BAB VI
PERANCANGAN ALAT UTAMA

Nama Alat : Kolom Destilasi
Kode Alat : D-130
Fungsi : Untuk memurnikan etilen diklorida 99%
Tipe Kolom : Silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk standard
Tipe Tray : Sieve Tray

Dasar Perancangan

Tekanan Operasi : 1 atm
Suhu Feed Masuk : 79,7 C = 176 F
Rate Feed Masuk : 8946,7895 kg/jam
Kolom destilasi dilengkapi kondensor reflux dan reboiler

Direncanakan:

Bahan Konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
f = 18750 (Brownell, App D-4)
Jenis Pengelasan : Double Welded But Joint
E = 0,8 (Brownell, tabel 13.2)
Faktor Korosi : 0,0625 in

Perhitungan:

a. Menghitung jumlah plate minimum (Nm)

$\alpha ij = \frac{\text{Pi sat HK}}{\text{Pi sat LK}} = \frac{\text{Ki}}{\text{K HK}}$

αLD = 1,20252
αLB = 1,23543
αLK = (αLD (GK Pers. 11.7-13)
= 0,74282

Dari App A diperoleh

XLD = 0,99532 XHW = 0,97491
XHD = 0,00468 XLW = 0,02117
αav = 1,21898

$$Nm = \frac{\log (XLK\ D/XHK\ D)\ (XHK\ B/XLK\ B)}{\log\ \alpha v}$$

$$= \frac{\log\ 9801}{\log\ 1{,}21897566}$$

$$= \log\ 8040{,}35742$$

$= 6{,}93289$

$= 7$ stage

Menghitug reflux minimum

$$Rm + 1 = \sum \frac{\alpha_i x_{iD}}{\alpha_i - \theta}$$

Rm +1 = 1,121

Rm = 0,121

R = 0,1815 x Rm

= 1,5 x 0,121

= 0,1815

Memplotkan nilai R/ R+1 dan Rm/Rm+1 pada figure 11.7-3 Geankoplis

Didapatkan nilai Nm/N adalah =

Sehingga jumlah stage (N) teoritis adalah:

$$\frac{Nm}{N} = 0{,}34$$

$$N = \frac{Nm}{0{,}34}$$

$$= \frac{7}{0{,}34}$$

= 20,588 stage

= 21 stage

b. Menentukan letak umpan masuk

Penentuan umpan masuk menggunakan metode Kikibride

Didapatkan dari App A

X HF	=	0,3171			
X LF	=	0,68164	W	=	90,6286 kmol/jam
X LW	=	0,02117	D	=	190,819 kmol/jam
XHD	=	0,00468			

(GK Pers. 11.7-21)

$$\log\frac{Ne}{Ns} = 0{,}206\log\left[\left(\frac{x_{HF}}{x_{LF}}\right)\left(\frac{W}{D}\right)\left(\frac{x_{LW}}{x_{HD}}\right)^2\right]$$

= 0,206 log 0,4652 0,47494 20,4846

= 0,206 log 20,4846

= 0,206 x 1,31143

= 0,27015

$\frac{Ne}{Ns}$ = 1,86275

Sehingga:

Ne = 1,86275 Ns

Substitusi persamaan Ne

N = Ne + Ns

21 = 1,86275 Ns + Ns

= 2,86275 Ns

Ns = 7,33561 = 8 bawah

Ne = 13,6644 = 14 atas

Jadi, feed masuk pada plate ke 9 dari atas atau ke 5 dari bawah

c. Menentukan distribusi beban massa pada kolom

Dari App A diperoleh:

- Aliran uap masuk kondensor (V)

  V = 225,453 kgmol/jam

  = 497,034 lbmol/jam

- Aliran keluar kondensor (L)

  L = 34,6337 kgmol/jam

  = 76,3535 lbmol/jam

- Aliran liquid masuk reboiler (L')

  L' = 316,082 kgmol/jam

  = 696,834 lbmol/jam

- Aliran uap keluar reboiler (V')

  V' = 225,453 kgmol/jam

  = 497,034 lbmol/jam

Enriching

V = 497,034

L = 76,3535

Exhausting

V = 497,034

L = 696,834

Komponen	BM	Xf	Yf	Xd	Yd	Xb	Yb
$C_2H_4Cl_2$ (HK)	99	0,3171	0,27911	0,00468	0,00394	0,97491	0,97185
H_2O	18	0,00126	0,00058	0	0	0,00392	0,00212
C_2H_6O (LK)	46,1	0,68164	0,72033	0,99532	0,99607	0,02117	0,02607
Total		1	1,00002	1	1,00001	1	1,00004

Enriching

- Bagian Atas

BM Liquid

= (Xd C2H4Cl2 x BM) + (Xd H2O x BM) + (Xd C2H6O x BM)

= 0,46284 + 0 + 45,8545

= 46,3174 lb/ lbmol

BM Uap

= (Yd C2H4Cl2 x BM) + (Yd H2O x BM) + (Yd C2H6O x BM)

= 0,38973 + 0 + 45,8889

= 46,2786 lb/ lbmol

- Bagian Bawah

BM Liquid

= (Xf C2H4Cl2 x BM) + (Xf H2o x BM) + (Xf C2H6O x BM)

= 31,3803 + 0,02274 + 31,403

= 62,8061 lb/ lbmol

BM Uap

= (Yf C2H4Cl2 x BM) + (Yf H2O x BM) + (Yf C2H6O x BM)

= 27,6204 + 0,01052 + 33,1854

= 60,8163 lb/ lbmol

Exhausting

- Bagian Atas

BM Liquid

= (Xf $C_2H_4Cl_2$ x BM) + (XF H_2O x BM) + (Xf C_2H_6O x BM)

= 31,3803 + 0,02274 + 31,403

= 62,8061 lb/ lbmol

BM Uap

= (Yf $C_2H_4Cl_2$ x BM) + (Yf H_2O x BM) + (Yf C_2H_6O x BM)

= 27,6204 + 0,01052 + 33,1854

= 60,8163 lb/ lbmol

- Bagian Bawah

BM Liquid

= (Xb $C_2H_4Cl_2$ x BM) + (Xb H_2O x BM) + (Xb C_2H_6O x BM)

= 96,4773 + 0,07061 + 0,97522

= 97,5232 lb/ lbmol

BM Uap

= (Yb $C_2H_4Cl_2$ x BM) + (Yb H_2O x BM) + (Yb C_2H_6O x BM)

= 96,1744 + 0,03825 + 1,20104

= 97,4137 lb/ lbmol

Perhitungan Beban Destilasi

Bagian	Uap			Liquid		
	lbmol/jam	BM	lb/jam	lbmol/jam	BM	lb/jam
	Enriching					
Atas	497,034	46,3	23002,1	76,3535	46,3	3536,49
Bawah	497,034	60,8	30227,8	76,3535	62,8	4795,46
	Exhausting					
Atas	497,034	60,8	30227,8	696,834	62,8	43765,4
Bawah	497,034	97,4	48417,9	696,834	97,5	67957,4

Berdasarkan perhitungan diatas, beban destilasi terletak pada exhausting bagian atas

V' = 30227,7917 lb/ lbmol BM = 60,8163289

L' = 43765,3845 lb/ lbmol BM = 62,8060528

d. Perhitungan Densitas Campuran

Densitas Vapor

P = 1 atm

T = 79,7 C = 353

$$pV = \frac{BM \times T0 \times P}{Vo \times Ti \times Po}$$

$$= \frac{60{,}8 \times 273 \times 1}{359 \times 353 \times 1}$$

= 0,13111 lb/ ft3

= 0,0021 g/cm3

= 0,03364 kg/cm3

Densitas Liquid

Densitas = A x B -1(1-T/Tc)n   T = 356,832 K

Komponen	A	B	n	Tc
$C_2H_4Cl_2$ (HK)	0,46501	0,29	0,31	561
H_2O	0,3471	0,27	0,29	647,13
C_2H_6O (LK)	0,2657	0,26	0,24	516,25

Komponen	Massa (Kg/jam)	Massa lb/jam	ρ (g/cm^3)	ρ (lb/ft3)	ρ (mol/m^3)	massa ρ (lb/ft3)
$C_2H_4Cl_2$ (HK)	1,121	2,47136	0,54753	34,1825	0,34542	0,0723
H_2O	0,121	0,26676	0,425	26,5329	1,47282	0,01005
C_2H_6O (LK)	1,5	3,3069	0,29704	18,5445	0,40253	0,17832
Total	2,742	6,04501	1,26958	79,2599		0,26068

$$\rho L = \frac{\text{Massa Total}}{\sum(\text{Massa komponen}/\ \rho\ \text{komponen})}$$

$$= \frac{6{,}04501}{0{,}26068}$$

= 23,1898 lb/ft3

= 0,37145 g/cm3

= 0,00591 mol/cm3

= 0,09474 kg/cm3

e. Menentukan Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan dapat dihitung dengan persamaan Sudgen

$$\sigma = \left[\frac{P_{ch}(\rho_L - \rho_v)}{M}\right]^4 x\ 10^{-12}$$ (Coulson persamaan 8.23)

Keterangan:

σ = Teganan permukaan (dyne/cm)

P = Sudgen, s parachor

ρL = Densitas liquid (kg/m3)

ρV = Densitas uap (kg/m3)

M = Berat molekul (kg/kmol)

Tabel 2-402 hal 2-373 perry 7th

Atom	Kontribusi
C	9
H	10
N	17,5
O	19,8
Cl	55,2

Komponen	P	M	Xi	Xi,P
C2H4Cl2	168,4	89,312692	0,11572	19,488
H2O	39,8	490,6124896	0,6357	25,3007
C2H6O	97,8	191,8468418	0,24858	24,3111
Total	306	771,7720234	1	69,0998

$$\sigma = \sum xi.Pi\ (Xi - \rho L)$$

= 69,0998 x (1 - 0,00591)

= 69,0998 x 0,99409

= 68,6911 = 2,87889 dyne/cm

f. Menaksir diameter tray dan tray spacing kolom destilas

Besar diameter kolom (dt) dapat ditaksir menggunakan persamaan

$$d_t = 1{,}13\sqrt{\frac{V_m}{G}} \qquad G = C\sqrt{\rho v\,(\rho l - \rho v)}$$

Keterangan:

Vm = Laju alir massa uap maksimum (lb/jam)

G = Laju alir massa maksimum uap (lb/jam ft2)

Sehingga:

$$V = \frac{V'}{\rho V} = \frac{30227{,}7917 \text{ lb/jam}}{0{,}13110909 \text{ lb/ft3}} = 230554{,}504 \text{ ft/jam} = 64{,}0429177 \text{ ft3/s}$$

Vm = 1,3 x V'
= 1,3 x 30227,7917 lb/jam
= 39296,12916 lb/jam

Dengan memasukkan harga C untuk berbagi harga Tray Spacing (T) antara 10 in sampai 36 in akan didapatkan berbagai harga G dan dt untuk mencari dt yang paling optimal, sementara diambil Lw/d = 0,6 dengan harga Ad = 0,055 At seperti yang ter;ihat pada gambar 3.4

Apabila asumsi biaya untuk satu bagian tray, sebagai berikut:

- Silinder = 50000 ft/2
- Tray = 40000 ft/3
- Down Come = 35000 ft/4

Biaya untuk satu bagian taray, terdiri dari biaya:

- Shell = (π dt T) x Rp / ft2
- Plate/ Tray = ((π/4).di2- At) x Rp./ft2
- Down Come = Wd T x Rp./ft2

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

- Tray Spacing = 10 - 36 in
- Surface Tension = 2,87889 dyne/cm

Berikut merupakan tabel harga berbagai diameter kolom dan biaya satu bagian tray untuk berbagi tray spacing : 10 - 36

T	C	G	dt	Biaya setiap bagian tray			total biaya
(in)		(lb/ft2)	(ft)	Silinder	Tray	Down comer	(Rp)
10	60	104,3242396	21,93111518	2869320,903	15072904,73	70362,32788	18012587,96
12	115	199,9547926	15,84117606	2487064,642	7849932,774	60988,52784	10397985,94
15	240	417,2969584	10,96555759	2151990,677	3745971,433	52771,74591	5950733,857
18	300	521,621198	9,807892874	2309758,772	2990842,547	56640,58135	5357241,9
20	346	601,6031151	9,132681071	2389718,214	2589271,116	58601,37021	5037590,699
24	410	712,882304	8,389660999	2634353,554	2180460,327	64600,38969	4879414,27
30	415	721,5759906	8,338967719	3273044,83	2153832,214	80262,5643	5507139,609
36	480	834,5939169	7,753820132	3652049,282	1858149,217	89556,62253	5599755,122

Diameter Tray Optimal ditetapkan dari harga total tray termurah, yaitu:

dt = 8,33897 ft = 100,068 in

T = 30 in = 2,5 ft

g. Menentukan tipe aliran

Untuk laju alir liquida : 43765,3845 dengan ρL = 23,1898264 lb/ft3

$$L = \frac{43765{,}4 \text{ lb/jam} \times 7{,}48 \text{ gal/ft3}}{60 \text{ menit/jam} \times 23{,}1898 \text{ lb/ft3}}$$

= 235,279 gpm

L max = 1,3 L

= 305,863 gpm

Sehingga dari gambar 3.8 untuk diameter kolom sebesar 11, 568 ft
dengan laju maksimal 323,177 gpm
didapatkan tipe aliran "cross flow" (Kusnarjo, halaman 47)

h. Pengecekan terhadap liquid head (hd)

Syarat desain kolom yang baik yaitu hd<1

Apabila: hl max = hw + h ow max

hl min = hw + h ow min

$$h_{ow\,max} = \left(\frac{Qmax}{2{,}98\ x\ Lw}\right)^{2/3} \qquad h_{ow\,min} = \left(\frac{Qmin}{2{,}98\ x\ Lw}\right)^{2/3}$$

Seghingga persamaan 3.4 dan 3.5 menjadi (Kusnarjo, 2021. Hal 60)

Q max = 1,3 L

= 305,863 gpm

Q min = 0,7 L

= 164,695 gpm

Dari ketetapan high weir (hw) sebesar 1,5 - 3,5 in, dimana desain c 2 in

Maka, harga hl max, hl min, hw dan how max untuk 0,16667 ft

berbagai harga Lw/d pada tabel 3.10 (Kusnarjo, 2012. Hal. 61)

Lw/dt	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
Lw	55,0372	60,0406	65,0439	70,0473	75,0507	80,0541
h ow max	1,51508	1,4297	1,35541	1,29007	1,23208	1,18019
h ow min	1,00278	0,94627	0,8971	0,85385	0,81547	0,78113
hw	2	2	2	2	2	2
hl max	3,51508	3,4297	3,35541	3,29007	3,23208	3,18019
hl min	3,00278	2,94627	2,8971	2,85385	2,81547	2,78113

Karena hl mempunyai harga 2 - 4 in, maka diambil optimalisas: 0,7 Adc = 0,07
Karena tinggi hl max dan kl min diatas nilai hw
hl max = 3,29007 in
hl min = 2,85385 in
dimana hw - hc = 0,5
hc = 0,5 in
hc = 1,5 in = 0,125 ft

maka: Adc = Lw x hc
= 70,0473 x 1,5
= 105,071 in2
= 0,72966 ft2
Dari gambar 3.4 (Kusnarjo, 2012. Halaman 43) didapatkan
Ad = 0,07 At
Adc = 0,07 (π/4 . dt2)
= 3,82113 ft2
Dari kedua harga tersebut maka diambil harga Ap = Adc = 3,82113413 ft2
Sehingga:

$$h_d = 0{,}03\left(\frac{Qmax}{100\ x\ Ap}\right)^2 = 0{,}03 \ x \ \frac{305{,}863}{100 \ x \ 3{,}82}$$

= 0,03 x 0,80045
hd = 0,02401
Karena hd = 0,02401 < 1 in (Tinggi liquid head memenuhi syarat)

i. Pengecekan terhadap harga tray spacing (T)
Tray spacing memenuhi syarat apabila lebih besar dari tinggi liquida bening dalam down comer, persamaan 3-5. Dari hasil desain Lw/dt = 0,65
dan dt = 8,33897 ft
Sehingga, didapatkan harga Wd dari Tabel 3.1 (Kusnarjo, 2012 halaman 43)
Sebesar 13 % dt sehingga:
Wd = 0,13 dt
= 0,13 x 8,33897
= 1,08407
Lebar calming zone (Ws) dan End wastage (Ww) diambil masing- masing sebesar 3 in untuk menghitung luas Actie area (Aa) digunakan persamaan:

$$x = \frac{dt}{2} - \frac{Wd + Ws}{12} \quad \text{(Persamaan 3.15)}$$

= $\frac{8,33897}{2} - \frac{1,08407 + 4}{12}$

= 4,16948 - 0,42367

= 3,74581 ft

r = $\frac{dt}{2} - \frac{Ww}{12}$

= $\frac{8,33897}{2} - \frac{3}{12}$

= 3,91948 ft

Aa = $2\,(x\,\sqrt{r^2 - x^2} + r^2 . sin^{-1}\frac{x}{r})$

= 2 x (3,74581 x 1,33125 + 15,4 x sin-1 0,95569)

= 2 x 3,74581 x 1,1538 + 15,4 x 1,272

= 2 x 23,8627

= 47,7255

Untuk bentuk Δ = $\frac{A0}{Aa}$ = $\frac{0,785}{n2}$ (Persamaan 3-14, halaman 49, Kusnarjo)

n	2,5	3	3,5	4	4,5
Aa	47,7255	47,7255	47,7255	47,7255	47,7255
A0	5,99432	4,16272	3,05833	2,34153	1,8501

Untuk n = 4,5

V max = 1,3 x V

= 1,3 x 64,0429 ft3/s

= 83,2558 ft3/s

Uo max = $\frac{Vmax}{A0}$

= $\frac{83,2558 \text{ ft3/s}}{1,8501 \text{ ft2}}$

= 45,0007 ft/s

Ac = At - Ad

= π/4 . dt2 - 0,07 At

= 54,5876 - 3,82113

= 50,7665 ft2

hp = $12\left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)1{,}14\left(\frac{U_o^2}{2.g_c}\right)\left[0{,}4\left(1{,}25-\frac{A_o}{A_c}\right)+\left(1-\frac{A_o}{A_c}\right)^2\right]$ (persamaan 3.11)

$= 12 \times \frac{0{,}13111}{23{,}1898} \times 1{,}14 \frac{2025{,}06}{64{,}348} \times 0{,}4 \times 1{,}21356 + 0{,}92844$

$= 12 \times 0{,}00565 \times 35{,}8764 \times 1{,}41386$

= 3,44138 in

hr = $\frac{31{,}2}{\rho L}$ (Persamaan 3.12)

$= \frac{31{,}2}{23{,}1898}$

= 1,34542 in

hl = hw + how max

= 2 + 1,29007

= 3,29007 in

ht = hp + hr + hl (Persamaan 3.10)

= 3,44138 + 1,34542 + 3,29007

= 8,07687 in

hb = ht + hl + hd (Persamaan 3.9)

= 8,07687 + 3,29007 + 0,02401

= 11,391 in

Pengecekan terhadap T

T >2 hb - hw (Persamaan 3.8)

T > 2 11,391 - 2

30 > 20,7819 (Tray spacing hasil rancangan memenuhi syarat)

J. Pengecekan Weeping

Syarat : h pm > h pw

Uo min = $\frac{V\ min}{Ao}$ = $\frac{0{,}7\ V}{Ao}$

= $\frac{44{,}83\ ft3/s}{1{,}8501\ ft2}$ = 24,2312 ft/s

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

$$= 12 \times \frac{0{,}13111}{23{,}1898} \times 1{,}14 \times \frac{587{,}149}{64{,}348} \times 0{,}4 \times 1{,}21 + 0{,}928$$

$= 12 \times 0{,}00565 \times 10{,}402 \times 1{,}41386$

$= 0{,}9978$ in

$hp\ w = 0{,}2 + 0{,}05\ hl$

$= 0{,}2 + 0{,}05 \times 3{,}29007$

$= 0{,}3645$ in

Karena, hpm > hpw

0,9978 > 0,3645 Maka stabilitas tray dan weeping memenuhi syara
tidak terjadi weeping)

K. Pengecekan Pada Entrainment

Syarat : e0 > 1

$$e = 0{,}22\left(\frac{73}{\sigma}\right)\left(\frac{Uc}{Te}\right)^{3{,}2}$$ (Pers 3-18, Kusnarjo)

$Uc = \frac{Vmax}{Ac}$ (Persamaan 3.19)

$= \frac{83{,}2558\ ft3/s}{50{,}7665\ ft2}$

$= 1{,}63998$ ft/s

$Te = T - 2{,}5 \times hl$

$= 30 - 2{,}5 \times 3{,}29007$

$= 21{,}7748$ in

$e = 0{,}22 \times \frac{73}{2{,}87889} \times \frac{1{,}63998}{21{,}7748} \wedge 3{,}2$

$= 0{,}22 \times 25{,}357 \times 0{,}00025$

$= 0{,}00142$

e0 = 0,1

$$\frac{e0}{e} = \frac{0,1}{0,00142} = 70,381 > 1$$ (tidak terjadi entrainment)

L. Pelepasan uap dalam down comer

Syarat: Wl/ Wd < 1

Wl = $W_l = 0,8\sqrt{h_{ow}\,(T + h_w - h_b)}$

W1 = 0,8 x akar 0,85385 43,391
= 0,8 x 6,08683
= 4,86946 in

Wd = 0,13 dt
= 0,13 x 100,068
= 13,0088

W1/Wd = 0,37432 < 0,6 (Maka dapat disimpulkan pelepasan gas di dalam downcomer sempurna)

M. Menentukan Dimensi Kolom

Jumlah Tray Aktual	=	21
Jumlah Tray Total	=	tray aktual + 1 tray kondensor
	=	22 buah
Jarak antar trey (T)	=	30 in
Tinggi Shell	=	jumlah tray total x jarak antar tray
	=	660 in
	=	55 ft
di Shell	=	100,068 in
	=	8,33897 ft
Total hl dalam shell	=	jumlah tray total x hl
	=	72,3815 in
	=	6,03179 ft

N. Menentukan P design (Pi)

Tekanan hidrostatik (Ph) = $\frac{\rho\ (H-1)}{144}$ (Brownell, persamaan 3.17 hal 46)

= $\frac{23{,}1898 \times 6{,}03179 - 1}{144}$

= $\frac{138{,}876}{144}$

= 0,96442 psia

Tekanan Design (Pi) = P operasi + P hidrostatik

= 14,696 + 0,96442

= 15,6604 psia

= 0,96442 psig

O. Menghitung tebal silinder

Tebal silinder (ts) = $\frac{Pi\ di}{2\ (fE - 0{,}6\ Pi)} + C$

= $\frac{0{,}96442 \times 100{,}067613}{2 \times 14999{,}4213} + 0{,}0625$

= 0,00322 + 0,0625

= 0,06572 x $\frac{16}{16}$

= $\frac{1{,}05147}{16}$ in = $\frac{3}{16}$ in = 0,1875 in

Standarisasi do

do st = di + 2 ts

= 100,068 + 0,375

= 100,443 in

= 132 in = 11 ft

di baru = do st - 2 ts

= 132 - 0,875

= 131,125 in = 10,9271 ft

r = di baru

= 131,125 in

icr = 8 di baru

= 1049 in

P. Menentukan dimensi tutup atas dan bawah

Bentuk tutup atas dan bawah yaitu standar dish, sehingga:

$$tha/b = \frac{0,885 \times Pi \times r}{fE - 0,1\ pi} + C$$

$$= \frac{0,885 \times 0,96442 \times 131,125\ in}{15000 - 0,09644} + 0,0625$$

$$= \frac{111,916505}{14999,9036} + 0,0625$$

$$= 0,06996 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{1,11938}{16}\ in$$

$$= \frac{3}{16} = 0,1875\ in$$

Tinggi Tutup (ha) = 0,169 x di
= 0,169 x 131,125
= 22,1601 in
= 1,84668 ft

Tinggi Kolom = Ls + ha + hb
= 660 + 22,1601 + 22,1601
= 704,32 in
= 58,6934 ft

Q. Perancangan Nozzle

Nozzle pada kolom destilasi dibagi menjadi 6 macam :

- Nozzle liquid masuk
- Nozzle gas keluar top kolom
- Nozzle refluks
- Nozzle liquid keluar bottom kolom
- Nozzleuap reboiler
- Nozzle manhole

Dari Appendiks A diperoleh:

Komponen	F (kg/jam)	V (kg/jam)	Lo (kg/jam)	L' (kg/jam)	V' (kg/jam)
$C_2H_4Cl_2$ (HK)	8831,92116	104,349	16,0299	30494,7262	21751,12427
H_2O	6,39885545	0	0	22,3170435	15,91818805
C_2H_6O (LK)	8838,32001	10338,1	1588,11	308,250708	219,8675079
Total	17676,64	10442,4	1604,14	30825,294	21986,90997

1. Nozzle liquid masuk

Rate masuk = 17676,64 kg/jam

38969,9206 lb/jam

ρ liquid = 23,1898264 lb/ft3

Rate volumetrik (Q) = $\frac{m}{\rho \text{ liquid}}$

= $\frac{38969,9206}{23,1898264}$

= 1680,47487 ft3/jam

= 0,46679858 ft3/s

Asumsi : Aliran turbulen

Dari peters & timmerhause 4th halaman 496 didapatkan di optimum:

(Persamaan 15 "Patters & Timmerhaus", hal 496)

Di Optimum = 3,9 x Q^0,45 x ρ^0,13

= 3,9 x 0,70975 ft3/s x 1,50483

= 4,16545 in

= 5 in

= 0,34712 ft

Untuk ukuran pipa 5 in sch 40

Sehingga didapatkan:

OD = 5,563 in = 0,46358 ft

ID = 5,047 in = 0,42058 ft

a' = 0,139 ft2

2. Nozzle gas keluar top kolom

Rate keluar = 10442,3995 kg/jam

= 23021,3139 lb/jam

ρ liquid = 23,1898264 lb/ft3

Rate volumetrik (Q) = $\frac{m}{\rho \text{ liquid}}$

= $\frac{23021,3139}{23,1898264}$

= 992,733344 ft3/jam

= 0,27575926 ft3/s

Asumsi : Aliran turbulen

Dari peters & timmerhause 4th halaman 496 didapatkan di optimum:

(Persamaan 15 "Patters & Timmerhaus", hal 496)

Di Optimum = 3,9 x Q^0,45 x ρ^0,13

= 3,9 x 0,56007 ft3/s x 1,50483

= 3,28694 in

= 5 in

= 0,27391 ft

Untuk ukuran pipa 5 in sch 40

Sehingga didapatkan:

OD	=	5,563	in	=	0,46358	ft
ID	=	5,047	in	=	0,42058	ft
a'	=	0,139	ft2			

3. Nozzle refluks

Rate keluar = 1604,14347 kg/jam

= 3536,49469 lb/jam

ρ liquid = 23,1898264 lb/ft3

Rate volumetrik (Q) = $\frac{m}{\rho \text{ liquid}}$

= $\frac{3536,49469}{23,1898264}$

= 152,501991 ft3/jam

= 0,04236166 ft3/s

Asumsi : Aliran turbulen

Dari peters & timmerhause 4th halaman 496 didapatkan di optimum:

(Persamaan 15 "Patters & Timmerhaus", hal 496)

Di Optimum = 3,9 x Q^0,45 x ρ^0,13

= 3,9 x 0,24107 ft3/s x 1,50483

= 1,41479 in

= 4 in

= 0,1179 ft

Untuk ukuran pipa 4 in sch 40

Sehingga didapatkan:

OD	=	4,5	in	=	0,375	ft
ID	=	4,026	in	=	0,3355	ft
a'	=	0,088	ft2			

4. Nozzle liquid keluar bottom kolom

Rate masuk = 30825,294 kg/jam

67957,4431 lb/jam

ρ liquid = 23,1898264 lb/ft3

Rate volumetrik (Q) = $\frac{m}{\rho \text{ liquid}}$

= $\frac{67957,4431}{23,1898264}$

= 2930,4852 ft3/jam

= 0,81402367 ft3/s

Asumsi : Aliran turbulen

Dari peters & timmerhause 4th halaman 496 didapatkan di optimum:

(Persamaan 15 "Patters & Timmerhaus", hal 496)

Di Optimum = 3,9 x Q^0,45 x ρ^0,13

= 3,9 x 0,91156 ft3/s x 1,50483

= 5,34983 in

= 8 in

= 0,44582 ft

Untuk ukuran pipa 8 in sch 40
Sehingga didapatkan:

OD	=	8,625	in	=	0,71875	ft
ID	=	7,981	in	=	0,66508	ft
a'	=	0,3474	ft2			

5. **Nozzle uap reboiler**

Rate masuk = 21986,91 kg/jam
48472,3417 lb/jam
ρ liquid = 23,1898264 lb/ft3

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{m}{\rho \text{ liquid}}$$

$$= \frac{48472{,}3417}{23{,}1898264}$$

= 2090,24168 ft3/jam
= 0,58062269 ft3/s

Asumsi : Aliran turbulen
Dari peters & timmerhause 4th halaman 496 didapatkan di optimum:
(Persamaan 15 "Patters & Timmerhaus", hal 496)

Di Optimum = 3,9 x Q^0,45 x ρ^0,13
= 3,9 x 0,78298 ft3/s x 1,50483
= 4,59521 in
= 6 in
= 0,38293 ft

Untuk ukuran pipa 6 in sch 40
Sehingga didapatkan:

OD	=	6,625	in	=	0,55208	ft
ID	=	6,065	in	=	0,50542	ft
a'	=	0,2006	ft2			

6. **Nozzle manhole** (Brownell hal 51, figure 3.15)

Lubang manhole dibuat berdasarkan standar yang ada yaitu 20 in
Berdasarkan figure 12.2 Brownell halaman 221 didapatkan dimensi pipa:

Ukuran pipa nominal (NPS)	=	20
Diameter luar pipa (A)	=	27,5
Ketebalan flange minimum (T)	=	1,6875

Diameter bagian lubang menonjol (R)	=	23
Diameter lubang pada titik pengelasan (K)	=	20
Diameter hubungan pada alas (E)	=	22
Panjang julikan (L)	=	5,6875
Diameter dalam flange (B)	=	19,25
Jumlah lubang baut	=	20
Diameter lubang	=	1,25

Dari Brownel & Young tabel 12.2 halaman 221 diperoleh dimensi flange untuk semua nozzle, dipilih flange standart type welding neck dengan dimensi nozzle:

> Nozzle A = Nozzle untuk pemasukan *feed*
> Nozzle B = Nozzle untuk pemasukan refluks
> Nozzle C = Nozzle untuk gas top kolom
> Nozzle D = Nozzle untuk pengeluaran liquid
> Nozzle E = Nozzle untuk pengeluaran uap reboiler
> Nozzle F = Nozzle untuk Manhole
> NPS = ukuran pipa nominal, in

A = Diameter luar flange, in
T = Ketebalan minimum flange, in
R = Diameter luar bagian yang menonjol, in
E = Diameter hubungan atas, in
K = Diameter hubungan pada titik pengelasan, in
L = panjang julakan, in
B = diameter dalam flange, in

Nozzle	NPS	A	T	R	E	K	L	B
A	5	10	0,9375	7,3125	6,4375	5.56	3,5	5,05
B	5	10	0,9375	7,3125	6,4375	5.56	3,5	5,05
C	4	9	0,9375	6,1875	5,3125	4,5	3	4,03
D	8	13,5	1,125	10,625	9,6875	8,63	4	7,98
E	6	11	1	8,5	7,5625	6,63	3,5	6,07
F	20	27,5	1,6875	23	22	20	5,6875	19,25

R. Sambungan tutup (head) dengan shell

Untuk mempermudah perbaikan dan perawatan tangki,
maka tutup tangki dihubungkan dengan bagian shell secara flange dan bolting

A. Gasket

Dari brownell halaman 228 figure 12.11 didapatkan:

Bahan konstruksi	=	Solid flat metal iron
Gasket faktor (m)	=	5,5
Min desain seating stress (y)	=	18000

B. Bolting

Dari brownell halaman 344 App D-4 didpatkan:

Bahan konstruksi	=	High alloy stell SA-193 grade B 8 type 304
Tensile strength minimum	=	75000
Allowable stress (f)	=	15000

C. Flange

Dari Brownell & Young, App. D-1 hal. 335, didapatkan :

Bahan konstruksi	=	High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
Tensile strength minimum	=	75000
Allowable stress (f)	=	18750
Type flange	=	Ring flange loose type

1. Menghitung lebar gasket (Wg)

$$\frac{do}{di} = \sqrt{\frac{y - p.m}{y - p(m+1)}}$$ (Persamaan 12.2 Brownell halaman 226)

Dimana:

do	=	diameter luar gasket		
di	=	diameter dalam gasket		
y	=	yield stress	18000	psia
p	=	internal pressure	14,696	psia
m	=	gasket factor	5,5	

Diketahui : di gasket = do shel = 132 in

= 11 ft

Maka didapatkan:

$\frac{do}{di}$ = 1,00041

do Gasket = di x 1,00041

= 132 x 1,00041

= 132,054 in

Lebar gasket minimum A $= \dfrac{\text{do Gasket} - \text{di}}{2}$

$= \dfrac{132{,}054 - 132}{2}$

$= 0{,}02708 \times \dfrac{16}{16}$

$= \dfrac{0{,}43}{16} = \dfrac{3}{16}$ in $=$ 0,1875 in

Diameter rata-rata gasket (G) = di + Wg

= 132 + 0,1875

= 132,188 in

= 11,0156 ft

2. Menentukkan jumlah dan ukuran baut

> Beban agar gasket tidak bocor Hy

Wm2 = Hy = b.π.G.y (Pers. 12.88 Brownell halaman 240)

Dari figure 12.12 didapatkan lebar seating gasket bawah

bo = b

$= \dfrac{N}{2}$

$= \dfrac{0{,}1875}{2}$

= 0,09375 in

Sehingga:

Hy atau Wm2 = b.π.G.y

= 0,09375 x 3,14 x 132,188 x 18000

= 700428,5156 lb

> Beban tanpa tekanan (Hp)

Hp = 2.b.π.G.m.P (Persamaan 12.90 Brownell)

= 2 x 0,09375 x 3,14 x 132,188 x 5,5 x 14,696

= 6290,470673 lb

> Beban baut karena internal pressure (H)

$$H = \frac{\pi . G^2 . P}{4}$$

$$= \frac{3,14 \times 17473,5 \times 14,696}{4}$$

$$= 201580,992 \text{ lb}$$

> Total beban pada kondisi operasi

Wm1 = Hp + H

= 6290,47067 + 201580,992

= 207871,463 lb

Wm1 < Wm2

207871,463 < 700428,5156 (maka Wm2 digunakan sebagai pengontrol)

3. **Perhitungan luas minimum bolting (baut) area**

$$Am = \frac{Wm2}{fb}$$

$$= \frac{700428,516}{15000}$$

$$= 46,6952344 \text{ in2}$$

4. **Perhitungan bolt minimum**

Berdasarkan tabel 10.4 halaman 188 brownell didapatkan:

Trial:

Ukuran baut	=	1,375	in
Root Area	=	1	in2
Bolting space (Bs)	=	0,1875	in
Jarak Radial minimum (R)	=	1,875	in
Jarak dari tepi (E)	=	1,375	in

$$N = \frac{Am}{\text{Root area}}$$

$$= \frac{46,6952}{1,155}$$

$$= 40,4288$$

= 41 buah

Diameter area baut (C)

C = ID shell + 2 (1,42 x go + R)

Dimana,

IDs = 131,125 in

go = ts = 0,1875 in

Sehingga:

C = 131,125 + 2 x 1,42 x 0,1875 + 1,875

= 131,125 + 2 x 2,14125

= 135,4075 in

do flange = C + 2 x E

= 135,408 + 2 x 1,375

= 138,1575 in

$\frac{n \times Bs}{3}$ = $\frac{41 \times 0{,}1875}{3}$

= 2,44825 < 41 (Memenuhi) 138,158

Cek lebar gasket

Ab aktual = jumlah bolt x root area

= 41 x 1,155

= 47,355 in2

WG min = $\frac{\text{Ab aktual} \times F}{2.\pi.Y.G}$

= $\frac{47{,}355 \times 15000}{1{,}5E+07}$

= 0,04754 ≤ 0,1875 (Memenuhi)

WG = $\frac{0{,}76}{16}$ = $\frac{3}{16}$ in

= 0,1875 in

Lebar flange

Lebar flange = $\frac{\text{OD Flange} - \text{OD vessel}}{2}$

= $\frac{138{,}158 - 132}{2}$ = 3,07875 in

Lebar gasket = lebar flange - lebar baut - E
= 3,07875 - 1,155 - 1,375
= 0,54875 in

lebar gasket minimum 0,04754 < 0,54875 (Memenuhi)

5. Menghitung moment

> Untuk keadaan bolting up (tanpa tekanan dalam)

$$W = \left(\frac{A_m + A_b}{2}\right) \times f_a$$ (Persamaan 12.94 halaman 242, Brownell)

= 47,0251 x 15000
= 705376,7578 lb

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

$$hG = \frac{C - G}{2}$$

$$= \frac{135,408 - 132,188}{2}$$

= 1,61 in

> Moment flange (Ma)

Ma = hG x W
= 1,61 x 705376,7578
= 1135656,58 lb in

> Moment dan force pada daerah dalam flange (HD)

HD = 0,785 x B^2 x P (Persamaan 12.96 halaman 242
= 0,785 x 10013,5 x 14,696
= 115519,6535 lb

> Radial bolt circle pada aksi HD

$$hD = \frac{C - B}{2}$$

$$= \frac{135,408 - 100,067613}{2}$$

= 17,6699 in

> Moment MD

MD = HD x hD
= 115519,653 x 17,6699
= 2041225,77 lb in

> Perbedaan antara beban baut flange dengan gaya hidrostatik total (H G)

HG = W - H (Persamaan 12.98 halaman 242 Brownell)
= 705376,758 - 201580,992
= 503795,766 lb

MG = HG x hG (Persamaan 12.98)
= 503796 x 1,61
= 811111 lb in

HT = H - HD (Pers. 12.97)
= 201580,992 - 115519,653
= 86061,3386 lb

$$hT = \frac{hD + hG}{2} \quad \text{(Pers. 12.97)}$$

$$= \frac{17,6699 + 2}{2}$$

= 9,63997 in

MT = HT x hT
= 86061,3 x 9,63997
= 829629 lb in

> Moment total (M0)

M0 = MD + MT + MG
= 2041225,77 + 829628,88 + 811111,183
= 3681965,83 lb in

6. Menentukan tebal flange (tF)

$$t = \sqrt{\frac{Y \times M}{f \times B}} \qquad k = \frac{A}{B}$$

Dimana: A = diameter luar flange
B = diameter luar shell
f = stress yang diijinkan untuk bahan flange

Maka:

$$k = \frac{A}{B}$$

$$= \frac{138{,}158}{100{,}068}$$

$$= 1{,}381$$

Dari brownell figure 12.22 halaman 238 didaptkan nilai:

Y = 18

Sehingga tebal flange:

$$t = \sqrt{\frac{18 \times 3681965{,}835}{18.750 \times 100{,}068}}$$

$$= 35{,}323$$

$$= 5{,}94331 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{95}{16}$$

$$= 5{,}943 \text{ in}$$

Kesimpulan Perancangan:

A. Gasket

Bahan konstruksi	=	Solid flat metal iron
Gasket factor (m)	=	5,5
Min desain seating stress (y)	=	18000
lebar gasket minimum	=	0,1875

B. Bolting

Bahan konstruksi	=	High alloy stell SA-193 grade B 8 type 304
Tensile strength minimum	=	75000
Allowable stress (f)	=	15000

Ukuran baut	=	1,375	in
Jumlah baut	=	41	buah

C. Flange

Bahan konstruksi	=	High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316	
Tensile strength minimum	=	75000	
Allowable stress (f)	=	18750	
Tebal flange	=	5,943315	in
Diameter dalam (Di)	=	100,068	in
Diameter luar (Do)	=	138,158	in
Type flange	=	Ring flange loose type	

S. Sistem Penyangga (Support)

Penyangga dirancang untuk menahan beban kolom destilasi dan perlengkapannya

Bahan-bahan yang ditahan oleh kolom penyangga terdiri dari:

a. Berat Shell
- > Berat shell
- > Berat tutup

b. Berat kelengkapan bagian dalam
- > Berat down comer
- > 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**

> Berat Shell

Tebal Shell	=	0,1875	in	=	0,015625	ft
do shell	=	132	in	=	11	ft
di shell	=	131,125	in	=	10,92708	ft
tinggi shell	=	660	in	=	55	ft
ρ Shell	=	487	lb/ft3	(Perry, tabel 2-118)		
Keliling shell	=	π x Do				
	=	3,14	x	132		
	=	414,48	in			
	=	34,54	ft			

Luas Shell = keliling x tebal
= 414,48 x 0,1875
= 77,715 in2 = 0,539688 ft2

Volume shell = Luas x tinggi
= 77,715 x 660
= 51291,9 in3 = 29,68281 ft3

Berat Shell (Ws) = Volume x ρ
= 29,68281 x 487
= 14455,53 lb

> Berat tutup

Wd = A x t x ρ

A = 6,28 L h

Dimana:

Wd = berat tutup distilasi (lb)

A = luas tutup atas standart dish (ft2)

t = tebal tutup atas (tha) = 0,1875 in = 0,015625 ft

ρ = ρ bahan konstruksi
= 487 lb/ft3

L = crown radius (r) = 131,125 in = 10,92708 ft

h = tinggi tutup atas destilasi (ha) = 22,160 in = 1,846677 ft

Maka:

Luas tutup atas (A) = 6,28 L h
= 6,28 x 10,92708 x 1,846677
= 126,7228 ft2

Berat tutup atas:

Wd = A x t x ρ
= 126,7228 x 0,015625 x 487
= 964,2815 lb
= 437,3885 kg

Karena tutup atas dan tutup bawah adalah sama (standart dish) maka berat total adalah:

W total = Wd tutup a + Wd tutup bawah
= 964,2815 + 964,2815
= 1928,563 lb = 874,7769 kg

> Berat down comer

Dipakai dasar perhitungan down comer tanpa aliran uap

A dc = 3,821 ft2

Volume = Adc x Tebal shell

= 3,821 x 0,015625 ft

= 0,059705 ft3

Berat 1 plate :

W plate = Volume x ρ bahan konstruksi

= 0,059705 x 487

= 29,07644 lb

W dc = Berat 1 plate x jumlah plate

= 29,07644 x 22

= 639,6817 lb

> Berat tray

At = $\frac{\pi}{4}$ x d^2

= 0,785 x 8,339 ^2

= 54,58763 ft2

Volume = At x tebal shell

= 54,58763 x 0,015625 ft

= 0,852932 ft3

Berat 1 tray :

W tray = Volume x ρ bahan konstruksi

= 0,852932 x 487

= 415,3777 lb

Wt = Berat 1 tray x jumlah tray

= 415,3777 x 22

= 9138,31 lb

> Berat liquida

Wl = 38969,92 lb/jam

> 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 tinngi kolom = 1408,641 in = 117,3867 ft

Diambil rata-rata pipa 1,5 in sch 40

dengan berat = 2,718 lb/ft (APP K, Brownell halaman 387)

Wp = panjang pipa x berat pipa

= 117,3867 x 2,718

= 319,0571 lb

> Berat attachment

Berat Attachment meliputi nozzle, valve, dan alat kontrol

Wa = 18% x Ws

= 18% x 14455,53

= 2601,995 lb

Berat total yang harus ditopang penyangga:

W = Ws + W total + W dc + W t + Wl + Wp + Wa

= 14455,53 + 1928,563 + 639,7 + 9138,31 + 38969,92 + 319,0571 + 2601,995

= 68.053,058 lb

= 30.868,187 kg

T. Perencanaan Skirt Support

Sistem penyangga yang digunakan adalah skirt support

Skirt adalah penyangga yang digunakan dan paling aman untuk menyangga vertikal vessel. Skirt disatukan dengan vessel menggunakan pengelasan kontinyu, ukuran pengelasan didasarkan atas tebalnya skirt. Ketebalan skirt harus mampu menahan berat shell dan moment dari vessel

Tinggi support = 3 ft = 36 in (Asumsi)

> Menentukan tebal skirt

H = 2 + Tinggi kolom

= 2 + 704,320 in

= 706,320 in

= 58,86002 ft

$$fwb = \frac{15{,}89 \times (do + di)/2 \times H^2}{do^2 \times t}$$ (persamaan 9.20 halaman 183, Brownell

$$= \frac{15{,}89 \times 131{,}5625 \times 498888{,}3}{17424 \times t}$$

$$= \frac{59856{,}52049}{t}$$

Stress Dead Weight

$$fdb = \frac{\Sigma W}{\pi \cdot do \cdot t}$$ (Persamaan 9.6 halaman 183)

$$= \frac{68053{,}05798 \text{ lb}}{3{,}14 \times 132 \times t}$$

$$= \frac{164{,}189}{t}$$

Stress kompresi maksimum

Fc max = 0,125 x E (t/do) cos α (Persamaan

dimana. Ec = 2000000 psi (Brownell, halaman 184)

$$fc\ max = 0{,}125 \times 2000000 \times \frac{t}{132}$$

$$= 1893{,}939\ t$$

fc max = fwb + fdb (Persamaan 9.80 halaman 183)

$$1893{,}939\ t = \frac{59856{,}52}{t} + \frac{164{,}189}{t}$$

$$= \frac{60020{,}71}{t}$$

t^2 = 31,691

t = 5,62947 in

U. Menentukan Bearing plate

Pada tabel 10.1 Halaman 184 Brownell diperoleh:

n = (30*10^6)/Ec

= 15

fc' = 2000 psi

fc = 800 psi

Trial fs allowable untuk struktural steel skirt = 45000 psi

Ditetapkan :

$d_{i\ bearing\ plate}$ = 132 in = 11 ft

$d_{o\ bearing\ plate}$ = 1,15 x di bearing plate

= 151,8 in

= 12,65 ft

Jumlah chair = 8 (Tabel 10.5 halaman 191)

Jumlah bolt = 41 buah

Ukuran bolt = 1,375 in

Luas bolt = 1,155 in^2 (Tabel 10.4 halaman 188)

Pw = tekanan angin pada permukaan alat (lb/ft2)

Vw^2 = kecepatan angin = 100 mp (Brownell halaman 158)

Mw = Bending moment pada puncak kolom (lb.ft)

Pw = 0,0025 x Vw^2 (Persamaan 9.11 halaman 158

= 25 lb/ft2

$$Mw = \frac{1}{2} \times Pw \quad H^2 \quad \frac{di + do}{2}$$

= 0,5 x 25 x 3464,5 x 10,9635

= 474790,1576 lb ft

$$t3 = \frac{(do - di)\ bearing}{2}$$

= 14,3 in

$$K = \frac{1}{1 + \frac{fs}{n \times fc}}$$ (Persamaan 10.3 halaman 184)

$$= \frac{1}{1 + 3,75}$$

= 0,21053

$$fc\ bolt\ circle = fc \times \frac{2\ K\ do}{2\ K\ do + t3}$$ (Persamaan 10.30 halaman 187)

$$= 800 \times \frac{4,63158}{4,63158 + 14,3}$$

= 800 x 0,24465

= 195,719 < 800 (Memenuhi)

Pada tabel 10.2 halaman 186 didapatkan:

Untuk harga K = 0,21053

Cc = 1,218

Ct = 2,661

z = 0,459

j = 0,776

Tensile load

$$Ft = \frac{Mw - W\,dw \times z \times do}{j \times do}$$ (Persamaan 10.24 halaman 186)

$$= \frac{474790 - 1928,56 \times 0,46 \times 11}{0,776 \times 11}$$

$$= \frac{465053}{8,536}$$

$$= 54481,4 \text{ lb}$$

$$t1 = \frac{\text{Jumlah baut x root area}}{\pi \times 1,25}$$

$$= \frac{47,355}{3,925}$$

$$= 12,065 \text{ in}$$

Relationship pada tension side

$$Ft = fs \times t1 \times r \times Ct$$ (Persamaan 10.9 halaman 185)

$$fs = \frac{Ft}{t1 \times r \times Ct}$$

$$= \frac{54481,4 \text{ lb}}{12,065 \times 131,125 \times 2,661}$$

$$= 12,9417 \text{ psi}$$

$$Fc = Ft + W\,dw$$

$$= 54481,4 + 1928,56$$

$$= 56409,91764 \text{ lb}$$

Komperhensif stress sesungguhnya pada bolt circle (fc)

$$t2 = \frac{t3 - t1}{2}$$

$$= \frac{14{,}3 \quad - \quad 12{,}065}{2}$$

$= 1{,}11752$ in

$$fc = \frac{Fc}{(t2 + t1 \,.\, n) \quad x \quad r \quad x \quad Cc}$$

$$= \frac{56409{,}91764 \text{ lb}}{182{,}092 \quad x \quad 131{,}125 \quad x \quad 1{,}218}$$

$= 1{,}940$ psi

Pengecekan harga K

$$K = \frac{1}{1 + \frac{fs}{n \ x \ fc}}$$ (Persamaan 10.3 halaman 184)

$$= \frac{1}{1 + \quad 0{,}445}$$

$= 0{,}69214$

$$fc = fc \text{ bolt circle } x \ \frac{2 \ K \ do + t3}{2 \ K \ do}$$ (Persamaan 10.30 halaman 187)

$$= \frac{1{,}940 \quad x \quad 29{,}527}{15{,}227}$$

$= 1{,}940 \quad x \quad 1{,}93912$

$= 3{,}761 \quad < \quad 800$ (Memenuhi)

Pada tabel 10.4 halaman 188 didapatkan ukuran baut 1 in dengan dimensi:

Bolt circle = 2,25 in

Nut dimension = 1,63 in

Tinggi gusset = 12 in (Ditetapkan)

Bearing plate diperkuat dengan 8 buah gusset yang mempunyai spasi sama

Dari fig 10.6 Brownell 1959 Hal. 191 , diperoleh

Lebar gusset (A) = 9 in + bolt size

= 9 in + 1,375 in

= 10,375 in

Jarak antar gusset (b) = 8 in + bolt size
= 8 in + 1,375 in
= 9,375 in

Luas area bolt (Ab) = 1,155 in^2

Beban bolt (P) = fs x Ab (Persanaab 10.35 halaman 190)
= 12,9417 x 1,155
= 14,9477 lb

$$l = \frac{\text{do bearing} - \text{do shell}}{2}$$

$$= \frac{151,8 - 132}{2}$$

= 9,9 in

$$\frac{b}{l} = \frac{9}{9,9} = 0,94697 \text{ in}$$

$$e = \frac{\text{Nut dimension}}{2} = \frac{1,625}{2} = 0,8125 \text{ in}$$

Maksimum bending (My)

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

Dimana: P = beban tiap baut
μ =
μ = Poisson ratio = 0,3 (bahan steel)
l = panjang horizontal plate kebawah
e = nut dimension
γ1 = konstanta

Tabel 10.6 didapatkan nilai:

γ_1 = 0,25757

$$My = \frac{14{,}9477}{12{,}56} \times 1{,}3 \times \ln 7{,}7609 + 0{,}74244$$

$$= 1{,}190 \times 1{,}3 \times 2{,}0491 + 0{,}74244$$

$$= 1{,}190 \times 3{,}40626$$

$$= 4{,}054 \text{ lb}$$

$$t_4 = \sqrt{\frac{6 \cdot My}{(t_3 - bhd) \cdot f_{allow}}}$$

(Persamaan 10.37 halaman 191)

$$t4 = \frac{6 \times 4{,}054}{14{,}3 - 1{,}25 \times 45000 \text{ psi}}$$

$$= \frac{24{,}3228}{587250}$$

$$= 0{,}00644 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{0{,}103}{16} = \frac{3}{16} \text{ in} = 0{,}1875 \text{ in}$$

$$t5 = \sqrt{\frac{6 \times My}{f \text{ allow}}}$$ (persamaan 10.41 halaman193)

$$= \sqrt{\frac{24{,}3228}{45000}}$$

$$= 0{,}023 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{0{,}372}{16} = \frac{3}{16} \text{ in} = 0{,}1875 \text{ in}$$

$$t6 = \frac{3}{8} \times t5$$

$$= 0{,}07031 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{1{,}125}{16} = \frac{3}{16} \text{ in} = 0{,}1875 \text{ in}$$

V. Dimensi Anchor Bolt

Tabel Megeyes, 1983

Panjang = 12 in

Diameter = 4 in

Jumlah = 8 buah

W. Dimensi Pondasi

Perencanaan:

Beban total yang harus ditahan pondasi:

> Berat bejana total

> Berat kolom penyangga

> Berat base plate

Ditentukan:

> Masing-masing penyangga diberi pondasi

> Spesifikasi pondasi didasarkan atas berat beban setiap kolom penyangga pada sistem pondasi

> Spesifikasi semua penyangga sama

Beban yang ditanggung penyangga = 1928,563 lb

Beban tiap penyangga = berat x tinggi

= 35 x 24

= 840 lb

W = 2768,563 lb

Gaya yang bekerja pada pondasi dianggap sebagai gaya vertikal berat total kolom, sedangkan bidang kerja dianggap bujur sangkar dengan perancanaan 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) = 12 in

Luas rata-rata (A) = 0,5 x 5200
= 2600 in^2

Volume pondai (Vp) = A x t
= 31200 in^3
= 18,05556 ft^3

Densitas untuk gravel = 126 lb/ft3 (Perry's 6 tabel 3-118)

Maka,

W = V . ρ
= 2275 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 = 5043,563 lb

Tekanan dari sistem pondasi terhadap luas tanah (P)

$$P = \frac{w\ total}{A}$$

$$= \frac{5043{,}563\ lb}{2600\ in^2}$$

= 1,939832 lb/in^2

Acuan harga safety didasarkan pada minimum bearing power yaitu:

6000 kg/ft^2 = 91,85833 lb/in^2

Tekanan terhadap tanah = 1,939832 <= 91,85833 (Pondasi dapat digunakan)

X. Spesifikasi Kolom Destilasiiii

1. Silinder/ Shell/ Kolom

Diameter dalam (di)	=	131,125	in
Diameter luar (do)	=	132	in
Tinggi (H)	=	660,000	in
Tebal (ts)	=	0,1875	in
Bahan konstruksi	=	High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316	

2. Tutup atas dan tutup bawah

Crown radius (icr)	=	1049	in
Tinggi tutup atas (ha)	=	22,160	in
Tinggi tutup bawah (hb)	=	22,160	in
Tebal tutup (tha/thb)	=	0,1875	in
Bahan konstruksi	=	High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316	

3. Tray

Jumlah *tray*	=	22	buah
Tebal tray	=	0,1875	in
Susunan pitch	=	Triangular Pitch	
Bahan konstruksi	=	High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316	

4. Down comer

Lebar	=	13,009	in
Luas	=	105,071	in^2
Bahan konstruksi	=	High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316	

5. Nozzle

Diameter *feed* masuk	=	10	in
Diameter top kolom	=	10	in
Diameter *refluks*	=	9	in
Diameter bottom	=	13,5	in
Diameter reboiler	=	11	in
Diameter Nozzle	=	27,5	in

6. Flange dan Gasket

Diameter *flange*	=	138,1575	in
Tebal *flange*	=	1,381	in

Bahan konstruksi = High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
Lebar gasket = 0,54875 in
Diameter gasket = 132,1875 in
Bahan konstruksi = Solid flat metal iron

7. Baut

Ukuran baut = 1,375 in
Jumlah baut = 41 buah
Bahan konstruksi = High alloy stell SA-193 grade B 8 type 304

8. Skirt support

Tinggi = 36,000 in
Tebal = 5,62947 in
Bahan konstruksi = High Alloy Steel SA 167 Grade 10 Type 310

9. Bearing plate

Tipe = Eksternal Bolting Chair
Diameter dalam = 132 in
Tebal = 0,1875 in
Jumlah = 8 buah
Bahan konstruksi = High Alloy Steel SA 167 Grade 10 Type 310

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 = Sement, Sand, and Gravel

60
115
240
300
346
410
415
480

44

)

psi