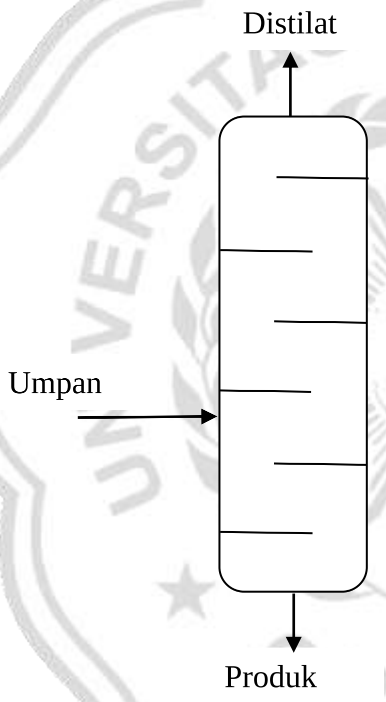
LAMPIRAN

SPESIFIKASI ALAT

MENARA DISTILASI (MD - 01)

Tugas	:	Memisahkan campuran keluaran absorber (ABS-01) sebanyak 30. 978,5940 kg/jam menjadi produk Asam Akrilat sebanyak 2. 717,8966 kg/jam.
Alat	:	Menara distilasi dengan *sieve tray*
Kondisi operasi	:	Tekanan rata – rata : 1,2 atm
		Temperatur atas : 99,9938º C
		Temperatur bawah : 146,0825º C



Data-data sifaf fisis masing-masing komponen.

1. **Data perhitungan**

Tekanan uap untuk mencari kondisi kesetimbangan. Tekanan uap didekati dengan persamaan dari Carl L. Yaws *Second Edition*

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

P (mmHg) = $\log_{10} P = A - (B/T + C)$

dengan : T = suhu K

A, B, dan C = konstanta (Yaws, 2015)

Dengan nilai – nilai konstanta persamaan sebagai berikut:

Tabel 1. Persamaan Antoine dari coulson

Komponen	A	B	C
H2O	8.05573	1723.6425	233.08
CH3COOH	7.27594	1327.1634	183.913
C3H4O2	7.92262	1843.5808	226.609

Persamaan yang digunakan :

$$log\,P\,i = A - \frac{B}{T + C}$$

$$Pi = 10\hat{}Ai - \frac{Bi}{Ci + T}$$

$$K = \frac{Pi}{P}$$

2. **Kondisi operasi umpan**

Dimana : P = 1,2 atm

T = 106,0527 ^oC

Komponen	kg/jam	fi (kgmol/jam)	xi	Pi	Ki=pi/p	yi=xi.Ki
H2O	26. 501,70	1. 472,31	0,9593	1,2371	1,0390	0,9890
CH3COOH	66. 1609	1,1026	0,0	0,6579	0,5482	0,000039
C3H4O2	4. 410,7291	61,2601	0,03991	0,3161	0,2634	0,01052
Total	**30. 978,59**	1.534,6796	1			**0,9999**

3. **Kondisi operasi distilat**

Dimana : P = 1 atm

T = 99,9938 ^oC

Komponen	kg/jam	fi (kgmol/jam)	xi	Pi	Ki=pi/p	yi=xi.Ki
H2O	26.448,7005	1.469,3723	1	0,9999	0,9999	0,9999
CH3COOH	0,06	0,0011	0.00	0,5253	0,5254	0,00
C3H4O2	0,00	0,0000	0.00	0,2495	0,2495	0,00
Total	**26.448,7662**	**1.469,3733**	**1**			**0,9999**

4. Kondisi operasi bottom

Dimana : P = 1,4 atm

T = 146,0825 °C

Komponen	kg/jam	fi (kgmol/jam)	xi	Pi	Ki=pi/p	yi=xi.Ki
H_2O	53,0034	2,9446	0,0451	4,2560	3,0400	0,1371
CH_3COOH	66,0951	1,1016	0,0169	2,3625	1,6875	0,0285
$C_3H_4O_2$	4. 410,7292	61,2601	0,9380	1,2449	0,8892	0,8341
Total	**4. 529,8277**	**65,3063**	**1**			**0,9997**

5 Menentukan Komponen LK-HK

Dipakai persamaan Shiras et.al(Teybal Pers 9.164)

$$DK = \left(\frac{\alpha_i - 1}{\alpha_{lk} - 1}\right)\left(\frac{x_{lk,d}.D}{z_{lk,f}.F}\right) + \left(\frac{\alpha_{lk} - \alpha_i}{\alpha_{lk} - 1}\right)\left(\frac{x_{hk,d}.D}{z_{hk,f}.F}\right)$$

$$F_1 = \left(\frac{\alpha_i - 1}{\alpha_{lk} - 1}\right)\left(\frac{x_{lk,d}.D}{z_{lk,f}.F}\right)$$

$$F_2 = \left(\frac{\alpha_{lk} - \alpha_i}{\alpha_{lk} - 1}\right)\left(\frac{x_{hk,d}.D}{z_{hk,f}.F}\right)$$

$$\boxed{DK = F1 + F2 = \frac{xi, D}{xi, F}}$$

Komponen LK dan HK akan diantara nilai **-0,01 ≤ (xj,d*D/zj,f*F) ≤ 1,01**

LK = H_2O

HK = CH_3COOH

xlk,d . D		zlk,f . F	
=	1.469,3722	=	2,9446
xhk,d . D		zhk,f . F	
=	0,0010	=	1,1015
xair,d . D		zair,f . F	
=	0,00	=	61,2601

Komponen	**Fi, Kmol/Jam**	**Di, Kmol/Jam**	**A Top**	**A Bottom**	**A Avg**
H2O	2,9446	1.469.3722	1,9031	1,8014	1,8611
CH3COOH	1,1015	0.0010	1,00	1,00	1,00
C3H4O2	61,2601	0,00	0,4749	0,5269	0,3866
Total	65,3063	1.469.373			

F1	**F2**	**DK**	**Keterangan**
0,9972	0	0.998	0.01<DK<0.99, terdistribusi
0,0000	0,0050	0.998	0.01<DK<0.99, terdistribusi
0,3671	0,0032	1.58	0.01<DK<0.99, tidak terdistribusi

Evaluasi pendistribusian komponen dengan persamaan *Hengstebeck & Geddes*

log(di/bi) = A + C log(alfa,i)

Komponen	**di, kmol/jam**	**bi, kmol/jam**	**avg**	**di/bi**	**log(di/bi)**	**log(alfa,i)**
H2O	2,9446	1.469.3722	1,8804	499,00	2,6981	0,2676
CH3COOH	1,1015	0.0010	1,00	0,0010	-3,002	0,00
C3H4O2	61,2601	0,00	0,4805	0,00	-9,6168	-0,3008
A =	-3,0090					
C =	21,6671					

Komponen	fi, kmol/jam	A avg	di/bi	di = fi/(bi/di+1)	bi=fi/(di/bi+1)
H2O	1.472,3168	1,8516	37,0260	1.433,5927	38,7242
CH3COOH	1,1026	1,00	18,5681	1.0463	0,0564
C3H4O2	61,2601	0,5003	7,7400	54,2510	7,0091
	1.534,6796			1.488,8900	45,7897

Komposisi di dan bi sama dengan pemisalan, jadi tidak perlu mengubah komposisi feed

6. Menghitung Nmin (dengan Pers. Fenske)

$$N_m = \frac{\log\left[\frac{x_{LK}}{x_{HK}}\right]_d\left[\frac{x_{HK}}{x_{LK}}\right]_b}{\log\alpha_{LK}} =$$

Nmin = 16,6241

7. Menghitung Rmin (dengan pers. Underwood)

Minimum reflux ratio :

Karena umpan berada pada titik didihnya, maka q = 1

Persamaan Underwood

$$\Sigma\frac{\alpha_i . x_{i,d}}{\alpha_i - \theta} = R_m + 1$$

Nilai teta diperoleh dari : umpan dianggap cair jenuh, q = 1

$$\Sigma\frac{\alpha_i . x_{i,f}}{\alpha_i - \theta} = 1 - q$$

$$\Sigma\frac{\alpha_i . x_{i,f}}{\alpha_i - \theta} = 0$$

, $$\Sigma \frac{\alpha_i . x_{i,f}}{\alpha_i - \theta} = 0$$ Coulson hal. 421

Trial nilai θ sehingga persamaan diatas memenuhi.

Komponen	$x_{i,f}$	α_i	θ =	0,4839
H2O	0,9594	1,8612	1,2965	
CH3COOH	0,00	1,00	0,00	
C3H4O2	0,0399	0,3866	-0,1586	
		Σ =	1,1392	

Komponen	$x_{i,d}$	α_i	$\alpha_i.x_{i,d}/(\alpha_i-\theta)$
H2O	1,0000	1,8612	1,3514
CH3COOH	0,0000	1,00	0,00
C3H4O2	0,0000	0,3866	0,00
		Σ =	1,3514

R min =0,3514

R min + 1 =1,3514

R =0,5270

8. Jumlah Plate Teoritis, N

Rm/(Rm+1)=

R/(R+1) =

dari fig. 11.11 Coulson diperoleh : Nm/N = 0,61 halaman 524

N = 6,76

sehingga :

Dipakai : N = 11 stages (termasuk reboiler)

R = 0,527

9. Efisiensi Plate Eo

Efisiensi plate didefinisikan dengan rumus :

$$Eo = \frac{Nteoritis}{Nactual}$$

efisiensi plate diestimasikan dengan persamaan o'connell

E0 = 51 – 32,5.log(mavg.aavg)

dengan : m_{avg} = *molar viscosity dari feed rata-rata, cp*

a_{avg} = *volatilitas relatif rata - rata light komponen*

viskositas cairan sebagai fungsi suhu dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\mu = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2$$

Data dari buku yaws

T = 379,08 K

Komponen	**A**	**B**	**C**	**D**	**Vis (cp)**
H2O	-10,2158	1.792,5000	0,0177	-0,000013	1,08E-01
CH3COOH	-3,8937	784,8200	0,0067	-0,000008	3,64E-05
C3H4O2	-15,9251	2.440,8000	0,0344	-0,000028	2,17E-01

Sehingga efisiensi plate :

E_0 = 51 – 32,5.$log(m_{avg}.a_{avg})$

= 60,99 %

Sehingga jumlah plate actual :

$$Nactual = \frac{Nteoritis}{Efisiensiplate}$$

= 9,4537 stage

= 10 stage

10. Menentukan Feed Locatioan

Menggunakan persamaan Kirkbride : (Coulson, p.422)

$$\log\left(\frac{N_r}{N_s}\right) = 0{,}206\log\left[\left(\frac{B}{D}\right)\left(\frac{x_{f,HK}}{x_{f,LK}}\right)\left(\frac{x_{b,LK}}{x_{d,HK}}\right)^2\right]$$

Jumlah stage termasuk reboiler (Nr + Ns) = 10,4537 stage

log(N/Ns) = -0,2878

Nr/Ns = 0,5154

Nr+Ns = 10,4537

Ns = 6,8983

Nr = 3,5545

feed tray = 4 dari atas

11. Plate Design

Perhitungan sifat fisis

a. Densitas pada suhu distilat : 3709,0527 K

Fase Cair (data dari Yaws)

Komponen	A	B	n	Tc	F, kmol/jam	x	ρL
H2O	0,3471	0,274	0,28571	647,13	1.469,3723	1,0000	796.4332
CH3COOH	0,35182	0,26954	0,26843	615	0,0011	0,0000	394.2507
C3H4O2	0,34645	0,25822	0,30701	592,71	0,0000	0,0000	767.3841
					1.469,3733	1,0000	

ρL_mix = 1020 kg/m^3

Fase gas : P = 1,2 atm

R = 2,025 L.atm/mol. K

Komponen	kmol/jam	y	BM	BM'
H2O	1.354,2010	1,0000	18	74,7334
CH3COOH	0,0013	0,0000	60	0,0000
C3H4O2	0,0000	0,0000	72	0,0000
	1.354,2024			74,7334

ρV_mix = 0,9149 kg/m3

b. Densitas pada suhu

Bottom ; 414,6231 K

pada fase Cair

Komponen	A	B	n	Tc	F,kmol/jam	x	ρL
H2O	0,3471	0,274	0,28571	647,13	2,7138	0.0057	4,2558
CH3COOH	0,35182	0,26954	0,26843	615	0,0846	0,0002	0,1259
C3H4O2	0,34645	0,25822	0,30701	592,71	473,5327	0,9941	705,2180
					476.3312	1	

ρL_mix = 980 kg/m^3

Fase Gas ; P = 1 atm

Komponen	kmol/jam	y	BM	BM'
H2O	2,7138	0.0057	18	0,1025
CH3COOH	0,0846	0,0002	60	0,0031
C3H4O2	473,5327	0,9941	72	17,8942
	476.3312	1		71,5304
ρV _mix=	1,6062	g/L	1,6062	kg/m3

1. Flow Rate

F = 1.534,68 kmol/jam

W	=	65,3063	kmol/jam
Asumsi	:		
Vd	=	Vw	(equimolar)
Maka	:		
Lb	=	W + Vw	
	=	2.243,8065	+ 65,3063
	=	2.309,1128	kmol/jam

Fraksi Mol pada Bagian Bottom

Komponen	Xw	Yw
H2O	0,0451	0,9999
CH3COOH	0,0169	0,00
C3H4O2	0,9380	0,00

Fraksi mol (Xw) pada fase cair (Lb) dihitung dengan persamaan berikut:

$$Yw = \frac{Lb}{Vw}(Xw1) - \frac{W}{Vw}(Xw)$$

$$0{,}0451 = \frac{65{,}3065}{2.243{,}1128}(Xw1) - \frac{65{,}3063}{2.243{,}8065}(0{,}999)$$

$$0{,}0451 = 1{,}0291(Xw1) - 0{,}0291(Xw)$$

$$Xw = 0{,}0729$$

Melalui perhitungan sebelumnya diperoleh hasil fraksi mol masing-masing komponen *liquid* pada bagian *bottom* sebagai berikut:

Komponen	Xw
H2O	0,0720
CH3COOH	0,01639
C3H4O2	0,9115
Total	1

Setelah diperoleh massa mol total *liquid* (Lb) dan *vapor* (Vw) masing-masing fraksi mol, hasil tersebut akan dikalikan dengan fraksi mol masing-masing komponen pada bottom (W).

Neraca Massa Bottom Menara

Komponen	Lb (kg/jam)	W (kg/jam)	Vw (kg/jam)
H2O	40. 441,4905	53.0034	40.388,4871
CH3COOH	66,1959	66.0951	0,.1004
C3H4O2	4.410,7292	4.410,7292	0,00
Total	**44. 981,415**	**4.529,8277**	**40.388,5875**

2. Psycal Properties

distilat :

ρV = 0,9149 kg/m3

ρL = 1020 kg/m3

bottom :

ρV = 1,6062 kg/m3

ρL = 980 kg/m3

3. Column Diameter

Liquid-vapor flow factor (Coulson, p. 460)

F_{LV} distilat = 0,0087

F_{LV} bottom = 0,0224

Plate spacing 0,6 m antara 0.3-0.6 (RK sinnot, P.448)

nilai K1 dari Fig 11.27

K1,distilat 0,08

K1,bottom 0,051

Flooding vapor velocity (Coulson, p. 459)

u_f top = 3,1341 m/s

u_f bottom = 1,5290 m/s

Design percent flooding at maximum flow rate = 0,82

u_v top = 2,5699 m/s

u_v bottom = 1,2637 m/s

Maximum volumetric flow-rate

distilat 17,1705

bottom 10,4706

Net area required

distilat 6,6811

bottom 8,3512

As first trial take percent downcomer

Area = 0,12

Column cross-sectioned area

Top = 7,5992 m^2

Bottom = 9,4900 m^2

Column diameter

top = 3,1085 m

bottom = 3,4769 m

selisih 0,3684

karena selisih diameter yang kecil antara diameter atas dan bawah sehingga disamakan diameternya antara atas dan bawah yaitu

column diameter =

top = 3,1085 m

bottom = 3,4769 m

4. Liquid Flow Pattern

Maximum volumetric liquid rate = 0,0039 m^3/s

Dari Fig. 11.28 (Coulson, p.460) maka alirannya adalah cross flow (single pass).

5. Provisional Plate Design

column diameter Dc =	3,4769	m
column area Ac =	9,4986	m2
downcomer area Ad =	1,1398	m2
net area An = Ac - Ad	8,3588	m2
active area Aa = Ac - 2Ad	7,2190	m2
hole area Ah,ambil 10 % dari Aa sebagai first trial	0,7219	m2
Weir length (Fig. 11.31 Coulson p. 464) untuk (A_d/A_c) x100 =	12	%

l_w/D_c = 0,77

l_w = 2,6772 m

Ambil weir height = 40 mm

hole diameter = 3,5 mm

plate thickness = 3,5 mm

6. Check Weeping

maximum liquid rate 3,8721 kg/s

Pada percent turn down = 0,75 , min. liquid rate = 2,9041 kg/s

Dengan Francis weir formula dapat dihitung weir liquid crest (Coulson, p. 463) :

$$h_{ow} = 750 \left(\frac{L_w}{\rho_L l_w} \right)^{2/3}$$

max h_{ow} = 9,7219 mm liquid

min h_{ow} = 8,0252 mm liquid

Pada minimum rate $h_w + h_{ow}$ = 48,02 mm

Fig. 11.30 (Coulson, p.462) : K_2 = 30,2

Minimum design vapor velocity

$$\breve{u}_h = \frac{K_2 - 0{,}9(25{,}4 - d_h)}{\rho_V^{\frac{1}{2}}}$$

= 10,134

Actual minimum vapor velocity = minimum vapor rate/Ah

= 10,878 m/s

Memenuhi syarat, karena diatas weep point.

= 10,134 actual > uhmin 10,878

7. Plate Pressure Drop

Plate Pressure Drop

Dry plate drop

Maximum vapor velocity through holes

u_h = 14,504 m/s

Fig. 11.34 (Coulson, p. 467) untuk plate thickness/hole diameter = 1 dan $A_h/A_p \approx A_h/A_a$ = 0,1, maka :

C_o = 1,09

Pressure drop through dry plate (coulson 468)

$$h_d = 51\left(\frac{u_h}{C_o}\right)^2 \frac{\rho_v}{\rho_L} =$$ 9,8734 mm liquid

$$h_r = \frac{12{,}5 \times 10^3}{\rho_L} =$$ 12,7551 mm liquid

Total pressure drop (coulson 468)

$$h_t = h_d + (h_w + h_{ow}) + h_r =$$ 72,3504 mm liquid

Pressure drop per plate = 72,3504 mm liquid

$$\Delta P_t = 9{,}81 \times 10^{-3} \times h_t \times \rho_L$$

Coulson hal. 467

ΔPt = total plate pressure drop, pa

ht = total plate pressure drop, mm liquid

Pa = 0,133 K.Pa

8. Downcomer Liquid Back-up

Downcomer pressure loss

Ambil h_{ap} = h_w - 10 = 35 mm

Area under apron, A_{ap} = $h_{ap}.l_w$ = 0,09 m^2

A_d = 0,1144 M^2

Karena $A_{ap} < A_d$ maka Aap digunakan dalam persamaan :

$$h_{dc} = 166 \left(\frac{L_{wd}}{\rho_L A_m} \right)^2 = 0{,}2951 \text{ mm}$$

Back-up in downcomer = 122,3675 mm

9. Check Entrainment

Actual percentage flooding for design area

u_v = 0,8192 m/s

percent flooding = 82 %

10. Plate specification

Plate no.	1	
Plate ID	3,4769	m
Hole size	3,5	mm
Hole pitch	9,73	mm
Total no. holes	-	
Active holes	75071	
Blanking area	8,7767	
Turn down	0,75	max rate
Plate material	stainless steel	
Downcomer material	stainless steel	
Plate spacing	0,45	m
Plate thickness	3,5	mm
Plate pressure drop	72,3504	mm liquid

jumlah hole $= \dfrac{Ah}{Luas\ Penampang\ Hole}$ = 183,9 m^2

Mechanical Design :

1. **Spesifikasi Menara**

   Tinggi = (jumlah stage actual - 1 stage reboiler).plate spacing + disengangement + tinggi ruang cairan di bawah

   = 8,5 m

   Diameter = 137,138 in

2. **Penentuan Kondisi Design, Berdasarkan Drownell**

   a. Bahan : Carbon Steel SA 283 Grade C

      f = 12650 psi = 12635,30 psia

   b. Suhu Design

      T operasi = 400,5000 K

   c. Tekanan Design

      P operasi = 1,5028 atm = 22,0851 psi

      P design = 1,2

      P operasi = 26,5021 psi

      Diambil nilai C = 0,125 in dan E = 0,8

3. **Tebal Shell**

   Data perhitungan :

   P operasi = 1,4 atm

   P design = 5,88 psig

   Material Stainless Steel SA 167 Grade 11 (alasan pemilihan material : tahan terhadap korsifitas dan memiliki struktur yang kuat)

   f = 17900 psia

   c = 0,2 in

   E = 0,8

   D = 4,2463 m

   R = 2,1231 m

   $t = \frac{P.ri}{f.E-0,6P} + c$ = 0,2002 in

4. Tebal Head

OD = ID + (2 x ts)

OD =

Dari Tab

$w = \frac{1}{4}\left[3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}}\right]$ = 1,7706

$th = \frac{0{,}885 P.rc}{f\varepsilon - 0{,}1.P} + c$ = 0,2596

5. Tinggi Head (hH)

OA = th + b + sf OA = 17,06 in

6. Tinggi Tangki

Efisiensi tray (Eo) =

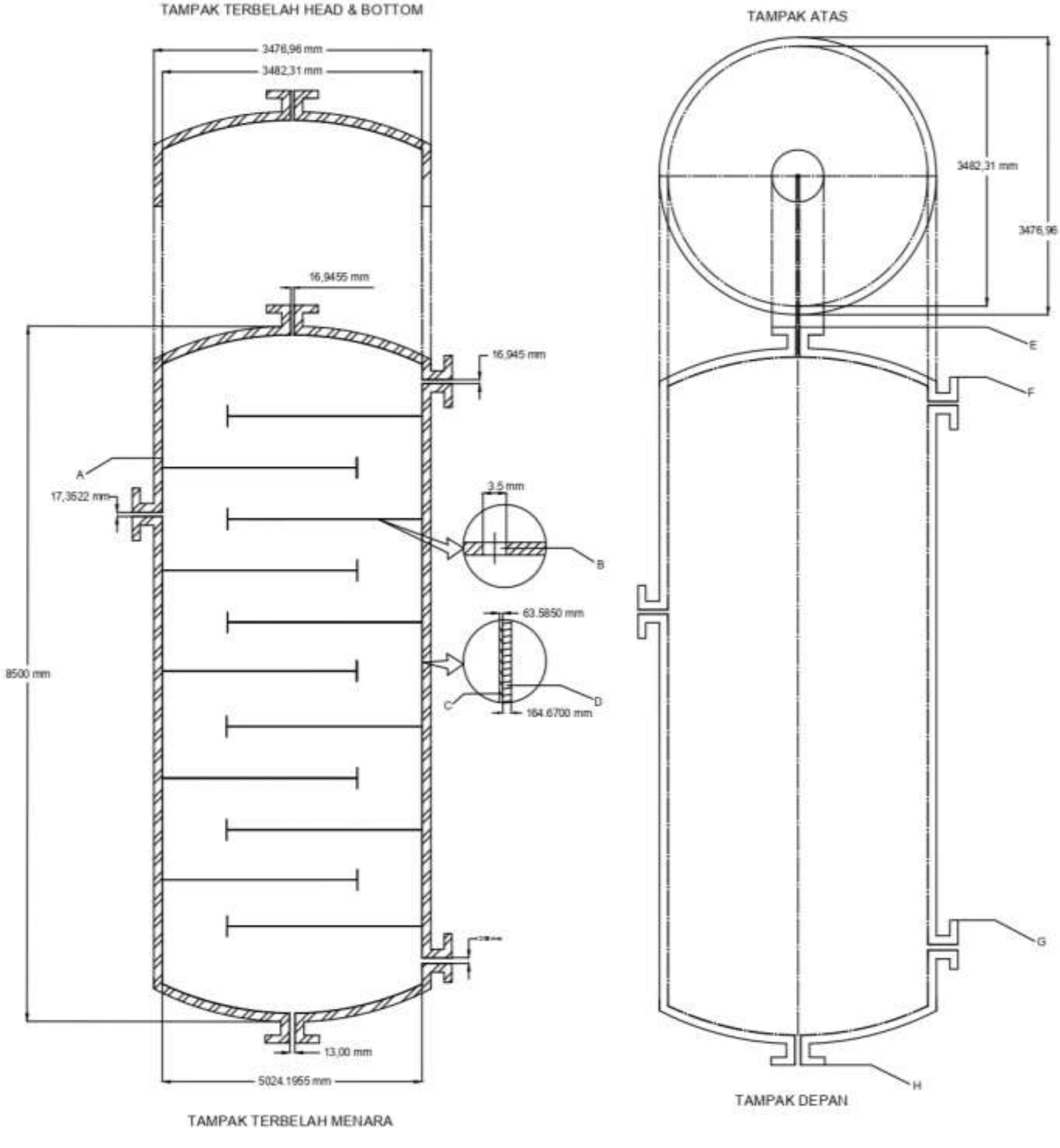
$H = \frac{[\text{ N1.Tray spacing 1+. Tray spacing 2}]}{\text{EmV}} =$

$$H = \frac{1}{4} x\ ID$$

He atas :

He bawah :

Ht = H + (He atas + He bawah) = 8,5 m



A : Plate
B : Diameter Hole
C : Tebal Isolasi
D : Tebal Menara Distilasi
E : Pipa Distilat Top Menara
F : Pipa Cairan Reflux Top Menara
G : Pipa Reflux Reboiler Bottom Menara
H : Pipa Cairan Keluaran Bottom Menara