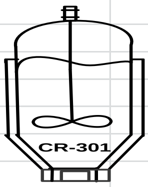
LAMPIRAN F
PERANCANGAN *CRYSTALLIZER* (CR-201)
(TUGAS KHUSUS)

Fungsi : Membentuk kristal Trinatrium Fosfat dari Dinatrium Fosfat dan Natrium Hidroksida.

Jenis : *Six-flat blade open turbin* dengan menggunakan 4 buah *baffel*

Dasar pemilihan :1. *Stirred Tank Crystallizer* menghasilkan distribusi ukuran yang lebih seragam (Banchero, 1988 : 523).

2. *Internal coil* lebih ekonomis untuk mencapai luas transfer panas yang diharapkan karena bisa langsung bersinggungan dengan fluida sehingga transfer panas bisa efektif (Kern, 1950 : 720)



Gambar C.27 *Crystallizer* (CR-201)

1. Kinetika Kristalisasi

Kinetika kristalisasi diperlukan dalam perancangan *crystallizer* untuk mengetahui Distribusi Ukuran Kristal (CSD) selama proses pengkristalan. CSD dapat diprediksi melalui kombinasi kinetika kristalisasi dan waktu pengkristalan yang menentukan jumlah dan ukuran kristal yang akan terbentuk (Jones, 2001:66).

Mekanisme kristalisasi terdiri dari dua tahap, yaitu nukleasi dan pertumbuhan kristal. Potensial pendorong untuk kedua tahap itu ialah kelewatjenuhan atau supersaturasi. Baik nukleasi maupun pertumbuhan kristal tidak dapat berlangsung di dalam larutan jenuh atau tidak jenuh. Data kinetika kristalisasi (*growth and nucleation rate*) yang diperlukan pada perancangan *crystallizer* dapat diukur pada MSMPR (*Mixed Suspension, Mixed Product Removal*) *crystallizer* yang dioperasikan secara kontinyu pada keadaan *steady state* dengan asumsi:

- Belum ada kristal yang terbentuk pada umpan masuk
- Kristal yang terbentuk pada proses kristalisasi berukuran seragam
- Tidak ada kristal yang rusak selama proses kristalisasi berlangsung

Hubungan antara Laju Pertumbuhan kristal dan laju nukleasi:					
	$B^o = n^o . G$		(pers 6.84 Mullin, 2001:250)		
Keterangan:					
B^o = Laju nukleasi (jumlah kristal/cm^3.jam)					
G = Laju Pertumbuhan Kristal (cm/jam)					
n^o = densitas populasi inti pada saat ukuran kristal = 0					
Dimana:					
Crystal Size Distribution (CSD)					
n =	n° exp (-L/G.t)		(pers 6.79 Mullin, 2001:249)		

Tabel C.17 Komposisi umpan masuk *crystallizer* (CR-201)

Komponen	Massa (kg/jam)	xi	ρi (kg/m³)	xi/ρi	μi (cp)	xi/
Na_2HPO_4	27.672	0.002	2,500	9.9839E-07	0.352	0.00
NaOH	57.944	0.005	1,572	3.32471E-06	0.3	0.01
H_2O	5487.644	0.495	995.68	0.000497125	0.2838	1.74
Na_3PO_4	5513.390	0.497	1,630	0.000305092	0.6	0.82
Total	**11,086.65**	**1.00**	**6,697.68**	**0.00081**	**1.54**	**2.6**

$$\rho_{mix} = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = 1239.86362 \text{ kg/m}^3 = 77.461 \text{ lb/ft}^3$$

*Laju alir volumetrik *umpan* $\frac{W}{\rho}$ = 8.942 m^3

Tabel C.18 Komposisi keluaran *crystallizer* (CR-201)

Komponen	Massa (kg/jam)	Xi	ρi (kg/m³)	xi/ρi	μi (cp)	xi/
Na_2HPO_4	27.672	0.002	2,500	0.0000010	0.352	0.00
NaOH	57.944	0.005	1,572	0.0000033	0.3	0.01
H_2O	5487.644	0.495	995.68	0.0004971	0.2838	1.74
$Na_3PO_{4\ k}$	4415.861	0.398	1,630	0.0002444	0.6	0.66
$Na_3PO_{4\ nk}$	1097.529	0.099	1,630	0.0000607	0.6	0.16
Total	**11,086.65**	**1**		**0.0007758**		**2.6**

Untuk menentukan laju alir volumetrik larutan keluaran *crystallizer* :				
∑(wi/ρi) untuk komponen selain kristal		=	0.0007758	0.000
		=	0.0005314	m^3/kg

$$\rho_{mix} = \frac{1}{\sum \frac{w_i}{\rho_i}} = 1881.67469 \ kg/m^3$$

$$= 117.558 \ lb/ft^3$$

*Laju alir volumetrik *larutan* $\frac{W}{\rho}$ = 5.892 m^3

n = n° exp (-L/G.t)

Ln n = Ln (n^o . Exp (-L/G.t))

Ln n = Ln (n^o) + Ln . Exp (-L/G.t))

Ln n = Ln (n^o) + (-L/G.t))

Ln n = Ln (n^o) - (1/G.t))L

y = b - ax

Dari persamaan di atas, dengan memplotkan Ln n vs L akan diperoleh suatu garis lurus lurus dengan slope $-(G.t)^{-1}$ dan intersep = Ln n^o

Dengan:

n = Densitas populasi pada L

L = Ukuran Kristal

t = Waktu kristalisasi

Populasi densitas juga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

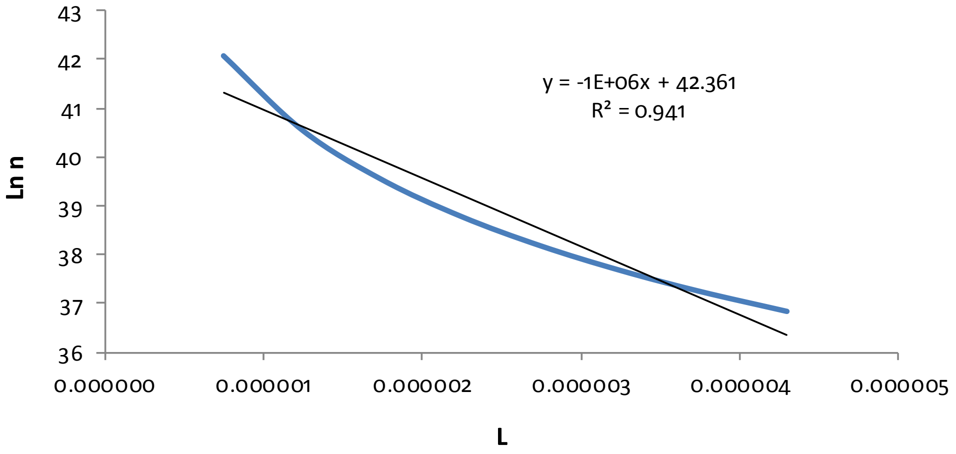
$$n = \frac{M_T}{\rho_c f_v L^3}$$

Dimana:

M_T =	densitas *slurry*	=	1.240	gr/cm^3 =	1239.86362	kg/m^3
ρ_c =	densitas kristal	=	1.630	gr/cm^3 =	1630	kg/m^3
f_v =	*shape factor*	=	1			
			(untuk partikel berbentuk *spheres* dan kubus)			
L =	Lrata-rata					

Tabel C.19 Hubungan antara L dan n

L,cm	$L_{rata-rata}$	$L_{rata-rata}^3$	n	Ln n
0.00000050				
0.00000100	0.000000750	4.21875E-19	#DIV/0!	#DIV/0!
0.00000150	0.000001250	1.95313E-18	#DIV/0!	#DIV/0!
0.00000200	0.000001750	5.35938E-18	#DIV/0!	#DIV/0!
0.00000250	0.000002250	1.13906E-17	#DIV/0!	#DIV/0!
0.00000300	0.000002750	2.07969E-17	#DIV/0!	#DIV/0!
0.00000350	0.000003250	3.43281E-17	#DIV/0!	#DIV/0!
0.00000400	0.000003750	5.27344E-17	#DIV/0!	#DIV/0!
0.00000460	0.000004298	7.93961E-17	#DIV/0!	#DIV/0!



Gambar C.28 Grafik hubungan antara L vs Ln n

Dari grafik tersebut diperoleh:

	Slope =	-1/G.t =	-1000000	
	Ln n° =	42.364		
	n° =	2.5029E+18	#/cm.cm^3	

Waktu kristalisasi (t) = Vc / Q					
Vc = volume di *crystallizer*		diinginkan =	5.892	m^3	
Q = Laju alir *liquid* keluar		*crystallizer* =	5.892	m^3	
Diperoleh:					
t = 1 jam = 60 menit					
sehingga:					
Laju Pertumbuhan kristal:					
	-1/G.t =	-1000000			
G	= 1 / (1 jam x 10^6)				
G=	0.000001	cm/jam			
Dapat diketahui laju nukleasi:					
B^o =	0.000001 x	2.5029E+18	#/cm.cm^3		
B^o =	2.50295E+12	#/cm.cm^3			
2. Dimensi *Crystallizer*					
Vc = Q x t =	5.892	m^3			
=	208.061	ft^3			
=	359529.1508	in^3			
V *over* desain = 1,2 x Vc					
=	7.070	m^3			
=	249.673	ft^3			
=	431434.9809	in^3			

Volume total kristalizer merupakan penjumlahan dari volume *shell* , volume tutup atas tangki, dan volume tutup bawah. Sedangkan *liquid* akan menempati bagian bawah dan bagian shell *crystallizer* .

$\mathbf{V_{total}} =$ $\mathbf{V_{\textit{shell}} + V_{torispherical} + V_{konis\ terpancung}}$

$\mathbf{V_{liquid}} =$ $\mathbf{V_{liquid\ dishell} + V_{liquid\ di\ konis}}$

Dimana:

$V_{\textit{liquid dishel}}$ $= ¼.\pi.ID2.HL$ dishell

V_{konis} $= \pi\ h/12\ (D^2 + D.d + d^2)$ (Wallas, 1988: 627)

Dengan:

$$h = \frac{tg\,\theta\,(D-d)}{2}$$ (Hesse, pers 4-17, hal 92)

tan $\boldsymbol{\theta}$, Sudut kerucut bawah tangki, $\boldsymbol{\theta} = 60°$

: 0,866 (D – d)

V_{konis} $= 0{,}2617\ (D^2 + D.d + d^2)$

$= 0{,}2266\ (D-d).(D^2 + D.d + d^2)$

$= 0{,}2266\ (D^3+D^2.d+D.d^2-D^2.d-D.d^2-d^3)$

$= 0{,}2266\ (D^3 – d^3)$

Diketahui bahwa D/d = 2

Diambil $H_L/D = 1$ (Mc Cabe, 1985; Geonkoplis,1994; Walas,1988)

Maka,

* $V_{liquid\ dishell}$ menjadi $= 0{,}785.D^2.H_{L\ dishell}$

$= 0{,}785.D^2.(H_L – h)$

$= 0{,}785.D^3 - 0{,}785.D^2.h$

$= 0{,}785.\ D^3- 0{,}6798.D^2.(D-d)$

$= 0{,}785.\ D^3 - 0{,}3399\ D^3$

$= 0{,}4451\ .\ D^3$

Sehingga:

$V_{liquid} = V_{liquid\ dishell} + V_{liquid\ dikonis\ terpancung}$

431434.981 $in^3 = 0{,}4451\ .\ D^3 + 0{,}2266\ (D^3 – d^3)$

431434.981 $in^3 = 0{,}4451\ .\ D^3 + 0{,}2266\ (D^3 – 0{,}125\ D^3)$

431434.981 $in^3 = 0{,}4451\ .\ D^3 + 0{,}1983\ D^3$

431434.981 $in^3 = 0{,}6434\ .\ D^3$

Diperoleh:

D = 87.528 in

Diambil standar:

D =	100	in =	8.333	ft =	2.540	m
d =	50	in =	4.167	ft =	1.270	m
h =	43.30	in =	3.608	ft =	1.100	m

***Perhitungan tinggi *liquid* di *crystallizer* :**

V_{konis} = $0{,}2266\ (D^3 – d^3)$

= 198275 in^3

$V_{liquid\ di\ shell} = V_{liquid} - V_{liquid\ di\ konis}$

= 431434.9809 - 198275

= 233159.9809 in^3

$V_{liquid\ di\ shell} = \frac{1}{4} \pi D^2 H_{Ldishell}$

233159.981 = 7850 . $H_{Ldishell}$

Maka, $H_{Ldishell}$ = 29.702 in

Sehingga

H_{liquid} menjadi = $H_{Ldishell}$ + h

= 29.702 + 43.30 in

= 73.002 in = 1.854 m

***Menentukan tekanan desain**

P_{abs} = Poperasi + Phidrostatis

$P_{operasi}$ = 1 atm = 14.696 psi

$$P_{hidrostatis} = \frac{\rho mix (h_L - 1)}{144} = 2.734 \text{ psi}$$

Pabs = 17.430 psi

P_{design} = 10 % diatas Pabs

= 19.174 psi

***Menentukan Tebal Tangki**

$$t_s = \frac{P.ri}{f.E - 0,6P} + C$$

(Brownell, Young, 1959, Pers. 13.1, hal. 254)

Keterangan :

ts = Tebal *shell* , in

P = Tekanan dalam tangki (19.174 Psia)

f = *Allowable stress* (18750 Psia) (Brownell, Young, 1959, Tabel. 13.1, hal. 251)

nilai tegangan material *stainless stell* SA -167 tipe 316

ri = Jari-jari dalam storage 50.0 in

E = Efisiensi pengelasan = 85% (*single welded butt joint*)

(Brownell,Young, 1959, Tabel. 13.2, hal. 254)

c = Faktor korosi = 0,125 /10 tahun

(Peter, Timmerhaus, 2002, Tabel. 3.1., hal. 82 ; Coulson, Richardson, Vol.6th, 1983, Tabel. 7.3 hal. 217 ; Perry's, Ed.4th, Tabel. 23-4, hal. 23-29)

$$t_s = \frac{P.ri}{f.E - 0,6P} + C$$

t_s = 0.185 in

digunakan tebal standar = 0.1875 in (Brownell,Young, 1959, Tabel 5.7, hal. 91)

Diameter luar shell, OD = ID + 2ts = 100.375 in
= 8.365 ft

***Menentukan *Head* Tangki**

Bentuk : *Torispherical Dished Head*

Dasar Pemilihan : Sesuai untuk tangki vertikal pada tekanan rendah (2,02 – 14,61 atm atau sekitar 15 bar)
(Brownell, Young, 1959, hal. 88 ; Coulson, Richardson, Vol.6th, 1983, hal. 642)

Berdasarkan Tabel 5-7, hal. 91, Brownell, Young, 1959 untuk OD = 102.0 in

Inside Corner Radius , icr = 6.125 in

Jari-Jari *Crown* , r_c = 96 in

a. Menentukan Tebal *Head*

$$t_h = \frac{P\, r_c\, W}{2\,f\,E - 0{,}2\,P} + C$$ (Brownell, Young, 1959, hal.138)

Keterangan :

t_h = tebal tutup

r_c = radius *crown*

P = Tekanan dalam tangki (19.174 Psia)

f = *Allowable stress* (18750 Psia)

(Brownell, Young, 1959, Tabel. 13.1, hal. 251)

E = Efisiensi pengelasan = 85% (*single welded butt joint*)

(Brownell,Young, 1959, Tabel. 13.2, hal. 254)

c = Faktor korosi = 0,125 /10 tahun

Peter, Timmerhaus, 2002, Tabel. 3.1., hal. 82 ; Coulson, Richardson, Vol.6th, 1983, Tabel. 7.3 hal. 217 ; Perry's, Ed.4th, Tabel. 23-4, hal. 23-29)

W = faktor intensifikasi *stress*

$$w = \frac{1}{4}\cdot\left(3 + \sqrt{\frac{r_c}{icr}}\right)$$

w = 1.740 in

didapatkan t_h = 0.225 in

digunakan tebal standar = 0.250 in

sehingga tebal *head* = *bottom* , t_h = t_b = 0.250 in

(Brownell, Young, 1959, Tabel 5.7, hal. 91)

b. Menentukan Tinggi *Head* , OA

Berdasarkan Tabel 5.6, Brownell, Young, 1959, untuk th 0.25 in

diperoleh nilai sf = 1,5 – 2 in.

dipilih panjang *straight flang* , sf = 2 in

Untuk menentukan OA digunakan penjelasan gambar C.6.

		OA = t_h + b + sf				
		b = panjang *dish* $\longrightarrow$		$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2}$		
		BC = r – icr =	89.875	in		
		AB = (ID/2) – icr =		43.875 in		
		didapatkan b =	17.562	in		
		maka OA =	19.812 in =	1.651 ft =	0.5032	m
Tinggi total *crystallizer* (H_{total}) = $H_{s\ baru}$ + h + (OA)						
	=	29.702	+ 43.30	+ 19.812	in	
		= 92.814	in			

c. Perancangan *Flange* (*Dish Head*)

Data perancangan:

Tekanan desain (p) = 18,7607 psi

Temperatur desain = 86 ^{o}F

Material flange = ASTM-201, GRADE B (Brownell and Young, 1959)

Bolting steel = ASTM-198, GRADE B7 (Brownell and Young, 1959)

Material gasket = *Asbestos composition*

(Fig. 12.11, Brownell and Young, 1959)

Diameter dalam *flange* = 84 in (B)

Ketebalan shell = 0,25 in (go)

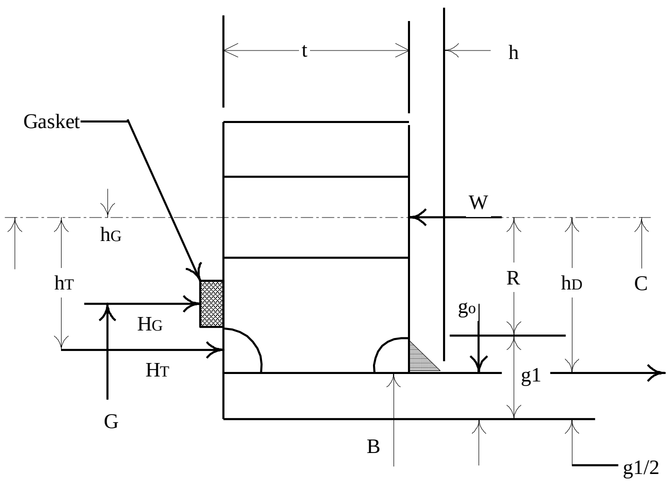
Diameter dalam shell = 84 in

Tegangan dari material *flange* = 15.000 psi

Tegangan dari *bolting material* = 20.000 psi

Tipe *flange* = *optional loose type*

(Fig.12.24,8.a, Brownell and Young, 1959)



Gambar. F.3 Sketsa tipe *flange* dan dimensinya.

<u>Perhitungan lebar gasket minimum</u>:

Pers. 12.2, Brownell and Young,1959:

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{y - p.m}{y - p(m+1)}}$$

where:

d_o = diameter luar gasket, in

d_i = diameter dalam gasket, in

y = *yield stress*, lb/in^2 (Fig. 12.11)

m = faktor gasket (Fig. 12.11)

asumsi lebar gasket 1/16 in, dari Fig 12.11 Pers. 12.2, Brownell and Young,1959:

diperoleh

y = 3700

m = 2,75

sehingga,

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{3700-(18{,}7607)(2{,}75)}{3700-18{,}7607\,(2{,}75+1)}} = 1{,}0052$$

asumsi bahwa diameter dalam gasket, d_i sama dengan 84 in, sehingga:

d_o = 1,0052 (84 in) = 84,4368 in

lebar gasket minimun = N = $\left(\frac{84{,}4368-84}{2}\right) = 0{,}2184$ in

sehingga digunakan gasket dengan lebar 1/4 in.

Diameter gasket rata - rata, G = d_i + lebar gasket

= 84 + 0,25 = 84,25 in

Dari Fig 12.12, Brownell and Young,1959: kolom 1 , type 1.a

$b_o = \frac{N}{2} = \frac{0{,}25}{2}$ = 0,125 in, b = b_o, jika $b_o \leq 0{,}24$ in, sehingga b = 0,125 in

<u>Perhitungan beban baut (*bolt*)</u>

Beban terhadap *seal* gasket

W_{m2} = H_y = b π G y

= 0,125 x 3,14 x 84,25 x 3700

= 122.352,0625 lb

beban untuk menjaga *joint tight* saat saat operasi - Pers 12.90, Brownell and Young,1959:

H_p = 2 b π G m p

= 2 x 0,125 x 3,14 x 84,25 x 2,75 x 18,7607

= 3.412,09645 lb

beban dari tekanan internal – Pers. 12.89, Brownell and Young,1959:

$$H = \frac{\pi G^2}{4} p = \frac{3{,}14 \times 84{,}25^2}{4} 18{,}7607 = 104.534{,}2276\ lb_m$$

beban operasi total – pers. 12.91 Brownell and Young,1959:

W_{m1} = H + H_p =104.534,2276 lb_m + 3.412,09645 lb = 107.946,324 lb_m

W_{m1} lebih besar daripada W_{m2},

Sehingga, beban pengontrol, W_{m1} = 107.946,324 lb_m

Perhitungan luas baut minimum (*minimum bolting area*)

Pers 12.92, Brownell and Young,1959:

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{f_b} = \frac{107.946{,}324\ \text{lbm}}{20.000} = 5{,}3973\ in^2$$

Penentuan ukuran baut diambil dari Brownell and young, 1956, hal.188, Tabel 10-4. Digunakan ukuran baut = 1 in diperoleh data sebagai berikut :

- *Root area* = 0,419 in^2
- *Bolt spacing standard* (BS) = 3 in
- *Minimal radian distance* (R) = 1,25 in
- *Edge distance* (E) = 1,3125 in

$$\text{Jumlah baut minimum} = \frac{Aml}{root\ area}$$

$$= \frac{5{,}3973\ in^2}{0{,}419\ in^2}$$

= 12,8814 buah

Digunakan jumlah baut sebanyak 20 buah.

Bolt circle diameter (C) = ID + 2 (1,145 g_o+ R)

= 84 in + 2 [(1,145 x 0,25 in) + 1,25 in]

= 87,0725 in

Perhitungan diameter flange luar :

Flange OD (A) = *bolt cirlce diameter* + 2 E

$= 87{,}0725 \text{ in} + 2\ (1{,}3125) \text{ in}$

$= 89{,}6975 \text{ in}$

Koreksi lebar gasket :

$A_{b\ actual}$ = jumlah baut x *root area*

$= 20 \times 0{,}419 \text{ in}^2$

$= 8{,}38 \text{ in}^2$

Lebar gasket minimun :

$$N_{min} = \frac{A_{b\ actual}\ f_{allaw}}{2\ y\ \pi\ G}$$

$$= \frac{8{,}38 \text{ in}^2 \times 20.000 \text{ psi}}{2 \times 3.700 \times \pi \times 84{,}25 \text{ in}}$$

$= 0{,}0856 \text{ in}$

(karena 0,25 > 0,086; lebar gasket memenuhi)

Perhitungan moment:

untuk *bolting up condition (no internal pressure)*

beban desain diberikan dengan pers. 12.91, Brownell and Toung, 1959:

$W = ½ (A_b + A_m) f_a$

$= ½ (8{,}38 \quad 5{,}3973) (20.000)$

$= 137.773 \text{ lb}$

hubungan *lever arm* diberikan dengan pers.. 12.101 Brownell and Young, 1959:

$h_G = ½ (C – G)$

$= ½ (87{,}0725 – 84{,}25)$

$= 1{,}41125 \text{ in}$

flange moment adalah sebagai berikut: (tabel 12.4)

$Ma = W\ h_G$

$= 137.773\ \text{lb} \times 1{,}41125\ \text{in}$

$= 194.432{,}1463\ \text{lb-in}$

Untuk kondis beroperasi ($W = W_{m1}$ pers. 12.95 Brownell and Young, 1959)

Untuk H_D pers.12.96

$H_D = 0{,}785\ B^2\ p$

$= 0{,}785\ (84^2)\ (18{,}7607)$

$= 103.914{,}7669\ \text{lb}$

The lever arm, pers. 12.100 , Brownell and Young, 1959

$h_D = ½\ (C – B)$

$= ½\ (86 – 84) = 1\ \text{in}$

Moment, M_D (dari pers. 12.96, Brownell and Young, 1959);

$M_D = H_D \times h_D$

$= 103.914{,}7669\ \text{lb} \times 1\text{in}$

$= 103.914{,}7669\ \text{lb-in}$

H_G dari pers. 12 98 :

$H_G = W – H = W_{m1} – H$

$= 137.773\ \text{lb} – 104.534{,}2276\ \text{lb}_m$

$= 33.238{,}7724\ \text{lb}$

Hubungan *lever arm* dengan pers.12.101, Brownell and Young, 1959 :

$h_G = ½\ (C – G)$

$= \frac{1}{2}\ (87{,}0725 – 84{,}25)$

$= 1{,}41125$ in

moment, pers, 12.98, Brownell and Young, 1959;

$M_G = H_G \times h_G$

$= 33.238{,}7724$ lb x $1{,}41125$ in

$= 46.908{,}21755$ lb -in

H_T dengan pers. 12.97, Brownell and Young, 1959:

$H_T = H – H_D$

$= 104.534{,}2276\ lb_m – 103.914{,}7669$ lb

$= 619{,}4607$ lb

Hubungan *lever arm* pers. 12.102, Brownell and Young, 1959:

$h_T = \frac{1}{2}\ (h_D + h_G)$

$= \frac{1}{2}\ (1$ in $+ 1{,}41125$ in)

$= 1{,}205625$ in

Moment diberikan pers.. 12.97, Brownell and Young, 1959 :

$M_T = H_T \times h_T$

$= 619{,}4607$ lb x $1{,}205625$ in

$= 746{,}8373$ lb -in

jumlah *moment* untuk kondisi beropersi, Mo dengan pers. 12.99, Brownell and Young, 1959:

$Mo = M_D + M_G + M_T$

$= 103.914,7669$ lb-in + $46.908,21755$ lb-in + $746,8373$ lb-in

$= 151.569,8218$ lb-in

sehingga moment saat beroperasi sebagai pengontrol;

$M_{max} = 151.569,8218$ lb-in

Perhitungan tebal *flange* – Pers. 12.85, Brownell and Young, 1959:

$$t = \sqrt{\frac{Y\,M_{max}}{f_a\,B}}$$

K = A/B = 89,6975/84

= 1,0678

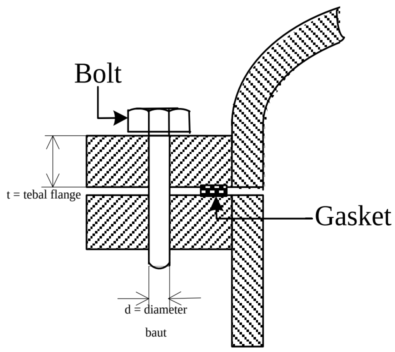
dari fig 12.22, Brownell and Young, 1959, dengan K sama dengan 1,0678;

Y = 17,5

$$t = \sqrt{\frac{17{,}5 \times 151.569{,}8218}{20.000 \times 84}}$$

= 1,2565 in

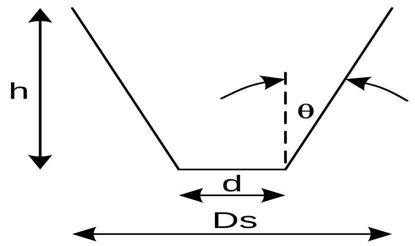
Digunakan *flange* standar dengan ketebalan 1 3/8 in



Gambar F.5 Detail untuk *flange* dan *bolt* pada *head* kristalizer

2. Perancangan Bottom Tangki

Bentuk : Kerucut terpancung



Gambar F.6. Dimensi Kerucut Terpotong

a. Menentukan Dimensi tutup bawah

Perhitungan dimensi tutup bawah telah dihitung pada perhitungan di atas :

d = diameter kerucut terpancung = 4 ft

D_s = diameter dalam shell, IDs = 8 ft

θ = sudut kerucut = 60^o

h = tinggi kerucut = 4 ft

b. Menentukan tebal konis

$$t_c = \frac{P.d}{2\cos\alpha\left(f.E - 0{,}6P\right)}$$ (Brownell and young, 1959:118)

P = 18,7607 Psi

f = 15.289 Psi

E = 0,8 (jenis sambungan las : *single-butt weld)*

d = diameter dalam kerucut = 48 in

Diperoleh t_c = 0,07369 in sehingga standarisasi t_c = 3/16 in

3. Perancangan Pengadukan

Jenis : 6 *flat blades turbine inclined* 45^o

Dasar Pemilihan : Sesuai untuk pengadukan yang disertai transfer panas dengan *internal coil*. (Wallas, 1990: 288)

a. Menentukan Diameter pengaduk (D_i)

Berdasarkan Brown, hal 507, untuk 6 *flat turbine* diperoleh D_{vessel}/D_i = 3

D_{vessel} = ID tangki = 96 in = 2,4383 m

Maka D_i = 0,8128 m = 2,6667 ft

b. Menentukan Tebal (tb) dan Lebar (Wb) Pengaduk

Berdasarkan Brown, hal 507

t_b = D_i x 1/5 = 0,1626 m

W_b = 1/4 x D_i = 0,2032 m

c. Menentukan Lebar baffle, w

Jumlah Baffle : 4 buah (wallas, hal 287)

w = ID/12 = 8 in = 0,20319 m

d. Menentukan offset top dan offset bottom

Offset top = 1/6 x W_b = 0,03387 m

Offset bottom = D_i/2 = 0,0,4064 m

e. Menentukan Jarak Pengaduk dari Dasar Tangki

Dari Brown, hal 507, tinggi tepi bawah blade dari dasar tangki (Z_i/D_i) berkisar antara 0,75 - 1,3. Diambil Zi/Di = 0,75, maka, Zi = 0,6096 m

f. Menentukan Jumlah Pengaduk,Nt

Dari Brown, hal 507, tinggi cairan maksimum yang dapat terjangkau pengaduk (Z_L/Di) berkisar antara 2,7 - 3,9. Diambil Z_L/Di = 2,7, maka Z_L = 2,19456

Jumlah Pengaduk = WELH/Di

WELH = *water equivalent liquid head* = Z_L.sg

sg = *specific gravity*

ρ_{air} = 998 kg/m^3

$\rho_{campuran}$ = 1.162,3439 kg/m^3

sg = $\rho_{campuran}/\rho_{air}$ = 1,15703

WELH = 2,5392

N_t = 3,1234

Maka Nt = 3

g. Menentukan Daya Pengadukan, P

- Bilangan Reynold, N_{re}

Kecepatan putaran, N = 10 – 15 ft/s (2,05 rps) untuk pengadukan dengan transfer panas (Walas, 1988:292). Diambil 15 ft/s = 2,05 rps = 123 rpm

$$N_{Re} = \frac{\rho_{mix}\, D_a^{\,2}\, N}{\mu_{mix}}$$

D_a = diameter pengaduk

ρ_{camp} = 1.152,0333 kg/m^3

Tabel. F.7. Perhitungan viskositas

KOMPONEN	kg/jam	wi	visc (cp)	Wi.visc
$Na_3PO_{4\ (nk)}$	6.312,973383	0,7287	0,3416	0,24892
Na_2HPO_4	130,018174	0,01501	0,3585	0,005381
NaOH	885,305588	0,1022	0,3908	0,03994
H_2O	1.334,448887	0,15404	0,3143	0,04841
Total	**8.662,809581**	**1**		**0,34266**

$$\ln \mu_{mix} = \sum w_i \mu_i = 0{,}34266$$

μ = 1,4047 cp =0,00141 Ns/m^2

Sehingga diperoleh, N_{Re} = 688.033,2584

- Power Number, N_p

Nilai Np diperoleh dari gambar 10.5,Wallas,1988 : 292 dengan menghubungkan N_{Re} dengan N_p. Diperoleh Np = 8

- Tenaga Pengadukan, P

$$P = N_P . \rho_{mix} . N^3 . D_a^{\ 5}$$

$P_{teoritis}$ = 2,8687 Hp

Daya hilang = 10 % (Wallas, gland loss 10 % dari daya teoritis)

Daya input = 3,1556 Hp

Efisiensi motor = 80 %

Maka daya total = 3,9445 Hp

h. Menghitung Panjang Batang Sumbu Pengaduk (*Axis Length*)

Axis length (L) = Tinggi total tangki + jarak dari motor ke bagian atas *bearing* – jarak pengaduk dari dasar tangki

Tinggi total tangki = 10,4782 ft

Jarak dari motor ke bagian atas *bearing*

Dari Brown pp. 507 : Z_i/D_a = 0,7 – 1,3

Dipilih Z_i/D_a = 1

Jarak agitator dari dasar tangki (Z_i) = 2,0001 ft

Diperoleh *Axis length* (L) = 9,4781 ft

i. Menghitung Diameter Sumbu (*Axis Diameter*)

$$T_c = \frac{P \text{ x } 75 \text{x } 60}{2 \text{ x } \pi \text{ x N}} \qquad \text{(Pers.14.8, Wallas)}$$

Keterangan :

T_c = Momen putaran

P = Daya = 3,9445 hp

N = Kecepatan putaran = 320,772 rpm

Diperoleh, T_c = 8,8575 kg-m

$T_m = (1,5 \text{ or } 2,5) \times T_c$ (Pers. 14.10, Wallas)

Digunakan $T_m = 1,5\ T_c$

T_m = 13,2863 kg-m

$$Z_p = \frac{T_m}{f_s}$$ (Pers.14.9, Wallas)

Keterangan :

T_m = Torsi maksimum

P = *Shear stress*

f_s = *Section of shaft cross section*

Material sumbu yang digunakan adalah *commercial cold rolled steel.*

Axis shear stress yang diizinkan = 550 kg/cm^2

Modulus elastisitas = 19,5 x 105 kg/cm^2

Batasan elastis pada tegangan = 2460 kg/cm^2

$$Z_p = \frac{13,2863 \times 100}{550} = 2,4157$$

$$Z_p = \frac{\pi . d^3}{16}$$

d = 2,3089 cm

Digunakan diameter sumbu (d) = 2,5 cm

j. Menghitung *Bending Moment*, M

$$F_m = \frac{T_m}{0.75 \times R_b}$$ (Pers.14.11, Wallas)

Keterangan :

Tm, kg-cm = 13,2863 kg-m = 1328,63 kg-cm

R_b = Jari-jari impeller = ½ D_a

= 0,3556 m = 35,5604 cm

Diperoleh, F_m = 49,8173 kg

$M \quad = F_m \times L$

dimana :

L = Panjang *axis* = 10,6066 ft = 3,2329 m

maka :

$M \quad = 1733,5426$ kg-m

Dari Pers 14.10, Wallas diketahui

Me = *Bending moment equivalent*

$$Me = \frac{1}{2}\left[M + \sqrt{M^2 + T_m{}^2}\right]$$

= 1733,5680 kg-m = 218300,77 kg-cm

Tegangan yang disebabkan oleh *bending moment equivalent* adalah :

Me = 218300,77 kg-cm

$$f = \frac{Me}{Z} = \frac{Me}{\pi\left(\frac{d^3}{32}\right)} = 180.736,2024 \text{ kg/cm}^2$$

karena f > batasan elastis dalam tegangan (180.736,2024 > 2460)

maka diameter sumbu yang direncanakan tidak memenuhi, dan diameter sumbu diganti dengan : d = 10cm

Lalu diperoleh f pada sumbu diameter baru adalah :

$$f = \frac{Me}{Z} = \frac{Me}{\pi\left(\frac{d^3}{32}\right)} = 2224,7212 \text{ kg/cm}^2$$

dimana f < batasan elastis dalam tegangan (2224,7212 < 2460)

Jadi, diamater sumbu adalah 10 cm = 0,3281 ft.

4. Perancangan *Coil* Pendingin

Pertimbangan penggunaan koil :

- Koil bisa langsung bersinggungan dengan fluida, sehingga trasfer panas bisa efektif

- Luas transfer panas koil bisa diatur
- Panas tercampur lebih homogen didalam fluida
- Paling murah (Kern, 1950, pp. 720)

Digunakan amonia refrigerant sebagai pendingin pada reaktor :

Kebutuhan pendingin :

Massa pendingin = 3.450,022921 kg/jam

= 7.606,0383 lb_m/jam

Sifat amonia pada suhu = -33,5 ^oC

ρ =	12,9386	lb/ft^3		
μ =	0.03675 cP	= 0,08892	lb/ft.jam	
Cp =	1,2	Btu/lb^oF		
k =	0.29	Btu/jam.ft.^oF		

Pemilihan pipa standar (Tabel. 11, Kern) :

Dipilih *tube* :

OD = 1,66 in = 0,1383 ft

ID = 1,38 in = 0,115 ft

a_t'' = 0,435 ft^2/ft

a' = 1,5 in^2/tube = 0,01042 ft^2/tube

- Fluks Massa Pendingin Total (G_{tot})

$$G_{tot} = \frac{W}{a'_t}$$

$$= \frac{3.450,022921}{0,01042} = 331.096,2496 \text{ kg/ft}^2\text{. jam}$$

$= 730.107,0577\ lb_m/ft^2.jam$

$= 202,8075\ lb_m/ft^2.s$

- Fluks Massa Tiap Set Koil

$G_i = \rho_c \times v_c$

Kecepatan medium pendingin di dalam pipa umumnya berkisar 1,5-2,5 m/s.

Dipilih : $V_c = 2$ m/s = 6,5616 ft/s.

$G_i = \rho_c \times v_c$

$G_i = 12,9386 \times 6,5616$

$= 84,8980\ lb/s.ft^2$

$= 305.632,9173\ lb/jam.ft^2$

- Jumlah Set Koil (N_c)

$$N_c = \frac{G_{c,tot}}{G_i}$$

$$N_C = \frac{730.107,0577}{305.632,9173} = 2 \text{ set koil}$$

- Koreksi Fluks Massa Tiap Set Koil ($G_{i,kor}$)

$$G_{i,kor} = \frac{G_{c,tot}}{N_c}$$

$$G_{i,kor} = \frac{730.107,0577}{2} = 365.053,5289\ lb/jam.ft^2$$

- Cek Kecepatan Medium Pendingin ($V_{c,cek}$)

$$V_{c,cek} = \frac{G_{i\,kor}}{\rho_c}$$

$$V_{c,cek} = \frac{365.053,5289}{12,9386} = 28.214,29899\,\text{ft/jam} = 2,3887\,\text{m/s}$$

(masuk dalam range/memenuhi standar 1,5 − 2,5 m/s)

- Koefisien transfer panas fluida sisi dalam *tube*:

$$h_i = \frac{4200.(1,35 + 0,02.t_b).v^{0,8}}{ID^{0,2}}$$

$$hi = \frac{4200.(1,35 + 0,02.30).2,2717^{0,8}}{0,0351^{0,2}}$$

h_i = 30.853,4164 W/m°K

h_i = 5.433,5658 Btu/jam.ft^2.°F

h_{io} = h_i x $\frac{ID}{OD}$

= 5.433,5658 x $\frac{0,115}{0,1383}$ = 4.518,1494 Btu/ jam.ft^2 °F

Diameter spiral atau heliks koil = 0,7-0,8 D (Rase, 1977)

D_{spiral} (d_{he}) = 0,8 (8) = 6,4 ft = 1,9507 m

Maka h_{io} koil = h_{io} pipa $\left[1 + 3,5\left(\frac{D_{koil}}{D_{spiral}}\right)\right]$

h_{io} koil = $4.518,1494\left[1 + 3,5\left(\frac{0,115}{6,4}\right)\right]$

= 4.802,2986 Btu/ jam.ft^2.°F

- Koefisien transfer panas fluida sisi luar *tube*:

$$h_o = 0{,}36.\frac{k}{De}.\left(\frac{De.G}{\mu}\right)^{0,55}.\left(\frac{Cp.\mu}{k}\right)^{1/3} \quad \text{(Kern, 1950)}$$

h_o = 769,0025 Btu/ jam.ft^2.^{o}F

$$U_C = \frac{h_o \times h_{io}}{h_o + h_{io}}$$

$$= \frac{(769{,}0025)(4.802{,}2986)}{(769{,}0025)+(4.802{,}2986)}$$

= 662,8577 Btu/ jam.ft^2 ^{o}F

Diambil Rd = 0,001 (Kern, 1950)

$$U_D = \frac{1}{\left(\frac{1}{U_C} + R_d\right)}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{1}{662{,}8577} + 0{,}001\right)}$$

= 398,6256 Btu/ jam.ft^2 ^{o}

Hot Fluid	**^{o}F**	***Cold fluid***	***Temp. diff***	**^{o}F**
288,2268	*Higher Temp*	-28,3	316,5269	**Δt_2**
64,4	*Lower Temp*	-28,3	92,7	**Δt_1**
223,8268	*Temp diff*	0	223,8268	**$\Delta t_2 - \Delta t_1$**

Sehingga :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{Ln\left(\Delta t_2 / \Delta t_1\right)}$$

$$= 182{,}2636^oF$$

Dari perhitungan neraca energi (Lampiran B), diperoleh besarnya Q :

Q = 4.725.142,147 kJ/jam = 4.478.553,018 Btu/jam

- Maka, luas perpindahan panas total

$$A = \frac{Q}{U_D \ \Delta t}$$

$$= \frac{4.478.553,018}{(398,6256)182,2638}$$

$$= 61,6413 \text{ ft}^2$$

- Beban Panas Tiap Set Koil (Q_{ci})

Asumsi : beban panas terbagi merata pada tiap set koil

$$Q_{ci} = \frac{Q_c}{N_c}$$

$$Q_{ci} = \frac{4.478.553,018}{3} = 1.492.851,006 \text{ Btu/jam}$$

- Luas Perpindahan Panas Tiap Set Koil

$$A_{ci} = \frac{Q_{ci}}{U_D \times \Delta T_{LMTD}}$$

$$A_{ci} = \frac{1.429.851,006}{(398,6256)(182,2636)} = 20,5471 \text{ ft}^2$$

- Jarak Antar Pusat Koil (J_{sp})

J_{sp} = 2 x OD_{koil}

J_{sp} = 2 x 0,1383 = 0,2766 ft

- Panjang Satu Putaran Heliks Koil (L_{he})

L_{he} = ½ putaran miring + ½ putaran datar

$$L_{he} = 1/2.\pi.r_{he} + 1/2.\pi.d_{he}$$

Diameter spiral atau heliks koil = 0,7-0,8 D (Rase, 1977)

D_{spiral} (d_{he}) = 0,8 (8) = 6,4 ft = 1,9507 m

$$L_{he} = 1/2\pi(6{,}4d_{he}^2 + J_{sp}{}^2)^{1/2} + 1/2\pi.d_{he} = 20{,}1054 \text{ ft}$$

- Panjang Koil Tiap Set (L_{ci})

$$L_{ci} = \frac{A_{ci}}{a_t''}$$

$$L_{ci} = \frac{20{,}5471}{0{,}435} = 47{,}2348 \text{ft}$$

- Jumlah Putaran Tiap Set Koil

$$N_{pc} = \frac{L_{ci}}{L_{he}}$$

$$N_{pc} = \frac{47{,}2348}{20{,}1054} = 2{,}3494 \approx 2{,}5 \text{ putaran}$$

- Koreksi Panjang Koil Tiap Set

$L_{ci,kor}$ = N_{pc} x L_{he}

$L_{ci,kor}$ = 2,5 x 20,1054 = 50,2635 ft

- Tinggi Koil (L_c)

L_c = Jsp x Npc x Nc

L_c = 0,2766 x 2,5 x 3 = 2,0745 ft = 0,6323 m

- Volume Koil (V_c)

$V_c = N_c\ (\pi / 4\ (OD)^2\ L_{ci})$

$V_c = 3\ (\pi/4 \times 0{,}1383^2 \times 50{,}2635 = 2{,}2641 \text{ft}^3 = 0{,}06411 \text{m}^3$

- Cek Tinggi Cairan Setelah Ditambah Koil (h_L)

  Tinggi koil harus lebih kecil daripada tinggi cairan setelah ditambah koil agar seluruh koil tercelup dalam cairan.

$$h_L = \frac{V\,(cair + gas) + V_{koil}}{(\pi / 4D_k^{\ 2})}$$

  h_L = 6,7134 ft = 2,0463 m

  h_L = 6,7134 ft > L_c (=1,6596 ft), semua koil tercelup di dalam cairan.

- Cek *Dirt Factor*

  Dari tabel 12 Kern, 1965, R_d min untuk *refrigerating liquid*, *heating*, *cooling* atau *evaporating* = 0,001

  Syarat : R_d > R_d min

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c + U_D}$$

$$R_d = \frac{662{,}8577 - 396{,}6256}{662{,}8577 + 396{,}6256} = 0{,}2494 > 0{,}001(memenuhi)$$

- Cek *Pressure Drop*

  Syarat : < 10 psi

$$N_{Re} = \frac{ID.G_t}{\mu} = \frac{(0{,}115)(730.107{,}0577\ )}{0{,}08892} = 897.942{,}2353$$

Faktor friksi untuk pipa baja (f)

$$f = 0{,}0035 + \frac{0{,}264}{R_{ei}^{\ 0{,}42}}$$

$$\mathrm{f}\ = 0{,}0035 + \frac{0{,}264}{897.942{,}2353^{0{,}42}} = 4{,}3341 \times 10^{-3}$$

- *Pressure Drop*

$$\Delta P = \frac{4.f.G_i^2.L_i}{2g.\rho_c{}^2.ID}$$

$$\Delta \mathrm{P} = \frac{4(4{,}3341.10^{-3})(365.053{,}5285^2)20{,}1054}{2(416.975.040)(12{,}9386^2)(0{,}115)} = 2{,}6164\,\mathrm{psi}$$

5. Merancang Perpipaan dan *Nosel*

a. Pipa Umpan *Crystallizer*

Diameter optimum (d) = 282 $G^{0.52}\rho^{-0.37}$ (Pers 5.14, Couldson, 1983:161)

Diketahui :

Laju alir massa (G) = 8.662,809581 kg/jam = 2,40634 kg/s

Densitas cairan (ρ_{mix}) = 1.162,3439 kg /m^3

Viskositas cairan (μ_{mix}) = 1,4087 cP = 0,0014087 kg/m s =3,40634 lbm/ft jam

Asumsi aliran adalah turbulen, (N_{Re}) > 4000

Diameter optimum, d = 282 $G^{0.52}\rho^{-0.37}$

= 32,68744 mm = 1,28691 in

Dipilih :

Pipa dengan NPS = 1 1/2 in (Tabel 11, Kern, 1950:844)

Sch = 40 (standar)

ID = 1,610 in

OD = 1,9 in

Flow area, A = 2,04 in^2

Bil. Reynold, N_{Re} = $\frac{4\,G}{\pi\,\mu\,d}$

= 83.998,9647 (> 4000, asumsi benar)

Spesifikasi nosel standar dari Brownell and Young, App. F item 1 hal 349 :

Size = 1 ½ in

OD of pipe = 2,200 in

Flange Nozzle thickness (n) = coupling

Diameter *hole on in reinforcing plate* (D_R) = 2 3/8 in

Distance from Bottom of tank to center of nozzle :

Type H = 6 in

Type G = 3 in

b. Pipa Keluaran Produk

Diameter otimum, d = 282 $G^{0.52}\rho^{-0.37}$ (Pers 5.14, Couldson, 1983:161)

Data perhitungan :

Laju alir massa , G = 8.662,809581 kg/jam = 2,40634 kg/s

Densitas cairan, ρ_{mix} = 1.167,5257 kg /m^3

= 72,8861 lb_m/ft^3

Viskositas cairan, μ_{mix}= 1,4096 cP = 0,00141 kg/m s

Asumsi aliran adalah turbulen, (N_{Re}) > 4000 maka

Diameter optimum, d = 36,8516 mm = 1,4508 in

Dipilih :

Pipa dengan NPS = 1 1/2 in (Tabel 11, Kern, 1950:844)

Skedul pipa = 40 (standar)

ID = 1,610 in

OD = 1,9 in

Flow area, A = 2,04 in^2

Bil. Reynold, N_{Re} = $\dfrac{4\,G}{\pi\,\mu\,d}$

= 74.530,0346 (> 4000, asumsi benar)

Spesifikasi nosel standar dari Brownell and Young, App. F item 1 hal 349 :

Size = 1 ½ in

OD of pipe = 2,200 in

Flange Nozzle thickness (n) = coupling

Diameter *hole on in reinforcing plate* (D_R) = 2 3/8 in

Distance from Bottom of tank to center of nozzle :

Type H = 6 in

Type G = 3 in

c. *Nozzle* koil :

- ***Nozzle* pendingin masuk :**

Diameter luar koil = 1,66 in

Spesifikasi nosel standar koil dari Brownel, App. F, item 1 hal 349 :

Size = 11/2 in

OD of pipe = 2,200 in

Flange Nozzle thickness (n) = coupling

Diameter hole on in reinforcing palate (D_R) = 2 3/8 in

Distance from Bottom of tank to center of nozzle,

Type H = 6 in

Type G = 3 in

- *Nozzle* pendingin keluar :

Diameter luar koil = 1,66 in

Spesifikasi nozzle standar koil dari Brownel, App. F, item 1 hal 349 :

Size = 11/2 in

OD of pipe = 2,200 in

Flange Nozzle thickness (n) = coupling

Diameter hole on in reinforcing palate (D_R) = 2 3/8 in

Distance from Bottom of tank to center of nozzle,

Type H = 6 in

Type G = 3 in

d. Nozzle Pengaduk

Diameter sumbu, d = 3,9372 in

Spesifikasi nozzle standar (Brownel and Young, App. F item 1, hal .349

Size	= 4 in
OD of pipe	= 4 ½ in
Flange Nozzle thickness (n)	= 0,337 in
Diameter of hole in reinforcing palate (D_R)	= 4 5/8 in
Length of side of reinforcing plate, L	= 12 in
Width of reinforcing plate, W	= 15 5/8 in
Distance shell to flange face, outside (J)	= 6 in
Distance shell to flange face, inside (K)	= 6 in

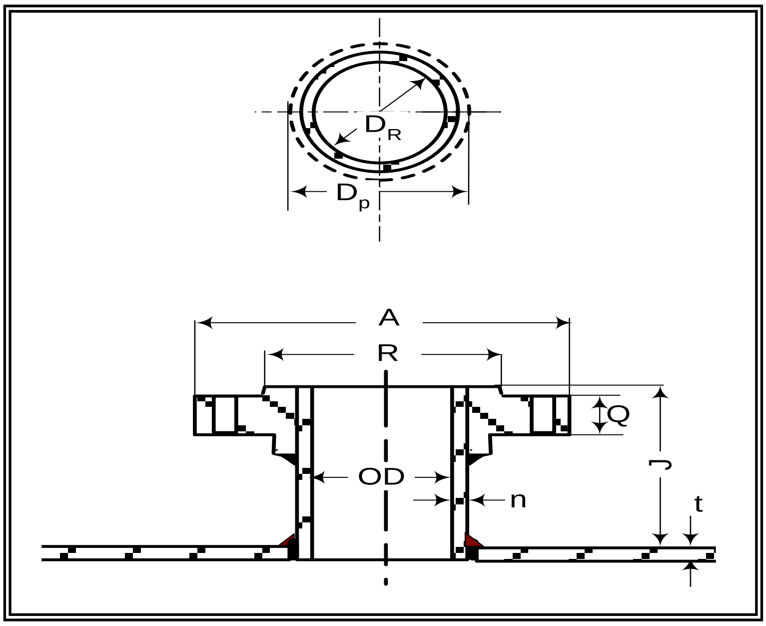
Distance from Bottom of tank to cente of nozzle,

Type H	= 9 in
Type G	*= 6 in*

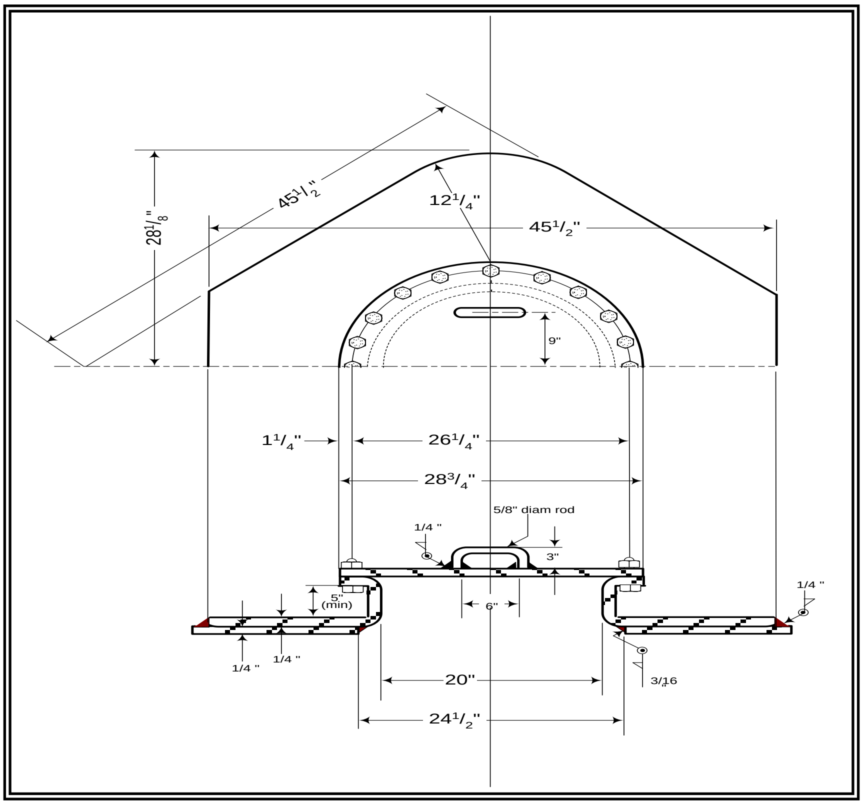
e. Manhole (Shell Manhole)

Kontruksi manhole berdasarkan rekomendasi API Standard 12 C Brownell and Young, App. F item 4, hal 351, dengan spesifikasi :

Diameter *Manhole*	= 20 in
Untuk *flange thickness = head thickness,* th	= 3/16 in
Diameter dalam *manhole frame,* ID	= 20 in
Maksimum diameter lubang, Dp	= 24 ½ in
Diameter plat penutup (*cover plate),* Dc	= 28 ¾ in
Diameter *bolt circle,* D_B	= 26 ¼ in
Length of side, L	= 45 ¼ in
Lebar *reinforcing plate,* W	= 54 ¼ in
Size of fillet weld A	= 3/16 in
Size of fillet weld B	= 2/16 in



Gambar F.7 Dimensi *Nozzle*



Gambar F.8 Dimensi *Manhole*

6. Menghitung Berat *Crystallizer*

$\rho_{carbon\ steel}$ = 490 lb_m/ft^3 (Brownell, 1959:156)

a. Berat *Shell*

Diameter dalam shell = ID = 8 ft

Ketebalan shell (t_s) = 0,0208 ft

Diameter luar shell = OD = ID + 2 t_s

= 8,0416 ft

Tinggi shell (Hs) = 5 ft

Volume shell = ¼ π x Hs x (OD^2 – ID^2)

2,6193

Berat shell total, Ws = volume *shell* x ρ *steel*

= 2,6193 ft^3 x 490 lb_m/ft^3

= 1.283,4435 lb_m

b. Berat *Dish Head* dan *bottom*

(1). Berat *Dish Head*

OD *dish head* = ID *dish* + (2 x th) = 96,625 in = 29,4499 ft

Panjang *straight flange* = 2 in

Inside corner radius = 5 7/8 in = 0,4896 ft

Ketebalan dish (t_h) = 5/16 in

Untuk t_d < 1 in (t_h = 5/16 in) perkiraan *blank diameter* (b_d) adalah :

$b_d = OD + \frac{OD}{24} + 2 \cdot S_f + (2/3 \text{ x. icr})$ (Brownell and Young. Eq.5-12,p.88)

= 108,5677 in = 9,0473 ft

Volume *dish head* = ¼ π $(b_d)^2$ x t_h

= 1,6733 ft^3

Berat *dish head* = volume dish x ρ_{steel}

= 1,6733 ft^3x 490 lb_m/ft^3

= 819,9219 lb_m

(2). Berat *Bottom*

OD *Bottom* = ID *dish* + (2 x tc) = 96,3750 in = 8,03125 ft

Panjang *straight flange* = 2 in

Inside corner radius = 5 1/8 in = 0,026 ft

Ketebalan dish (t_h) = 3/16 in

Untuk t_d < 1 in (t_h = 3/16 in) perkiraan *blank diameter* (b_d) adalah :

$$b_d = OD + \frac{OD}{24} + 2 \cdot S_f + (2/3 \text{ x. icr})$$ (Brownell and Young. Eq.5-12,p.88)

= 104,8073 in = 8,7339 ft

Volume *bottom* = ¼ π $(b_d)^2$ x t_h

= 0,9356 ft^3

Berat *bottom* = volume *bottom* x ρ_{steel}

= 0,9356 ft^3 x 490 lb_m/ft^3 = 458,4651 lbm

Berat total *head* dan *bottom* = 1.278,3869 lb_m

c. Berat Koil

Digunakan *tube* 1 1/4 in 14 BWG

OD tube = 1,66 in = 0,1383 ft

ID tube = 1,38 in = 0,0,115 ft

External surface/lin ft (a_t") = 0,435 ft^2/ft

Panjang koil = 126,0536 ft

Volume koil = ¼ π L (OD^2)

= 1,8112 ft^3

Berat koil = volume koil x ρ_{steel}

= 1,8112 ft^3 x 490 lb_m/ft^3

= 887,488 lb_m

d. Berat *Opening*

(1). Berat *manhole*

Manhole 20 in = 428 lb_m (Megyesy, hal 389)

Berat tutup = 29,22 lb_m (Megyesy, hal 384)

Berat *manhole*

(2). Berat *nozzles*

Ukuran nosel = nosel pipa umpan + nosel pipa produk + nosel koil + nosel pengaduk

Ukuran *nozzzle* = 1 ½ + 1 ½ + 1 1/2 + 4(in)

Berat nozel = 6 + 6 + 6 + 28 (lbm) (Megyesy, pp. 389)

Berat nosel total = 46 lb_m

Berat Opening total = Berat *manhole* + Berat *nozzles*

= 503,22 lbm

f. Berat sistem pengaduk

(1). Berat *impeller*

Diameter impeler, Da = 2,6667 ft, maka r = 1,33335 ft

Lebar impeller, W = 0,6667 ft

Ketebalan impeller, ti = 0,2Da = 0,53334 ft (Brown, 1950)

ρ_{steel} = 490 lb_m/ft^3

Berat total *six blade* = 6 x (r x W x ti x ρ)

= 1.393,8823 lb_m

(2). Berat Sumbu

Material sumbu = *Commercial cold rolled steel*

Panjang sumbu, L = 9,4781 ft

Diameter sumbu, d = 0,3281 ft

Berat sumbu = $\frac{1}{4} \pi d^2 L \rho$

= 41,4023 lb_m

Berat total pengaduk = Berat total *six blade* + berat sumbu

= 1.435,2846 lb_m

g. Berat *Baffel*

Panjang atau tinggi baffel, H = 8 ft

Lebar baffel, J = 0,6667 ft

Tebal baffel, tb = 0,5J = 0,33335 ft

Jumlah = 4 buah

$\rho_{carbon\ steel}$ = 490 lb/ft^3

Berat total baffel = Jumlah x tebal x lebar x tinggi x ρ steel

= 3.484,7929 lbm

h. Berat fluida dalam *Crystallizer*

Berat umpan masuk = 8.662,809581 kg/jam

Waktu tinggal = 0,7275 jam

Berat amonia *refrigerant* = 3.450,022921 kg/jam

Berat fluida total = berat umpan masuk + berat amonia *refrigerant*

= 14.715,5832 kg/jam = 10.392,14486 = 22.910,3723 lbm

i. Berat Mati *Crystallizer*

Berat mati *crystallizer* = berat vessel dan perlengkapan + berat fluida

= 33.996,79 lb_m

7. Desain Sistem Penyangga

Over desain = 20 % dari berat mati *crystallizer*

Berat untuk perancangan = 1,2 x berat mati *crystallizer*

= 1,2 x 33.996,79 lb_m

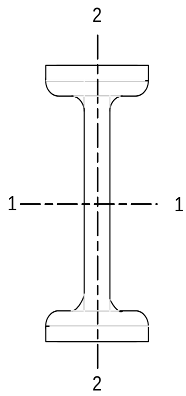
= 40796,15088 lbm

Tank crystalizer disangga dengan 4 kaki.

Kaki penyangga dilas ditengah – tengah ketinggian (50 % dari tinggi total *crystallizer*).

a. *Leg Planning*

Digunakan kaki (leg) tipe I-*beam* dengan pondasi dari cor atau beton.



Gambar F.9. Kaki penyangga tipe I *beam*

Karena kaki dilas pada pertengahan ketinggian *crystallizer*, maka ketinggian kaki adalah :

$(H_{leg}) = l = ½\ H_r + L$

Keterangan :

H_r = Tinggi total *crystallizer*, ft = 10,4782 ft

L = Jarak antara *bottom* ke pondasi = 5 ft

$(H_{leg}) = l$ = 9,7999 ft = 117,5988 in

Digunakan I-*beam* 5 in (App. G, item 2. Brownell and Young:355)

Dimensi I-*beam* :

Kedalaman *beam* (h)	= 5 in
Lebar *flange* (b)	= 3,284 in
Web thickness	= 0,494 in
Ketebalan rata-rata *flange*	= 0,326 in
Area of section (A)	= 4,29 in^2
Berat/ft	= 14,75 lbs

Peletakan dengan beban eksentrik (*axis* 1-1) :

I = 15 in^4

S = 6 in^3

r = 1,87 in

Peletakan tanpa beban eksentrik (*axis* 2-2) :

$I = 1{,}7\ in^4$

$S = 1\ in^3$

$r = 0{,}63\ in$

Cek terhadap peletakan sumbu *axis* 1-1 maupun *axis* 2-2 .

***Axis* 1-1**

l/r = 117,5988 in / 1,87 in = 62,8871 (*l/r* < 120, memenuhi)

(Brownell and Young, 1959 : 201)

- *Stress kompresif* yang diizinkan *(f_c)*

$$(f_c) = \frac{P}{a} = \frac{18.000}{1 + (l^2/18.000\ .\ r^2)} \quad \text{(Pers. 4.21, brownell and Young, 1959:67)}$$

$$= \frac{18.000}{1 + (117{,}5988^2/18.000 \times 1{,}87^{\ 2})}$$

$= 14275{,}9141\ lb_m/in^2$ (<15000 psi, memenuhi)

(Brownell and Young, 1959 : 201)

Jarak antara *center line* kolom penyangga dengan *center line* shell (a) dari gambar sistem penyangga *crystallizer*

a = ½ x lebar flange (b) + 1,5

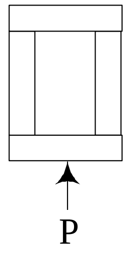
= 3,142 in

y = ½ x lebar flange (b)

= 1,642 in

$Z = I/y = 9{,}1352\ in^3$

- Beban kompresi total maksimum tiap *leg* (P)



Gambar F.10. Sketsa beban tiap *leg*

$$P = \frac{4\,P_w\ (H - L)}{n\,D_{bc}} + \frac{\Sigma\,W}{n}$$ (Pers. 10.76, Brownell and Young, 1959:197)

Keterangan :

P_w = Beban angin total pada permukaan yang terbuka, lbm

H = Tinggi *crystallizer* di atas pondasi, ft

L = Jarak dari fondasi ke bagian bawah *crystallizer*r, ft

D_{bc} = Diameter *anchor-bolt circle*, ft

n = Jumlah penyangga, n = 4

ΣW = Berat reaktor kosong + berat liquid dan beban mati lainnya, lb

= 40796,15088 lb

Umumnya *vessel* dengan penyangga *lug* atau *lug supported* memiliki ketinggian yang lebih rendah dibandingkan *skirt supported vessel,* sehingga *wind load* sangat minor pengaruhnya. *Wind load* cenderung mempengaruhi *vessel* jika *vessel* dalam keadaan kosong. Berat *vessel* dalam keadaan terisi oleh cairan cenderung stabil (Hal.197, Brownell & Young, 1959).

Jadi, nilai P_w = 0, kemudian persamaan di atas menjadi :

$$P = \frac{\Sigma\,W}{n} = 10.199,0377 \text{ lbm}$$

- Menghitung beban eksentrik

$$(f_{ec}) = \frac{P.\,a}{Z}$$ Pers. 10.98, Brownell and Young, 1959)

$$= \frac{10.199,0377 \ \times 3,142}{9,135201}$$

$= \text{lbm/in}^2$

$f = f_c - f_{ec}$

$= 14275,9141\ lb_m/in^2 - 3.507,9005\ lb_m/in^2$

$= 10.768,01356 \text{ lbm/in}^2$

- Luas Penampang Lintang

$A = \frac{P}{f}$ (Pers. 10.98, Brownell and Young, 1959)

$= \frac{10.199,0377}{10.768,01356}$ = 0,9472 in^2< A table (4,29 in^2), sehingga memenuhi.

***Axis* 2-2**

I/r = 117,5988 in/ 0,63 in = 186,6647 (l/r > 120, tidak memenuhi)

(Brownell and Young, 1959, p.201)

b. *Lug Planning*

P = 10.199,0377 lbm

Masing-masing penyangga memiliki 4 baut (*bolt*)

Beban maksimum tiap baut:

$P_{bolt} = \frac{P}{n_b}$ = 2.549,7594 lbm

Luas lubang baut adalah :

$A_{bolt} = \frac{P_{bolt}}{f_{bolt}}$ (Pers.10.35, Brownell and Young, 1959:190)

dengan : f_{bolt} = stress maksimum yang dapat ditahan oleh setiap baut = 12.000 psi = 12.000 lb_m/in^2

$A_{bolt} = \frac{2.549,7594 \ lb_m}{12.000 \ lb_m/in^2}$ = 0,2125 in^2

Digunakan ukuran baut standar dengan diameter = ¾ in

(Tabel 10.4. Brownell, 1959:188)

- Ketebalan plat horizontal

$t_{hp} = \sqrt{\frac{6 M_y}{f_{allow}}}$ (Pers.10.41, Brownell and Young, 1959:193)

$M_y = \frac{P_{bolt}}{4\pi}\left[(1+\mu)\ln\frac{2\,l}{\pi\,e}+(1-\gamma_1)\right]$ (Pers.10.40, Brownell and Young, 1959:192)

dengan :

t_{hp} = tebal *horizontal plat*, in

M_y = bending momen maksimum sepanjang sumbu radial, in-lb_m

P_{bolt} = beban baut maksimum = 2.549,7594 lb_m

A = panjang kompresi *plate* digunakan

= ukuran baut + 9 in = 9 ¾ in (Brownell, 1959:193)

h = tinggi *gusset* = 12 in (Brownell, 1959:192)

b = *lebar gusset*, in (Brownell, 1959:193)

= ukuran baut + 8 in = 8 ¾ in

l = jarak radial dari luar horizontal plate luar ke shell = 6 in

μ = poisson'ratio, untuk *steel*, μ = 0,3 (Brownell, 1959:192)

γ_1 = konstanta dari tabel 10.6 Brownell and Young, 1959

f = *Induced stress* = 17500 psi (Brownell, 1959:193)

e = radius konsentrasi beban = dimensi nut/2 (Brownell, 1959:193)

dimensi nut = 1 ¼ in (Tabel 10.4. Brownell, 1959:188)

Maka, e = 0,625 in

- Ketebalan plat kompresi:

$\frac{b}{l} = \frac{8\,{}^3\!/_4}{6}$ = 1,4458 in, diambil 1,6 in (Tabel 10.6 Brownell 1959:192)

Dari tabel 10.6, Brownell and Young, 1959 hal 192 diperoleh γ1 = 0,125

Jadi

$$M_y = \frac{2.549,7594}{4.\,x\,3,14}\left[(1+0,3)\ln\frac{2\,(6)}{3,14\,x.0,625}+(1-0,125)\right]$$

= 543,7130

$$t_{hp} = \sqrt{\frac{6\,x\,543,7130}{12000}}$$

= 0,5213 in.

Digunakan plat standar dengan ketebalan 5/8 in

- Ketebalan Plat Vertikal *(Gusset)*

(t_g) = 3/8 x t_{hp} (Pers.10.47, Brownell and Young, 1959:194)

= 3/8 x 5/8 in = 15/64 in, dipilih 1/4 in

c. *Base Plate Planning*

Digunakan I- beam dengan ukuran 5 in dan 14,75 $lb_{m/}$ft

Panjang kaki (H_{leg}) = 9,7999 ft

Sehingga berat satu *leg* = 9,7999 ft 14,75 $lb_{m/}$ft

= 144,5485 lb_m

Beban *base plate* (P_b) = berat 1 leg + P

= 144,5485 lb_m + 10.199,0377 lb_m

= 10.343,5862 lb_m

Base plate area (A_{bp}) = P_b/f

Dengan:

P_b = *base plate loading*

f = Kapasitas *bearing* (untuk cor, f = 400 psi)

(Tabel 10.1, Brownell 1959:184)

$$A_{bp} = \frac{10.343,5862\ lb_m}{545\ psi} = 18,9791\ in^2\ (= A_{bp}\ min)$$

Untuk posisi leg 1-1

A_{bp} = lebar (l_e) x panjang (p_a)

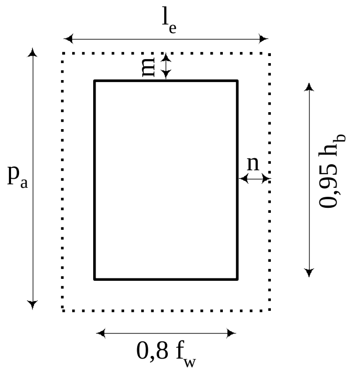
= (0,8 b + 2n)(0,95 h + 2m) = 15,8117 in^2

dengan :

lebar *flange*, b = 3,284 in

kedalaman *beam*, h = 5 in

m = n (diasumsikan awal)



Gambar F.11. Sketsa Area *Base Plate*

Abp = (0,8 x 3,284 + 2n)(0,95 x 5+ 2n) = 15,8117 in^2

$4n^2$ + 14,7544 n – 3,3325 = 0

n^2 + 3,6886n – 0,8331 = 0

Dengan iterasi didapat

n = 0,2153

maka, le = 0,8b + 2n = 0,8 x 3,284 + 2 x 0,2153

= 3,0578 in

jadi, p_a = 0,95h + 2n = 0,95 x 5 + 2 x 0,2153 = 5,1806 in

Umumnya dibuat $p_a = l_e$, maka dibuat $p_a = l_e$ = 5,1806 in

$A_{bp,baru}$ = le x pa

= 26,8386 in^2

n baru = (A_{bp} - 0,8b)/2 = [26,8386 –(0,8 x 3,284)]/2 = 12,1057 in

m baru = (A_{bp} - 0,95h)/2 = [26,8386 –(0,95 x 5)]/2 = 11,0443 in

tebal *base plate* :

tbp = $(0{,}00015 \times P_{ak} \times n^2)^{1/2}$

dengan :

P_a = tekanan aktual

= P/ $A_{bp,baru}$ = 10.199,0377 /26,8386 = 315,2142 psi

t_{bp} = $(0{,}00015 \times 315{,}2142 \times 12{,}1057^2)^{1/2}$

= 2,6323 in. Digunakan plat standar 2 3/4 in

8. Sistem Pengendalian Kristalizer

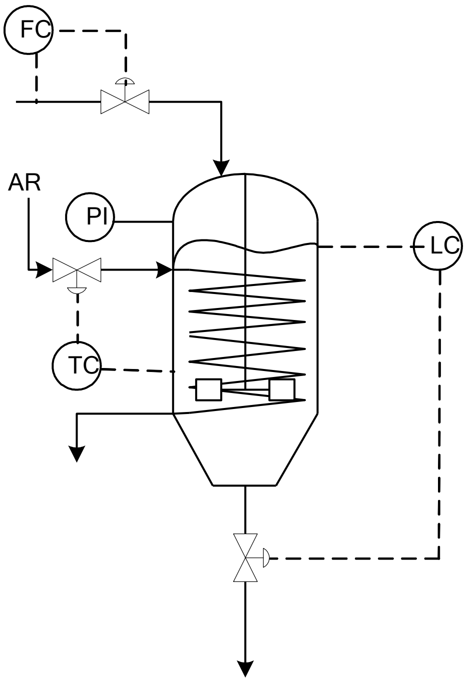
Tujuan pengendalian adalah agar kristalizer bekerja pada kondisi yang diharapkan. Unit Proses ini bekerja secara kontinyu. Instrumen pengendali yang digunakan yaitu:

a. *Flow Controller (FC)*, dengan alat berupa venturimeter, mengatur laju umpan masuk sehingga selalu sesuai dengan komposisi yang diinginkan. FC yang digunakan merupakan pengendali tipe *feedforward* jenis PI.

b. *Temperatur Controller* (TC), dengan alat ukur berupa *radiation pyrometer*, yang menunjukkan temperatur kristalizer dan mengatur laju alir air pendingin. TC yang digunakan merupakan pengendali tipe *feedback* jenis PID.

c. *Level Controller (LC)*, yang bertujuan untuk menjaga ketinggian cairan dalam kristalizer agar tidak meluap dengan mengatur valve keluaran kristalizer. LC yang digunakan merupakan tipe *feedback* jenis P.

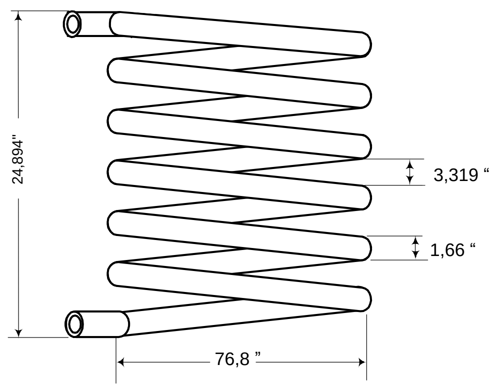
d. *Pressure Controller (PC)*, yang menjaga tekanan dalam kristalizer agar tetap aman. Tekanan dalam kristalizer yang bereaksi pada fase cair tidak akan mengalami perubahan yang sensitive. Oleh karena itu, tekanan kristalizer akan berada pada kondisi konstan. Besarnya nilai tekanan pada kristalizer dapat dipantau dengan memasang alat ukur tekanan. (Coulson, 1983).



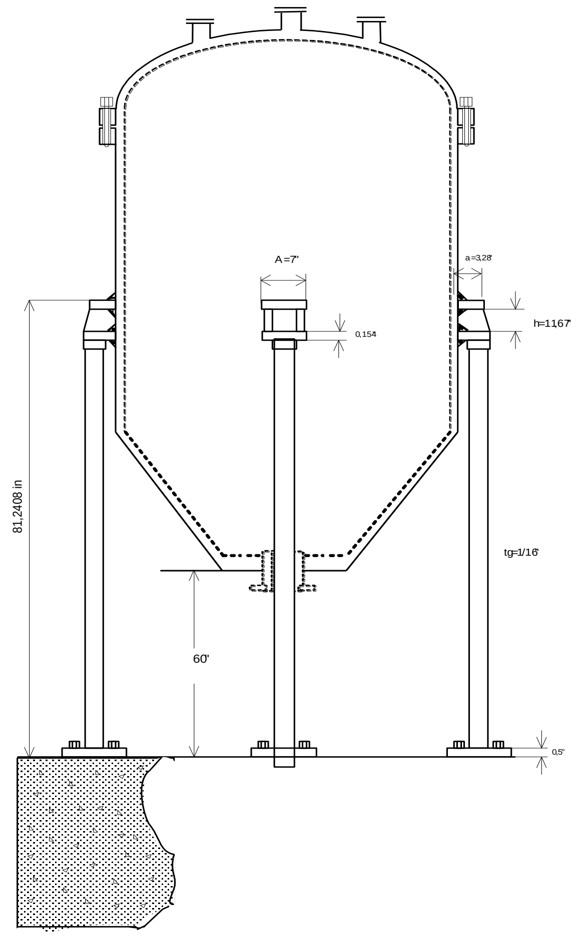
Keterangan

1. FC : Flow Control
2. LC : Level Control
3. TC : Temperature Control
4. PI : Pressure Indicator
5. AR : Amonia Refrigerant

Gambar F.12. Sistem kontrol pada kristalizer



Gambar F.13. Detail koil pada kristalizer



Gambar F.14. Detail untuk sistem penyangga

9. Perancangan Pondasi

Perancangan pondasi dengan sistem konstruksi beton terdiri dari campuran :semen : kerikil : pasir, dengan perbandingan 1 : 2 : 3. Direncanakan pondasi berbentuk limas terpancung. Dianggap hanya gaya vertikal dari berat kolom yang bekerja pada pondasi.

Berat vesel, termasuk perlengkapannya yang diterima oleh :

I-Beam pada kondisi operasi = 40.796,15088 lb_m

Berat *I-BeamI* yang diterima oleh *base plate* = 10.343,5862 lb_m

\+

Jadi berat total yang diterima oleh pondasi = 51.139,7371 lb_m

Digunakan tanah dengan :

Luas bagian atas (a) = 10000 in^2 (100in x 100in)

Luas bagian bawah (b) = 12100 in^2 (110in x 110in)

Tinggi pondasi = 30 in

Volume pondasi = 1/3 x tinggi pondasi x $((a+b) + (axb)^{1/2})$

= 1270 in^2

= 0,7349 ft^3

Berat pondasi (W) = V x densitas beton

= 0,7349 ft^3 x 140 lb/ft

= 102,886 lb_m

Jadi berat total yang diterima tanah adalah

= Berat total yang diterima pondasi + berat pondasi

= 51.139,7371 lb_m + 102,886 lb_m

= 51.242,6231 lb_m

Tegangan tanah karena beban (T) = P/F < 10 ton/ft^2

Keterangan :

P = Beban yang diterima tanah (lb)

F = Luas alas (ft^2)

Jadi tegangan karena beban (г)

$$\Gamma = \frac{51.242{,}6231 \text{ lb}}{7{,}0023 \text{ ft}^3}$$

$= 7.317{,}97025 \text{ lb/ft}^3$

$= 3{,}3194 \text{ ton/ft}^3 < 10 \text{ ton/ft}^3$

Pondasi dapat dipasang pada tanah *clay*, sebab tegangan tanah karena beban kurang dari *safe bearing* maksimal pada tanah *clay*.