

BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Kumar dan Kumar (2014) menggunakan bantuan *software* PV Elite memudahkan untuk melakukan desain karena dapat menggambar dan memasukkan data pada satu *screen* saja. Hasil desain juga telah sesuai dengan standar untuk desain bejana tekan. Vijay Kumar dan Pardeep Kumar pada jurnal tersebut dilakukan desain bejana tekan horizontal dengan *software* PV Elite dengan panjang 400 cm, material *head* dan *shell* SA 515 GR 70, *nozzle* SA 106B, C.A 3 mm pada *Head* didapatkan tr 11,4808 mm, MAWP 16,786 kgf/cm², MAPNC 22,462 kgf/cm², S_{act} 1325,111 kgf/cm² dan pada *shell* didapatkan tr 11,5288 mm, MAWP 16,687 kgf/cm², MAPNC 22,284 kgf/cm², S_{act} 1333,021 kgf/cm².

Gupta (2014) menggunakan PV Elite untuk mempermudah proses perancangan dan dapat mengurangi waktu pengerjaan dengan hasil yang akurat. Desain telah disesuaikan dengan standar ASME sehingga saat *input* data, pemilihan material dan hasilnya sesuai dengan standar ASME. Gupta sendiri pada jurnal tersebut melakukan *input* data berikut: desain *pressure* 439,46 psi, temperatur desain 122 F, material SA 516 GR 70, C.A = D M *water (non-lethal)*, sp. *Gravity* 1, *wind load/snow load not applicable*. Sehingga didapatkan hasil pada *head* tr 0,2949 in, MAWP 475,059 psig, MAPNC 475,059 psig, S_{act} 18501,266 psi, *thickness of straight flange* 0,935 in, *percent elongation* per UCS-79 5,19% dan pada *shell* didapatkan tr 0,9352 in, MAWP 469,484 psig, MAPNC 464,484 psig, S_{act} 18720,996 psi, *percent elongation* per UCS-79 1,176%.

Mali dkk (2017) merancang bejana tekan vertikal menggunakan PV Elite karena memiliki akurasi yang tinggi pada analisisnya dan mudah digunakan serta sudah memasukkan standar ASME pada *softwarena* sehingga memudahkan *engineer* yang ingin merancang bejana tekan, namun karena pemasangan bejana di benua Eropa maka Mali dkk menggunakan standar EN-13445. Mali dkk melakukan perancangan bejana tekan vertikal dengan diameter 1500 mm dan tekanan internal 5 bar untuk suplai *fluida* yang konstan pada mesin *headbox* di

perusahaan kertas. Data yang digunakan sebagai berikut : tekanan max 5 bar dan min -2,5 bar, temperatur max 60°C dan min -29°C, volume 4,1 m³, tekanan tes 8,2 bar, *fluida* bubur kertas+air, diameter 1500mm. Hasil yang didapatkan saat analisis menggunakan software PV Elite adalah sebagai berikut: *head* didapatkan hasil berikut tr 0,3728 mm, MAWP 934,15 kPa, S_{act} 11,93 N/mm² dan pada *shell* didapatkan tr 0,3350 mm, MAWP 1,042 N/mm², S_{act} 10,754 N/mm².

Lakshmi dan Reddy (2015) melakukan perancangan bejana tekan horizontal untuk perusahaan kimia SRAAC *industry*, namun pada perancangannya harus memperhatikan bahan kimia yang akan ditampung pada bejana tekan karena dikhawatirkan dapat membahayakan akibat material yang tidak cocok akan menimbulkan malfungsi yang dapat membahayakan. Pada perancangannya Lakshmi dan Reddy menggunakan material SA 516 Gr60 untuk *head* dan *shell* dan SA 106 GrB untuk *nozzle* nya. Pada material untuk *head* dan *shell* membutuhkan elemen kimia C=0,18%, Si=0,4%, Cu=0,3%, Ni=0,3%, Mn=0,95/1,5, Mo=0,08% Cr=0,3%, Nb=0,01%, P=0,015%, S=0,008%, Al=0,02%, Ti=0,03%, V=0,02% dan untuk *nozzle* C=0,18%, Si=0,1%, Cu=0,4%, Ni=0,4%, Mn=0,29/1,06, Mo=0,15% Cr=0,4%, P=0,035%, S=0,035%, V=0,08%. Data perancangan sebagai berikut: kapasitas 50m³, tekanan desain 12,5 kg/cm²g, temperatur desain 60°C, tekanan kerja 10 kg/cm²g, temperatur kerja 43°C, CA 3 mm, efisiensi sambungan 1, *density* 875 kg/cm³ kemudian didapatkan hasil sebagai berikut: tr 17,5615 mm, MAWP 17,150 kgf/cm², MAPNC 17,150 kgf/cm², S_{act} 1029,936 kgf/cm², *thickness of stright flange* 17,679 mm pada *head* dan pada *shell* tr 17,5609 mm, MAWP 14,591 kgf/cm², MAPNC 17,150 kgf/cm², S_{act} 1029,936 kgf/cm², *thickness of stright flange* 17,679 mm.

Vyas dkk (2013) melakukan perancangan bejana tekan vertikal menggunakan PV Elite dikarenakan mudah penggunaannya serta untuk analisis telah mencakup semua data yang mereka perlukan. Data perancangan bejana tekan milik Vyas dkk adalah sebagai berikut: tekanan desain 0,245 Mpa, temperatur desain 150°C, material SA240 M 316L, CA nil, *fluida* yang ditampung D M Water (non-lethal), sp. *Gravity fluida* 1, *seismic load* AS per IS-1893, Zone III. Setelah selesai melakukan desain menggunakan software PV Elite, Vyas dkk kemudian

melakukan analisis dan didapatkan hasil sebagai berikut: hasil analisis pada *head* didapat Tr 2,6898 mm, MAWP 274,908 kPa, S_{act} 78,392 N/mm², *required thickness of straight flange* 1,749 mm, *percent elongation per YHA-44* 4,369% dan analisis pada *shell* Tr 1,7345mm, MAWP 284,282 kPa, S_{act} 75,849 N/mm², *percent elongation per YHA-44* 0,596%.

Dalam beberapa kasus ditemukan hasil analisis antara analisis *software* dan perhitungan teoritis berbeda jauh atau bahkan melampaui batas standar keamanan, hal tersebut bisa diakibatkan adanya kesalahan pada saat perancangan atau pada perhitungannya sehingga dapat mengakibatkan malfungsi pada bejana tekan. Untuk menangani hal tersebut perlu dilakukan pengecekan ulang pada desain dan perhitungan teoritisnya sehingga dapat diketahui kesalahannya untuk meminimalisir bahaya akibat kesalahan saat perancangan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Definisi Bejana Tekan

Menurut Aziz dkk (2014) bejana tekan merupakan sebuah alat untuk memproses *fluida* yang memiliki perlakuan khusus, terutama pada tekanan dan temperatur yang berbeda dengan temperatur lingkungan sekitar. Bejana tekan sendiri memiliki beberapa komponen utama, seperti; dinding (*shell*), kepala bejana (*head*), lubang orang (*manhole*), bukaan (*nozzle/opening*), *flanges*, penyangga (*support*), serta komponen pendukung lainnya.

2.2.2. Klasifikasi Bejana Tekan

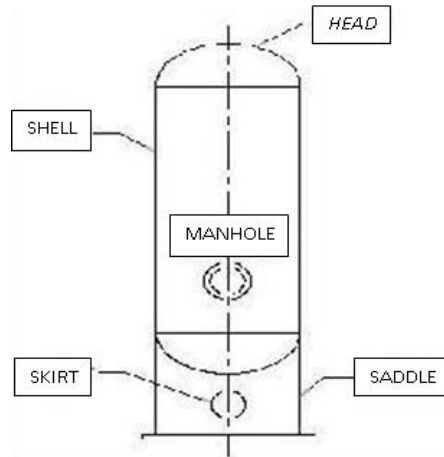
Bejana tekan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori berikut :

1. Berdasarkan posisi yaitu;

- Vertikal

Bejana tekan vertikal adalah posisi dimana bentuknya memanjang ke atas atau tegak lurus dengan sumbu Y. Bejana jenis ini sering digunakan untuk memisahkan *fluida* gas dan cair karena dapat memisahkan gas lebih baik atau lebih sedikit kadar airnya dibandingkan dengan posisi horizontal. Dan bejana tekan jenis ini juga biasa digunakan

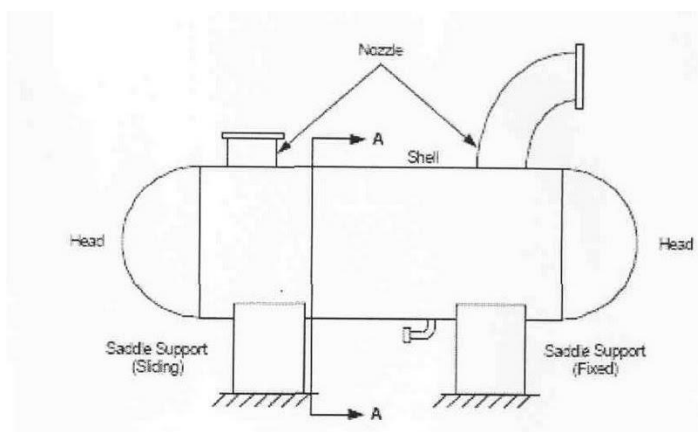
pada daerah dengan area sempit agar tidak banyak memakan tempat. Bejana tekan vertikal ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bejana Tekan Vertikal (Megyesy, 1998).

- Horizontal

Bejana tekan adalah bejana dengan posisi yang memanjang sejajar dengan sumbu X. bejana jenis ini sering digunakan untuk penyimpanan minyak atau untuk *sparator* 3 fase yang memisahkan minyak, air dan gas. Dan juga pada tempat dengan area yang luas. Bejana tekan horizontal ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bejana Tekan Jenis Horizontal (Wijaya,2010).

2. Berdasarkan instalasinya yaitu;

- Tetap (*Fixed*)

Bejana tekan jenis ini merupakan bejana yang penggunaannya tidak dapat berpindah tempat seperti yang terdapat pada suatu industri minyak atau gas.

- Dapat Diangkut (*portable*)

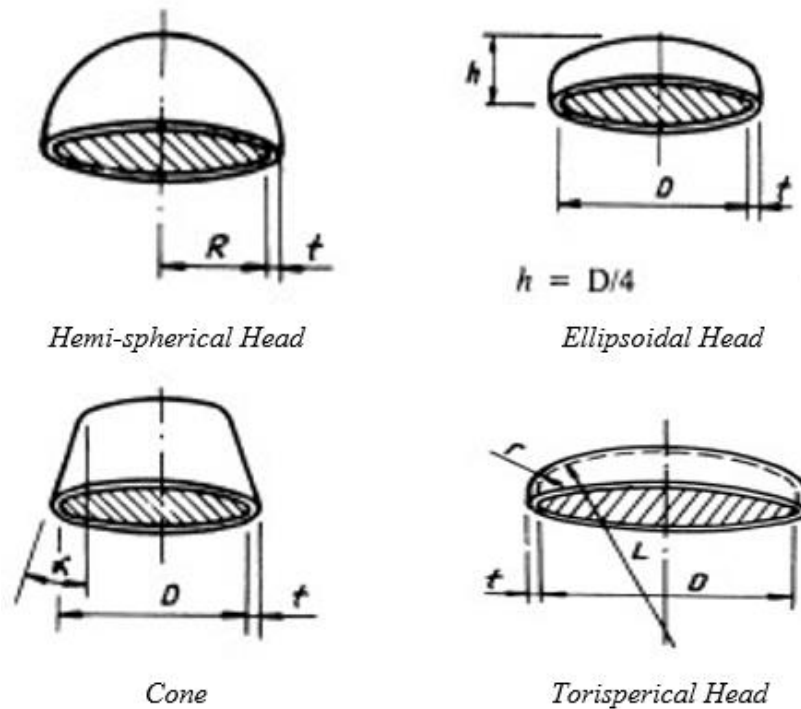
Bejana tekan *portable* merupakan bejana dengan instalasi yang dapat berpindah tempat / dapat diangkut menggunakan kendaraan dan juga tanpa kendaraan.

2.2.3. Bagian-bagian Bejana Tekan

Untuk menjalankan fungsinya sebagai alat yang dapat memproses *fluida*, bejana tekan memiliki beberapa komponen yang membangunnya. Dibawah ini merupakan komponen penyusun sebuah bejana tekan antara lain;

1. *Head*

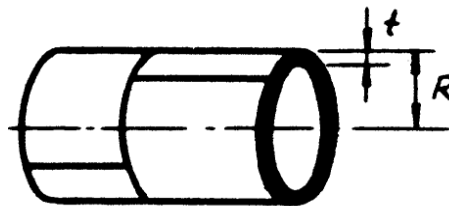
Head atau kepala bejana merupakan penutup dari kedua ujung *Shell*. *Head* dibuat biasanya dengan cara *forming* pada material *head*, sehingga bentuk yang dibuat dapat sesuai dengan bentuk dan ukuran *shell* dan kemudian akan disatukan dengan *shell* dengan cara di las. Menurut ASME UG-32 yang menyatakan bahwa ketebalan *head* yang dibutuhkan pada titik paling tipis setelah proses pembentukan harus dihitung dengan persamaan yang telah ditentukan agar memenuhi standar keamanan serta dapat bekerja secara optimal. Megyesy (1998) mengatakan bahwa *head* dibagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan operasional kerjanya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 jenis-jenis *Head* (Megyesy, 1998).

2. *Shell*

Shell atau dinding/kulit dari bejana tekan adalah salah satu komponen utama penyusun bejana tekan itu sendiri. *Shell* merupakan bagian yang menyelimuti seluruh bagian badan bejana tekan dan berfungsi sebagai penampung *fluida*.

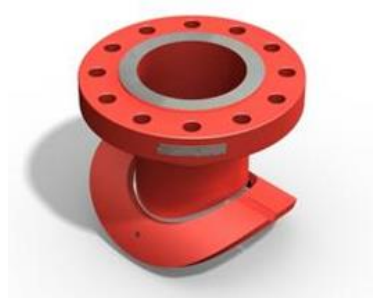


Gambar 2.4 *Shell* (Megyesy, 1998).

3. *Opening*

Opening atau bukaan merupakan sebuah lubang yang digunakan untuk menghubungkan bejana tekan ke proses selanjutnya. Pada pemasangan

opening perlu diperhatikan dengan baik karena saat pemasangan *opening* perlu menghilangkan bagian bejana tekan dan mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan. Pada pemasangannya perlu diperhatikan ukuran serta jarak antar *opening* agar konsentrasi tegangan tidak melebihi tegangan izinnnya. Bentuk *opening* diilustrasikan seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Opening*.

4. *Support*

Support merupakan bagian penunjang bejana tekan yang berfungsi menopang keseluruhan bagian bejana tekan. Jenis-jenis *support* adalah sebagai berikut;

(1) Penyangga

Penyangga berfungsi untuk membantu bejana tekan berdiri atau sebagai dudukan bejana tekan agar tidak bergerak dari tempatnya. Penyangga memiliki beberapa jenis sesuai dengan kebutuhan pada bejana tekan. Contoh penyangga sebagai berikut;

(a) *saddle*

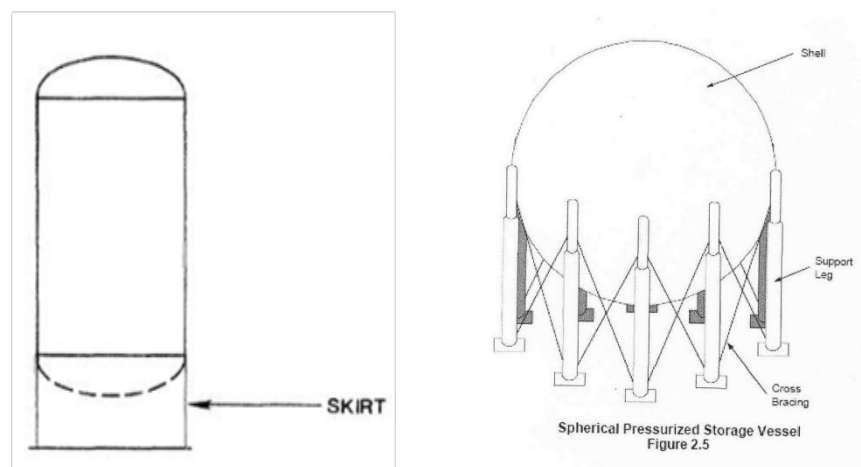
Penyangga jenis ini disebut *saddle* dan biasa digunakan pada bejana tekan horizontal. Dipasang pada bagian samping/bawah *shell*, seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Saddle* (Pratama, 2013).

(b) *skirt*

skirt penyangga jenis ini biasa digunakan pada bejana tekan vertikal atau bejana tekan bola. *Skirt* pada bejana tekan vertikal dipasang pada *shell* yang kemudian dilas pada beton. Sedangkan pada bejana tekan bola, *skirt* dipasang memutar pada tengah *shell*.



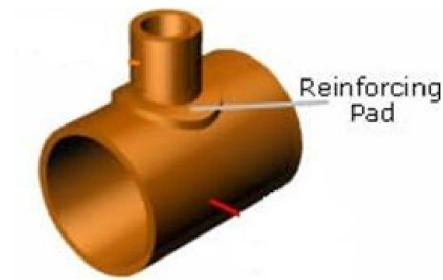
Gambar 2.7 *Skirt* (Anggoro, 2010).

(c) *Leg*

Support jenis ini biasa digunakan pada bejana tekan vertikal yang berukuran kecil. Rasio perbandingan yang digunakan adalah 2:1 dan jumlah *leg* yang diperlukan tergantung pada besarnya ukuran bejana tekan itu sendiri.

(d) *Reinforcement Pad*

Plat penguat atau *reinforcement pad* adalah plat yang digunakan untuk penguatan *nozzle*. *Reinforcement pad* terletak pada bagian bawah *nozzle* dan menempel pada bagian *shell* dengan cara dilas. Penggunaan *reinforcement pad* tidak selalu dibutuhkan, melalui perhitungan yang dilakukan dapat diketahui apakah perlu atau tidaknya menggunakan *reinforcement pad*. Ketebalan *reinforcement pad* menentukan kekuatan dalam penguatan *nozzle*.



Gambar 2.8 Reinforcement Pad.

2.2.4 Beban yang Bekerja Pada Bejana Tekan

1. Beban Temperatur

Dalam hal ini terdapat dua jenis temperatur yang digunakan, yaitu;

a) Temperatur Operasi (T_o)

Beban temperatur operasi adalah temperatur yang digunakan yang ada saat proses produksi pada bejana tekan.

b) Temperatur Desain (T_d)

Temperatur desain merupakan temperatur yang digunakan pada saat perancangan bejana tekan. Rumus yang digunakan saat perancangan bejana tekan dilihat pada persamaan 2.1:

$$T_d = T_o + 50^{\circ}F \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

T_d = Temperatur Desain ($^{\circ}F$)

T_o = Temperatur Operasi ($^{\circ}F$)

Jika bejana tekan bekerja pada temperatur dibawah $-20^{\circ}F$, maka besarnya temperatur desain sama dengan temperatur terendah dari temperatur operasinya.

2. Beban Tekanan Internal

Ada dua jenis tekanan yang digunakan dalam bejana tekan, yaitu:

a) Tekanan Operasi (P_o)

Tekanan operasi adalah tekanan yang ada saat bejana tekan di operasikan.

b) Tekanan Desain (P_d)

Tekanan desain adalah tekanan yang digunakan pada saat desain bejana tekanan. Tekanan dari *fluida* dan faktor lain juga harus diperhatikan. Persamaan untuk menghitung beban tekanan internal ditunjukkan pada persamaan 2.2 dan 2.3.

$$P_d = P_o + a + P_{hs} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$P_{hs} = \rho \cdot g \cdot z \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

- P_d = Tekanan Desain [psi]
- P_o = Tekanan Operasi [psi]
- a = Margin [maks (0,1 . P_o atau 10 psi)]
- P_{hs} = Tekanan Hidrostatik (Tekanan yang timbul akibat *fluida* cair di dalam bejana tekan) [psi]
- ρ = Densitas *Fluida* [kg/m^3]
- g = Percepatan Gravitasi Bumi [m/s^2]
- z = Tinggi Bejana Tekan [in]







2.2.5 Tegangan Maksimum yang Diizinkan

Tegangan maksimum yang diizinkan (*Maximum allowable stress values*) berbeda-beda untuk setiap material. Tegangan maksimum yang diizinkan telah ditetapkan dan dapat diketahui melalui standar ASME B31.1.

2.2.6 Efisiensi Sambungan

Nilai efisiensi sambungan pada bejana tekan tergantung pada jenis dan bentuk dari sambungan itu sendiri, serta persentase pada tes radiografi yang dilakukan.

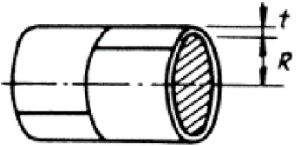
Tabel 2.1. Nilai Efisiensi Sambungan (Megyesy, 1998).

TYPES CODE UW-12		JOINT EFFICIENCY, E When the Joint:		
		a. Fully Radio- graphed	b. Spot Examined	c. Not Examined
1	 <p>Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surface. Backing strip if used shall be removed after completion of weld.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Single-welded butt joint with backing strip which remains in place after welding <i>For circumferential joint only</i></p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Single-welded butt joint without use of backing strip</p>	—	—	0.60
4	 <p>Double-full fillet lap joint</p>	—	—	0.55
5	 <p>Single-full fillet lap joint with plug welds</p>	—	—	0.50
6	 <p>Single full fillet lap joint without plug welds</p>	—	—	0.45

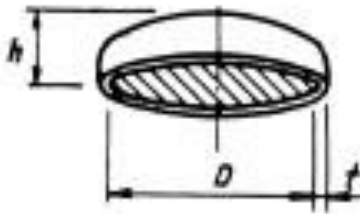

2.2.7 Penentuan *head* dan *shell*

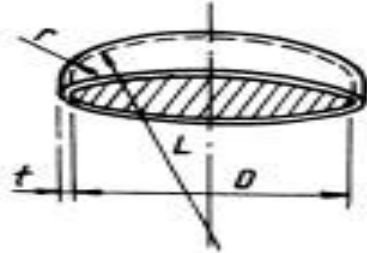
Perhitungan ketebalan *head* dan *shell* dihitung berdasarkan dimensi dan tekanan internalnya serta di hitung dalam keadaan terkorosi. Untuk menghitung ketebalan *Head* dan *shell* dapat dilihat pada tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2 Menentukan Ketebalan *Shell* Berdasarkan Tekanan Internal Dan Dimensi Dalam (Megyesy, 1998).

No	Bagian	Dimensi Dalam
1	 <p><i>Cylindrical Shell</i></p>	$t = \frac{P \cdot R_{corr}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + CA$

Tabel 2.3 Menentukan Ketebalan *Head* Berdasarkan Tekanan Internal Dan Dimensi Dalam (Megyesy, 1998).

No	Bagian	Dimensi Dalam
1	 <p>$h = D/4$ <i>Ellipsoidal Head</i></p>	$t = \frac{P \cdot D_{corr}}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + CA$
2	 <p><i>Cone and Conical Section</i></p>	$t = \frac{P \cdot D_{corr}}{2 \cdot \cos \alpha (S \cdot E - 0,6 \cdot P)} + CA$
3		Untuk $\frac{L}{r} = 16 \frac{2}{3}$, dimana L = 96 in

No	Bagian	Dimensi Dalam
	 <p data-bbox="485 705 743 741"><i>Torispherical Head</i></p>	$t = \frac{0,885 \cdot P \cdot L}{S \cdot E - 0,1 \cdot P} + CA$ <p data-bbox="858 533 1353 640">Untuk $\frac{L}{r} = 16$, dimana L = 96 in dan r = 6 in</p> $t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + CA$

2.2.8 Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)

Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) merupakan tekanan maksimal yang diizinkan saat operasi. MAWP menentukan tekanan internal dan eksternal serta faktor – faktor lain yang mungkin mempengaruhi tekanannya, namun tidak termasuk faktor korosi (CA) pada saat temperatur operasi. MAWP ditentukan oleh komponen paling lemah (*Head, Shell, Flange*).

Rumus untuk menentukan MAWP *head* dan *shell* ditunjukkan pada persamaan 2.4 dan 2.5:

a. MAWP *Shell*

$$MAWP_{shell} = \frac{S \cdot E \cdot t_{corr}}{R_{corr} + 0,6 \cdot t_{corr}} [psi] \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- S = Tegangan Maksimum Yang Diiijinkan Material [psi]
- E = Efisiensi Sambungan
- t_{corr} = Tebal *Shell* Terkorosi [in]
- R_{corr} = Jari-jari Dalam Bejana Tekan Terkorosi [in]

b. MAWP *Head*

$$MAWP_{head} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t_{corr}}{D_{corr} + 0,2 \cdot t_{corr}} [psi] \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

S = Tegangan Maksimum Yang Dijinkan Material [psi]

E = Efisiensi Sambungan

t_{corr} = Tebal *Shell* Terkorosi [in]

D_{corr} = Diameter Bejana Tekan Terkorosi [in]

c. MAWP *Flange*

Penentuan MAWP *flange* dilakukan dengan memilih *rating* yang memiliki nilai MAWP diatas tekanan desain (P_d) dengan menggunakan tabel ASME B16.5.

d. MAWP Bejana Tekan

Besarnya MAWP bejana tekan ditentukan oleh MAWP terkecil dari tiga komponen bejana tekan diatas (*shell*, *head*, atau *flange*).

2.2.9 Tegangan Membran

Pada *head* dan *shell* akan muncul tegangan akibat pengaruh tekanan *fluida* yang tertampung di dalam bejana. Salah satu tegangan yang muncul adalah tegangan *longitudinal* dan *circumferential* yang dapat mengakibatkan bejana tekan dapat terbelah dan terjadi malfungsi. Perhitungan tegangan membran dilakukan menggunakan rumus 2.6 dan 2.7.

$$\sigma_{\text{Longitudinal}} = \frac{P.R}{2.t} \dots\dots\dots(2.6)$$

dan

$$\sigma_{\text{melingkar}} = \frac{P.R}{4.t} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

P = Tekanan Desain [Psi]

R = Jari-jari Bejana Tekan [in]

t = Tebal Dinding Bejana Tekan [in]

2.2.10 Tekanan Tes *Hydrostatic*

Tes tekanan *hydrostatic* adalah sebuah tes yang dilakukan setelah bejana tekan selesai dibuat. Tes menggunakan *fluida* yang dimasukkan kedalam bejana

tekan. Tes *hydrostatic* diperlukan untuk mengetahui apakah bejana tekan mampu menahan tekanan sesuai dengan desain yang dibuat. Perhitungan besar nilai tekanan tes *hydrostatic* dilakukan dengan rumus 2.8.

$$P_{hs} = 1,3 \cdot P_d \cdot \frac{S \text{ dengan } T_{Test}}{S \text{ dengan } T_{Desain}} \text{ [psi]} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

P_{hs}	= Tekanan Tes Hidrostatik [psi]
P_d	= Tekanan Desain [psi]
S dengan T_{Test}	=Tegangan Maksimum Yang Diiijinkan Material Dengan Temperatur Test [psi]
S dengan T_{Desain}	= Tegangan Maksimum Yang Diiijinkan Material Dengan Temperatur Desain [psi]

2.2.11 Beban Tekanan Eksternal

Beban tekanan eksternal adalah beban akibat tekanan yang bekerja di dalam bejana tekan kurang dari tekanan atmosfer. Beban tekanan eksternal mempengaruhi kekuatan dinding bejana tekan. Beban tekanan eksternal perlu dihitung untuk mengetahui apakah ketebalan dinding bejana tekan perlu ditambah karena beban yang diterima dari luar.

a *Shell*

Penentuan ketebalan dinding *shell* akibat beban tekanan eksternal adalah dengan mengasumsikan nilai ketebalan melalui penentuan nilai L/D dan D_o/t melalui grafik atau menggunakan ketebalan yang telah dihitung. Grafik L/D merupakan grafik perbandingan *length of shell* dengan diameter *shell*. Grafik D_o/t merupakan grafik perbandingan antara diameter luar *shell* dengan ketebalan *shell*. Tegangan maksimum pada bejana akibat beban tekanan eksternal ditentukan seperti pada rumus 2.9.

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3(D_o/t)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

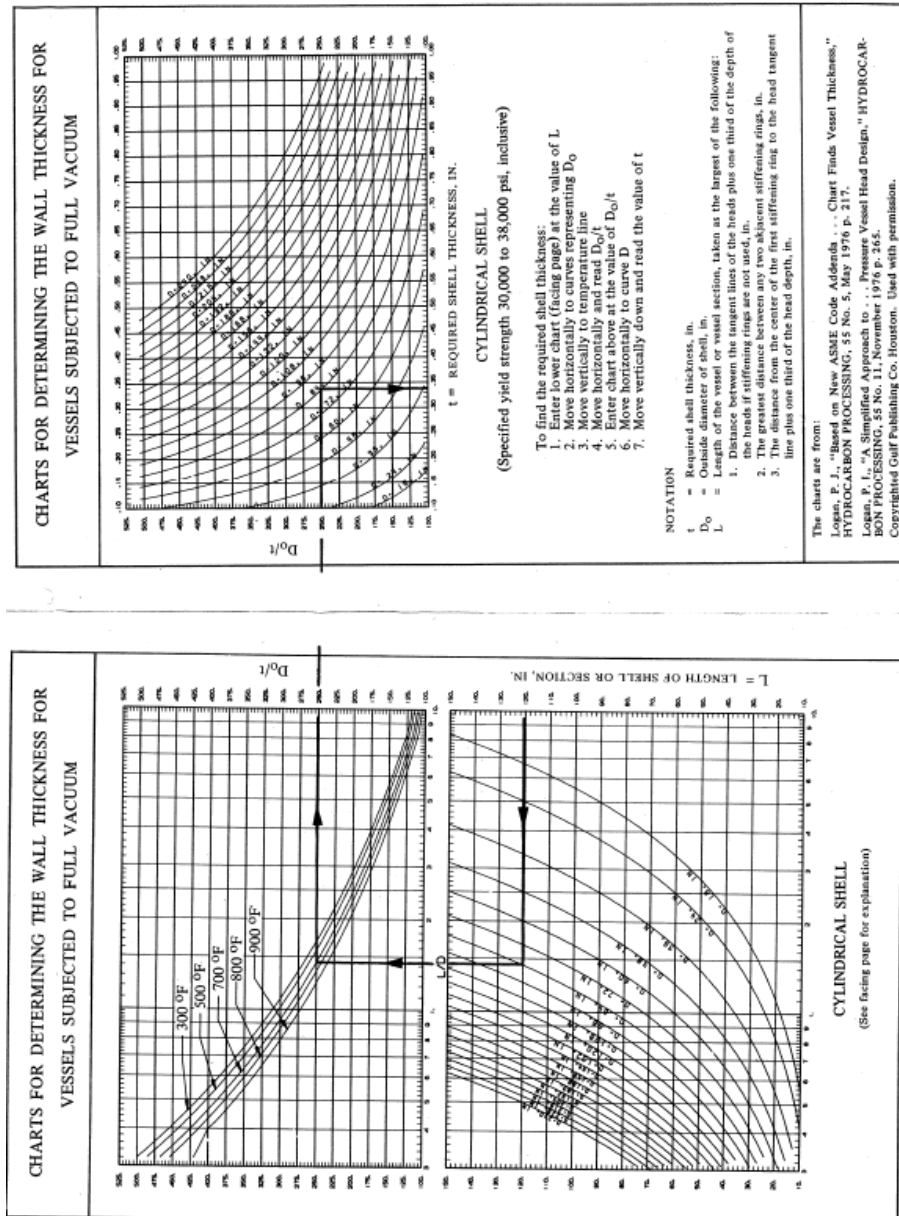
P_a	= Tegangan Izin Maksimum [psi]
B	= Faktor B
E	= Modulus Elastisitas
D_o	= Diameter Luar <i>Shell</i> [in]
t	= Tebal <i>Shell</i> [in]

Sebelum menentukan besarnya nilai P_a , terlebih dahulu menentukan nilai B. Berikut langkah-langkahnya:

- 1) Asumsikan nilai tebal dinding *shell* (t)

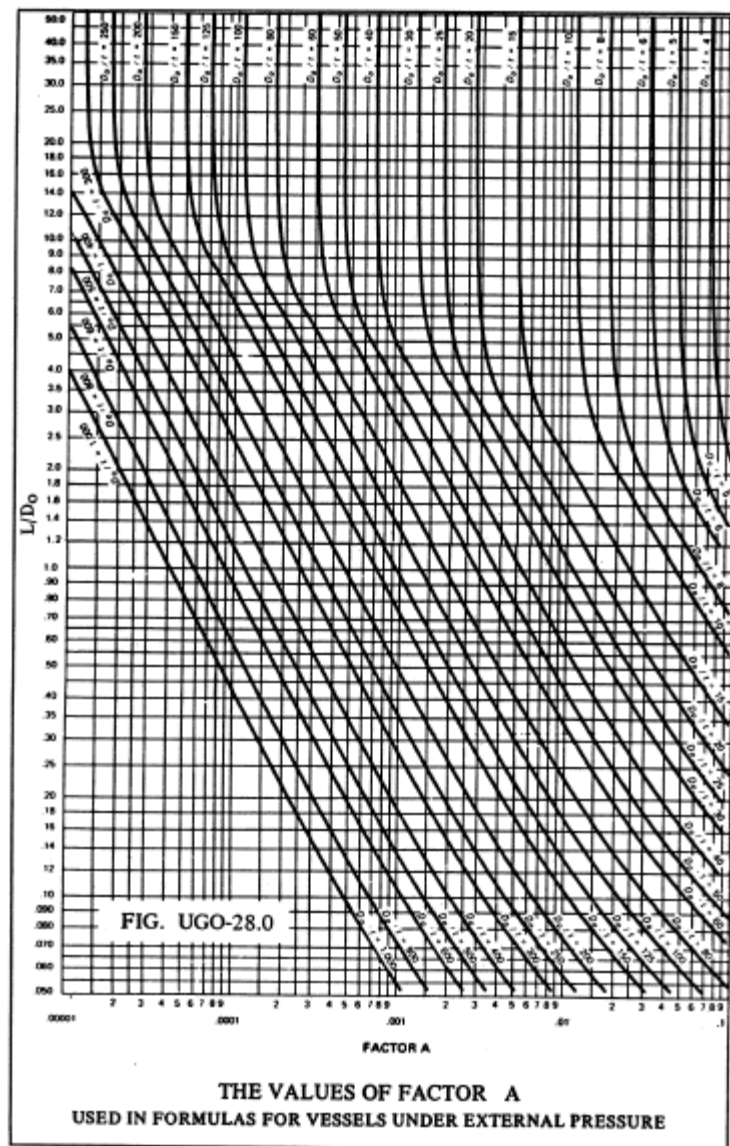
Asumsi ketebalan dinding ditentukan dengan melihat pada gambar

2.9.



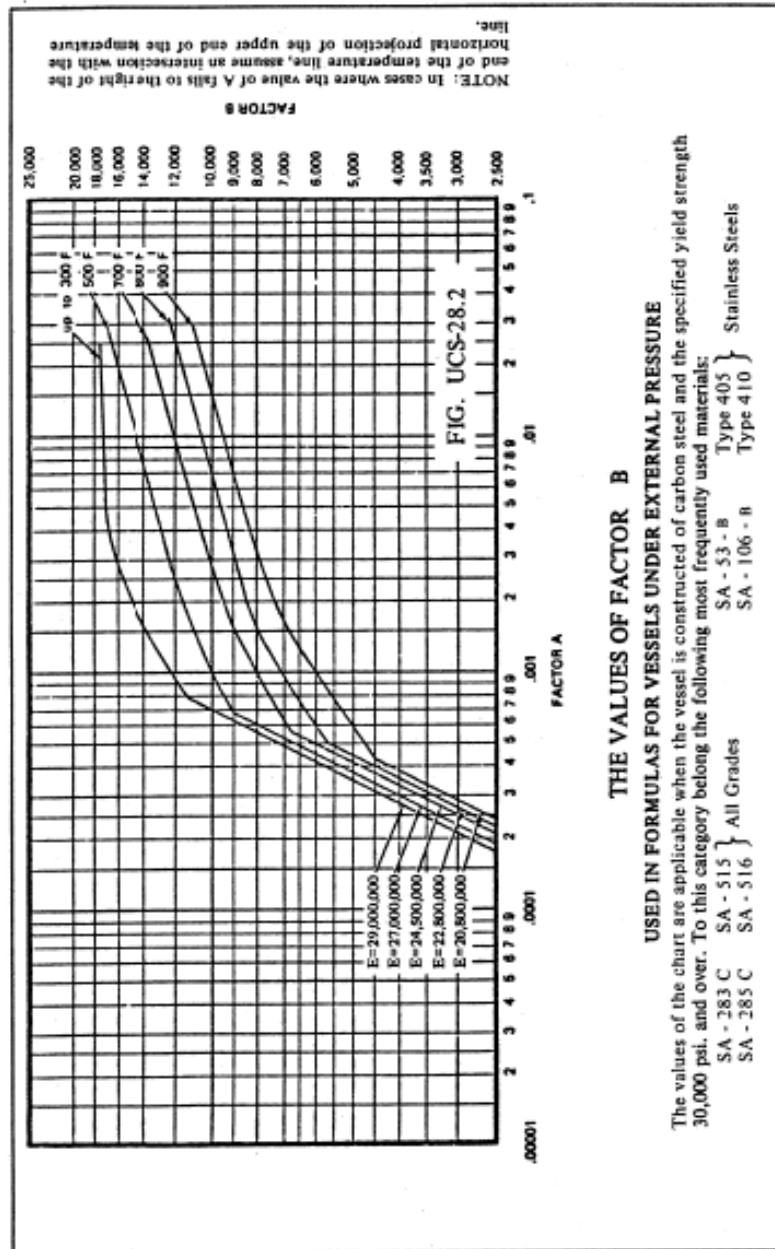
Gambar 2.9 grafik mencari t (Megyesy, 1998).

- 2) Menentukan nilai Faktor A dengan nilai L/D_o dan D_o/t
 Besarnya nilai faktor A ditentukan dengan melihat pada gambar 2.10. Faktor A dapat dicari dengan bantuan data L/D_o dan diameter luar (D_o) bejana tekan.



Gambar 2.10. Nilai Faktor A (Megyesy, 1998).

- 3) Menentukan nilai B dengan nilai A dan modulus elastisitas (E) dari jenis material yang digunakan. Dengan menentukan nilai Faktor A dan modulus elastisitas (E) dari jenis material yang digunakan, nilai Faktor B ditentukan melalui grafik pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Grafik Modulus Elastisitas (Megyesy, 1998).

Jika nilai A berada di samping kiri kurva, maka untuk menghitung tekanan ijin maksimum menjadi seperti persamaan 2.10.

$$P_a = \frac{4.A.E}{3(D_o/t)} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

A = Faktor A

D_o = Diameter Luar *Shell* (in)

D_o/t = Rasio Diameter Luar Bejana Terhadap Ketebalan Dinding

E = Modulus Elastisitas Material (psi)

L = Panjang Bejana Tekan (in)

P_a = Tekanan Izin Maksimum (psi)

t = Ketebalan Dinding Minimum Yang Diperlukan (in)

Dengan demikian, maka besarnya nilai tekanan izin maksimum dapat diketahui. Secara matematis penambahan ketebalan *shell* bejana tekan akibat tekanan eksternal ditentukan melalui hubungan antara tekanan izin maksimum (P_a) dengan tekanan desain (P_d) adalah sebagai berikut:

$P_a > P_d$ Tidak memerlukan penambahan ketebalan

$P_a < P_d$ Memerlukan penambahan ketebalan atau penambahan ring pengaku

b *Sphere* atau *Hemi-spherical Head*

Tekanan izin maksimum ditentukan melalui persamaan 2.11.

$$P_a = \frac{B}{R_o/t} \dots\dots\dots(2.11)$$

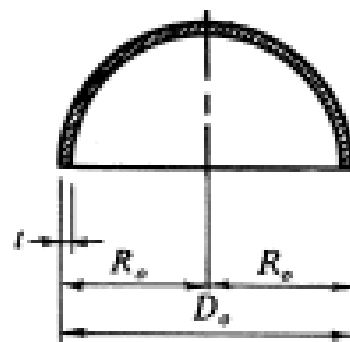
Keterangan :

B = Faktor B

P_a = Tekanan izin Maksimum (psi)

R_o = *Radius Sphere/Hemi-Spherical Head* (in)

t = Ketebalan Dinding Minimum (in)

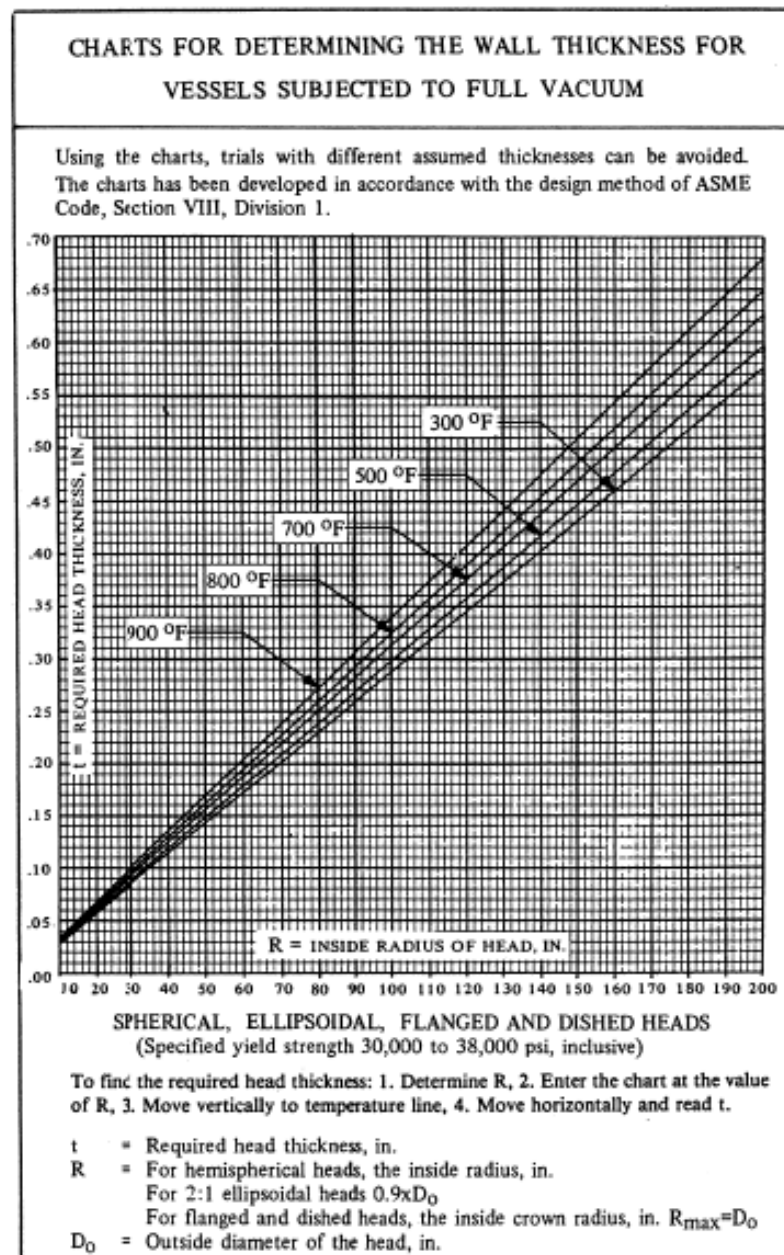


Gambar 2.12. Analisis *Spherical Head* (Megyesy, 1998).

Gambar 2.12 diatas memperlihatkan ukuran-ukuran yang digunakan dalam perhitungan ini. Besarnya nilai B ditentukan melalui langkah-langkah:

1) Asumsikan nilai tebal dinding *head*

Asumsi ketebalan dinding *head* didapat melalui grafik pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Grafik Untuk Menentukan Tebal Dinding *Head*
(Megyesy, 1998).

- 2) Menghitung nilai A

Nilai A dapat dihitung melalui persamaan 2.12.

$$A = \frac{0.125}{R_o/t} \dots\dots\dots(2.12)$$

- 3) Menentukan nilai B dengan nilai A dan E (tergantung jenis material)

Jika nilai A berada pada sebelah kiri grafik maka besarnya tekanan izin maksimum ditentukan melalui persamaan 2.13.

$$P_a = \frac{0,0625}{(R_o/t)^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

Jika besarnya tegangan izin maksimum lebih kecil dibandingkan dengan tekanan desain, maka perhitungan harus diulang dengan menambahkan ketebalan dindingnya.

c *Ellipsodial Head*

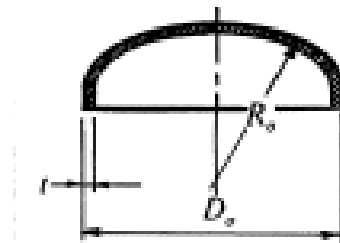
Dalam perancangan *ellipsodial head*, ketebalan dinding yang dibutuhkan harus memenuhi persyaratan:

- 1) Ketebalan dinding harus lebih besar dari ketebalan yang dihitung dengan persamaan untuk desain tekanan internal dimana besarnya tekanan desain 1,67 kali lebih besar dari tekanan eksternalnya dan dengan efisiensi sambungan E=1. Ketebalan harus memenuhi melalui rumus 2.14.

$$P_a = \frac{B}{R_o/t} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

$$R_o = 0,9 D_o$$

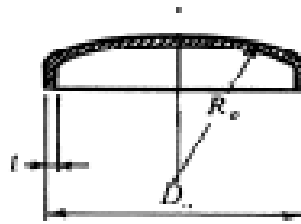


Gambar 2.14. Analisis *Ellipsodial Head* (Megyesy, 1998).

Perhitungan untuk *elipsoidal head* dilakukan dengan ukuran-ukuran seperti pada gambar 2.14 diatas. Nilai faktor B ditentukan melalui perumusan seperti pada *sphere* atau *semi-spherical head*.

d *Torispherical Head*

Ketebalan dinding yang dibutuhkan dan tekanan izin maksimum untuk *torispherical head* dihitung dengan cara seperti perhitungan *elipsoidal head* dengan ukuran-ukuran seperti yang ditunjukkan melalui gambar 2.15.



Gambar 2.15. Analisis *Torispherical Head* (Megyesy, 1998).

2.2.12 Beban Angin

Beban angin memiliki 3 acuan yang digunakan untuk menghitungnya, yaitu:

a. Standar ASA A58.1 – 1955

Hubungan antara kecepatan angin dan tekanan yang dihasilkan pada bejana tekan pada penampang lingkaran adalah sebagai berikut seperti ditunjukkan pada persamaan 2.15-2.17:

$$P_W = 0,0025 \cdot V_W^2 \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

- V_W = Kecepatan Angin [mph]
- P_W = Tekanan Angin [psi]

b. Standar ANSI A58.1 – 1982

Tekanan angin yang terjadi pada bejana tekan didapat dari persamaan 2.14.

$$P_W = Q_s \cdot C_e \cdot C_q \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

- Q_s = *Wind Signation Pressure* pada Ketinggian 20 ft [psi]
- C_q = *Shape Factor* atau *Pressure Coefficient*
= 1,4 untuk *Square* atau *Rectangular Tower*

- = 1,1 untuk *Hexa* atau *Octagonal Tower*
- = 0,8 untuk *Round* atau *Elliptical Tower*
- = 0,9 untuk *Cylindrical Vessel* dengan Peralatan Tambahan
- C_e = *Exposure and Gust Factor Coefficient*

Tabel 2.4 *Exposure and Gust Factor Coefficient* (Megyesy, 1998).

Tinggi (ft)	Exp. C	Exp. B
0-2	1,2	0,7
20-40	1,3	0,8
40-60	1,5	1
60-100	1,6	1,1
100-150	1,8	1,3
150-200	1,9	1,4
200-300	2,1	1,6
300-400	2,2	1,8

Catatan:

- Jika di sekitar tower terdapat pohon atau gedung (dengan tinggi sekitar 20 ft) dalam jarak 1 mile dari lokasi (menutup area bejana tekan lebih dari 20%), maka nilai C_e menggunakan kolom Exp.B.
- Jika di sekitar tower tidak terdapat pohon atau gedung dalam jarak 1 mile dari lokasi, maka nilai C_e menggunakan kolom Exp.C.

c. Standar ANSI atau Asce 7 – 1995 (*approved* 1996)

Tekanan angin pada luas proyeksi dari tower silindris ditunjukkan pada persamaan 2.17.

$$F = Q_z \cdot G \cdot C_f \cdot A_f \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

- F = *Design Wind Force* [lbf]
- Q_z = *Velocity Pressure* pada ketinggian di atas tanah [psi]
- G = Faktor Akibat Tekanan Angin

Tabel 2.5 *Velocity Pressure* (Megyesy, 1998)

<i>Basic wind speed</i> [mph]	70	80	90	100	110	120	130
<i>Velocity pressure</i> [psf]	13	17	21	26	31	37	34

Tabel 2.6 *Coefficient G* (Megyesy, 1998)

<i>HEIGHT</i> <i>Above Ground, ft.</i>	<i>EXPOSURE</i> B	<i>EXPOSURE C</i>	<i>EXPOSURE D</i>
0-15	0,6	1,1	1,4
20	0,7	1,2	1,5
40	0,8	1,3	1,6
60	0,9	1,4	1,7
80	1,0	1,5	1,8
100	1,1	1,6	1,9
140	1,2	1,7	2,0
200	1,4	1,9	2,1
300	1,6	2,0	2,2
500	1,9	2,3	2,4

Keterangan:

- Pada urban / sub-urban area, menggunakan Exp B (0,8)
- Di open *terrain with scattered obstruction*, menggunakan Exp C (0,85)
- Di *flat, un-obstructed area*, menggunakan Exp D (0,85)

C_f = Faktor Bentuk (*Shape Factor*)

A_f = Luas Proyeksi Tower [ft²]

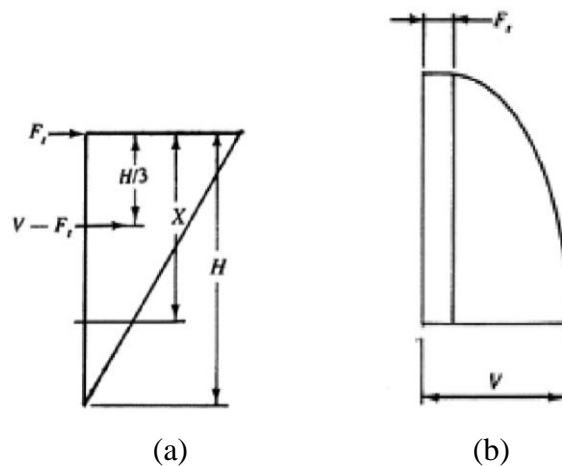
= D . H

Keterangan:

- D = Diameter Bejana Tekan [ft]
- H = Tinggi Bejana Tekan [ft]

2.2.13 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang di hitung dengan mengasumsikan adanya gempa bumi. Kondisi pembebanan pada bejana tekan karena beban gempa bisa dianggap sebagai batang kantilever jika beban bertambah secara proporsional ke ujung bebasnya (Megyesy, 1998). Metode perancangan didasarkan pada metode *Uniform Building Code* (UBC 1991).



Gambar 2.16 (a) Diagram Distribusi Gaya. (b) Diagram Gaya Geser (Megyesy, 1998).

Gambar 2.16 menunjukkan skema distribusi gaya sepanjang bejana tekan serta diagram gaya geser yang terjadi.

a. *Base Shear* (V)

Base shear merupakan jumlah total *horizontal seismic shear* pada dasar bejana tekan. Persamaannya ditunjukkan pada rumus 2.18.

$$V = \frac{Z \cdot I \cdot C}{R_W} \cdot W \dots\dots\dots(2.18)$$

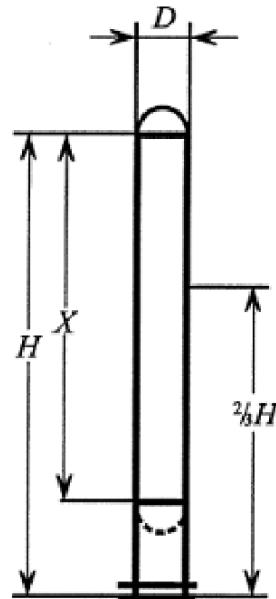
Keterangan:

- V = *Total Seismic Shear at base* [lbf]
- Z = *Faktor Zona Seismic*
- I = *Occupancy Importance Coefficient* (1 untuk bejana tekan)
- C = *Koefisien Numerik* (tidak lebih dari 2,75)
- = $\frac{1,25 \times S}{T^3}$

R_w = Koefisien Numerik (2,9 untuk bejana tekan)
 W = Berat Bejana Keseluruhan [lbf]

b. *Overtuning Moment*

Overtuning moment atau momen guling adalah jumlah momen dari semua gaya pada bejana tekan.



Gambar 2.17 Skema Bejana Tekan Vertikal
 (Megyesy, 1998).

Dengan melihat parameter bejana tekan pada gambar diatas, maka dapat dirumuskan:

$$M = F_t \cdot H + (V - F_t) \cdot \left(\frac{2 \cdot H}{3}\right) \dots \dots \dots (2.19)$$

$$M_x = F_t \cdot X \left(\text{untuk } X \leq \frac{H}{3} \right) \dots \dots \dots (2.20)$$

$$M = F_t \cdot X + (V - F_t) \cdot \left(X - \frac{H}{3}\right) \left(\text{untuk } X \geq \frac{H}{3} \right) \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan:

- M = Momen Maksimum Pada Dasar Bejana Tekan [ft.lbf]
- F_t = Total *Horizontal Seismic Force* pada Ujung Atas Bejana [lbf]
- H = Tinggi Bejana Tekan Termasuk *Skirt* [ft]
- V = Total *Seismic Shear at Base* [lbf]
- M_x = Momen Pada Jarak X [ft.lbf]
- M = Momen Maksimum Pada Dasar Bejana Tekan [ft.lbf]

2.2.14 Desain *Skirt Support*

Untuk menentukan desain *skirt support* pertama harus mengetahui efisiensi sambungan pengelasan dan kemudian ketebalan *skirt* dapat ditentukan menggunakan rumus 2.22 berikut:

$$t = \frac{12 \cdot M_T}{R^2 \cdot \pi \cdot S \cdot E} + \frac{W}{D \cdot \pi \cdot S \cdot E} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

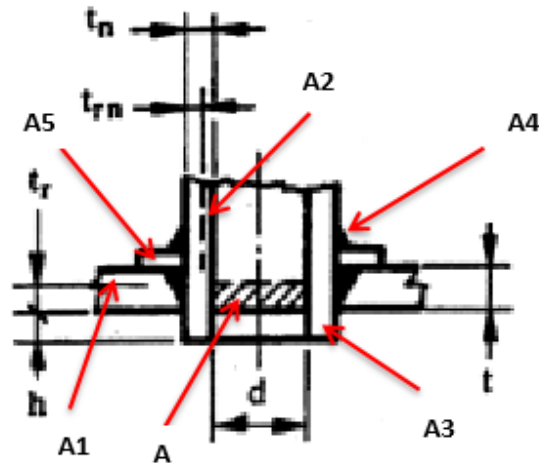
- t = Tebal Dinding *Skirt* [in]
- M_T = Momen pada Sambungan *Skirt* ke *Head* [ft.lbf]
- R = Jari-Jari *Skirt* [in]
- S = Minimum dari Nilai Kekuatan Material *Head* atau *Skirt* [psi]
- E = Efisiensi Sambungan *Skirt* ke *Head*
= 0,6 untuk jenis sambungan *Butt Weld*
= 0,45 untuk jenis sambungan *Lap Weld*
- W = Berat Tower di Atas Sambungan *Skirt* ke *Head* (pada kondisi operasi) [lb]

2.2.15 Desain Penguat Untuk Bukaannya *Nozzle*

Dalam perancangan penguat *nozzle* terdapat beberapa aturan yang harus dipenuhi, diantaranya:

- a. Tidak perlu mengganti sejumlah logam aktual yang terbuang (akibat lubang *nozzle*), tapi hanya sebesar yang diperlukan untuk menahan tekanan internal (A). Tebal bejana pada opening biasanya lebih kecil dari pada di lokasi lain dari *shell* atau *head*.
- b. Plat aktual yang digunakan dan leher *nozzle* biasanya lebih tebal daripada yg diperlukan sesuai perhitungan. Kelebihan tebal dinding bejana (A1) dan dinding *nozzle* (A2) digunakan sebagai penguatan. Hal serupa, perpanjangan ke dalam dari opening (A3) dan luas logam las (A4) dapat juga diperhitungkan sebagai penguatan.
- c. Penguatan harus dalam batas nilai tertentu.
- d. Luas penguatan harus naik proporsional jika nilai kekuatan lebih rendah dari pada kekuatan dari dinding bejana.

- e. Luas yg diperlukan untuk penguatan harus dijamin pada semua bidang melalui pusat *opening* & tegak turus permukaan bejana.



Gambar 2.18 *Nozzle* dengan Plat Penguat (Megyesy, 1998).

Keterangan:

A = luas yang diperlukan untuk menahan tekanan internal pada *shell* atau *head*.

$$A = d \cdot t_r \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan:

d = diameter dalam *nozzle*

t_r = tebal *shell* / *head* yang diperlukan

A_1 = luas kelebihan pada dinding bejana tekan. Besarnya luasan ini dipilih yang paling besar antara dua persamaan berikut:

$$A_1 = (t - t_r) \cdot d [in^2] \dots\dots\dots(2.24)$$

Atau

$$A_1 = 2 \cdot (t - t_r) \cdot (t_n + t) [in^2] \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

t = Tebal Dinding Bejana (tidak termasuk CA)

t_n = Tebal Dinding *Nozzle* (tidak termasuk CA)

A_2 = luas kelebihan pada dinding *nozzle*. Besarnya luasan ini dipilih yang paling kecil antara dua persamaan berikut:

$$A_2 = 5 \cdot t \cdot (t_n - t_m)[in^2] \dots\dots\dots(2.26)$$

Atau

$$A_2 = 5 \cdot t_n \cdot (t_n - t_m)[in^2] \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan:

t_m = Tebal dinding *nozzle* tanpa sambungan yang diperlukan. [in]

A_3 = Luas perpanjangan ke dalam bejana tekan dari *opening*.

Besar luasan ini ditentukan dengan persamaan berikut:

$$A_3 = 2 \cdot h \cdot (t_n - c)[in^2] \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan :

h = Jarak *nozzle projection* di sisi dalam dinding bejana tekan (tidak termasuk CA)

c = *Corrosion Allowance* (CA)

A_4 = Luas logam pengelasan [in²]

A_5 = Luas plat penguat

Jika besarnya luas A lebih besar dari jumlah luasan (A_1 , A_2 , A_3 , dan A_4) maka *nozzle* tersebut tidak memerlukan plat penguat, sedangkan jika nilai A lebih kecil dari jumlah luasan (A_1 , A_2 , A_3 , dan A_4) maka *nozzle* tersebut memerlukan plat penguat yang luasnya minimal sebesar A_5 atau secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$A < (A_1 + A_2 + A_3 + A_4)$ tidak memerlukan plat penguat

$A > (A_1 + A_2 + A_3 + A_4)$ memerlukan plat penguat

2.3. Software PV Elite 2014

PV Elite merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk merancang *pressure parts* (*pressure vessel* dan *heat exchanger*), *software* yang dibuat oleh COADE.inc ini merupakan salah satu *software* yang mudah digunakan dan PV Elite sendiri sudah menggunakan standar ASME.

2.3.1 Tatap Muka (*Interface*) PV Elite 2014

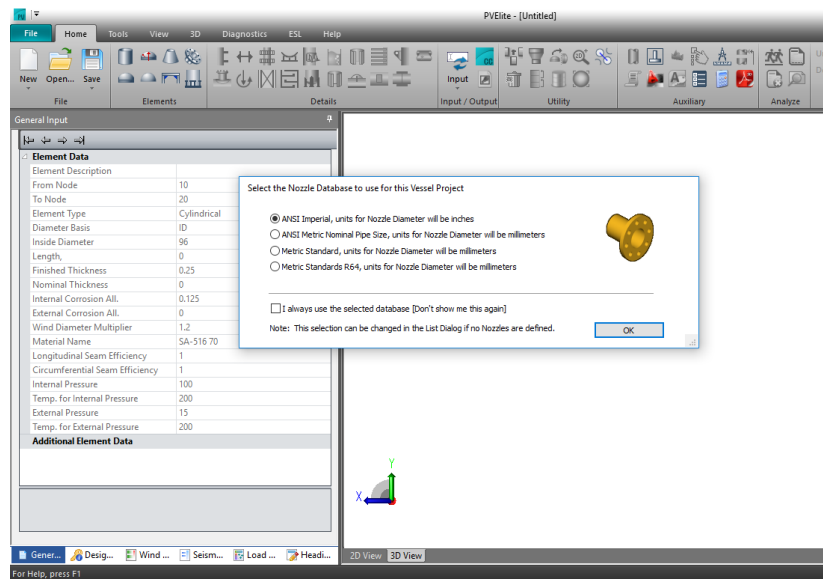
1) Tampilan awal saat masuk *software*

Tampilan awal saat masuk pada *software* PV Elite terdapat logo dan tahun perilis *software* tersebut ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Tampilan Awal PV Elite 2014.

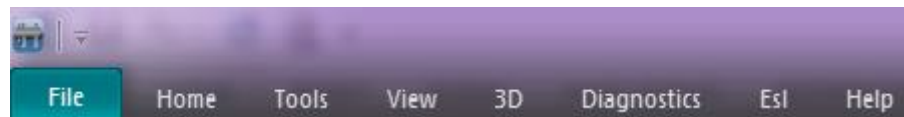
Kemudian setelah *loading* pada tampilan awal selesai akan muncul window pengaturan database dan satuan pada saat perancangan seperti ditunjukkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 *Nozzle Database*.

2) Menu

Pada menu terdapat beberapa pilihan seperti ditunjukkan pada gambar 2.21.

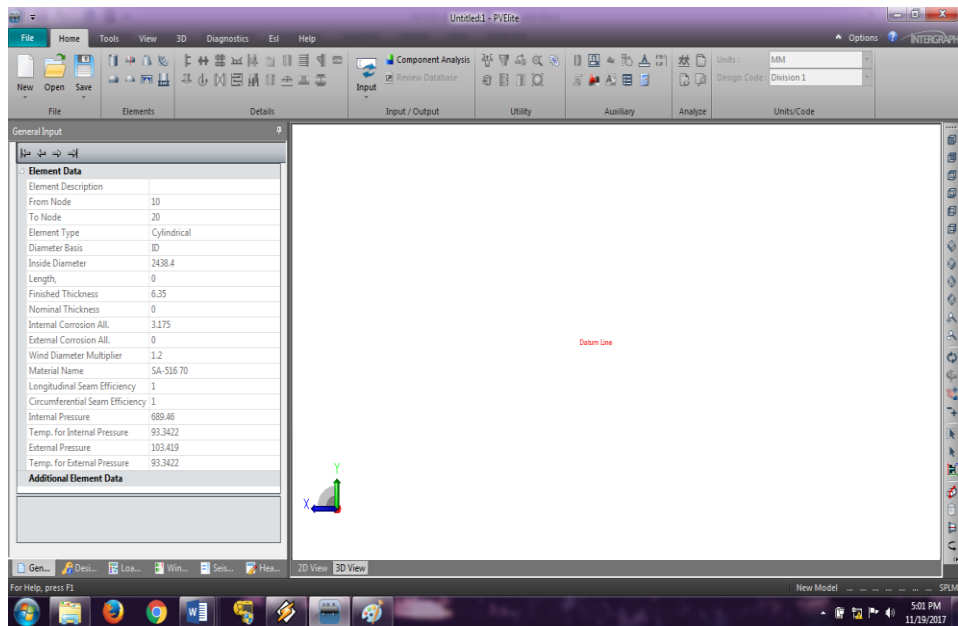


Gambar 2.21 *Menu File*.

Pilihan menu seperti ditunjukkan gambar 2.21 memiliki beberapa pilihan yang dapat digunakan untuk melakukan perancangan dari awal sampai dengan digunakan untuk menyimpan dan membuka kembali desain yang telah kita buat.

3) Lembar kerja

Pada menu *home* terdapat tampilan kerja yang digunakan untuk melakukan desain bejana tekan, seperti yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.22.

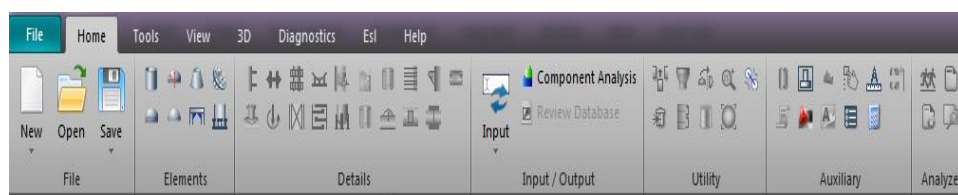


Gambar 2.22 Lembar Kerja.

Pada lembar kerja kita dapat melihat desain yang kita buat mulai dari awal hingga selesai dan dapat merubahnya menjadi tampilan 2D dan 3D.

4) Menu *Home*

Pada menu *home* terdapat beberapa pilihan seperti ditunjukkan pada gambar 2.23 berikut:



Gambar 2.23 Menu *Home*.

Pada gambar 2.23 menunjukkan menu mulai dari menu untuk menambahkan elemen, detail, analisis sampai menu untuk melakukan *save* dan *open* data desain yang telah kita buat.

5) *General input*

General input digunakan untuk memasukkan data-data perancangan bejana tekan dengan cara memasukkan data perancangan pada kolom yang tersedia seperti ditunjukkan pada gambar 2.24.

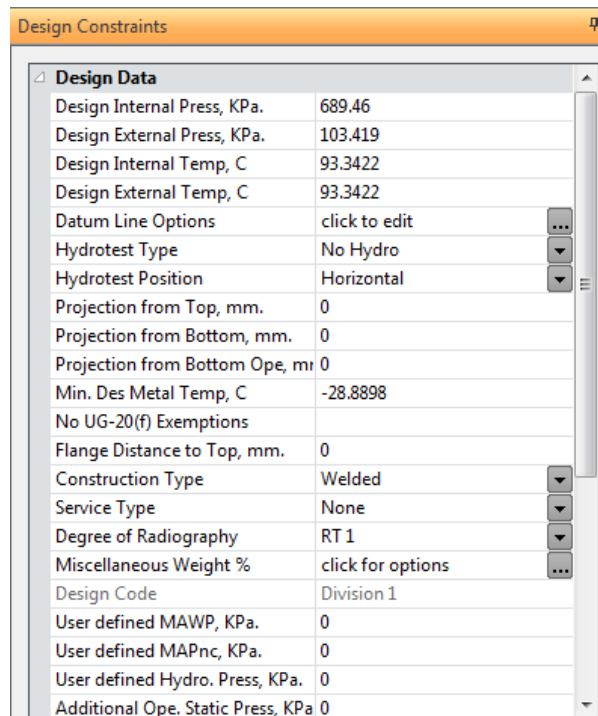
The screenshot shows a software window titled "General Input" with a table of parameters for an element. The table is organized into two sections: "Element Data" and "Additional Element Data".

Element Data	
Element Description	
From Node	10
To Node	20
Element Type	Cylindrical
Diameter Basis	ID
Inside Diameter	2438.4
Length,	0
Finished Thickness	6.35
Nominal Thickness	0
Internal Corrosion All.	3.175
External Corrosion All.	0
Wind Diameter Multiplier	1.2
Material Name	SA-516 70
Longitudinal Seam Efficiency	1
Circumferential Seam Efficiency	1
Internal Pressure	689.46
Temp. for Internal Pressure	93.3422
External Pressure	103.419
Temp. for External Pressure	93.3422
Additional Element Data	

Gambar 2.24 *General Input*.

6) *Design Constraints*

Design constraints digunakan untuk memasukkan data temperatur, tekanan, hydro test, dll. Tab *Design constraints* ditunjukkan oleh gambar 2.25.

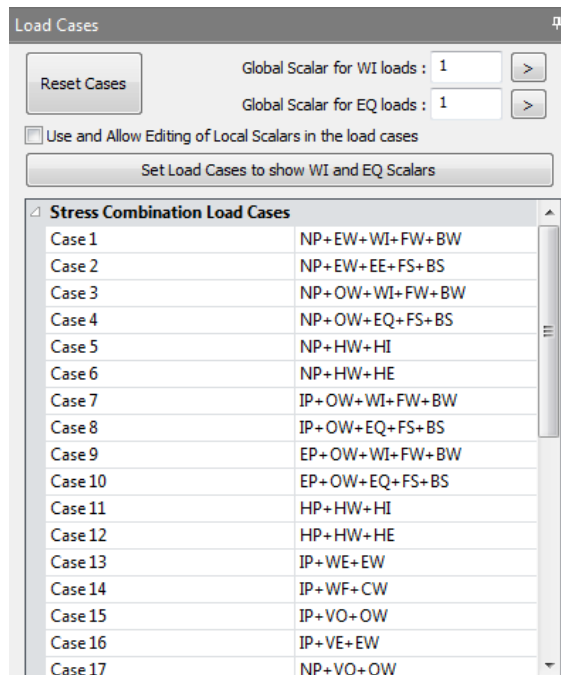


Design Constraints	
Design Data	
Design Internal Press, KPa.	689.46
Design External Press, KPa.	103.419
Design Internal Temp, C	93.3422
Design External Temp, C	93.3422
Datum Line Options	click to edit
Hydrotest Type	No Hydro
Hydrotest Position	Horizontal
Projection from Top, mm.	0
Projection from Bottom, mm.	0
Projection from Bottom Ope, mm.	0
Min. Des Metal Temp, C	-28.8898
No UG-20(f) Exemptions	
Flange Distance to Top, mm.	0
Construction Type	Welded
Service Type	None
Degree of Radiography	RT 1
Miscellaneous Weight %	click for options
Design Code	Division 1
User defined MAWP, KPa.	0
User defined MAPnc, KPa.	0
User defined Hydro. Press, KPa.	0
Additional Ope. Static Press, KPa	0

Gambar 2.25 *Design Constraints*.

7) *Load Cases*

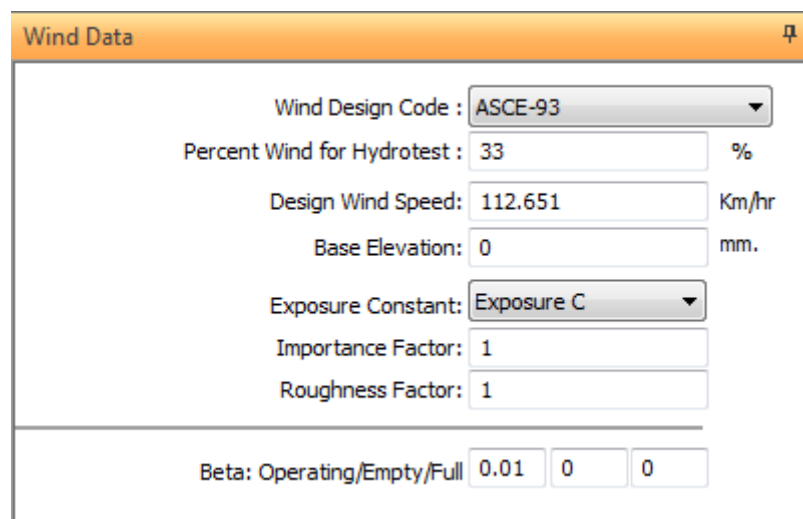
Load cases digunakan untuk memasukkan data kombinasi beban tekanan dan tekanan *nozzle* pada bejana tekan. Tab *Load Cases* ditunjukkan oleh gambar 2.26.



Gambar 2.26 Load Cases.

8) Wind data

Wind data digunakan untuk memasukkan data angin yang mempengaruhi bejana tekan. Tab wind data ditunjukkan oleh gambar 2.27.



Gambar 2.27 wind data.

9) Seismic Load

Seismic load digunakan untuk memasukkan beban gempa pada bejana tekan. Tab *seismic load* ditunjukkan oleh gambar 2.28.

Gambar 2.28 *Seismic Load*.

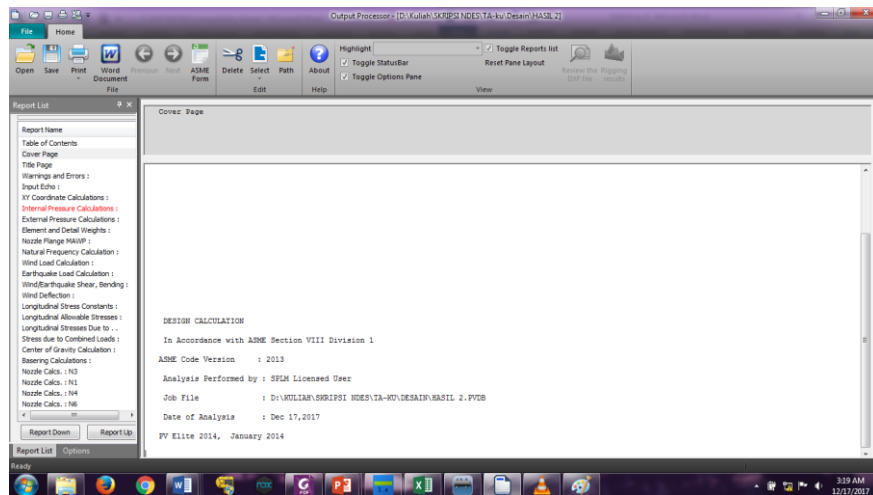
10) Input Nozzle Dan Analisis

Input nozzle/analisis digunakan untuk menambahkan *nozzle* pada desain bejana tekan. Tab *input nozzle/analisis* ditunjukkan gambar 2.29.

Gambar 2.29 *input nozzle*.

11) Analisis

Setelah desain dan data selesai dimasukkan maka hasil dari perancangan dapat dilakukan analisis. Hasil analisis ditunjukkan oleh gambar 2.30.



Gambar 2.30. Tampilan hasil analisis.