7318
C ₂ H ₆	8.7318	C ₄ H ₆ O ₂	12675.425
Jumlah	4365.9164		
Udara (M₅)			
Komponen	kg/jam		
O ₂	2482.3353		
N ₂	9338.3092		
Jumlah	11820.6445	Jumlah	25685.2932
Total	25685.2932	Total	25685.2932

3. Flash Drum (D-120)

Fungsi : Memisahkan gas dan liquid dalam campuran



Keterangan :

Neraca Massa : $M_6 = M_7 + M_8$

M_6 = Aliran produk keluar reaktor

M_7 = Aliran gas keluar Flash drum

M_8 = Aliran liquid keluar Flash drum

a. Komposisi campuran liquid masuk Flash drum :

Komponen	BM	F(M ₆)		
		kg/jam	kmol/jam	X _f
CH ₃ COOH	60	465.4379	7.7573	0.0118
H ₂ O	18	2842.9705	157.9428	0.2395
O ₂	32	124.1168	3.8786	0.0059
N ₂	28	9338.3092	333.5110	0.5058
C ₂ H ₄	28	217.2043	7.7573	0.0118
CH ₄	16	13.0977	0.8186	0.0012
C ₂ H ₆	30	8.7318	0.2911	0.0004
C ₄ H ₆ O ₂	86	12675.425	147.3887	0.2235
Jumlah		25685.293	659.3454	1.0000

b. Komposisi gas keluar Flash drum:

Konstanta Antoine :

$$\ln P = A - \frac{B}{T(^{\circ}\text{C}) + C} \quad (\text{Appendix B, Lange's Hand Book of Chemistry})^{[19]}$$

$$T = 65 \text{ } ^{\circ}\text{C} = 338.15 \text{ K}$$

$$P = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

Komponen	Konstanta Antoine			Ln Pi	Pi(mmHg)
	A	B	C		
CH ₃ COOH	16.8080	3405.5700	-56.3400	4.7234	112.5467
H ₂ O	18.3036	3816.4400	-46.1300	5.2345	187.6344
O ₂	15.4075	734.5500	-6.4500	13.1930	536595.0246
N ₂	14.9542	588.7200	-6.6000	13.1785	528892.3644
C ₂ H ₄	15.5368	1347.0100	-18.1500	11.3274	83066.2491
CH ₄	15.2243	597.8400	-7.1600	13.4181	672046.1478
C ₂ H ₆	15.6637	1511.4200	-17.1600	10.9551	57244.0962
C ₄ H ₆ O ₂	16.1003	2744.6800	-56.1500	6.3674	582.5367

Apabila $P_i > P$, maka fase komponen adalah gas

Oleh karena itu Nitrogen, Oksigen, Metana, Etilen dan Etana adalah fase gas.

Sedangkan Vinil Asetat, Asam asetat dan Air adalah fase cair. Di asumsikan bahwa fase gas menuju keatas dan fase liquid ke bagian bawah flash tank

b. Komposisi gas keluar flash drum :

Komponen	BM (Kg/kmol)	W (M ₇)		
		kg/jam	Kmol/jam	x _w
O ₂	32	124.1168	3.8786	0.0112
N ₂	28	9338.3092	333.5110	0.9632
C ₂ H ₄	28	217.2043	7.7573	0.0224
CH ₄	16	13.0977	0.8186	0.0024
C ₂ H ₆	30	8.7318	0.2911	0.0008
Jumlah		9701.4599	346.2567	1.0000

c. Komposisi liquid keluar Flash drum:

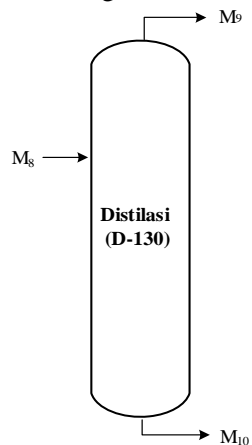
Komponen	BM (Kg/kmol)	W (M ₈)		
		kg/jam	Kmol/jam	x _w
CH ₃ COOH	60	465.4379	7.7573	0.0248
H ₂ O	18	2842.9705	157.9428	0.5045
C ₄ H ₆ O ₂	86	12675.425	147.3887	0.4708
Jumlah		15983.833	313.0888	1.0000

Neraca Massa Flash drum			
Aliran Masuk (M ₆)		Aliran keluar Gas (M ₇)	
Komponen	kg/jam	Komponen	kg/jam
CH ₃ COOH	465.4379	O ₂	124.1168
H ₂ O	2842.9705	N ₂	9338.3092
O ₂	124.1168	C ₂ H ₄	217.2043
N ₂	9338.3092	CH ₄	13.0977
C ₂ H ₄	217.2043	C ₂ H ₆	8.7318

CH ₄	13.0977	Jumlah	9701.4599
C ₂ H ₆	8.7318	Aliran liquid keluar (M₈)	
C ₄ H ₆ O ₂	12675.4249	Komponen	kg/jam
		CH ₃ COOH	465.4379
		H ₂ O	2842.9705
		C ₄ H ₆ O ₂	12675.4249
Jumlah	25685.2932	Jumlah	15983.8333
Total	25685.2932	Total	25685.2932

4. Distilasi

Berfungsi untuk memisahkan produk utama (C₄H₆O₂) dari produk samping



Keterangan :

Neraca Massa :

M₈ = Aliran liquid masuk kolom distilasi

M₉ = Aliran produk destilat keluar distilasi

M₁₀ = Aliran produk bottom keluar reboiler

a komposisi masuk kolom distilasi

Komponen	BM (Kg/kmol)	W (M ₈)		
		kg/jam	Kmol/jam	x _w
CH ₃ COOH	60	465.4379	7.7573	0.0248
H ₂ O	18	2842.9705	157.9428	0.5045
C ₄ H ₆ O ₂	86	12675.425	147.3887	0.4708
Jumlah		15983.833	313.0888	1.0000

Titik didih tiap komponen pada 1 atm :

CH₃COOH = 118 °C (HK)

H₂O = 100 °C

C₄H₆O₂ = 72,85 °C (LK)

Asumsi pemisahan Light key yang keluar sebagai destilat (produk atas) sebesar 99,5% dan Heavy Key yang keluar sebagai bottom (produk bawah) sebesar 0,005%

Neraca Massa Total : F = D + W

Komponen	Feed (F)		Distilat (D)		Bottom (W)	
	Kmol/jam	x _f	Kmol/jam	x _D	Kmol/jam	x _w
CH ₃ COOH	7.7573	0.0248	-	-	7.7573	0.04683

H ₂ O	157.9428	0.5045	0.789714	0.00536	157.1531	0.94872
C ₄ H ₆ O ₂	147.3887	0.4708	146.65172	0.99464	0.7369	0.00445
Jumlah	313.0888	1.0000	147.44143	1	165.6473	1

Menentukan suhu Bubble Point dan Dew Point pada kolom distilasi, untuk mendapatkan komponen yang cocok untuk proses distilasi maka dilakukan perhitungan trial dan error terhadap kondisi operasi

Komponen	Konstanta Antoine		
	A	B	C
CH ₃ COOH	16.8080	3405.5700	-56.3400
H ₂ O	18.3036	3816.4400	-46.1300
C ₄ H ₆ O ₂	16.1003	2744.6800	-56.1500

$$x_i = \sum (y_i/K_i) \quad y_i = \sum (K_i \cdot x_i)$$

$$K_i = P^*/P \quad y_i = \sum (y_i/K_i)$$

Perhitungan temperatur pada feed :

$$\text{Bubble point} = 85.51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Dew point} = 91.91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan temperatur pada destilat :

$$\text{Bubble point} = 73.03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Dew point} = 73.22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan temperatur pada bottom :

$$\text{Bubble point} = 100.43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Dew point} = 100.94 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Menentukan suhu Bubble Point pada feed kolom distilasi

$$\text{Suhu (T)} = 85.51 \text{ } ^\circ\text{C} = 358.66 \text{ K}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1.00 \text{ atm} = 760.00 \text{ mmHg}$$

Komponen	x_f	P^{sat}	K_i	$y_i = K_i \cdot x_f$	$P^{\text{sat}} \cdot x_f$
CH ₃ COOH	0.0248	255.4884	0.3362	0.0083	6.3302
H ₂ O	0.5045	442.3605	0.5821	0.2936	223.1561
C ₄ H ₆ O ₂	0.4708	1126.9246	1.4828	0.6980	530.5074
Total	1.0000			1.0000	759.9937

Menentukan suhu Dew Point pada feed kolom distilasi

$$\text{Suhu (T)} = 91.91 \text{ } ^\circ\text{C} = 365.06 \text{ K}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1.00 \text{ atm} = 760.00 \text{ mmHg}$$

Komponen	y_f	P^{sat}	K_i	$x_i = y_f / k_i$	$P^{\text{sat}} \cdot x_i$
CH ₃ COOH	0.0248	322.7124	0.4246	0.0584	18.8303
H ₂ O	0.5045	565.2301	0.7437	0.6783	383.3956
C ₄ H ₆ O ₂	0.4708	1360.0385	1.7895	0.2631	357.7761
Total	1.0000			0.9999	760.0021

Menentukan suhu Bubble Point pada destilat kolom distilasi

$$\text{Suhu (T)} = 73.03 \text{ } ^\circ\text{C} = 346.18 \text{ K}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1.00 \text{ atm} = 760.00 \text{ mmHg}$$

Komponen	x_D	P^{sat}	K_i	$y_i=K_i.x_D$	$P^{\text{sat}}.x_D$
H ₂ O	0.0054	266.1927	0.3503	0.0019	1.4258
C ₄ H ₆ O ₂	0.9946	762.6811	1.0035	0.9981	758.5961
Total	1.0000			1.0000	760.0218

Menentukan suhu Dew Point pada destilat kolom distilasi

$$\text{Suhu (T)} = 73.22 \text{ } ^\circ\text{C} = 346.37 \text{ K}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1.00 \text{ atm} = 760.00 \text{ mmHg}$$

Komponen	y_D	P^{sat}	K_i	$x_i=y_D/K_i$	$P^{\text{sat}}.x_i$
H ₂ O	0.0054	268.3654	0.3531	0.0152	1.4374
C ₄ H ₆ O ₂	0.9946	767.4681	1.0098	0.9850	763.3574
Total	1.0000			1.0001	764.7948

Menentukan suhu Bubble Point pada Bottom kolom distilasi

$$\text{Suhu (T)} = 100.43 \text{ } ^\circ\text{C} = 373.58 \text{ K}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1.00 \text{ atm} = 760.00 \text{ mmHg}$$

Komponen	x_B	P^{sat}	K_i	$y_i=K_i.x_B$	$P^{\text{sat}}.x_B$
CH ₃ COOH	0.0468	433.9168	0.5709	0.0267	20.3204
H ₂ O	0.9487	771.5559	1.0152	0.9631	731.9912
C ₄ H ₆ O ₂	0.0044	1726.0833	2.2712	0.0101	7.6791
Total	1.0000			1.0000	759.9908

Menentukan suhu Dew Point pada Bottom kolom distilasi

$$\text{Suhu (T)} = 100.94 \text{ } ^\circ\text{C} = 374.09 \text{ K}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 1.00 \text{ atm} = 760.00 \text{ mmHg}$$

Komponen	y_B	P^{sat}	K_i	$x_i=y_B/k_i$	$P^{\text{sat}}.x_i$
CH ₃ COOH	0.0468	441.5959	0.5810	0.0806	35.5911
H ₂ O	0.9487	785.9256	1.0341	0.9174	721.0299
C ₄ H ₆ O ₂	0.0044	1750.6306	2.3035	0.0019	3.3811
Total	1.0000			1.0000	760.0021

e. Menghitung minimum stage kolom destilasi

$$\alpha_{ij} = P_i^{\text{sat}} / P_j^{\text{sat}}$$

$$\alpha_{LD} = 2.8598$$

$$\alpha_{LB} = 2.2275$$

$$\alpha_{L,av} = \sqrt{\alpha_{LD}\alpha_{LB}}$$

$$\alpha_{L,av} = 2.5239$$

$$N_m = \frac{\log[(x_{LD}D/x_{HD}D)(x_{HB}B/x_{LB}B)]}{\log \alpha_{L,av}}$$

$$N_m = 11.434990$$

Neraca Massa Destilasi			
Aliran Masuk (M₈)		Aliran keluar Destilat (M₉)	
Komponen	kg/jam	Komponen	kg/jam
CH ₃ COOH	465.4379	H ₂ O	14.2149
H ₂ O	2842.9705	C ₄ H ₆ O ₂	12612.0477
C ₄ H ₆ O ₂	12675.4249	Jumlah	12626.2626
		Aliran keluar botom (M₁₀)	
		Komponen	kg/jam
		CH ₃ COOH	465.4379
		H ₂ O	2828.7557
		C ₄ H ₆ O ₂	63.3771
Jumlah	15983.8333	Jumlah	3357.5707
Total	15983.8333	Total	15983.8333

Kemurnian vinil asetat yang didapat pada proses destilasi sebesar

$$\% \text{ Kemurnian} = \frac{12612.0477}{12626.2626} \times 100\% = 99.89\%$$