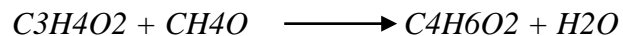


## LAMPIRAN

### PERANCANGAN REAKTOR (R-01)

- Jenis : *Continuous Stirred Tank Reactor*
- Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi antara asam akrilat dan metanol dengan bantuan katalis asam sulfat
- Kondisi Operasi :
- Suhu : 55°C
  - Tekanan : 1 atm
  - Konversi : 98%
  - Waktu tinggal : 70 menit (diperoleh dari patent).

Reaksi yang terjadi di dalam reaktor :



#### 1. Dasar Pemilihan Jenis Reaktor

Dipilih CSTR dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Fase reaksi cair-cair dan prosesnya kontinyu
- b. Pada reaktor alir tangki berpengaduk suhu dan komposisi campuran dalam reaktor selalu seragam. Hal ini memungkinkan melakukan suatu proses isothermal dalam reaktor CSTR.

- c. Pada reaktor alir tangki berpengaduk karena volume reaktor relatif besar dibandingkan dengan reaktor alir pipa, maka waktu tinggal juga besar, berarti zat pereaksi dapat lebih lama bereaksi didalam reaktor.

## 2. Dasar Pemilihan Jaket Pendingin

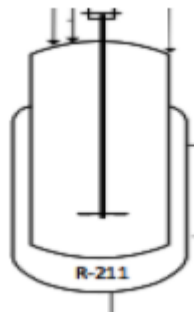
Luas area transfer panas reaktor lebih kecil dibandingkan dengan luas selimut reaktor.

## 3. Dasar Pemilihan Pengaduk

Menentukan jenis pengaduk dilihat berdasarkan nilai viskositas cairan yang diaduk dan volume cairan yang diaduk. Sehingga dipilih pengaduk tipe *marine propeller with 3 blades and pitch 2Di* dengan pertimbangan sebagai berikut:

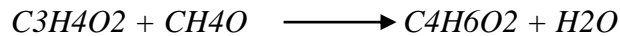
- a. Cocok untuk mempercepat terjadinya perpindahan massa dan panas dalam bentuk larutan pada sistem yang saling larut, karena pola aliran yang dihasilkan adalah radial.
- b. Cocok untuk cairan dengan viskositas mencapai 4000 cP
- c. Cocok untuk volume fluida sampe dengan 2000 gallon.

## 4. Neraca Massa di Sekitar Reaktor (R-01)



Gambar A.1. Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

Reaksi di dalam reaktor:



Tabel 1. Komposisi dengan Perhitungan Kapasitas Reaktor

Umpan Masuk:

komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	72,06	2580,208	35,806
H <sub>2</sub> O (impuritis)	18,01	26,063	1,4471
CH <sub>4</sub> O	32,04	1374,055	42,886
H <sub>2</sub> O (impuritis)	18,01	28,042	2,557
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08	39,493	0,403
H <sub>2</sub> O (impuritis)	18,01	0,806	0,045

Umpan Recycle

komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	72,06	47,295	0,656
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08	355,44	3,624
H <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86,09	914,625	50,784

Total umpan masuk dan *recycle* adalah 5366,027 kg/jam

Umpan Keluar:

komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	72,06	52,550	0,729
CH <sub>4</sub> O	32,04	119,155	7,152
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08	394,934	4,027
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86,09	3076,293	35,733
H <sub>2</sub> O	18,01	1613,095	89,567

Total umpan keluar = 5366,027 kg/jam

## 5. Menghitung Densitas dan Kecepatan laju Alir Volumetrik

$$\text{Suhu} = 55^{\circ}\text{C}$$

$$= 328 \text{ K}$$

Data densitas *liquid* diperoleh dari Table 8-1 dan 8-2, Yaws.

$$\rho = A \cdot B^{-(1-T/T_c)^n}$$

Tabel A.2. Perhitungan Densitas *Liquid*

Komponen	A	B	n	Tc	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0,34565	0,25822	0,30701	615	10092,1889
CH <sub>4</sub> O	0,27197	0,27192	0,23310	512,58	759,0307
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,42169	0,19356	0,28570	925	1796,0256
H <sub>2</sub> O	0,34710	0,274	0,28571	647,13	999,7097

komponen	Massa (kg/jam)	Fraksi massa (xi)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho \cdot xi$
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	2627,5031	0,4947	10092,1889	499,2636
CH <sub>4</sub> O	1374,0550	0,2587	759,0307	196,3711
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	394,9336	0,0744	1796,0256	133,5521
H <sub>2</sub> O	914,6250	0,1722	999,7097	172,1596
Total	5311,1166	1		1001,3464

$$\text{Densitas campuran} = 1001,3464 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{volume cairan} = \text{waktu tinggal} \times \frac{\text{massa}}{\rho}$$

$$\text{volume cairan} = 1,17 \text{ jam} \times \frac{5311,1166 \text{ kg jam}}{1001,3464 \text{ kg m}^3}$$

$$\text{volume cairan} = 6,1880 \text{ m}^3$$

## 6. Menghitung Dimensi Reaktor

Perancangan reaktor ini dengan memilih *over design* sebesar 20%, sehingga

volume reaktor menjadi:

$$\text{volume alat} = 1,2 \text{ volume cairan}$$

$$\text{volume alat} = 1,2 \times 6,1880$$

$$\text{volume alat} = 7,4256 \text{ m}^3 = 262,2314 \text{ ft}^3$$

Reaktor yang digunakan berbentuk silinder tegak, maka:

$$V = \text{vol. silinder} + \text{vol. tutup}$$

$$V = \text{vol. silinder} + \text{vol. head}$$

Dipilih tutup berbentuk *torispherical dished head*

Dengan persamaan volume head (persamaan 5.11, Brownell) sebagai berikut:

$$V_h = 0,000049 D^3$$

Sehingga persamaannya menjadi:

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H + 0,000049 \cdot D^3$$

Perancangan ini memilih  $H = 2D$

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H + 0,000049 \cdot D^3$$

$$262,2314 = D^3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 3,124 + 0,000049$$

$$262,2314 = D^3 \cdot 1,57$$

$$D^3 = 167,0211$$

$$D = 5,5071 \text{ ft} = 66,0853 \text{ in} = 1,6786 \text{ m}$$

$$H = 2 \cdot D$$

$$H = 2 \times 5,5071 \text{ ft}$$

$$H = 11,0142 \text{ ft} = 132,1707 \text{ in} = 3,3571 \text{ m}$$

## 7. Menghitung Tebal Dinding Reaktor

Digunakan persamaan dari persamaan 13.1 (Brownell and Young, 1959)

$$t_s = \frac{P \times r}{(f \times E - 0,6P)} + C$$

Keterangan:

$T_s$  : tebal *shell*

P : tekanan

R : jari-jari

E : efisiensi pengelasan

C : faktor koreksi

F : tegangan yang diijinkan (tabel 13.2, Coulson 4ed)

### Mencari Tekanan Hidrostatik

$$\text{vol. cairan} = h_{\text{cairan}} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$6,1880 = h_{\text{cairan}} \times 2,2118$$

$$h_{\text{cairan}} = 2,7977 \text{ m}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \times g \times h_{\text{cairan}}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = 27454,3696 \text{ N m}^2$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = 3,9819 \text{ psia}$$

Pertimbangan: cairan dalam reaktor mengandung asam.

Dari tabel 23-3 Perry, dipilih bahan konstruksi *Stainless Steel 316 AISI (18Cr, 12Ni, 2.5Mo)* dan diperoleh data-data sebagai berikut:

- Allowable stress (f) = 18847,948 psia
- Sambungan yang dipilih = *double welded butt joint*
- Efisiensi sambungan (E) = 80%
- Corrosion allowance (C) = 0,125 in
- Jari-jari reaktor (ri) = 33,0427 in
- Tekanan (P) =

$$P = P_{operasi} + P_{hidrostatik}$$

$$P = 14,7 + 3,9819 = 18,6819 \text{ psia}$$

#### Menghitung Tebal Shell

$$t_s = \frac{P \times r}{(f \times E - 0,6P)} + C$$

$$t_s = \frac{18,6819 \times 33,0427}{18847,948 \times 0,8 - 0,6 \times 18,6819} + 0,125$$

$$t_s = 0,1660 \text{ in}$$

Sehingga berdasarkan tabel 5.7 Brownell and Young digunakan ketebalan *shell* standar sebesar 0,1875 in.

$$\text{ID shell} = 66,0853 \text{ in}$$

$$\text{OD shell} = \text{ID} + 2t$$

$$= 66,0853 + (2 \times 0,1875)$$

$$= 66,4603 \text{ in}$$

Dari tabel 5.7 (Brownell, 1959), untuk OD standar dipilih yang terdekat yaitu:

$$\text{OD} = 72 \text{ in}$$

$$= 1,8288 \text{ m}$$

Standarisasi dari tabel 5.7 Brownell and Young diperoleh sebagai berikut:

$$\text{icr} = 4,375 \text{ in}$$

$$\text{rc} = 72 \text{ in}$$

$$\text{ID} = \text{OD} - 2\text{ts}$$

$$= 72 - (2 \times 0,1875)$$

$$= 71,6250 \text{ in}$$

$$= 1,8193 \text{ m}$$

$$= 5,9688 \text{ ft}$$

$$\text{H} = 2 \times \text{D}$$

$$= 2 \times 71,6250$$

$$= 143,25 \text{ in}$$

$$= 3,6386 \text{ m}$$

$$= 11,9375 \text{ ft}$$

## 8. Perancangan Dimensi *Head*

Pertimbangan yang dilakukan dalam pemilihan jenis *head* meliputi:

### 1. *Flanged and Standard Dished Head*



Umumnya digunakan untuk tekanan operasi rendah, harganya murah dan digunakan untuk tangki dengan diameter kecil

## 2. *Torispherical Flanged and Dished Head*

Digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya cukup ekonomis

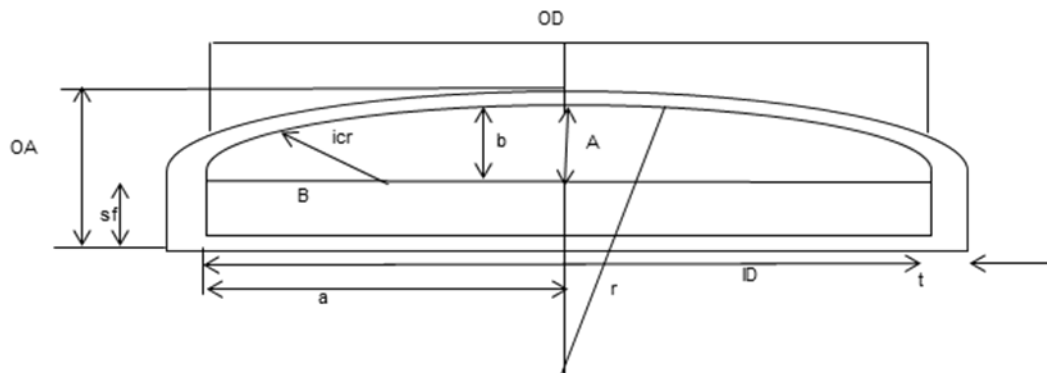
## 3. *Elliptical Dished head*

Digunakan untuk tekanan operasi tinggi dan harganya cukup mahal

## 4. *Hemispherical Head*

Digunakan untuk tekanan operasi yang sangat tinggi, struktur kuat, dan ukuran yang tersedia sangat terbatas.

Dari pertimbangan-pertimbangan diatas dan tekanan operasi perancangan yang dibuat, maka dipilih bentuk *torispherical flanged and dished head*.



Gambar A.2. Tinggi Head

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2 \times fE - 0,2P} + C$$

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \frac{\overline{r_c}}{icr} \right)$$

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \frac{72}{4,375} \right)$$

$$W = 1,7645$$

$$t_h = \frac{18,6819 \times 72 \times 1,7645}{2 \times 18847,948 \times 0,8 - 0,2 \times 18,6819} + 0,125$$

$$t_h = 0,2037 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 Brownell and Young, dipilih  $t_h$  standar  $\frac{1}{4}$  in (0,25 in). Berdasarkan tabel 5.8 Brownell and Young dipilih nilai  $s_f$  sebesar 3 in (0,0762m).

$$ID = OD - 2t_h$$

$$= 72 - 2(0,25)$$

$$= 71,5 \text{ in}$$

$$= 1,8161 \text{ m}$$

$$a = ID/2$$

$$= 71,5/2$$

$$= 35,75 \text{ in}$$

$$AB = a - irc$$

$$= 35,75 - 4,374$$

$$= 31,375 \text{ in}$$

$$BC = rc - irc$$

$$= 72 - 4,375$$

$$= 67,625 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - (AB)^2}$$

$$AC = \sqrt{67,625^2 - (31,375)^2}$$

$$AC = 59,9062 \text{ in}$$

$$b = rc - AC$$

$$= 72 - 59,9062$$

$$= 12,0938 \text{ in} = 0,3072 \text{ m}$$

$$AO = sf + b + th$$

$$= 3 + 12,0938 + 0,25$$

$$= 15,3438 \text{ in} = 0,3897 \text{ m}$$

$$\text{Volume head total (V head)} = \text{vol.head (v}_h) + \text{vol.flange (v}_{sf})$$

Volume sebuah *head* untuk *Torispherical dished head* adalah:

$$V_h = 0,000049ID^3$$

$$V_h = 0,000049 \times 71,5^3$$

$$V_h = 17,9108 \text{ ft}^3 = 0,5072 \text{ m}^3$$

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} \times ID^2 \times s_f$$

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} \times 1,8161^2 \times 0,0762$$

$$V_{sf} = 0,1973 \text{ m}^3$$

Sehingga volume *head* total adalah:

$$V_{head} = V_h + V_{sf}$$

$$V_{head} = 0,5072 + 0,1973 = 0,7045 \text{ m}^3$$

Kemudian menghitung luas permukaan cairan ( $A_t$ ):

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times D_i^2$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times 1,8193^2$$

$$A_t = 2,5982 \text{ m}^2$$

Tinggi cairan dalam *shell* dapat dihitung dengan cara:

$$h_s = \frac{V_{\text{cairan dalam shell}}}{A_t}$$

$$h_s = \frac{5,4835}{2,5982}$$

$$h_s = 2,1105 \text{ m} = 83,0917 \text{ in}$$

Sehingga tinggi cairan total dalam reaktor sebelum ada koil adalah:

$$h_{\text{total}} = h_{\text{shell}} + b + s_f$$

$$h_{\text{total}} = 2,1105 + 0,3072 + 0,0762$$

$$h_{\text{total}} = 2,49 \text{ m} = 98,19 \text{ in}$$

## 9. Menentukan Luas Muka Reaktor

Luas muka reaktor untuk tebal *head* < 1 in, digunakan persamaan 5.12 Brownell

and Young, sebagai berikut:

$$D_e = OD + \frac{OD}{42} + 2s_f + \frac{2}{3}icr$$

$$D_e = 72 + \frac{72}{42} + 2(3) + \frac{2}{3}(4,375)$$

$$D_e = 82,6310 \text{ in}$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{shell}} + 2A_{\text{tiap head}}$$

$$A_{\text{total}} = \pi DH + 2 \frac{\pi}{4} D_e^2$$

$$A_{total} = \pi 71,625 \times 143,25 + 2 \frac{\pi}{4} 82,6310^2$$

$$A_{total} = 42937,0458 \text{ in}^2 = 27,7013 \text{ m}^2$$

## 10. Menghitung Spesifikasi Pengaduk

### a. Menghitung Viskositas

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

$$T = 55^\circ\text{C}$$

$$= 328 \text{ K}$$

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

Tabel A.2. Perhitungan viskositas

Komponen	A	B	C	D	$\mu(\text{cP})$
$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	-15,9215	2440,8	0,034383	$-2,7677 \times 10^{-5}$	0,66
$\text{CH}_4\text{O}$	-9,0562	1254,2	0,022383	$-2,3538 \times 10^{-5}$	0,38
$\text{H}_2\text{SO}_4$	-18,7045	3496,2	0,033080	$-1,7018 \times 10^{-5}$	9,42
$\text{H}_2\text{O}$	-10,2158	1792,5	0,017730	$-1,2631 \times 10^{-5}$	0,51

Komponen	Massa	Kmol	x	$\mu(\text{cP})$	$\mu \cdot x(\text{cP})$
$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	2627,5031	36,4627	0,2718	0,66	0,1796
$\text{CH}_4\text{O}$	1374,0550	42,8856	0,3197	0,38	0,1207
$\text{H}_2\text{SO}_4$	394,9336	4,0266	0,0300	9,42	0,2827
$\text{H}_2\text{O}$	914,6250	50,7843	0,3785	0,51	0,1922
Total	5311,116	134,1593	1		0,7752

$$\mu = 0,7752 \text{ cP}$$

$$\mu = 5,2088 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$$

dipilih pengaduk jenis *marine propeller with 3 blades and pitch 2Di*.

Perancangan untuk pengadukan dilakukan dengan prinsip similaritas

menggunakan model sesuai dengan referensi buku Brown pada fig. 477 kurva nomor 15 halaman 507 dan tabelnya, diperoleh data sebagai berikut:

$$D_t / D_i = 3$$

$$Z_L / D_i = 3,9$$

$$Z_i / D_i = 1,3$$

b. Diameter Pengaduk ( $D_i$ )

$$D_i = \frac{D_t}{3}$$

$$D_i = \frac{71,6250}{3}$$

$$D_i = 23,8750 \text{ in} = 0,6064 \text{ m} = 1,9896 \text{ ft}$$

c. Tinggi Cairan dalam Pengadukan ( $Z_l$ )

$$Z_l = D_i \times 3,9$$

$$Z_l = 23,8750 \times 3,9$$

$$Z_l = 93,1125 \text{ in} = 2,3615 \text{ m} = 7,7594 \text{ ft}$$

d. Jarak Pengaduk dari Dasar Tangki ( $Z_i$ )

$$Z_i = D_i \times 1,3$$

$$Z_i = 23,8750 \times 1,3$$

$$Z_i = 31,0375 \text{ in} = 0,7884 \text{ m} = 2,5865 \text{ ft}$$

## 11. Menghitung Jumlah Pengaduk

Menghitung jumlah pengaduk (sesuai referensi Wallas halaman 288).

Rasio tinggi permukaan cairan dan diameter tangki:

$$\frac{H}{D} = \frac{2,7977}{2} = 1,6784$$

Berdasarkan referensi Wallas jumlah pengaduk yang dipakai adalah 1 buah.

## 12. Trial Nilai rpm (N)

Pada reaksi dengan transfer panas nilai  $H_p/1000$  gallon = 1,5 – 5 dan kecepatan pengaduk ( $\pi DN$ ) = 10 – 15 ft/s.

Dipilih  $\pi DN = 18,2$  ft/s

$$N = \frac{18,2}{\pi D}$$

$$N = \frac{18,2}{\pi \cdot 1,9896}$$

$$N = 2,9137/s = 174,8236/menit$$

## 13. Menghitung Nilai Reynold

$$Re = \frac{\rho N D_i^2}{\mu}$$

$$Re = \frac{62,5121 \times 2,9137 \times 1,9896^2}{5,2088 \times 10^{-4}}$$

$$Re = 1384195,87$$

## 14. Power Number (Po)

Power number yang didapat dari fig.477 Brown adalah sebesar 0,9

$$P = \frac{N^3 \times D_i^5 \times \rho \times P_o}{gc}$$

$$P = \frac{2,9137^3 \times 1,9896^5 \times 62,5121 \times 0,9}{32,174}$$



$$P = 1348,5221 \text{ lb. ft/s}$$

$$P = 2,4519 \text{ hp}$$

Diambil Hp/1000 gallon = 1,5

$$Hp = \frac{2Hp}{1000 \text{ gallon}} \times \text{volume cairan}$$

$$Hp = \frac{1,5}{1000} \times 1634,6888$$

$$Hp = 2,4520 \text{ Hp}$$

## 15. Perancangan Jacket Pendingin

### a. Menghitung Luas Selimut

$$L_{selimut} = \pi \times D_o \times H$$

$$L_{selimut} = \pi \times 6 \times 11,9375$$

$$L_{selimut} = 224,9025 \text{ ft}^2$$

Diketahui:

$$Q_{pendinginan} = 300.456,17 \text{ kj jam} = 284.832,45 \text{ btu jam}$$

### b. Menentukan Suhu LMTD

*Hot fluid (heavy organic)*

$$T_{in} = 55 \text{ }^\circ\text{C} = 328 \text{ K} = 131 \text{ F}$$

$$T_{out} = 55 \text{ }^\circ\text{C} = 328 \text{ K} = 131 \text{ F}$$

*Cold fluid (water)*

$$T_{in} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303 \text{ K} = 86 \text{ F}$$

$$T_{out} = 45 \text{ }^\circ\text{C} = 318 \text{ K} = 113 \text{ F}$$

Fluida panas °F		Fluida dingin °F	Δt
131	Higher Temp	113	18
131	Lower Temp	86	45

Rumus menentukan suhu LMTD :

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

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{18 - 45}{\ln \frac{18}{45}} = 29,4666 \text{ °F}$$

**c. Menghitung Luas Transfer Panas**

$$A = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

Diambil harga  $U_d$  sebesar 50 btu/ft<sup>2</sup>.F.jam, karena untuk fluida panas *medium organic* dan fluida dingin air nilai  $U_d$  berkisar antara 50 sampai 125 btu/ft<sup>2</sup>.F.jam. Maka diperoleh nilai luas transfer panas sebesar:

$$A = \frac{284.832,45}{50 \times 29,4666}$$

$$A = 193,33 \text{ ft}^2$$

Luas selimut > A terhitung, maka luas selimut dapat mencukupi sebagai luas transfer panas sehingga digunakan jaket pendingin.

**d. Kebutuhan Medium Pendingin (wc)**

$$Q_c = Q_h$$

$$Q_c = w_c \times Cp_c \times \Delta T_c$$

$$w_c = \frac{Q_c}{Cp_c \times \Delta T_c}$$

$$w_c = \frac{300.456,17}{1.371,12}$$

$$w_c = 219,13 \text{ kmol jam} = 3.945,56 \text{ kg jam}$$

Menghitung kecepatan volumetrik air:

$$Q_v = \frac{m_{air}}{\rho_{air}}$$

$$Q_v = \frac{3.946,56}{0,6991} = 5.645,02 \text{ m}^2 \text{ jam}$$

$$V_{air} = \frac{m}{\rho} \times \theta$$

$$V_{air} = 4,53 \text{ m}^3$$

$$V_{jaket} = 1,2 \times V_{air}$$

$$V_{jaket} = 1,2 \times 4,53$$

$$V_{jaket} = 5,44 \text{ m}^3$$

#### e. Menentukan Dimensi Jacket Pendingin

Tinggi jaket bernilai 20% dari tinggi cairan dalam shell. Jadi tinggi jaket bernilai 2,9927 m. Sedangkan diameter jaket dapat dicari melalui persamaa:

$$V_{jaket} = V_2 - V_1$$

$$V_{jaket} = \frac{\pi}{4} x D_j^2 \times H_{cairan} + 0,000049 D_j^3 - \frac{\pi}{4} x D_t^2 \times H_{cairan} + 0,000049 D_t^3$$

Diameter jaket harus bernilai 20% dari nilai diameter reaktor dengan cara trial dan error pada persamaan  $V_2$ . Hasil trial diameter jaket diperoleh sebesar 2,0143 m. Kemudian mencari nilai  $V_2$  sebagai berikut:

$$V_2 = \frac{\pi}{4} x D_j^2 x H_{cairan} + 0,000049 D_j^3$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} x 2,0143^2 x 2,1105 + 0,000049 x 2,0143^3$$

$$V_2 = 8,0666 + 0,004$$

$$V_2 = 8,0706 \text{ m}^3$$

Mencari nilai  $V_1$  sebagai berikut:

$$V_1 = \frac{\pi}{4} x D_t^2 x H_{cairan} + 0,000049 D_t^3$$

$$V_1 = \frac{\pi}{4} x 1,6786^2 x 2,1105 + 0,000049 x 1,6786^3$$

$$V_1 = 4,6704 \text{ m}^3$$

Maka volume jaket:

$$V_{jaket} = V_2 - V_1$$

$$V_{jaket} = 8,0706 \text{ m}^3 - 4,6704 \text{ m}^3$$

$$V_{jaket} = 3,4002 \text{ m}^3$$

