

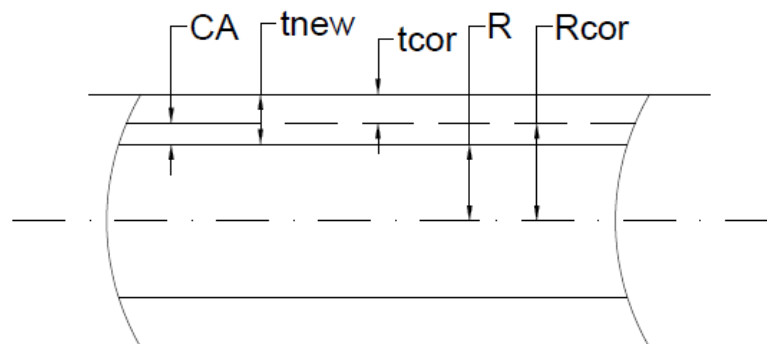
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Manual Bejana Tekan

4.1.1. Perhitungan Ketebalan Dinding Berdasarkan Tekanan Internal

Jenis bejana tekan	: Vertikal
Tekanan desain / P_d	: 62 bar (899,2356 psi)
Temperatur desain / T_d	: 150°C (302°F)
Panjang silinder	: 5000 mm (196,85 inch)
Diameter dalam silinder / D_i	: 1550 mm (61,0235 inch)
Panjang bejana tekan (<i>head to head</i>) / z	: 5516,67 mm (335,23 inch)
<i>Joint efisiensi</i> / E	: 1 (<i>full Radiographi Test</i>)
Faktor korosi / CA	: 3 mm (0,11811 inch)
Tipe <i>head</i>	: 2:1 <i>Elipsoidal</i>
Material <i>head</i>	: SA 537 Cl
Material <i>shell</i>	: SA 537 Cl
Material <i>skirt</i>	: SA 537 Cl

Perhitungan tebal plat dinding shell dilakukan dalam kondisi terkorosi (*coroded*). Penentuan diameter dalam (D) dan jari-jari (R) terkorosi dijelaskan dengan gambar 4.1.



Gambar 4.1. *Shell*

Data diameter (D), dan jari-jari (R) :

$$D_{\text{corr}} = 61,0235 \text{ in} + (2 \times 0,11811 \text{ in}) = 61,2597 \text{ in}$$

$$R_{\text{corr}} = 30,5117 \text{ in} + 0,11811 \text{ in} = 30,6298 \text{ in}$$

1) Tebal Dinding *Shell*

Material *shell* yang digunakan dalam perancangan bejana tekan ini adalah SA 537 Cl. Dengan tekanan desain sebesar 899,2356 psi, jari-jari dalam bejana tekan 30,6298 in, *joint effisiensi* 1 (*full radiographi*), dan dari tabel ASME B3.13 didapat nilai tegangan maksimum yang diijinkan (S) pada temperatur 302°F untuk material SA 537 Cl adalah 22900 psi. Tebal dinding *shell* dapat dihitung dengan rumus seperti pada tabel 2.2.

$$t_{shell} = \frac{P_d \cdot R_{corr}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} + CA$$

$$t_{shell} = \frac{899,2356 \text{ psi} \times 30,6298 \text{ in}}{22900 \text{ psi} \times 1 - 0,6 \times 899,2356 \text{ psi}} + 0,11811 \text{ inch}$$

$$t_{shell} = 1,3499 \text{ in}$$

Ketebalan plat dinding *shell* dibulatkan menjadi 1,375 in mengikuti ketebalan plat yang tersedia dipasaran sehinga tidak perlu *special order*.

2) Tebal Dinding *Head*

Material *head* yang digunakan dalam perancangan bejana tekan ini adalah SA 537 Cl. Dengan tekanan desain sebesar 899,2356 psi, diameter dalam bejana tekan 61,2597 in, *joint effisiensi* 1 (*full radiographi*), dan dari tabel ASME B3.13 didapat nilai tegangan maksimum yang diijinkan (S) pada temperatur 302°F untuk material SA 537 Cl adalah 22900 psi. Tebal dinding *head* dapat dihitung dengan rumus seperti pada tabel 2.3.

$$t_{head} = \frac{P_d \cdot D_{corr}}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d} + CA$$

$$t_{head} = \frac{899,2356 \text{ psi} \times 61,2597 \text{ in}}{2 \times 22900 \text{ psi} \times 1 - 0,2 \times 899,2356 \text{ psi}} + 0,11811 \text{ in}$$

$$t_{head} = 1,3256 \text{ in}$$

Ketebalan plat dinding *head* dibulatkan menjadi 1,375 in mengikuti ketebalan plat yang tersedia dipasaran sehinga tidak perlu *special order*.

4.1.2. Perhitungan MAWP Shell, Head, dan Flange

Perhitungan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) dilakukan guna mengetahui besarnya tekanan kerja yang diijinkan pada bagian *shell*, *head*, *flange*, dan bejana tekan itu sendiri. Perhitungan MAWP dilakukan dengan D, R, dan t dalam kondidi terkorosi (*corroded*).

Data tebal dinding *shell* dan *head*:

$$t_{corr} = 1,375 \text{ in} - 0,11811 \text{ in} = 1,2569 \text{ in}$$

1) MAWP Shell

Perhitungan MAWP *shell* dapat dilakukan melalui rumus 2.4.

$$MAWP_{shell} = \frac{S \cdot E \cdot t_{corr}}{R_{corr} + 0,6 \cdot t_{corr}}$$

$$MAWP_{shell} = \frac{22900 \text{ psi} \times 1 \times 1,2569 \text{ in}}{30,6298 \text{ in} + 0,6 \times 1,2569 \text{ in}}$$

$$MAWP_{shell} = 917,1239 \text{ psi}$$

Hasil perhitungan MAWP *shell* 917,1239 psi lebih besar dari tekanan desain 899,2356 psi. Hal ini menunjukkan dengan ketebalan dinding *shell* 1,375 in sudah cukup aman.

2) MAWP Head

Perhitungan MAWP *head* dapat dilakukan melalui rumus 2.5.

$$MAWP_{head} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t_{corr}}{D_{corr} + 0,2 \cdot t_{corr}}$$

$$MAWP_{head} = \frac{2 \times 22900 \text{ psi} \times 1 \times 1,2569 \text{ in}}{61,2597 \text{ in} + 0,2 \times 1,2569 \text{ inch}}$$

$$MAWP_{head} = 935,8642 \text{ psi}$$

Hasil perhitungan MAWP *head* 935,8642 psi lebih besar dari tekanan desain 899,2356 psi. Hal ini menunjukkan dengan ketebalan dinding *head* 1,375 in sudah cukup aman.

3) MAWP flange

Material *flange* yang digunakan dalam perancangan bejana tekan ini adalah SA 105 untuk *nozzle* diatas 3 in, dan SA 564 Gr1 untuk *nozzle* 3 in dan dibawahnya.

Dengan temperatur desain 302°F, berikut adalah penentuan MAWP *flange* pada bejana tekan menurut tabel ASME B16.5.

Tabel 4.1. MAWP *Flange*

No	Nozzle	Diameter	Flange		MAWP (psig)
			Rating	Material	
1	N1	16"	600	SA105	1270
2	N2	10"	600	SA105	1270
3	N3	2"	600	SB564Gr.1	1410
4	N4	6"	600	SA105	1270
5	N5	2"	600	SB564Gr.1	1410
6	N6	4"	600	SA105	1270
7	N7	3"	600	SB564Gr.1	1410
8	N8	2"	600	SB564Gr.1	1410
9	K1 A/B	4"	600	SA105	1270
10	K2 A/B	4"	600	SA105	1270
11	K3	2"	600	SB564Gr.1	1410
12	K4 A/B	4"	600	SA105	1270
13	K5 A/B	4"	600	SA105	1270
14	M1	20"	600	SA105	1270

Berdasarkan data diatas diketahui MAWP *flange* 1270 psig untuk material SA 105, dan 1410 psig untuk material SB 564 Gr.1, sehingga dengan *rating* sebesar 600 *flange* tersebut sudah dinyatakan aman.

3) MAWP bejana tekan

Besarnya MAWP bejana tekan ditentukan oleh MAWP terkecil dari komponen bejana tekan itu sendiri. Dari perhitungan MAWP diatas didapat MAWP *shell* sebesar 917,1239 psi, MAWP *head* sebesar 935,8642 psi, dan MAWP *flange* sebesar 1270 psig dan 1410 psig. Besaran MAWP bejana tekan mengikuti MAWP *shell* yakni sebesar 917,1239 psi.

4.1.3. Perhitungan Tekanan Tes Hidrostatik

Perhitungan tekanan tes hidrostatik dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan bejana tekan dengan air setelah bejana tekan selesai diproduksi. Besaran tekanan tes hidrostatik dapat ditentukan melalui rumus 2.6.

Data:

Material = SA 537 Cl

Tekanan desain (P_d) = 899,2356 psi

T_{Test} = 113°F / 45° C

T_{Desain} = 302°F

S dengan T_{Test} = 23300 psi

S dengan T_{Desain} = 22900 psi

Perhitungan besarnya tekanan test hidrostatik :

$$P_{hs} = 1,3 \cdot P_d \cdot \frac{S \text{ dengan } T_{Test}}{S \text{ dengan } T_{Desain}}$$

$$P_{hs} = 1,3 \times 899,2356 \text{ psi} \times \frac{23300 \text{ psi}}{22900 \text{ psi}}$$

$$P_{hs} = 1189,4256 \text{ psi}$$

4.1.4. Perhitungan Ketebalan Dinding Berdasarkan Tekanan Eksternal

Bejana tekan dengan tekanan internal kurang dari tekanan atmosfer (*vacuum*) memiliki beban tekanan tekanan eksternal yang berpengaruh pada plat dinding bejana. Perhitungna ketebalan dinding dilakuka guna mengetahui besarnya tekanan yang diijinkan pada plat dinding bejana akibat beban tekanan eksternal.

1) Tebal Dinding *shell*

Ketebalan dinding *shell* adalah ketebalan dinding berdasarkan hasil perhitungan dengan tekanan internal yakni 1,375 in. Dengan demikian maka diperoleh data:

$$t_{internal} = 1,375 \text{ in}$$

$$\text{Diameter Luar Shell } (D_o) = D_i + 2t$$

$$= 61,0235 \text{ in} + 2 \times 1,375 \text{ in}$$

$$= 63,7735 \text{ in}$$

Panjang silinder (L) = 196,85 in

Menentukan Faktor A

Besarnya nilai faktor A ditentukan dengan memeriksa grafik pada gambar 2.12. Diperoleh data:

$$L/D_o = 196,85 \text{ in} / 63,7735 \text{ in} = 3,0867$$

$$D_o/t = 63,7735 \text{ in} / 1,375 \text{ in} = 46,3807$$

Maka diperoleh nilai Faktor A sebesar 0,00135 (lampiran 6).

Menentukan Faktor B

Karena material *shell* yang digunakan adalah SA 537 Cl, merupakan material *Carbon Steel* dengan *yield strenght* 50000 psi, maka digunakan grafik pada gambar 2.13. Dengan data:

$$A = 0,00135$$

$$T_d = 302^\circ\text{F}$$

Maka diperoleh nilai Faktor B sebesar 13000 psi (lampiran 7).

Menghitung Tekanan ijin Maksimum (P_a)

Besarnya tekanan ijin maksimum ditentukan dengan melakukan perhitungan seperti pada rumus 2.7.

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot (D_o/t)}$$

$$P_a = \frac{4 \cdot 13000 \text{ psi}}{3 \cdot (63,7735 \text{ in} / 1,375 \text{ in})}$$

$$P_a = 373,7184 \text{ psi}$$

Dengan demikian maka desain *shell* dengan ketebalan dinding 1,375 in sudah aman karena berdasarkan perhitungan diatas diperoleh tekanan ijin maksimum *shell* (P_a) 373,7184 psi, lebih besar dibandingkan tekanan eksternal (*full vacuum*) yaitu 14,7 psi.

2) Tebal Dinding *Head*

Ketebalan dinding *head* adalah ketebalan dinding berdasarkan hasil perhitungan dengan tekanan internal yakni 1,375 in. Dengan demikian maka diperoleh data untuk *ellipsoidal head*:

Diameter luar (D_o)	= 63,7735 in
Diameter dalam (D_i)	= 61,0235 in
Temperatur desain (T_d)	= 302°F
Jari-jari luar (R_o)	= 0,9 D_o
	= 57,3961 in

Ketebalan *head* yang diperlukan dihitung dengan persamaan pada perhitungan tekanan internal dengan tekanan desain (P_d) 1,67 kali tekanan eksternal.

$$P_d = 1,67 \times P_{eksternal}$$

$$P_d = 1,67 \times 14,7 \text{ psi}$$

$$P_d = 24,549 \text{ psi}$$

Menentukan Nilai Faktor A

Nilai faktor A ditentukan seperti pada persamaan 2.10.

$$A = \frac{0.125}{R_o/t}$$

$$A = \frac{0.125}{57,3961 \text{ in} / 1,375 \text{ in}}$$

$$A = 0,002994$$

Menentukan Nilai B

Dengan data :

$$A = 0,002994$$

$$T_d = 302^\circ\text{F}$$

Didapat nilai B sebesar 16000 psi (lampiran 8)

Menghitung tekanan ijin maksimum (P_a)

$$P_a = \frac{B}{R_0/t}$$

$$P_a = \frac{16000 \text{ psi}}{57,3961 \text{ in}/1,375 \text{ in}}$$

$$P_a = 383,3013 \text{ psi}$$

Nilai tekanan maksimum yang diterima *head* dengan ketebalan dinding 1,375 in sesuai dengan perhiungan pada tekanan internal adalah 383,3013 psi, sehingga aman digunakan karena lebih besar dari tekanan desain eksternal.

4.1.5. Perhitungan Beban Angin dan Beban Gempa

1) Beban Angin

Perhitungan beban angin (*wind load*) dilakukan untuk mengetahui besaran *wind pressure* (P_w) terhadap bejana tekan. Besaran beban angin dihitung guna menjamin keamanan bejana tekan akibat beban yang terjadi.

Wind pressure dapat dihitung dari data :

Kecepatan angin (V_w)	= 45 m/s atau 100,6619 mph
Diameter luar bejana (D_o)	= 61,0253 in + (2 x 1,375 in)
	= 63,7753 in = 5,3146 ft
Tinggi bejana (H)	= 22,173 ft
Titik tengah bejana (h)	= 13,1233 ft

Dari data diatas maka didapat besarnya *wind pressure* sebesar:

$$P_w = 0,0025 \cdot V_w^2$$

$$P_w = 0,0025 \times (100,6619 \text{ mph})^2$$

$$P_w = 25,332 \text{ psf}$$

$$P_w = 0,1759 \text{ psi}$$

Akibat tekanan angin ini maka timbul tegangan geser dan momen.

Tegangan geser akibat beban angin dapat dihitung dengan:

$$F = P_w \cdot D_o \cdot H$$

$$F = 25,332 \text{ psf} \times 5,3146 \text{ ft} \times 22,173 \text{ ft}$$

$$F = 2985,1511 \text{ lbf}$$

Momen pada dasar bejana (M)

$$M = F \cdot h$$

$$M = 2985,1511 \text{ lb} \cdot 13,1233 \text{ ft}$$

$$M = 39175,0334 \text{ ft.lbf}$$

2) Beban Gempa

Pengaruh beban gempa terhadap bejana tekan dapat dilihat dari nilai *Total Seismic Zone* (V). Dalam penentuan besarnya V, dibutuhkan data *seismic zone* (zona gempa) dimana bejana tekan tersebut berada. Pada kasus bejana tekan *2nd stage compressor suction kick of drum* berada di zona 2A (Abdala,2004).

Data:

Zona gempa	= Zona 2A
<i>Seismic Zone Factor</i> (Z)	= 0,15
Koefisien Numeric (Rw)	= 2,9 untuk bejana tekan
<i>Numerical Coefficient</i> (Ct)	= 0,035
<i>Occupancy importance coefficient</i> (I)	= 1 untuk bejana tekan
Diameter luar bejana tekan (D _o)	= 5,3146 ft
Tinggi bejana (H)	= 22,173 ft
Total berat bejana tekan	= 44974,3 lb

Sebelum menentukan nilai V, terlebih dahulu menentukan nilai C (harus kurang dari 2,75). Berikut langkah-langkah menentukan nilai C:

Menentukan periode getaran

$$T = C_t \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

$$T = 0,035 \times 22,173 \text{ ft}^{\frac{3}{4}}$$

$$T = 0,3576 \text{ detik}$$

Menghitung nilai C

Dengan asumsi nilai koefisien tanah (S) adalah 1

$$C = \frac{1,25 \cdot S}{T^{\frac{2}{3}}}$$

$$C = \frac{1,25 \times 1}{0,35776^{\frac{2}{3}}}$$

$$C = 2,4809$$

Total seismic shear (V)

$$V = \frac{Z \cdot I \cdot C}{R_w} \cdot W$$

$$V = \frac{0,15 \times 1 \times 2,4809}{2,9} \times 44974,3 \text{ lb}$$

$$V = 5771,3413 \text{ lb}$$

Total gaya gempa horizontal (F_t)

Besarnya nilai F_t tidak lebih dari $0,25 \times V$

$$F_t = 0,07 \cdot T \cdot V$$

$$F_t = 0,07 \times 0,3576 \text{ s} \times 5771,3413 \text{ lb}$$

$$F_t = 144,4811 \text{ lb}$$

Besarnya nilai F_t 144,4811 lb tidak lebih besar dari 5771,3413 lb

($0,25 \times V$).

Momen maksimum pada dasar bejana tekan (M)

$$M = F_t \cdot H + (V - F_t) \cdot \frac{2 \cdot H}{3}$$

$$M = (144,4811 \text{ lb} \times 22,173 \text{ ft})$$

$$+ (5771,3413 \text{ lb} - 144,4811 \text{ lb}) \times \frac{2 \cdot 22,173 \text{ ft}}{3}$$

$$M = 86379,5805 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

4.1.6. Desain Skirt Support

Desain *skirt support* dilakukan untuk mengetahui ketebalan *skirt support* minimum akibat beban kombinasi. Dengan beban angin dan beban gempa diasumsikan tidak terjadi secara bersamaan, momen pada dasar bejana tekan diambil dari momen terbesar yakni momen akibat beban gempa. Data-data yang digunakan adalah:

Material *skirt* = SA 537 Cl

Tegangan maksimum yang diijinkan (S) = 22900 psi

Diameter luar bejana tekan (D_o)	= 63,7753 in
Jari-jari bejana (R)	= 31,8876 in
Total berat bejana tekan (W)	= 44974,3 lb

Sambungan las pada *skirt* menuju *bottom head* diasumsikan butt weld maka nilai efisiensi sambungannya 0,6 sehingga ketebalan dinding *skirt* adalah:

$$t = \frac{12 \cdot M}{R^2 \cdot \pi \cdot S \cdot E} + \frac{w}{D \cdot \pi \cdot S \cdot E}$$

$$t = \frac{12 \times 86379,5805 \text{ lbf. ft}}{(31,8876 \text{ in})^2 \times \pi \times 22900 \text{ psi} \times 0,6} + \frac{44974,3 \text{ lb}}{63,7753 \text{ in} \times \pi \times 18.300 \text{ psi} \times 0,6}$$

$$t = 0,0399 \text{ in}$$

4.1.7. Desain Penguat *Nozzle* (*Reinforcement Pad*)

Perancangan plat penguat (*reinforcement pad*) diperlukan untuk mengetahui apakah *opening* pada bejana tekan membutuhkan plat penguat atau tidak. Data-data yang diperlukan untuk merancang plat penguat:

Perhitungan pada *Nozzle* N1

Diameter dalam <i>shell</i> / D_i	= 61,2597 in
Jari-jari dalam <i>shell</i> / R	= 30,6298 in
Tekanan desain / P_d	= 899,2356 psi
Temperatur desain / T_d	= 302°F
Material <i>shell</i>	= SA 537 Cl
Teg.ijin maks <i>vessel</i> / S	= 22900 psi
Faktor korosi / CA	= 0,11811 inch
Tebal dinding <i>shell</i> / t	= 1,375 in – 0,11811 in = 1,2568 in

Dengan material *nozzle* SA 105 didapat tegangan ijin maksimum (S) 20600 psi (ASME B3.13), dan nominal *size* 16 in, maka nomor schedule untuk *nozzle* N1:

$$t = \frac{P_d \cdot R_{corr}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} + CA$$

$$t = \frac{899,2356 \text{ psi} \times 8,11811 \text{ in}}{20600 \text{ psi} \cdot 1 - 0,6 \times 899,2356} + 0,11811 \text{ in}$$

$$t = 0,482 \text{ in}$$

Dari tabel *propertis of pipe* maka didapat tebal nozzle dipasaran 0,5 in dari NPS 16" dengan nomor *schedule* 40. Berikut adalah data-data pada nozzle:

<i>Schedule/NPS</i>	= 40/16 in
<i>Material nozzle</i>	= SA 105
Teg.ijin maks nozzle (S)	= 20.600 psi (ASME B31.3)
Diameter luar nozzle (D _o)	= 16 in
Tebal dinding <i>nozzle</i> (t _n)	= 0,5 in – 0,11811 in = 0,3819 in
Diameter dalam <i>nozzle</i>	= D _o – 2.t _n = 16 in – (2 x 0,3819) = 15,2362 in
Jari-jari dalam <i>nozzle</i>	= 7,6178 in
<i>Filled weld size</i>	= diasumsikan 0,5 in
<i>Projection inside</i>	= diasumsikan 0 in

a. Ketebalan dinding yang diperlukan

1) Untuk *shell*

$$t_r = \frac{P_d \cdot R_{corr}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d}$$

$$t_r = \frac{899,2356 \text{ psi} \times 30,6298 \text{ in}}{22900 \text{ psi} \times 1 - 0,6 \times 899,2356 \text{ psi}}$$

$$t_r = 1,2317 \text{ in}$$

2) Untuk *nozzle*

$$t_{rn} = \frac{P_d \cdot R_{ncorr}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d}$$

$$t_{rn} = \frac{899,2356 \text{ psi} \times 7,6178 \text{ in}}{20600 \text{ psi} \times 1 - 0,6 \times 899,2356 \text{ psi}}$$

$$t_{rn} = 0,3414 \text{ inch}$$

Karena t_{nozzle} lebih besar dari t_m , maka tebal *nozzle* memenuhi persyaratan untuk perhitungan.

b. Bidang penguat yang diperlukan

Luas bidang penguat opening dapat ditentukan dengan rumus:

$$A = d \cdot t_r$$

$$A = 15,2362 \text{ in} \times 1,2317 \text{ in}$$

$$A = 18,7678 \text{ in}^2$$

c. Bidang yang tersedia untuk penguatan

Jika nilai A lebih kecil dari jumlah nilai A_1 , A_2 , A_3 , dan A_4 maka *nozzle* tidak memerlukan plat penguat. Perhitungan luas bidang penguatan *opening* dapat ditentukan dengan cara :

1. Luas bidang A_1

Luas bidang A_1 yang digunakan adalah luas yang paling besar dari dua perhitungan:

$$A_1 = d \cdot (t - t_r)$$

$$A_1 = 15,2362 \times (1,2568 \text{ in} - 1,2317 \text{ in})$$

$$A_1 = 0,3824 \text{ in}^2$$

Atau

$$A_1 = 2 \cdot (t - t_r) \cdot (t_n + t)$$

$$A_1 = 2 \cdot (1,2568 \text{ in} - 1,2317 \text{ in}) \cdot (0,3819 \text{ in} + 1,2568 \text{ in})$$

$$A_1 = 0,0822 \text{ in}^2$$

Maka A_1 yang digunakan adalah $0,3824 \text{ in}^2$

2. Luas bidang A_2

Luas bidang A_2 yang digunakan adalah luas yang paling kecil dari dua perhitungan:

$$A_2 = 5 \cdot t \cdot (t_n - t_{rn})$$

$$A_2 = 5 \times 1,2568 \text{ in} \times (0,3819 \text{ in} - 0,3414 \text{ in})$$

$$A_2 = 0,2538 \text{ in}^2$$

Atau

$$A_2 = 5 \cdot t_n \cdot (t_n - t_{rn})$$

$$A_2 = 5 \times 0,3819 \text{ in} \times (0,3819 \text{ in} - 0,3414 \text{ in})$$

$$A_2 = 0,0771 \text{ inch}^2$$

Maka A_2 yang digunakan adalah $0,057 \text{ in}^2$

3. Luas bidang A_4

Perhitungan luas bidang A_4 dapat ditentukan dengan persamaan 2.21.

$$A_4 = (\text{Area of Fillet Weld}) 0,5^2 = 0,25 \text{ in}^2$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 + A_3 + A_4 &= 0,3824 + 0,077 + 0 + 0,25 \\ &= 0,7094 \text{ inch}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai A 18,7678 in^2 lebih besar dari $0,688 \text{ in}^2$ sehingga pada *nozzle* N1 memerlukan plat penguat tambahan.

Perhitungan keseluruhan *nozzle* pada bejana tekan dapat dilihat melalui tabel 4.2.

Tabel 4.2. Luas Bidang *Nozzle*

No	<i>Nozzle</i>	NPS	A (In^2)	A_1 (In^2)	A_2 (In^2)	A_3 (In^2)	A_4 (In^2)	Luas Daerah Yang Tersedia (In^2)
1	N1	16"	18,767	0,3824	0,0771	0	0,25	0,7094
2	N2	10"	12,633	0,2574	0,021	0	0,25	0,5284
3	N3	2"	2,754	0,0666	0,0069	0	0,25	0,313
4	N4	6"	7,769	0,1583	0,0139	0	0,25	0,4222
5	N5	2"	2,754	0,0666	0,0069	0	0,25	0,313
6	N6	4"	5,250	0,1069	0,0138	0	0,25	0,3708
7	N7	3"	4,070	0,0829	0,0116	0	0,25	0,3445
8	N8	2"	2,754	0,0666	0,0069	0	0,25	0,313

No	Nozzle	NPS	A (In ²)	A ₁ (In ²)	A ₂ (In ²)	A ₃ (In ²)	A ₄ (In ²)	Luas Daerah Yang Tersedia (In ²)
9	K1 A/B	4"	5,250	0,1069	0,0138	0	0,25	0,3708
10	K2 A/B	4"	5,250	0,1069	0,0138	0	0,25	0,3708
11	K3	2"	2,754	0,0666	0,0069	0	0,25	0,313
12	K4 A/B	4"	5,250	0,1069	0,0138	0	0,25	0,3708
13	K5 A/B	4"	5,250	0,1069	0,0138	0	0,25	0,3708
14	M1	20"	23,465	1,4781	0,1137	0	0,25	0,8419

Dari data diatas dapat dilihat bahwa nilai A pada semua *nozzle* lebih besar dari pada luas daerah yang tersedia atau jumlah dari luas bidang A₁, A₂, A₃, dan A₄ maka semua *nozzle* memerlukan plat penguat tambahan.

4.2. Perancangan Bejana Tekan Menggunakan *Software PV Elite 2013*

Perancangan ulang bejana tekan menggunakan bantuan *software PV Elite* dilakukan dalam beberapa tahap menggunakan data yang sudah ada. Tahap-tahap perancangan bejana tekan *2nd stage compressor suction kick off drum* diuraikan sebagai berikut.

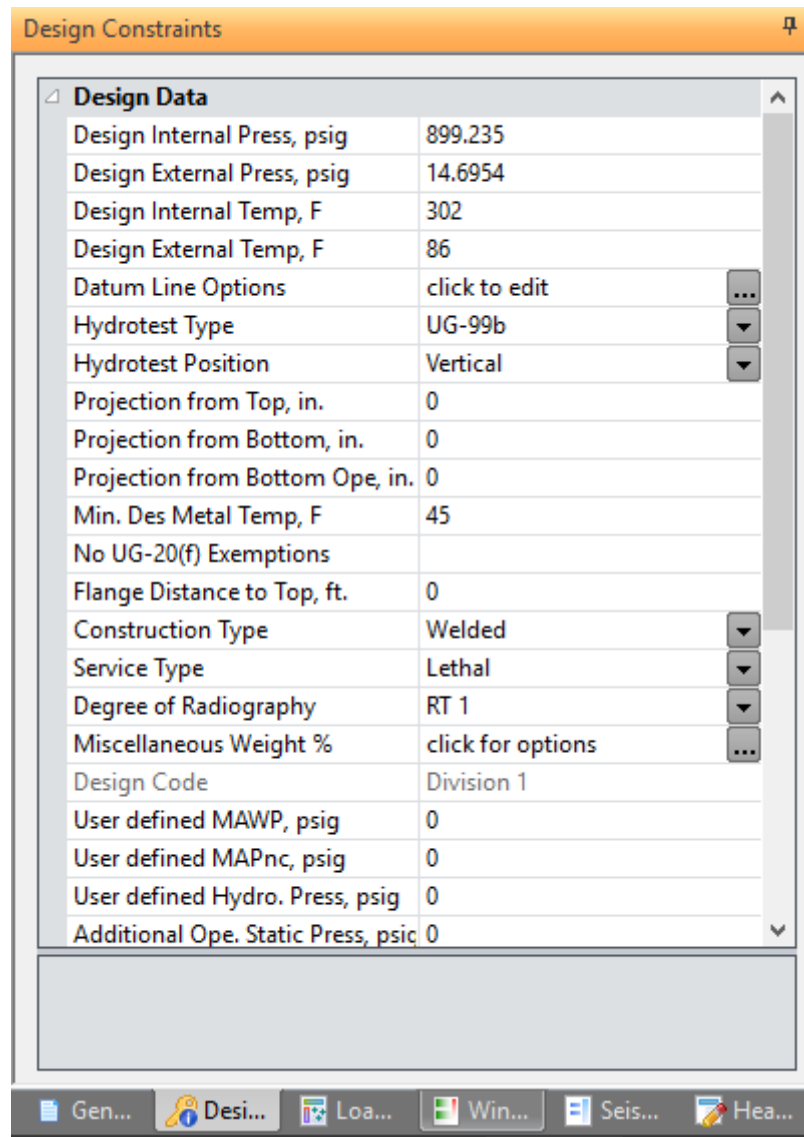
4.2.1. Input Data Beban-Beban Bejana Tekan

Data beban-beban yang digunakan dalam perancangan ulang bejana tekan adalah:

Tekanan Internal	= 899,2356 psi
Temperatur	= 302°F
Beban Angin	= Standar ASCE-95
Kecepatan Angin	= 100,6619 mph
Beban Gempa	= Standar UBC 1994

a. Desain Desain

Data-data perancangan di atas dimasukkan kedalam *toolbar* seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. *Input Data Desain*

b. *Wind Load*

Data beban angin dimasukkan pada *toolbar* seperti pada Gambar 4.3.

Wind Data

Wind Design Code : ASCE-95

Percent Wind for Hydrotest : 33 %

Basic Wind Speed [V] : 100.662 mile/hr

Base Elevation : 0 ft.

Terrain Surface Roughness : C: Open Terrain

Importance Factor [I] : 1

Type of Surface : Smooth

Hill Height [H] : 0 ft.

Distance to Site [x] : 0 ft.

Crest Distance [Lh] : 0

Type of Hill : None

Beta Operating/Empty/Full: 0.01 | 0 | 0

Gambar 4.3. *Input Data Beban Angin*

c. *Seismic Load*

Data beban angin dimasukan pada *toolbar* seperti pada Gambar 4.4.

Seismic Data

Seismic Design Code : UBC 1994

Percent Seismic for Hydrotest : 0 %

Importance Factor : 1

Soil Type : Soil 1

Horizontal Force Factor : 3

Seismic Zone : Zone 2a

Gambar 4.4. *Input Data Beban Gempa*

4.2.2. Membuat Model Bejana Tekan

a. Desain *Skirt*

Skirt didesain menggunakan data-data:

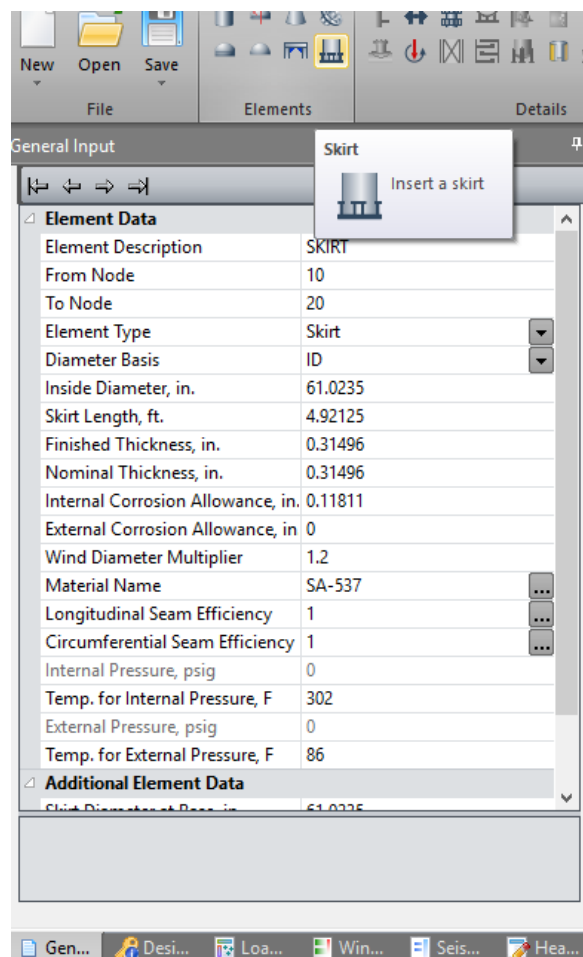
Tebal Dinding *Skirt* = 0,31496 in

Tinggi *Skirt* = 4,9212 ft

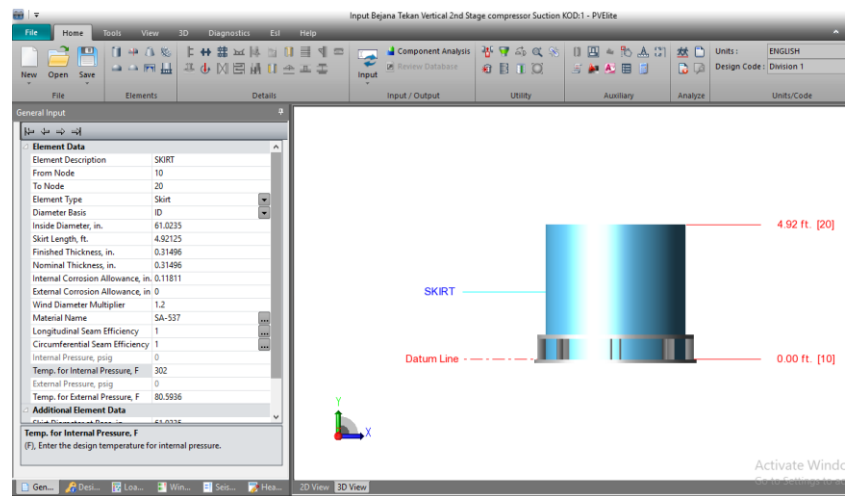
Diameter *Skirt* = 61,0235

Material *Skirt* = SA 537 C1

Pemodelan *skirt* dilakukan dengan cara mengklik ikon *insert a skirt* pada toolbar “*Elements*” kemudian mengisi data-data *skirt* pada “*toolbar Element Data*” seperti ditunjukkan pada gambar 4.5. dan hasil dari pemodelan *skirt* ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5. Desain *Skirt*



Gambar 4.6. Model Skirt

b. Desain Bottom Head

Desain head dilakukan dengan menggunakan data-data:

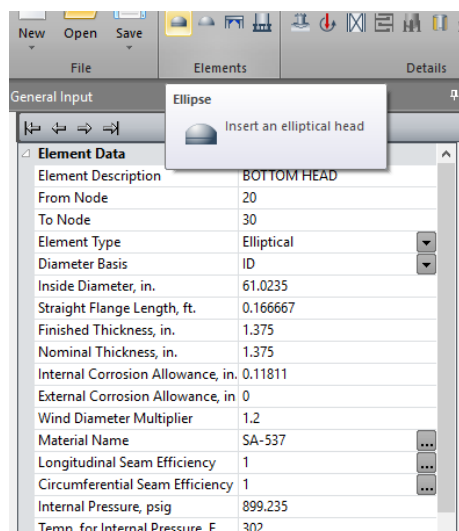
Type Head = 2:1 Ellipsoidal Head

Tebal Head = 1,375 in

Material Head = SA 537 C1

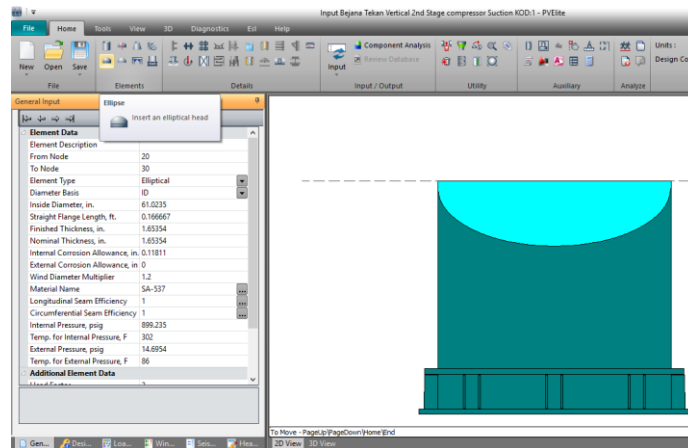
Diameter Head = 61,0235

Pemodelan dilakukan dengan mengklik ikon *insert an elliptical head* pada toolbar elements seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Desain Bottom Head

Kemudian data perancangan dimasukkan pada *toolbar general input* yang terdapat dibawahnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Model *Bottom Head*

c. Desain *Shell*

Desain *shell* dilakukan dengan menggunakan data-data:

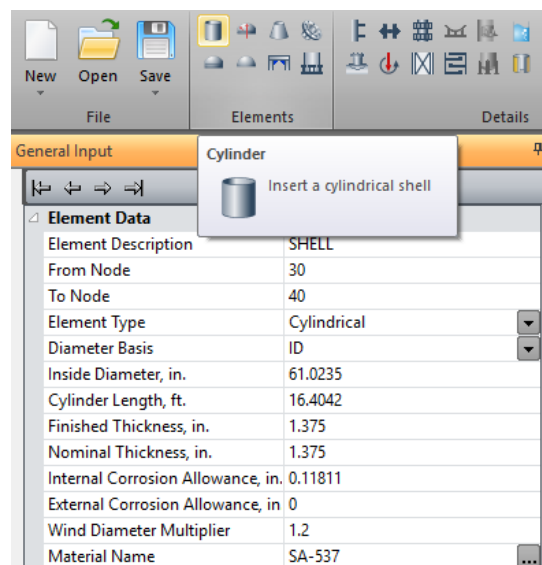
Tebal *Shell* = 1,375 in

Panjang *Shell* = 16,4042 ft

Material *Shell* = SA 537 C1

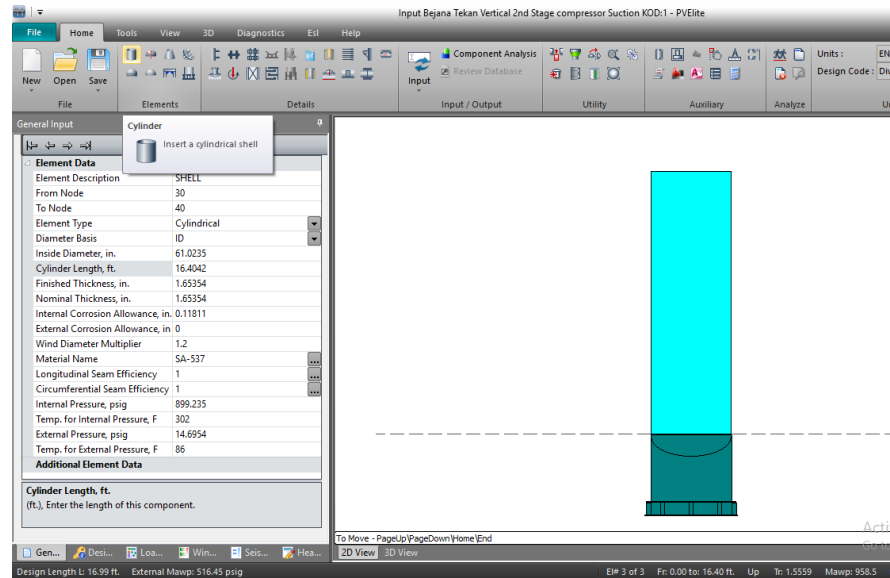
Efisiensi Sambungan = 1

Pemodelan dilakukan dengan mengklik ikon *insert a cylindrical shell* pada toolbar elements seperti ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Desain *Cylindrical Shell*

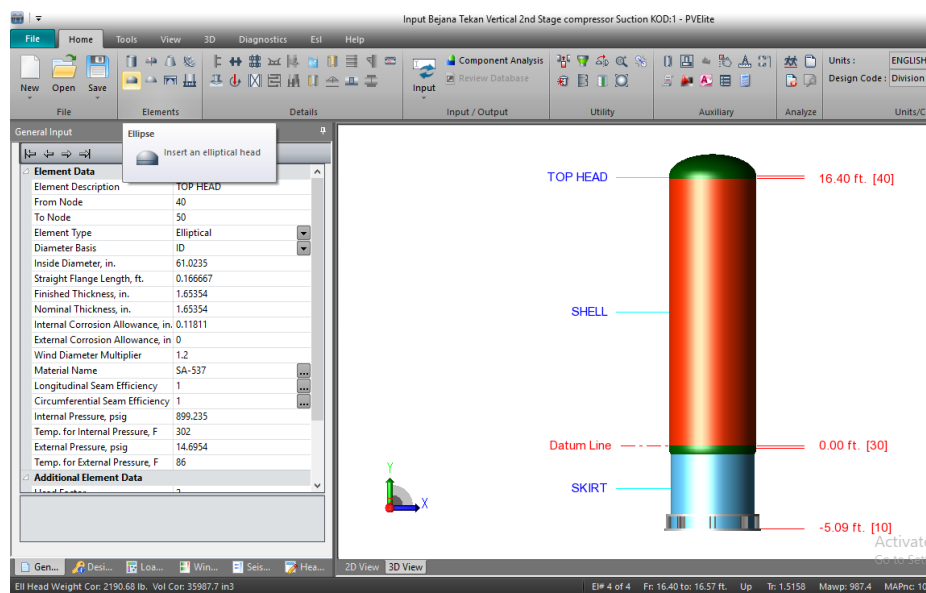
Kemudian data perancangan dimasukkan pada *toolbar general input* yang terdapat dibawahnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Model *Shell*

d. Desain *Top Head*

Dalam mendesain *top head* dilakukan sama seperti mendesain *bottom head*. Model *top head* ditunjukkan pada gambar 4.11.



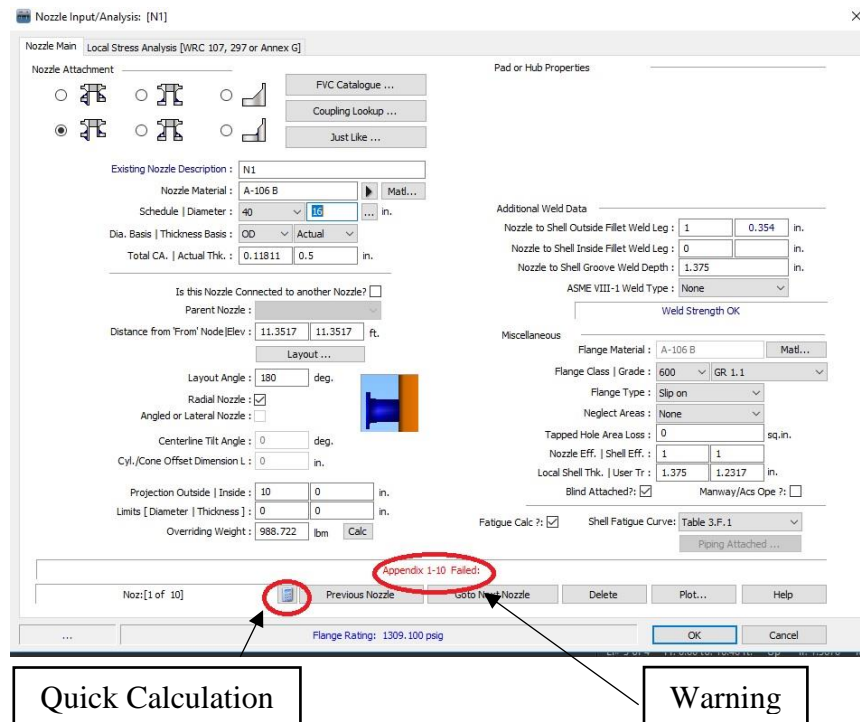
Gambar 4.11. Model *Top Head*

e. Desain *Nozzle*

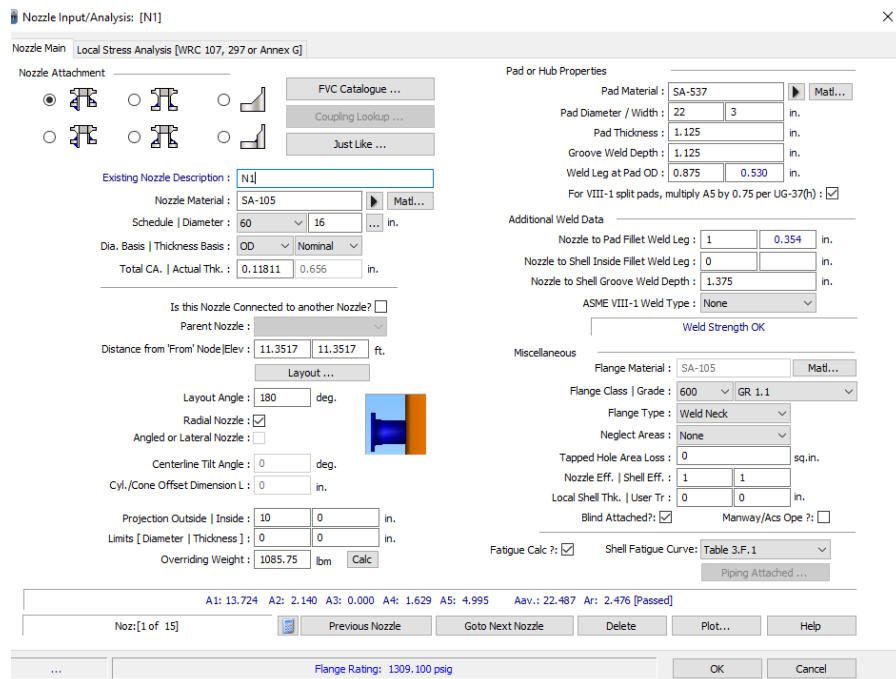
Dalam perancangan bejana tekan digunakan jenis *nozzle* standar terlebih dahulu untuk mengecek apakah *nozzle-nozzle* yang ada memerlukan plat penguat tambahan atau tidak. Data desain *nozzle* pada perancangan bejana tekan *2nd stage compressor suction kick of drum* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data *Nozzle*

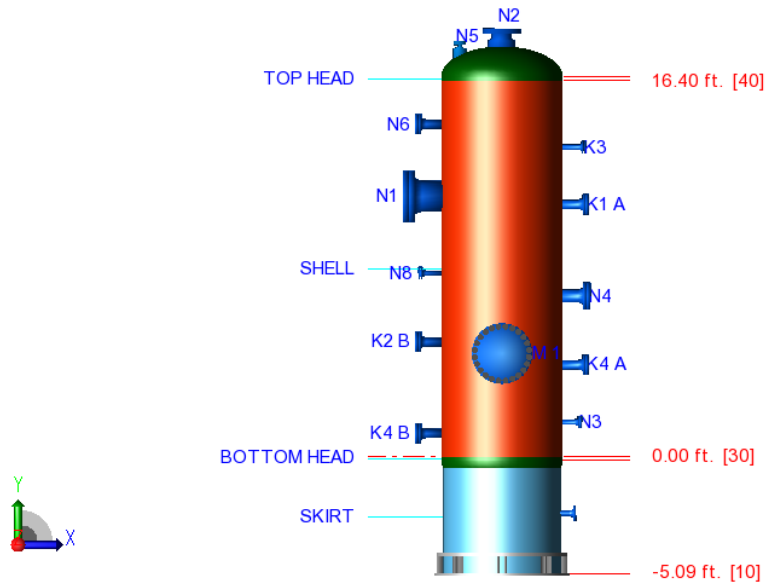
No	Mark No	NPS	Schedule	Flange		Distance From Node (ft)	Layout Angle (°)
				Rating	Material		
1	N1	16"	60	600	SA105	11,3517	180
2	N2	10"	160	600	SA105	-	0
3	N3	2"	STD	600	SB564G.r1	1,5	0
4	N4	6"	80	600	SA105	7	0
5	N5	2"	STD	600	SB564Gr.1	2	180
6	N6	4"	STD	600	SA105	14,5	180
7	N7	3"	STD	600	SB564Gr.1	-	0
8	N8	2"	STD	600	SB564Gr.1	8	180
9	K1 A	4"	STD	600	SA105	11	0
10	K1 B	4"	STD	600	SA105	7,25	90
11	K2 A	4"	STD	600	SA105	10	90
12	K2 B	4"	STD	600	SA105	5	180
13	K3	2"	STD	600	SB564Gr.1	13,5	0
14	K4 A	4"	STD	600	SA105	4	0
15	K4 B	4"	STD	600	SA105	1	180
16	K5 A	4"	STD	600	SA105	4	90
17	K5 B	4"	STD	600	SA105	1	90
18	M1	20"	60	600	SA105	4,5	270

Gambar 4.12. Desain *Nozzle Warning*

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa pada desain *nozzle* terdapat *warning*. Setelah ditambahkan plat penguat maka *nozzle* tersebut aman seperti pada Gambar 4.13.

Gambar 4.13. Desain *Nozzle Aman*

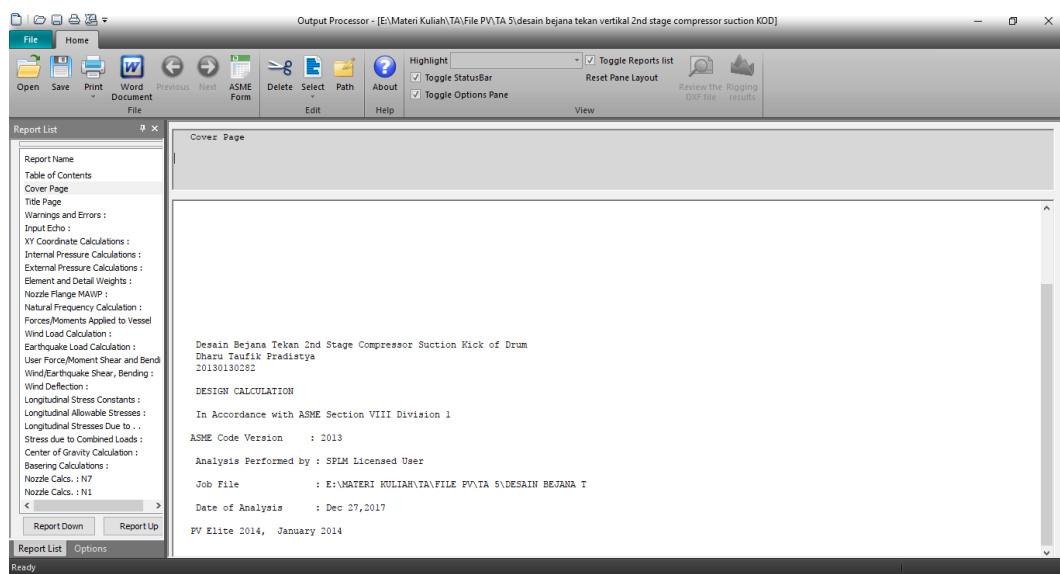
Setelah desain *nozzle* selesai maka akan didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Pemodelan *Nozzle*

4.2.3. Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan dapat dilihat dengan mengklik ikon *analyze* atau dengan menekan tombol F12 pada *keyboard*. Gambar 4.15 menunjukkan tampilan hasil perhitungan dari *software* PV Elite 2014.



Gambar 4.15. Tampilan Hasil Perhitungan PV Elite

4.2.4. Perbandingan Hasil Perancangan Manual dengan PV Elite

Perbandingan hasil perancangan yang dilakukan secara manual maupun dengan menggunakan bantuan *software* PV Elite. Perbandingan menggunakan *input* data ketebalan aktual menurut data *sheet* tersaji melalui perhitungan PV Elite 2, keseluruhan perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.4. dan tabel 4.5.

Tabel 4.4. Perbandingan Hasil Perancangan

Parameter		Hasil Perhitungan		
		Manual	PV Elite	PV Elite 2
Desain Tekanan Internal	Tebal Dinding <i>Shell</i> (in)	1,3499	1,3554	1,5354
	Tebal Dinding <i>Shell</i> pasaran (in)	1,375	1,375	1,5625
	Tebal Dinding <i>Head</i> (in)	1,3256	1,3358	1,5354
	Tebal Dinding <i>Head</i> Pasaran (in)	1,375	1,375	1,5625
	MAWP <i>Shell</i> (psi)	917,123	913,212	1027,11
	MAWP <i>Head</i> (psi)	935,864	928,079	1017,239
	Tekanan Tes Hidrostatik (psi)	1189,425	1169,05	1169,005
Tekanan Eksternal	Tebal Dinding <i>Shell</i> yang diperlukan (in)	-	0,447	0,448
	Tebal Dinding <i>Shell</i> (in)	1,375	1,375	1,5354
	Tebal Dinding <i>Head</i> yang diperlukan (in)	-	0,278	0,279
	Tebal Dinding <i>Head</i>	1,375	1,375	1,5354
	Tekanan Ijin Maksimum <i>Shell</i> (psi)	373,718	404,004	545,251
	Tekanan Ijin Maksimum <i>Head</i> (psi)	383,301	542,5068	609,69
Beban Angin	<i>Design Wind Force</i> (lbf)	2985,151	-	-
	<i>Wind Pressure</i> (psf)	25,332	22	22
Beban Gempa	<i>Total Shear</i> (lb)	5771,341 3	5096.52	5417,7

Tabel 4.5. Perbandingan Hasil Perhitungan Bidang *Nozzle*

Nozzle	Manual		PV Elite	
	A (in ²)	A1+A2+A3+A4 (in ²)	A (in ²)	A1+A2+A3+A4 (in ²)
N1	18,767	0,689	2,476	15,862
N2	12,633	0,519	15,114	5,789
N3	2,754	0,312	-	-
N4	7,769	0,418	0,999	9,802
N5	2,754	0,312	7,995	1,92
N6	5,250	0,369	0,710	5,572
N7	4,070	0,343	3,162	2,666
N8	2,754	0,312	-	-
K1 A/B	5,250	0,369	0,710	5,301
K2 A/B	5,250	0,369	0,710	5,301
K3	2,754	0,312	-	-
K4 A/B	5,250	0,369	0,710	5,301
K5 A/B	5,250	0,369	0,710	5,301
M1	23,465	0,810	3,089	22,178

4.2.5. Analisis Hasil Perancangan

Dari tabel 4.4 dan 4.5 terdapat beberapa perbedaan antara perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan *software* PV Elite.

a. Ketebalan dinding *Shell* dan *Head*

Dari hasil perbandingan antara dua perhitungan ketebalan dinding *shell* dan *head* dapat tidak terdapat jumlah selisih angka yang terlalu besar dan cenderung sama. Pada perhitungan manual didapat ketebalan *shell* 1,3499 in dan *head* 1,3256 in, sedangkan pada PV Elite didapat ketebalan yang dibutuhkan untuk *shell* 1,3554 in dan *head* 1,3358 in.

b. MAWP *Shell* dan MAWP *Head*

Dari hasil perbandingan antara dua perhitungan MAWP *shell* dan *head* tidak terdapat selisih angka yang signifikan. Pada perhitungan manual didapat MAWP *shell* dan *head* dalam kondisi terkorosi sebesar 917,123 psi dan 913,212 psi, sedangkan pada perhitungan *software* PV Elite didapat MAWP *shell* dan *head* dalam kondisi terkorosi sebesar 935,864 psi dan 928,079 psi. Perbedaan cukup signifikan jika dibandingkan dengan perhitungan MAWP berdasarkan data aktual dikarenakan *input* ketebalan disesuaikan menurut data *sheet*. Pada perancangan menurut data aktual menghasilkan MAWP *shell* dan *head* sebesar 1027,11 psi dan 1169,005 psi.

c. Tekanan Hidrostatik

Perbedaan antara perhitungan manual dengan PV Elite dalam menghitung tekanan hidrostatik tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada perhitungan *software* menggunakan *stress ratio* 1, sedangkan pada perhitungan manual menggunakan *stress ratio* pada T_{test} dengan T_{desain} yakni 1,0174 (23300 psi : 22900 psi).

d. Beban Tekanan Eksternal

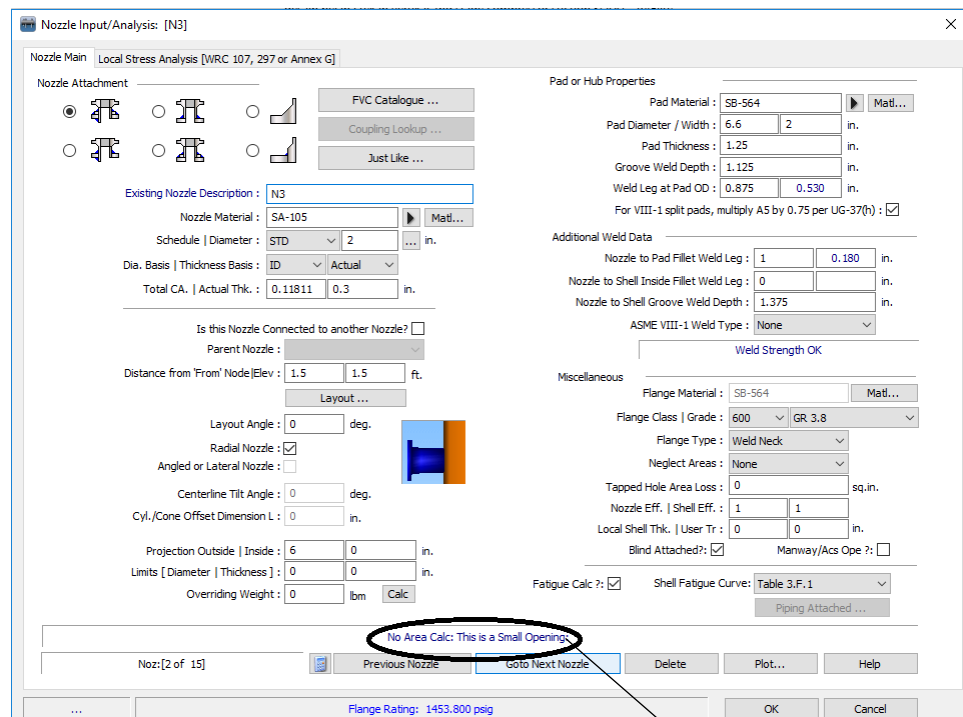
Pada perhitungan ketebalan dinding berdasarkan tekanan eksternal terdapat perbedaan signifikan pada tekananan ijin maksimum dikarenakan pada perhitungan manual terdapat pembacaan grafik nilai faktor A dan nilai B. Pada perhitungan manual pada *shell* didapat nilai faktor A 0,00135 dan nilai B 13000 psi, dan pada *head* nilai faktor A 0,002994 dan nilai B 16000 psi. Pada perhitungan *software* didapat nilai faktor A 0,0010182 dan B 16374,11 psi untuk *shell*, dan nilai faktor A 0,002737 dan nilai B 24773,11 psi untuk *head*. Perbedaan pada data aktual disebabkan ketebalan dinding *shell* dan *head* yang digunakan berdasarkan ketebalan aktual sesuai dengan data *sheet* yakni 1,6535 in, sedangkan pada perhitungan manual menggunakan data ketebalan sesuai dengan perhitungan ketebalan akibat tekanan internal yakni 1,375 in.

e. Beban Gempa

Pada beban gempa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dan cenderung sama antara kedua hasil perhitungan. Perbedaan hasil perhitungan disebabkan karena berat bejana tekan pada perhitungan manual 44974,3 lb, sedikit berbeda dengan perhitungan *software* 41067,4 lb.

f. Perhitungan *Nozzle*

Pada bagian penguat *opening (reinforcement pad)* pada *nozzle* terdapat perbedaan nilai luas bagian yang tersedia. Hal ini terjadi karena data asumsi *schedule* pada *opening nozzle* yang digunakan pada perhitungan manual. Pada *nozzle* dengan ukuran 2 in tidak terbaca luas daerah yang tersedia (A) maupun luas daerah yang dibutuhkan ($A_1+A_2+A_3+A_4$), namun sudah memenuhi kriteria aman dan tidak terdapat *warning* pada hasil kalkulasi *software*.



Gambar 4.16. Desain *Opening Nozzle* N3

Pada gambar 4.16 merupakan desain *nozzle* N3 dengan ukuran 2 in terdapat keterangan “no area calculation: this is a small opening”, namun

sudah memenuhi kriteria aman dengan keterangan berwarna biru.
Keterangan keseluruhan *nozzle* terdapat pada lampiran 20.