BAB VI
PERANCANGAN ALAT UTAMA

Nama Alat	:	Kolom Destilasi
Kode	:	D-130
Fungsi	:	Memisahkan produk dari impurities melalui perbedaan titik didih
Type kolom	:	Silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk standar dished
Type tray	:	Sieve tray

Dasar perencanaan prancangan

- Tekanan operasi : 1 atm
- Feed masuk, q : 1
- Suhu feed masuk : 80 ^oC
- Kolom destilasi dilengkapi kondensor reflux dan reboiler parsial

Direncanakan

- Bahan konstruksi : Stainless Steel SA 240 Grade M 240 type 316
  f = 18750 (Brownell,1959. App D-4)
- Jenis pengelasan : Double welded butt joint
  E = 0,8 (Brownell,1959. tabel 13-2)
- Faktor korosi : 1/16 = 0,0625 in

a. Menentukan jumlah plate

Menghitung minimum stage kolom destilasi

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

α_{LD} = 4,0589

α_{LB} = 3,5012

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

$\alpha_{L, av}$ = 3,7698

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

N_m = 8,7898 ≈ 9

Dari Appendiks A diperoleh data sebagai berikut:

Rm = 2,079

$$\frac{Rm}{Rm + 1} = \frac{2,079}{2,079 + 1} = 0,675$$

R = 3,119

$$\frac{R}{R+1} = \frac{3,119}{3,119 \quad + 1} = 0,757$$

Memplotkan nilai R/ R+1 dan Rm/Rm+ pada figure 11.7-3 Geankoplis halaman 688 didaptkan Nm/N adalah 0,55

Nm/N = 0,55

sehingga,

$$\frac{8,5245}{N} = 0,55$$

N = 15,50 ≈ 16 buah

b. Menentukan letak umpan masuk

Dari App. A diperoleh:

X_{HF} = 0,0446

X_{LF} = 0,3002

X_{HD} = 0,0446

X_{LB} = 0,0054

D = 150,4040 kmol/jam

B = 116,4610 kmol/jam

$$\log \frac{Ne}{Ns} = 0,206 \log \left(\left(\frac{X_{HF}}{X_{LF}} \right) \cdot \frac{B}{D} \cdot \left(\frac{X_{LB}}{X_{HD}} \right)^2 \right)$$

$$\log \frac{Ne}{Ns} = 0,206 \log \left(\left(\frac{0,0446}{0,3002} \right) \cdot \frac{116,4610}{150,4040} \cdot \left(\frac{0,0054}{0,0446} \right)^2 \right)$$

$$\log \frac{Ne}{Ns} = -0,57023$$

$$\frac{Ne}{Ns} = 0,269$$

Sehingga,

Ne + Ns = 16,00 ≈ 16

Ns = 12,6

Ne = 3,39 = 4

Jadi feed masuk pada plate ke 4 dari bawah

c. Menentukan distribusi beban massa pada kolom

Dari App B, diperoleh:

Enriching

V = 472,8675 kmol/jam

L = 483,6965 kmol/jam

Exchausting

V' = 472,2686 kmol/jam

L' = 750,7092 kmol/jam

- Dari App A, diperoleh:

Komponen	X_F	X_D	X_B	Y_F	Y_D	Y_B	BM
C_3H_6O	0,14784	0,32746	0,00267	0,14784	0,32746	0,00267	46,0684
CH_3COOH	0,04456	-	0,07976	0,04456	-	0,07976	32,043
$C_4H_8O_2$	0,30017	0,66484	0,00543	0,30017	0,66484	0,00543	60,052
H_2O	0,30017	0,00672	0,53735	0,30017	0,0067	0,5374	18,0152
H_2SO_4	0,20726	-	0,37478	0,20726	-	0,3748	98,08
Total	1,000	0,999	1,000	1,000	0,9990	1,0000	254,259

- Perhitungan beban destilasi

Bagian	Uap			Liquid		
	kmol/jam	BM	kg//jam	kmol/jam	BM	kg/jam
Enriching						
Atas	472,867	55,1314	26069,8	483,697	73,032	35325,4806
Bawah	472,867	27,75	13122,1	483,697	68,5909	33177,1634
Exchausting						
Atas	472,867	27,75	13122,1	750,709	68,5909	51491,7966
Bawah	472,867	3,00502	1420,97	750,709	62,736	47096,8631

Berdasarkan perhitungan, beban destilasi terletak pada enriching bagian atas dan pada exchausting bagian bawah

V' = 26069,8422 kg/jam

L' = 51491,7966 kg/jam

- Perhitungan densitas campuran. Dimana densitas vapor =

P = 1 atm

T = 353,150 K

$$\rho_V = \frac{BM \times T \times P}{V \times T_i \times P_0} = \frac{55{,}1314 \times 273{,}15 \times 1}{472{,}87 \times 353{,}150 \times 1}$$

ρ_V = 0,0902 lb/ft^3

= 0,001 g/cm^3

= 0,00003 mol/cm^3

- Perhitungan densitas berdasarkan pers. *Carl and Yaws*

Density = $A \times B^{-(1-T/Tc)^{\wedge}n}$ T = 80 ^oC = 353,150 K

Komponen	a	b	n	Tc	$(1-T/Tc)^n$
C_2H_5OH	0,2657	0,2640	0,2367	516,25	0,7613
CH_3COOH	0,3518	0,2695	0,2684	592,71	0,7841

$C_4H_8O_2$	0,3065	0,2586	0,2780	523,3	0,7317
H_2O	0,3471	0,2740	0,2857	647,13	0,7982
H_2SO_4	0,4126	0,1935	0,2857	925	0,87162

(Pers. *Carls and Yaws Density of Liquid)*

Komponen	x_F	ρ(lb/ft^3)	$\rho L = \rho . x_F$		
			lb/ft^3	g/cm^3	mol/cm^3
C_2H_5OH	0,1478	45,7261	6,7604	0,1083	0,0016
CH_3COOH	0,0446	61,4002	2,7358	0,0438	0,0006
$C_4H_8O_2$	0,3002	51,4897	15,4556	0,2476	0,0036
H_2O	0,3002	60,8981	18,2797	0,2928	0,0043
H_2SO_4	0,2073	107,809	22,3445	0,3579	0,0052
Total	**0,793**	**219,514**	**43,2315**	**0,6925**	**0,0101**

- Menentukan *Surface Tension* bahan (t)
  Tabel 2-402 hlm 2-373 Perry 7th

Atom	Kontribusi
C	9
H	15,5
H dalam OH	10
O	19,8

Dari App A, diperoleh:

ΣP.Xi = 760 mmHg
= 14,6959 psia
= 1013249,1 dyn/cm^2

- Menghitung *Surface Tension*

$\sigma^{1/4}$ = Σxi.P (xi - ρ_L) (Pers 2.169 perry'6th,hlm 2-375)
= 1013249,1 (1 - 0,010096)
= 1003019,51 dyne/cm
σ = 31,6466 dyne/cm

Jadi bahan tegangan permukaan didaptkan sebesar 31,6466 dyne/cm

d. Menaksir diameter tray dan tray spacing kolom destilasi

Laju alir uap V = 26069,8422 kg/jam
= 11825,0197 lb/jam

$$V = \frac{11825,0197 \text{ lb/jam}}{0,0902 \text{ lb/ft}^3} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}}$$

= 36,4249 ft^3/s

Dengan menggunakan persamaan 3-1 dan 3-2 (Kusnarjo, 2012)

$$d_t = 1{,}13 \sqrt{\frac{V}{G}} = 1{,}13 \sqrt{\frac{11825{,}0197}{G}}$$

$$G = C \sqrt{\rho_V (\rho_L - \rho_V)} = C \sqrt{0{,}0902 \left(43{,}2315 - 0{,}0902 \right)}$$

Diasumsikan biaya untuk satu bagian tray, sebagai berikut:

- Silinder/Shell : Rp. 50.000 $/ft^2$
- Tray/Plate : Rp. 40.000 $/ft^2$
- Down comer : Rp. 35.000 $/ft^2$

Silinder = $(\pi.d_t.T).Rp$

Tray = $((\pi/4).d_t^2 - A_d).Rp$

Down comer = $(W_d.T).Rp$

Dari gambar 3.6, grafik hubungan surface tention dan faktor C (Kusnarjo, 2012)

Tray spacing : 10 - 36 in

Surface tention, σ : 31,6466 dyn/cm

Untuk menaksir harga satu bagian tray, dari gambar 3.4 diasumsikan sebagai berikut:

Lw/d_t = 75%

A_d = 55%

W_d = 12%

T	C	G	d_t	Biaya tiap bagian tray (Rp)			Total biaya
ft		lb/ft^2	ft	Silinder	Tray	Down comer	Rp.
0,83	150	295,9	10,6	1387228	3510939	3498,60	4901665,6
1	275	542,4	7,83	1229935	1905058	4200,00	3139192,6
1,25	225	443,8	8,66	1699680	2333293	5250,00	4038223,0
1,5	525	1035,5	5,67	1335242	987411	6300,00	2328953,5
1,67	570	1124,3	5,44	1423864	907721	7000,14	2338585,0
2	660	1301,8	5,06	1587839	780941	8400,00	2377180,0
2,5	720	1420,1	4,84	1900300	714029	10500,00	2624829,4
3	760	1499,0	4,71	2219540	675291	12600,00	2907430,6

Satu bagian tray termurah terletak pada T = 1,5 dengan harga d_t = 5,7 ft

≈ 1,5 ft

= 18 in

e. Menentukan tipe aliran

Laju alir liquid = 51491,7966 kg/jam

= 23356,1640 lb/jam

$$L = \frac{23356,1640 \text{ lb/jam}}{60 \text{ menit/jam}} \times \frac{7,48 \text{ gal/ft}^3}{48,5 \text{ lb/ft}^3}$$

L = 60,0358 gpm

L_{max} = 1,3 L

= 78,047 gpm

Sehingga dari gambar 3.8, didapatkan tipe aliran "cros flow"

f. Pengecekan terhadap liquid head (hd)

Syarat desain kolom yang baik, yaitu hd < 1

$$h_{ow\ max} = \left(\frac{Q_{max}}{2,98\ L_w}\right)^{2/3} \quad \text{dan} \quad h_{ow\ min} = \left(\frac{Q_{min}}{2,98\ L_w}\right)^{2/3}$$

$h_{l\ max}$ = $h_w + h_{ow\ max}$ dan $h_{l\ min}$ = $h_w + h_{ow\ min}$

Q_{max} = 1,3 x L = 1,3 x 60,0358 = 78,047 gpm

Q_{min} = 0,7 x L = 0,7 x 60,0358 = 42,025 gpm

Tinggi weir (h_w) sebesar 1,5 - 3,5 in, dimana pada desain ini diambil:

Tinggi weir (h_w) = 3 in

Maka didapatkan harga sebagai berikut:

L_w/d_t	55%	60%	65%	70%	75%	80%
L_w	9,9	10,8	11,7	12,6	13,5	14,4
$h_{ow\ max}$	1,91279	1,80499	1,7112	1,62871	1,5555	1,48999
$h_{ow\ min}$	1,26601	1,19466	1,13258	1,07799	1,02953	0,98617
h_w	3	3	3	3	3	3
$h_{l\ max}$	4,91279	4,80499	4,7112	4,62871	4,5555	4,48999
$h_{l\ min}$	4,26601	4,19466	4,13258	4,07799	4,02953	3,98617

Karena h_l mempunyai harga sebesar 2,0 in - 4,0 in, maka dari tabel diatas diambil optimasi L_w/d_t sebesar = 75%

$h_w - h_c$ = ½

Maka,

h_c = 2,5 in

A_{dc} = $L_w \times h_c$ luas donw comer clearace

= 1,125 x 0,20833 ft

= 0,234375 ft^2

Untuk L_w/d_t = 75% dari gambar 3.4 (Kusnarjo, 2012) diperoleh harga:

A_d = 10,3% A_t

$= 10{,}3\% \times \pi/4 \cdot d_t^2$

$= 4{,}96217324 \ ft^2$

Dari A_{dc} dan A_d diambil nilai yang terkecil, sehingga $A_p = A_d$ 4,96217324 ft^2 maka:

$$h_d = 0{,}03 \left(\frac{Q_{max}}{100\ A_p}\right)^2 = 0{,}03 \left(\frac{78{,}047}{100 \times 4{,}96}\right)^2 = 0{,}0007 \ ft$$

$= 0{,}00891$ in

Karena $h_d = 0{,}00891$ in < 1 in maka tinggi liquid head memenuhi syarat

g. Pengecekan terhadap harga tray spacing (T)

Dari hasil desain L_w/d_t = 75% dan d_t = 1,5 ft

Maka dari tabel 3.1 (Kusnarjo, 2012) didapatkan lebar down comer (W_d) sebesar:

$W_d = 12\%\ d_t = 12\% \times 1{,}5 = 0{,}18$ ft

$= 2{,}16$ in

Lebar calming zone (W_s) dan End wastage (W_w) diambil masing-masing sebesar 3 in maka,

$$x = \frac{d_t}{2} - \frac{W_d + W_s}{12} = \frac{1{,}5}{2} - \frac{0{,}18 + 3}{12} = 0{,}49 \ ft$$

$$r = \frac{d_t}{2} - \frac{W_w}{12} = \frac{1{,}5}{2} - \frac{3}{12} = 0{,}50 \ ft$$

$$Aa = 2\left(x \sqrt{r^2 - x^2} + r^2 \sin^{-1} \frac{x}{r} \right) \quad \text{actif area}$$

$$= 2 \ 0{,}49 \sqrt{0{,}50^2 - 0{,}49^2} + \left(0{,}49^2 \sin^{-1} \frac{0{,}49}{0{,}50}\right) = 0{,}74 \ ft$$

Untuk bentuk Δ $= \dfrac{A_o}{A_a} = \dfrac{0{,}9065}{n^2}$

n	2,5	3	3,5	4	4,5
A_a	0,74136	0,74136	0,74136	0,74136	0,74136
A_o	0,10753	0,07467	0,05486	0,042	0,03319

Untuk n = 2,5

$V_{max} = 1{,}3\ V$

$= 1{,}3 \times 36{,}4249$

$= 47{,}3523 \ ft^3/s$

$$U_{o\,max} = \frac{V_{max}}{A_o} = \frac{47{,}3523}{0{,}10753} = 440{,}376 \ ft/s$$

$A_c = A_t - A_d$

$= 254,34 - 13,9887$

$= 240,351 \ ft^2$

$$h_p = 12\left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)1,14\left(\frac{U_o^2}{2.g_c}\right)\left(0,4\left(1,25 - \frac{A_o}{A_c}\right) + \left(1 - \frac{A_o}{A_c}\right)^2\right)^2$$

$$= 12\left(\frac{0,09}{43,2}\right)1,14\left(\frac{440,376^2}{2 \times 32,2}\right)\left(0,4\left(1,25 - \frac{0,11}{240}\right) + \left(1 - \frac{0,11}{240}\right)\right)$$

$= 0,33343433 \ in$

$$h_r = \frac{31,2}{\rho_L} = \frac{31,2}{43,2315} = 0,7217 \ in$$

$h_l = h_w + h_{ow\,max} = 3 + 1,489989 = 4,490 \ in$

$h_t = h_p + h_r + h_l = 0,33 + 0,33 + 4,49 = 5,157 \ in$

$h_b = h_t + h_l + h_d = 5,157 + 4,490 + 0,0007 = 9,648 \ in$

Pengecekan terhadap T tinggih spacing

$T \geq 2\,h_b - h_w$

$18 \ in \geq 2 \times 9,648 - 3$

$18,0 \ in \geq 13 \ in$

Kesimpulan: Tray spacing hasil rancangan memenuhi syarat

h. Pengecekan Weeping

Syarat: hpm > hpw

$V_{min} = 0,7 \ V$

$= 0,7 \times 36,4249$

$= 25,4974 \ ft^3/s$

$$U_{o\,min} = \frac{V_{min}}{A_o} = \frac{25,4974}{0,10753} = 237,126 \ ft/s$$

$$hpm = 12\left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)1,14\left(\frac{U_o^2}{2.g_c}\right)\left(0,4\left(1,25 - \frac{A_o}{A_c}\right) + \left(1 - \frac{A_o}{A_c}\right)^2\right)^2$$

$$= 12\left(\frac{0,09}{43,2}\right)1,14\left(\frac{440,376^2}{2 \times 32,2}\right)\left(0,4\left(1,25 - \frac{0,11}{240}\right) + \left(1 - \frac{0,11}{240}\right)\right)$$

$= 128,804 \ in$

$hpw = 0,2 + 0,05 \times 4,490$

$= 0,4245 \ in$

hpm ≥ hpw, maka stabilitas tray dan weeping memenuhi syarat

$$e = 0,22\left(\frac{73}{\ }\right)\left(\frac{Uc}{\ }\right)^{3,2}$$

$$e = 0{,}22\left(\frac{\ }{\sigma}\right)\left(\frac{\ }{Te}\right)$$

$$= 0{,}22\left(\frac{73}{31{,}6466}\right)\left(\frac{0{,}19701}{6{,}77503}\right)^{3,2}$$

= 0,00001

Dimana,

e_0 = 0,1

Maka,

$$\frac{e_0}{e} = \frac{0{,}1}{0{,}00001} = 16260 \geq 1$$ maka disimpulkan tidak terjadi entrainment

k. Menentukan dimensi kolom

Jumlah tray aktual	=	16 buah
Jumlah tray total	=	tray aktual + 1 tray kondensor
	=	17 buah
Jarak antar tray, T	=	18 in
Tinggi shell	=	Jumlah tray total x Jarak antar tray
	=	17 x 18
	=	306 in ≈ 25,5 ft
di shell	=	18 in ≈ 1,5 ft
Total hl dalam shell	=	Jumlah tray total x hl
	=	17 x 4,49
	=	76,3 in ≈ 6,36 ft

l. Menentukan tekanan desain (pi)

$$Ph = \frac{\rho\,(H-1)}{144}$$

$$= \frac{43{,}2315\,(6{,}361 - 1)}{144}$$

= 1,60942

P operasi = 1 atm

= 14,7 psi

Pi = P operasi + Ph

= 14,7 + 1,6094

= 16,3094 psi

= 1,6094 psig

m. Menghitung tebal silinder (t_s)

$$\text{Tebal shell } (t_s) = \frac{Pi.di}{2(f.E-0{,}6\ Pi)} + C$$

$$= \left(\frac{16{,}3094 \times 18}{\ }\right) + 0{,}0625$$

$$= \left(\frac{\quad}{2 \quad 18750 \quad x \quad 0,8 \quad - \quad 0,6 \quad x \quad 1,6094} \right) + 0,0625$$

$$= 0,07229 \quad x \quad \frac{16}{16}$$

$$= \frac{1,1566}{16} \Leftrightarrow \frac{3}{16}$$

Standarisasi do & di

do = di + $2t_s$

= 18 + 0,3750

= 18,375 in ⇨ 18 ft (Brownell,1959. tabel 5-7, hal 89)

di = do - $2t_s$

= 18 - 0,375

= 17,625 in ≈ 18 ft

n. Menentukan dimensi tutup atas dan bawah

- Tebal tutup atas (tha)

$$tha = \frac{0,885 \times Pi \times di}{f.E - 0,1\ Pi} + C$$

$$= \left(\frac{0,885 \quad x \quad 0,0000 \quad x \quad 17,6250}{18750 \quad x \quad 0,8 \quad - \quad 0,1 \quad x \quad 17,6250} \right) + 0,0625$$

$$= 0,0625 \quad in \quad x \quad \frac{16}{16}$$

$$= \frac{1,0000}{16} \Leftrightarrow \frac{3}{16}$$

- Tinggi tutup atas (ha)

ha = 0,169.di

= 0,169 x 17,6

= 2,97863 in ≈ 0,248 ft

- Tinggi tutup bawah (hb)

hb = 0,169.di

= 0,169 x 17,6

= 2,9786 in ≈ 0,24822 ft

Tinggi kolom = Tinggi shell + ha + hb

= 18 + 2,97863 + 2,9786

= 23,957 in ≈ 2 ft = 0,6085 m

O. Perancangan Nozzle

Nozzle pada kolom distilasi dibagi menjadi lima macam yakni :

- Nozzle liquid masuk
- Nozzle gas keluar top atas
- Nozzle refluks
- Nozzle liquid keluar bottom kolom

- Nozzle uap reboiler

Dari App A diperoleh :

Komponen	F	V	Lo	L'	V'
	(kg/jam)	(kg/jam)	(kg/jam)	(kg/jam)	(kg/jam)
C_2H_5OH	328,35	3,2835	1043,4371	3,2865	21,1534
CH_3COOH	128,9951	127,7051	4,1406	127,7051	822,7199
$C_4H_8O_2$	1275,1589	12,7516	4052,2251	12,7515	82,1501
H_2O	260,6957	258,0887	8,3681	258,0887	1662,6954
TOTAL	**1993,1997**	**401,8289**	**5108,1709**	**401,8318**	**2588,7188**

1. Nozzle feed masuk

Rate massa = 4394,2479 lb/jam

ρ_L = 43,2315 lb/ft^3

$$Q = \frac{m}{\rho_L} = \frac{4394,2479}{43,2315} = 101,6445 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$= 0,0282$ ft^3/s

$di_{optimal} = 3,9\, Q^{0,45} \rho^{0,13}$ (Timmerhaus, 1991)

$= 3,9 \times 0,0282^{0,45} \times 43,232^{0,13}$

$= 1,27812$ in $\approx$ 1,2 in

2. Nozzle top kolom

Rate massa = 11287,0144 lb/jam

ρ_L = 43,2315 lb/ft^3

$$Q = \frac{m}{\rho_L} = \frac{11287,0144}{43,2315} = 261,0830 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$= 0,0725$ ft^3/s

$di_{optimal} = 3,9\, Q^{0,45} \rho^{0,13}$

$= 3,9 \times 0,0725^{0,45} \times 43,232^{0,13}$

$= 1,95404$ in $\approx$ 1,8 in

3. Nozzle refluks

Rate massa = 11261,5757 lb/jam

ρ_L = 43,2315 lb/ft^3

$$Q = \frac{m}{\rho_L} = \frac{11261,5757}{43,2315} = 260,4946 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$= 0,0724$ ft^3/s

$di_{optimal} = 3,9\, Q^{0,45} \rho^{0,13}$

$= 3{,}9 \times 0{,}0724^{0,45} \times 43{,}232^{0,13}$

$= 1{,}95205$ in $\approx$ 1,8 in

4. Nozzle bottom kolom

Rate massa = 885,8864 lb/jam

ρ_L = 43,2315 lb/ft^3

$$Q = \frac{m}{\rho_L} = \frac{885{,}8864}{43{,}2315} = 20{,}4917 \ ft^3/jam$$

$= 0{,}0057 \ ft^3/s$

$di_{optimal} = 3{,}9 \ Q^{0,45} \rho^{0,13}$

$= 3{,}9 \times 0{,}0057^{0,45} \times 43{,}232^{0,13}$

$= 0{,}62172$ in $\approx$ 1 in

5. Nozzle uap reboiler

Rate massa = 5707,1412 lb/jam

ρ_L = 43,2315 lb/ft^3

$$Q = \frac{m}{\rho_L} = \frac{5707{,}1412}{43{,}2315} = 132{,}0134 \ ft^3/jam$$

$= 0{,}0367 \ ft^3/s$

$di_{optimal} = 3{,}9 \ Q^{0,45} \rho^{0,13}$

$= 3{,}9 \times 0{,}0367^{0,45} \times 43{,}232^{0,13}$

$= 1{,}43767$ in $\approx$ 1,4 in

Dari *Brownell & Young, fig. 12.3* didapat dimensi flange untuk semua nozzel dilpilih nozzle dipilih flange standart type slip on dengan dimensi:

Nozzle	NPS	A	T	R	E	L	B
1	1,2	5	1 1/16	2 7/8	2 2/16	7/8	1,97
2	1,8	6	3/4	3 5/8	3 1/16	1	2,44
3	1,8	6	3/4	3 5/8	3 1/16	1	2,44
4	1	4 1/2	3/16	2	1 13/16	1 1/16	1,38
5	1,4	5	5	2 7/8	2 2/16	7/8	1,97

Keterangan

NPS : Ukuran nominal pipa

A : Diameter luar flange, in

T : Tebal minimal flange, in

R : Diameter luar bagian yang menonjol, in

E : Diameter hubungan, in

L : Panjang hubungan, in

B : Diameter dalam flange, in

p. Sambungan antar tutup dengan shell

Untuk mempermudah pemeliharaan dan perbaikan dari kolom destilasi, maka tutup menara dihubungkan dengan bagian shell menggunakan sistem flange dan bolting.

- Flange
  - Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA-336 Grade F8 type 304
  - Allowable stress : 16881 (Brownell,1959. App D-4)
  - Tensile stress min : 75000 psia
  - Type Flange : Ring Flange Loose Type
- Bolting
  - Bahan konstruksi : High Alloy steel SA-193 Grade B8 type 321
  - Allowable stress : 15000
  - Tensile stress min : 75000 psia
- Gasket
  - Bahan konstruksi : Solid Flat Metal Iron hal: 228
  - Gasket faktor (m) : 5,5
  - Y : 18000

1. Menentukan lebar gasket (W_G)

$$\frac{do}{di} = \sqrt{\frac{y-p.m}{y-p(m+1)}} = \sqrt{\frac{18000 - 14,7 \times 5,5}{18000 - 14,7 \left(\times 5,5 + 1\right)}}$$

$= 1,00041$

dimana, di = 18 in (do shell = di gasket)

maka, d_{OG} = 18,007 in

$$W_{G\ min} = \frac{d_{OG} - di}{2} = \frac{18,007 - 18}{2} = \frac{0,06}{16} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

$\approx$ 0,1875 in

$d_{rata\text{-}rata}$ (G) = di + W_G = 18 + 0,1875 = 18,2 in

= 1,52 ft = 0,5 m

2. Menentukan jumlah dan ukuran baut
   - Beban agar gasket tidak bocor H_Y

Wm_2 = H_Y = b.π.G.y (Brownell, 1959, pers. 12.88)

Dari fig. 12.12, didapatkan lebar seating gasket bawah

$$bo = b = \frac{N}{2} = \frac{0,1875}{2} = 0,09375 \text{ in}$$

sehingga,

H_Y = 0,09375 x 3,14 x 18,1875 x 18000

= 96371,0156 lb

- Beban tanpa tekanan (H_P)

H_P = 2.b.π.G.m.P (Brownell, 1959, pers. 12.90)

= 2 x 0,09375 x 3,14 x 18,1875 x 5,5 x 14,7

= 865,7330 lb

- Beban baut karena internal pressure (H)

$$H = \frac{\pi.G^2.P}{4}$$ (Brownell, 1959, pers. 12.89)

$$= \frac{3,14 \times 18,1875^2 \times 15}{4}$$

= 3894,995215 lb

- Total beban pada kondisi operasi

Wm_1 = H_P + H = 865,7330 + 3894,995215

= 4760,7282 lb

$Wm_1 < Wm_2$ (maka Wm_2 digunakan sebagai pengontrol)

3. Menentukan luas bolting minimum area

$$A_m = \frac{Wm_2}{f b} = \frac{96371,0156}{15000} = 6,42473438 \text{ in}^2$$

4. Menentukan bolting minimum

Dari Brownell 1959, tabel 10.4 diperoleh:

Ukuran baut = 1

Root area = 0,551 in^2

$$\text{Bolting min} = \frac{A_m}{\text{Root area}} = \frac{6,42473}{0,551} = 11,6601 \approx 12 \text{ buah}$$

Bs = 2 1/4 in

R = 1 3/8 in

E = 1 1/16 in

C = di shell + 2 (1,4159.go + R)

$$go = t_s = \frac{2}{16} = 0,125 \text{ in}$$

maka, C = 17,625 + 2 x (1,4159 x 0,125 + 1,375)

= 20,729 in

do flange = C + 2E = 20,729 + 2 x 1,0625

= 22,854 in

$$\frac{n \times Bs}{3,14} = \frac{12 \times 2\ 1/4}{3,14} = 8,5987 \text{ in} < 12$$

Memenuhi

- Cek lebar gasket

A_b aktual = Jumlah bolt x root area

$= 12 \times 0{,}551$

$= 6{,}612 \ in^2$

$W_{G\,min} = \dfrac{A_b \text{ aktual} . F}{2.\pi.Y.G}$

$= \dfrac{6{,}612 \times 16881}{2 \times 3{,}14 \times 18000 \times 18{,}1875}$

$= 0{,}05429 \ in \leq 0{,}0625 \ in$ (memenuhi syarat)

$W_G = 0{,}05429 \times \dfrac{16}{16} = \dfrac{0{,}86865}{16} \approx \dfrac{3}{16}$ in

5. Menghitung moment

- Untuk keadaan bolting up (tanpa tekanan dalam)

$W = \dfrac{(A_m + A_b)F}{2}$ (Pers.12.94, "Brownell & Young", hal.242)

$= \dfrac{(6{,}42473 + 6{,}612) \times 15000}{2}$

$= 97775{,}5078$ lb

- Jarak radial dari beban gasket terhadap bolt circle (hg)

$hg = \dfrac{C - G}{2}$ (Brownell, 1959, pers. 12.101)

$= \dfrac{20{,}729 - 18{,}1875}{2}$

$= 1{,}27074$ in

- Moment flange (Ma)

$Ma = hg . W = 1{,}2707 \times 97775{,}508 = 124247{,}00$

Dalam keadaan operasi maka, $W = Wm_2 = 96371{,}0156$ lb

- Moment dan Force pada daerah dalam flange (H_D)

$H_D = 0{,}785B^2.P$ (Brownell, 1959, pers. 12.96)

$= 0{,}785 \times 18^2 \times 14{,}7$

$= 3738{,}7980$ lb

Radial bolt circle pada aksi H_D

$h_D = \dfrac{C - B}{2}$

$= \dfrac{20{,}729 - 18}{2}$

$= 1{,}36449$ in

- Moment M_D

$M_D = H_D.h_D$

$= 3738{,}7980 \times 1{,}36449$

= 5101,5431 lbin

H_G = W - H (Brownell, 1959, pers. 12.98)

= 97775,5078 - 3894,9952148

= 93880,5126 lb

M_G = $H_G.h_G$ (Brownell, 1959, pers. 12.98)

= 93880,5126 x 1,27074

= 119297,4879 lbin

H_T = H - H_D (Brownell, 1959, pers. 12.97)

= 3894,995215 - 3738,7980

= 156,1972 lb

$h_T = \frac{h_D + h_G}{2}$ (Brownell, 1959, pers. 12.102)

$= \frac{1,36449 + 1,27074}{2}$

= 1,31761 in

- Moment M_T

M_T = $H_T.h_T$

= 156,1972 x 1,31761

= 205,81 lbin

Moment total pada keadaan operasi

M_O = $M_D + M_G + M_T$

= 5101,5431 + 119297,4879 + 205,81

= 124604,8384 lbin

5. Menentukan tebal flange (t_F)

A = 22,854 in

B = 18 in

$K = \frac{22,854}{18} = 1,26967$ in

Dari Brownell 1959, fig. 12.22 dengan nilai K = 1,26967 in diperoleh nilai Y

Y = 9

Sehingga tebal flange,

$$t_F = \sqrt{\frac{Y \cdot M_{max}}{f \cdot B}} = \sqrt{\frac{9 \times 5101,5431}{15000 \times 18}}$$

$$= 0,41237 \times \frac{16}{16} = \frac{7}{16} \approx 0,41 \text{ in} = 1 \text{ in}$$

q. Menentukan penyangga

Penyangga dirancang untuk menahan beban kolom destilasi dan perlengkapannya.

Beban-beban yang ditahan oleh kolom penyangga terdiri dari:

a. Berat bagian shell

- Berat shell
- Berat tutup

b. Berat kelengkapan bagian dalam
- Berat downcomer
- Berat tray

c. Berat kelengkapan bagian luar
- Berat pipa
- Berat attachment seperti nozzle, valve dan alat kontrol

1. Perhitungan beban yang harus ditahan kolom penyangga

a. Berat Shell

Tebal shell	=	0,1875	in	0,01563	ft							
Tinggi Shell	=	18	in	1,5	ft							
Keliling Shell	=	π x do shell	=	3,14	x	18	=	56,5	in	=	5	ft
Luas shell	=	Keliling x Tebal	=	4,71	x	0,02	=	0,07	ft^2			
Volume Shell	=	Luas x Tinggi	=	0,07	x	1,5	=	0,11	ft^3			
ρ_{steel}	=	487	lb/ft^3	(Perry's 6th tabel 3-118)								

Berat shell (W_s) = V shell x ρ_{steel}
= 0,11039 x 487
= 53,7602344 lb

b. Berat tutup

W_{di} = A . t . ρ_{steel}

A = 6,28 Rc . h (Hesse pers. 4.16)

Dimana,

Wd	:	Berat tutup standart dished					
A	:	Luas tutup standart dished					
t	:	Tebal tutup standar dished	=	0,1875	in	=	0,01563
Rc = di	:	Jari-jari tutup	=	18750,0	in	=	1562,5
ha	:	Tinggi tutup atas	=	2,9786	in	=	0,24822
hb	:	Tinggi tutup bawah	=	2,9786	in	=	0,24822

Maka,

A_a = 6,28 x 1562,5 x 0,24822
= 2435,65 ft^2

A_b = 6,28 x 1562,5 x 0,24822
= 2435,65 ft^2

Wd_a = 2435,65 x 0,01563 x 487
= 18533,7 lb

Wd_b = 2435,65 x 0,01563 x 487
= 18533,7 lb

Berat tutup total

W_{tu} = Wd_a + Wd_b
= 18533,7 + 18533,7
= 37067,5 lb

c. Berat down comer

Dipakai dasar perhitungan dengan downcomer tanpa aliran uap

A_{dc} = 0,23438 ft^2

Volume = A_{dc} . Tebal shell
= 4,96217 x 0,01563 = 0,07753 ft^3

Berat 1 plate = Volume . ρ_{steel}
= 0,07753 x 487 = 37,759 lb

W_{dc} = Berat 1 plate x Jumlah plate
= 37,759 x 17 = 641,904 lb

d. Berat tray

$$A_t = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 18 = 254,34 \ ft^2$$

Volume = A_t . Tebal shell
= 254,34 x 0,01563 = 3,97406 ft^3

Berat 1 tray = Volume . ρ_{steel}
= 3,97406 x 487 = 1935,37 lb

W_t = Berat 1 tray x Jumlah plate
= 1935,37 x 17 = 32901,3 lb

e. Berat liquida

W_l = 4394,248 lb

f. Berat pipa

Pipa yang ada mencakup untuk feed, uap, reboiler, kondensor dan bottom produk

Ditetapkan panjang pipa 2 kali tinggi kolom destilasi

Panjang pipa = 2 x 1,996 = 3,99288 ft

Diambil rata-rata pipa 1,5 in sch 40 dengan berat 2,718 lb/ft

W_p = 3,99288 x 2,718 = 10,8526 lb

g. Berat attachment

Berat attachement meliputi nozzle, valve dan alat kontrol

W_a = 18% W_s
= 18% x 53,7602 = 9,67684 lb

Berat total yang harus ditopang penyangga

W_{total} = $W_s + W_{tu} + W_{dc} + W_t + W_l + W_p + W_a$

= 75079,1996 lb

r. Perencanaan skirt support

Sistem penyangga yang digunakan adalah skirt support

Tinggi support = 2 ft ≈ 24 in

- Menentukan tebal skirt

Stress karena angin

H = 2 + Tinggi kolom

= 2 + 1,996 = 4,00 in

$$f_{wb} = \frac{15{,}89 \left(\frac{do + di}{2}\right) H^2}{do^2 \cdot t}$$ (Brownell, 1959, pers. 9.20)

$$= \frac{15{,}89 \left(\frac{18 + 18}{2}\right) 4{,}00^2}{324 \times t}$$

$$= \frac{14{,}0992965}{t}$$

Stress dead weight

$$f_{db} = \frac{\Sigma W}{\pi \cdot do \cdot t}$$ (Brownell, 1959, pers. 9.6)

$$= \frac{75079{,}1996}{3{,}14 \times 18 \times t}$$

$$= \frac{1328{,}3652}{t}$$

Stress kompresi maksimum

$f_{c\,max}$ = 0,125 E (t/do) cos α

dimana, E concrete = 2000000 psi (Brownell 1959, hal 183)

$f_{c\,max}$ = 0,125 x 2000000 (t / 18)

= 13888,8889 t

$f_{c\,max} = f_{wb} + f_{db}$ (Brownell, 1959, pers. 9.80)

$$13888{,}8889\ t = \frac{14{,}0992965}{t} + \frac{1328{,}3652}{t}$$

$$t = \sqrt{\frac{1342{,}46}{13888{,}8889}}$$

= 0,3109 in

s. Menentukan bearing plate

Dari Brownell 1959, tabel 10.1 hal 184 diperoleh

f_c = 3000 psi

$f_{c\ max}$ = 1200 psi
n = 10
fs allowable untuk strukturalsteel skirt = 45000 psi
di = 17,625 in

Ditetapkan:
di bearing plate = 18
do bearing plate = 1,15 x 18
= 20,7 in ≈ 1,7 ft
Jumlah chair = 4 (Brownell 1959, tabel 10.5)
Jumlah bolt = 12
Luas bolt = 0,55 ft^2
Dari pers. 9.11, Brownell 1959
$P_W = 0{,}0025\ V_W^2$
Dimana,
P_W : tekanan angin pada permukaan alat (lb/ft^2)
V_W^2 : kecepatan angin = 100 mph
Maka,
$P_W = 0{,}0025 \times 100^2$
$= 25\ lb/ft^2$

$$M_W = \frac{1}{2}\ P_W \cdot H^2\ \frac{di + do}{2}$$

M_W : bending moment pada puncak kolom (lb.ft)

$$M_W = \frac{1}{2}\ 25 \times 0{,}33^2\ \frac{18{,}0 + 18{,}0}{2}$$

= 24,96 lbft

$$t_3 = \frac{(do - di)\ bearing}{2}$$

$$= \frac{20{,}7 - 18{,}00}{2}$$

= 1,35 in
Diperkirakan fc = 1200 psi

$$K = \frac{1}{1 + \left(\frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$ (Brownell, 1959, pers. 10.3)

= 0,40

$$fc\ (bolt\ circle) = f_{c\ max}\ \frac{2 \cdot K \cdot do}{2 \cdot K \cdot do \cdot t_3}$$

$$= 1200 \times \frac{2 \times 0,4 \times 1,15}{2 \times 0,4 \times 1,15 \times 1,35}$$

$= 888,889 \leq 1200$ (memenuhi)

Dari Brownell 1959, tabel 10.2, hal 186

Untuk harga K = 0,4 maka,

Cc = 1,765

Ct = 2,224

z = 0,416

j = 0,783

$$\text{Tensile load (Ft)} = \frac{Mw - Mdw . z . d}{j . d}$$

$$= \frac{24,9555 - 75079,20 \times 0,416 \times 1,5}{0,783 \times 1,5}$$

$= 39867,5735$ lb

$$t_1 = \frac{\text{Jumlah baut . Root area}}{\pi . 1,25}$$

$$= \frac{12 \times 0,55}{3,14 \times 1,25}$$

$= 1,68459$ in

Relation ship pada tension side

$Ft = fs . t_1 . r . Ct$ (Brownell, 1959, pers. 10.9)

$$fs = \frac{Ft}{t_1 . r . Ct}$$

$$= \frac{39867,5735}{1,68459 \times 20,7 \times 2,224}$$

$= 514,069$ psi

$Fc = Ft + Wdw$ (Brownell, 1959, pers. 10.27)

$= 39867,574 + 75079,1996$

$= 114946,7731$ lb

Kompresive stress sesunguhnya pada bolt circle (fc)

$t_2 = t_3 - t_1$

$= 1,35 - 1,68459$

$= -0,33459$ in

$$fc = \frac{Fc}{(t_2 + nt_1) . r . Cc}$$ (Brownell, 1959, pers. 10.8)

$$= \frac{114946,7731}{\left(-0,33459 + 10 \times 1,68459\right) \times 20,7 \times 1,765}$$

$= 190,547$

Pengecekan harga K

$$K = \frac{1}{1 + \left(\frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$= 0,99722$

$$f_{c\,max} = fc\ (\text{bolt circle}) \ \frac{2 \cdot K \cdot do \cdot t_3}{2 \cdot K \cdot do}$$

$$= 190,5466 \times \frac{2 \times 0,99722 \times 20,7000 \times 1,35}{2 \times 0,99722 \times 20,7}$$

$= 257,238 \leq 1200$ (memenuhi)

Dari Brownell 1959, tabel 10.4 hal 188 didapatkan ukuran baut 1 dengan dimensi

Bolt circle = 2 1/4

Nut dimension = 1 5/8

Bearing plate yang digunakan tipe eksternal bolting chair, pada plate dipasang compressing ring agar lebih kuat

Ditetapkan tinggi gusset = 12 in

Bearing plate diperkuat dengan 8 buah gusset yang mempunyai spasi yang sama

Dari gambar 10.6, Brownell 1959, hal 191, diperoleh:

Lebar gusset (A) = 9 + 1,5 = 10,5

Jarak antar gusset (b) = 8 + 1,25 = 9,25

Luas area bolt (Ab) = 0,55 ft^2

Beban bolt (P) = fs . Ab = 514,0691 x 0,55 = 283,252 lb

L = do bearing - do shell

= 20,7 - 18,375 = 2,33 in

$$\frac{b}{L} = \frac{9,25}{2,325} = 3,978$$

Dari Brownell 1959, tabel. 10.4, hal 188, didapat

e = 2 / 2 = 1

μ = poison rasio = 0,3 (untuk steel)

γ_1 = 0,565

Maksimum bending (My)

$$My = \frac{P}{4\pi}\left(\left(1 + \mu\right)\ln\left(\frac{21}{\pi e}\right) + \left(1 - \gamma_1\right)\right)$$

$$My = \frac{283,2521}{4 \times 3,14} \times \left(\left(1 + 0,3\right)\ln\left(\frac{21}{3,14 \times 1}\right) + \left(1 - 0,565\right)\right)$$

$= 65,5221$ lb in

$$t_5 = \sqrt{\frac{6 \cdot My}{f_{max}}} = \sqrt{\frac{6 \times 65,5221}{45000}} = 0,09347 \text{ in}$$

$= \frac{1,49549}{16} \approx \frac{3}{16}$

$t_4 = \sqrt{\frac{6 . My}{(t_3 - bhd)f_{max}}} = \frac{6 \times 65,5221}{(1,35 - 1,25) \times 45000}$

$= 0,296 = \frac{4,73}{16} \approx \frac{5}{16}$

$t_6 = \frac{3}{8} t_5 = \frac{3}{8} \times \frac{3}{16} = 0,07031 \text{ in} = \frac{1,125}{16} \approx \frac{3}{16}$

t. Dimensi anchor bolt
- Panjang = 12 in
- Diameter = 4 in
- Jumlah = 12 buah

u. Dimensi pondasi

Podasi ter dari beban dengan kandungan air 6 US gal per 94 lb sak semen

(Brownell 1959, tabel 10.1, hal 184)

Beban total yang harus ditahan pondasi
- Berat beban bejana total
- Berat kolom penyangga
- Berat base plate

Ditentukan
- Masing-masing kolom penyangga diberi pondasi
- Spesifikasi pondasi didasarkan atas berat beban setiap kolom penyangga pada sisitem pondasi
- Spesifikasi semua penyangga sama

Beban yang ditanggung penyangga = 75079,1996 lb

Beban tiap penyangga = berat x tinggi

= 35 lbin x 24 in

= 840 lb

W = 75919,1996 lb

Gaya yang bekerja pada pondasi dianggap sebagai gaya vertikal berat total kolom, sedangkan bidang kerja dianggap bujur sangkar dengan perencanaan ukuran:

Luas tanah untuk atas pondasi = Luas pondasi atas

= 40 x 40 = 1600 in^2

Luas tanah untuk dasar pondasi = luas pondasi bawah

= 60 x 60 = 3600 in^2

Tinggi pondasi (t) = 24 in

Luas rata-rata (A) = $0,5 \times (40^2 + 60^2)$

= 2600 in^2

Volume pondai (V_P) = A . t

	=	2600	x	24
	=	62400	in^3	
Densitas untuk gravel	=	126	lb/ft^3	(Perry's 6th tabel 3-118)

Maka,

W pondasi	=	V . ρ		
	=	36,1109	x	126
	=	4549,97	lb	

Asumsi:

Tanah atas pondasi berupa cement sand & garvel dengan minimum safe bearing power 5 ton/ft^3 dan maksimum safe bearing power = 10 ton/ft^3.

(Hesse, tabel 12.2 hal 224)

Berat total keseluruhan

W total	=	75919,1996	+	4549,97
	=	80469,1705	lb	

Tekanan dari sistem pondasi terhadap luas tanah (P)

$$P = \frac{W\ total}{A} = \frac{80469,1705}{2600} = 30,9497\ lb/in^2$$

Acuan harga safety didasarkan pada minimum bearing power yaitu:

6000 kg/ft^2 = 91,8617 lb/in^2

Tekanan terhadap tanah = 30,9497 $\leq$ 91,9 lb/in^2 (pondasi dapat digunakan)

v. Spesifikasi kolom destilasi

1. Silinder/shell
   - Diameter dalam : 17,625 in
   - Diameter luar : 18,375 in
   - Tinggi : 306 in
   - Tebal : 0,1875 in
   - Bahan konstruksi : Stainnless Steel SA 240 Grade M type 316
2. Tutup Atas dan Tutup Bawah
   - Crown radius : 17,625 in
   - Tinggi tutup atas : 2,97863 in
   - Tinggi tutup bawah : 2,9786 in
   - Tebal : 0,1875 in
   - Bahan konstruksi : Stainnless Steel SA 240 Grade M type 316
3. Tray
   - Jumlah tray : 17 buah
   - Tebal tray : 0,1875 in
   - Susunan pitch : Segitiga
   - Bahan konstruksi : Stainnless Steel SA 240 Grade M type 316
4. Down comer
   - Lebar : 2,160 in

- Luas : 0,23438 ft^2
- Bahan konstruksi : Stainnless Steel SA 240 Grade M type 316

5. Nozzle
   - Diameter feed masuk : 1,2 in
   - Diameter top kolom : 1,8 in
   - Diameter refluks : 1,8 in
   - Diameter bottom : 1,0 in
   - Diameter reboiler : 1,4 in
6. Flange dan Gasket
   - Diameter Flange : 22,9 in
   - Tebal Flange : 18,2 in
   - Bahan konstruksi : high Alloy steel SA-336 Grade F8 type 304
   - Lebar Gasket : 0,1875 in
   - Diameter Gasket : 18,1875 in
   - Bahan konstruksi : Solid Flat Metal Iron
7. Baut
   - Ukuran Baut : 1,00 in
   - Jumlah baut : 12 buah
   - Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 193 Grade B8t type 321
8. Skirt Support
   - Tinggi : 24 in
   - Tebal : 0,3109 in
   - Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
9. Bearing plate
   - Type : Eksternal Bolting Chair
   - Diameter dalam : 17,6 in
   - Tebal : 0,3125 in
   - Jumlah : 8 buah
   - Bahan konstruksi : Carbon Steel SA 135 Grade B
10. Anchor Bolt
    - Panjang : 12 in
    - Diameter : 4 in
    - Jumlah : 8 buah
11. Pondasi
    - Luas pondasi atas : 1600 in^2
    - Luas pondasi bawah : 3600 in^2
    - Tinggi pondasi : 24 in
    - Bahan konstruksi : Cement, Sand and Gravel