

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Barum dan Malik (2013) melakukan perancangan konstruksi bejana tekan vertikal untuk *separator gas, oil, dan water*, dengan tidak mengabaikan faktor keamanan maka perencanaan dapat dibagi dalam 4 bagian terpenting, yakni perencanaan *shell, head, nozzle* dan *support*. Pada bagian *shell* dengan tebal 28 mm didapat untuk perhitungan MAWP baru sebesar 1503.28 Psi. *Head* dengan tebal 31.75 didapat perhitungan MAWP baru sebesar 1769,92 Psi. *Nozzle* dengan cakupan MAWP terbesar dimiliki oleh N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, dan N11 yakni sebesar 3845,06 Psi, dan terkecil dimiliki oleh N1 dan N2 dengan MAWP sebesar 1712,04 Psi. Penentuan MAWP bejana tekan ditentukan oleh MAWP terkecil yakni pada bagian *shell* sebesar 1503,28 Psi.

Yemul dan Kulkarni (2017) melakukan perancangan bejana dengan kapasitas kecil (5kg) pada sebuah sistem di industri tekstil. Material yang digunakan pada *shell, head* dan *nozzle* adalah SA 316, dan untuk *leg support* adalah SA 304. Hasil dari perancangan bejana menunjukkan *minimum* ketebalan dari *shell* sebesar 1,84 mm, *nozzle* sebesar 1.33 mm, dan *head* sebesar 0,843 mm, namun menurut keamanan pada standar ASME maka tebal *head* yang dipakai sebesar 3mm. *Maximum allowable working pressure* (MAWP) terhitung pada bejana sebesar 1,035 Mpa. Perancangan yang dilakukan melalui metode perhitungan setiap komponen dibantu dengan pemodelan bentuk melalui *software* CATIA.

Aziz dkk (2014) perancangan bejana tekan menggunakan metode yang disesuaikan dengan perkembangan teknologi. Salah satu teknologi yang digunakan dalam perancangannya adalah *software* PV Elite. Dalam jurnalnya, perancangan tersebut menggunakan material untuk *shell* dan *head* adalah SA 516 Grade 70, tekanan operasi 3,1 MPa, dimensi panjang bejana tekan 5900 mm, diameter bejana 2140 mm, dan *corrosion allowance* sebesar 6 mm. Hasil dari *software* PV Elite, ketebalan *shell* yang didapat adalah 30,45 mm, sedangkan perhitungan manual

adalah 29,84 mm. Untuk ketebalan *head* berdasarkan perhitungan PV Elite didapat 30,18 mm, sedangkan perhitungan manual adalah 17,92 mm. Tekanan maksimal berdasarkan PV Elite adalah untuk *head* 5,1356 MPa dan *shell* 5,0418 MPa, sedangkan dari perhitungan manual untuk *head* 1,0144 MPa dan untuk *shell* 3,9102 Mpa.

Mali dkk (2017) melakukan perancangan bejana tekan vertikal menggunakan *Software* PV Elite mempermudah *engineer* dalam merancang bejana tekan yang memiliki akurasi tinggi pada analisisnya. Standar yang dipilih adalah standar eropa EN-13445 dari beberapa standar yang ada seperti ASME *code*, PD 5500, IS 2825 dikarenakan faktor tempat dimana bejana tekan dibuat.. Data yang digunakan pada perancangan bejana tekan vertikal adalah sebagai berikut : diameter bejana 1500 mm, tekanan maksimal 5 bar dan minimal -2,5 bar, temperatur max 60°C dan min -29°C, volume 4,1 m³, tekanan tes 8,2 bar, *fluida* bubuk 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.

Mahandari dan Sandi (2012) melakukan perancangan bejana tekan horizontal 3 fase untuk separator pada industri minyak dan gas menggunakan *software* PV Elite dengan mengikuti standar ASME *Code Section VII*. Data yang digunakan pada perancangan adalah sebagai berikut : kapasitas 9,830 m³, tekanan desain 138 bar, temperatur desain 65⁰C, *maximum corrosion allowance* 3 mm, diameter *shell* 1,5 m, diameter *head* 1,52 m, dan panjang bejana tekan 4,5 m. Hasil yang didapatkan melalui analisis *software* adalah : pada *head* dengan tebal 41,5834 mm, MAWP 150,741 bar, dan tegangan aktual yang terjadi akibat tekanan 136,442 N/mm²; pada *shell* dengan ketebalan 83,2115 mm, MAWP 144,714 bar, dan tegangan aktual akibat tekanan 136,638 N/mm²; pada *support saddle longitudinal bending* 10,57 N/mm², *tangential shear* 0,71 N/mm².

Dalam beberapa kasus ditemukan hasil analisis antara analisis pada *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. Perlu dilakukan pengecekan ulang pada desain dan perhitungan teoritisnya sehingga dapat diketahui kesalahannya untuk meminimalisir bahaya akibat kesalahan saat perancangan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Definisi Bejana Tekan

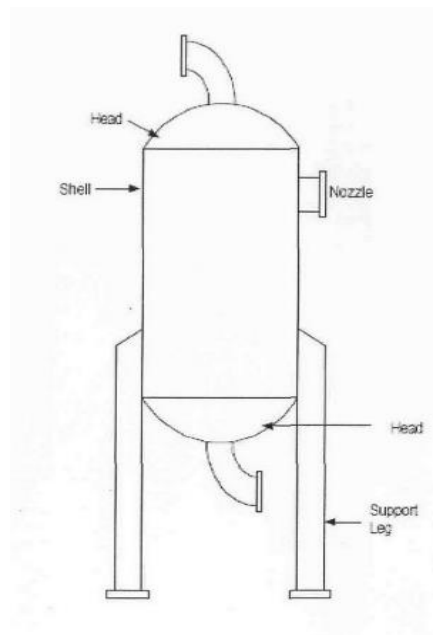
Bejana tekan merupakan suatu wadah untuk menyimpan fluida bertekanan yang dapat mengalami perubahan keadaan (Supriyanto, 2012). Perkembangan bejana tekan tidak hanya berfungsi sebagai media untuk penyimpanan (*storage tank*), namun juga sebagai sarana pengangkut (*transportation tank*) dan media proses suatu fluida gas maupun cair untuk dikonversi menjadi fluida yang dibutuhkan. Bejana tekan untuk proses secara umum memiliki instrumen lebih banyak dibanding tangki penyimpanan maupun tangki pengangkut, misalnya *nozzle inlet* dan *outlet fluida*, *manhole*, indikator tekanan, indikator temperatur, *pressure safety valve*, *pressure transmitter*, indikator level fluida dan *drain*.

2.2.2 Klasifikasi Bejana Tekan

Bejana tekan dapat dikalsifikasikan menurut posisi orientasinya menjadi 2 macam, yakni bejana tekan *horizontal* dan bejana tekan *vertical*.

1. Bejana *vertical*

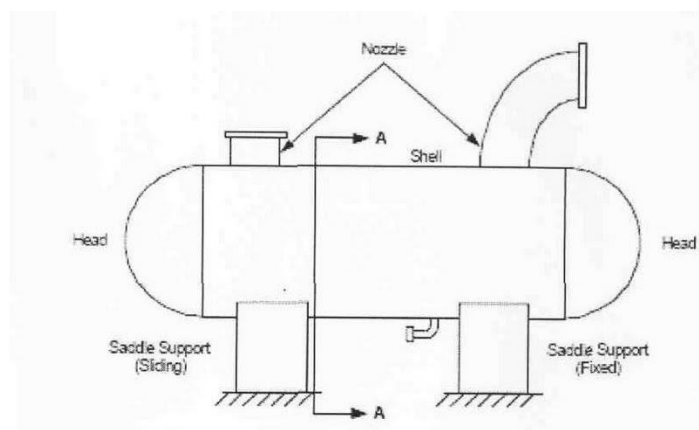
Bejana tekan *vertical* atau disebut juga dengan *tall tower* adalah bejana dengan posisi menjulang keatas sejajar dengan sumbu y. Posisi bejana tekan ini sering digunakan pada instalasi konversi suatu fluida dan berada pada tempat yang terbatas.



Gambar 2.1. Bejana Tekan Vertikal (Megyesy, 1998)

2. Bejana *horizontal*

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



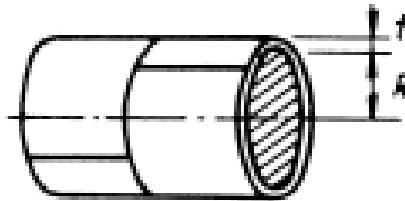
Gambar 2.2 Bejana Tekan Horizontal (Megyesy, 1998)

2.2.3. Bagian-Bagian Bejana Tekan

Bejana tekan memiliki beberapa bagian-bagian penyusun dengan fungsi peranya masing masing. Bagian utama pada bejana tekan tersebut antara lain :

a. *Shell*

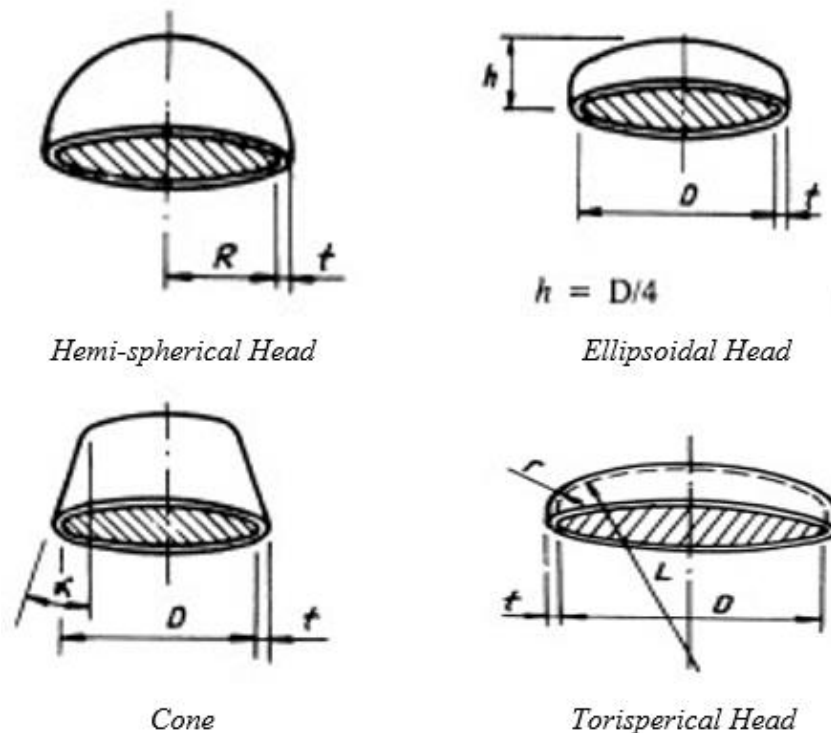
Shell atau dinding bejana merupakan selimut yang berfungsi sebagai penahan fluida kerja dari tekanan internal maupun tekanan eksternal. Pada bejana *vertical* dan *horizontal* shell berbentuk silinder pejal dan pada bejana bola biasanya berbentuk geometri bulat atau *sphere*. Dalam mendesain bejana tekan biasanya ditentukan terlebih dahulu dimensi awal dinding bejana berupa diameter yang ditentukan berdasarkan volume operasi bejana tekan, barulah kemudian tebal *shell* bergantung pada tekanan internal, eksternal dan ditambah beban-beban signifikan lainnya.



Gambar 2.3 *Cylindrical Shell* (Megyesy, 1998)

b. *Head*

Head adalah kepala penutup dari kedua ujung *shell* pada bejana tekan. Karena posisinya sebagai penutup, diameter head biasanya sama dengan ukuran diameter *shell*. Penentuan tebal head bergantung pada beban tekanan internal, eksternal dan tebal *shell*. Menurut Megyesy (1998) *head* dari bejana tekan terbagi menjadi beberapa tipe berdasarkan operasinya dapat dijelaskan melalui gambar 2.4.

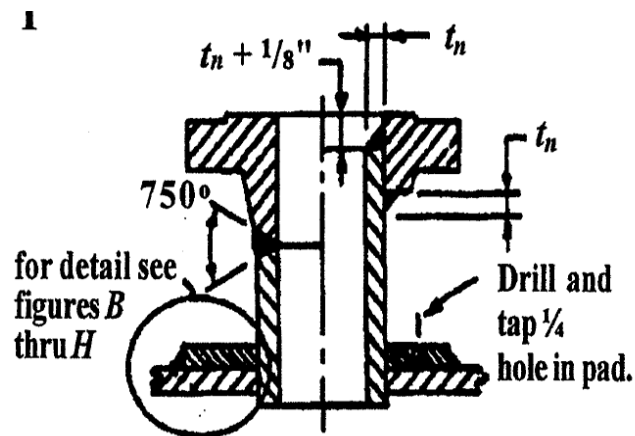


Gambar 2.4 Tipe *Head* (Megyesy, 1998)

c. *Opening*

Opening atau lubang-lubang digunakan untuk menghubungkan antar komponen pada sebuah instalasi bejana tekan. Pemberian *opening* pada bejana tekan harus disesuaikan karena penghilangan bagian bejana tekan mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan. Ukuran serta jarak antar *opening* juga diatur sedemikian rupa agar konsentrasi tegangan tidak melebihi tegangan yang diijinkan. Menurut Supriyanto (2012), beberapa tipe dan tujuan dari *opening* pada bejana tekan adalah sebagai berikut:

- a) *Nozzel in/out* sebagai saluran masuk dan keluar fluida kerja.
- b) *Drain* sebagai lubang untuk menguras bejana tekan saat proses perawatan atau pada saat inspeksi total.
- c) *Manway* sebagai lubang yang diperuntukan sebagai akses keluar masuk orang yang berkepentingan.



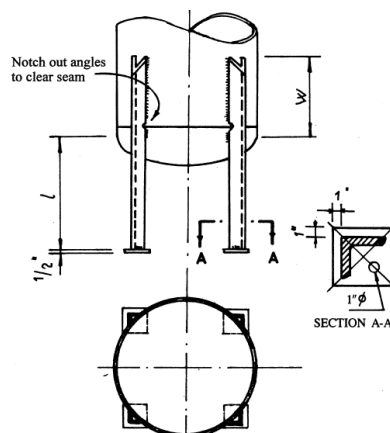
Gambar 2.5 *Opening Nozzle* (Megyesy, 1998)

d. *Support*

Support adalah bagian penunjang pada bejana tekan yang berfungsi menopang seluruh konstruksi bejana tekan. *Support* harus mampu menahan bejana tekan dari beban-beban yang bekerja. Ada beberapa jenis *support* yaitu:

1) *Leg*

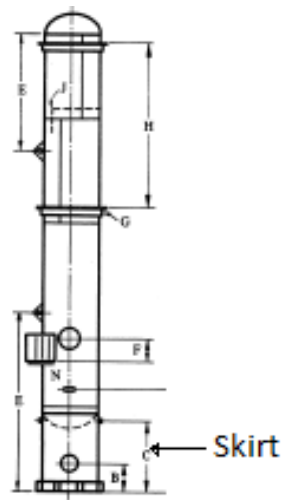
Support jenis ini biasanya digunakan untuk menopang bejana tekan *vertical* berukuran kecil yang dilas dibagian *shell*-nya. Rasio maksimum antara panjang leg dengan diameter *shell* biasanya 2:1. Banyaknya jumlah *leg* yang diperlukan tergantung dengan besarnya ukuran bejana tekan.



Gambar 2.6 *Leg* (Megyesy, 1998)

2) Skirt

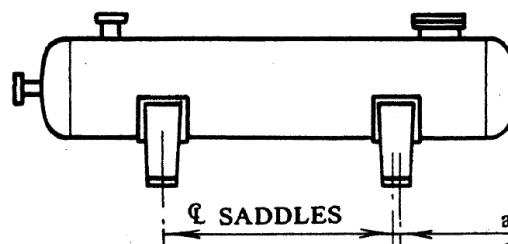
Support jenis ini digunakan untuk menopang bejana tekan *vertical* maupun bejana tekan bola. *Skirt* dilas pada bejana tekan lalu dipatenkan pada tanah dengan pondasi beton. Pada bejana tekan vertikal *skirt* dipasang pada bagian shell atau dapat juga dipasang pada bagian *bottom head*, sedangkan pada bejana tekan bola *skirt* dipasang pada bagian tengah *shell*.



Gambar 2.7 Skirt (Megyesy, 1998)

3) Saddle

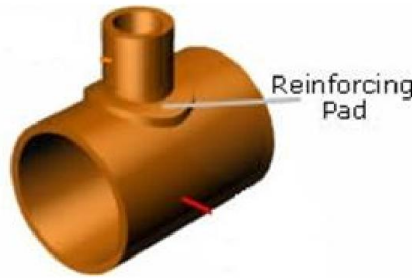
Support jenis ini digunakan untuk menopang bejana tekan horizontal. *Saddle* pada bejana tekan umumnya berjumlah 2 buah, dipasang pada bagian yang letaknya hampir berada pada ujung masing-masing *shell*.



Gambar 2.8 Saddle (Megyesy, 1998)

e. *Reinforcement Pad*

Plat penguat atau *reinforcement pad* adalah plat yang digunakan untuk penguatan *opening* atau *nozzle*. *Reinforcement pad* terletak pada bagian bawah *nozzle* dan menempel pada bagian *shell*. Penggunaan plat penguat didasari karena konsentrasi tegangan yang berlebih akibat dari penghilangan bagian pada *shell*, maka dari itu beberapa *opening* perlu ada pergantian luas yang hilang dengan penebalan pada bagian sekeliling *opening* tersebut. Plat penguat tidak selalu dibutuhkan, melalui perhitungan yang dilakukan dapat diketahui apakah perlu atau tidaknya menggunakan plat penguat.



Gambar 2.9 *Reinforcement Pad*

2.2.4. Beban Yang Bekerja Pada Bejana Tekan

a. Beban Temperatur

Terdapat dua macam istilah temperatur yang digunakan dalam bejana tekan, yaitu:

1) Temperatur Operasi

Temperatur operasi adalah temperatur yang diperlukan untuk proses produksi yang bekerja pada bejana tekan.

2) Temperature Desain

Temperature desain adalah temperature yang diperlukan untuk mendesain bejana tekan. Rumus yang digunakan untuk mendesain bejana tekan adalah pada persamaan 2.1.

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

Keterangan:

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

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

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

b. Beban Tekanan Internal

Terdapat dua macam istilah temperatur yang digunakan dalam bejana tekan, yaitu:

1) Tekanan Operasi (P_d)

Tekanan operasi adalah tekanan yang digunakan untuk proses produksi yang bekerja pada saat pengoperasian bejana tekan.

2) Tekanan Desain (P_o)

Tekanan desain adalah tekanan yang digunakan sebagai dasar mendesain bejana tekan. Dalam perancangan bejana tekan, tekanan fluida atau kandungan lain didalam bejana harus diperhatikan.

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

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

Keterangan:

P_d = Tekanan Desain [psi]

P_o = Tekanan Operasi

A = Margin [maks ($0,1 \cdot P_o$ 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]

Jika bejana tekan dibebani tekanan vakum , maka nilai tekanan desainya adalah 15 psi.







2.2.5 Tegangan Maksimum yang Diijinkan

Tegangan maksimum yang diizinkan (*Maximum allowable stress values*) berbeda-beda untuk setiap material dan tergantung pada nilai desain temperatur. Tegangan maksimum yang diizinkan telah ditetapkan sesuai standar ASME B31.1.

2.2.6 Efisiensi Sambungan

Nilai efisiensi sambungan atau *joint efficiency* bergantung pada bentuk sambungan dan prosentase tes radiografi yang dilakukan pada bejana tekan. Penentuan nilai efisiensi dapat dijelaskan pada tabel 2.1.

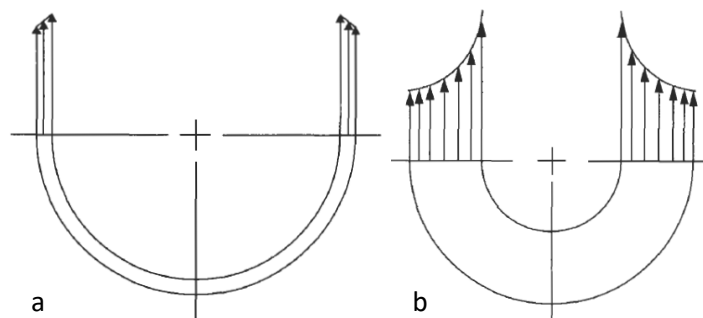
Tabel 2.1. Nilai efisiensi sambungan (Megyesy, 1998)

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 Analisis Tegangan Pada Bejana Tekan

Berdasarkan dimensinya bejana tekan dapat dibagi menjadi 2, yaitu

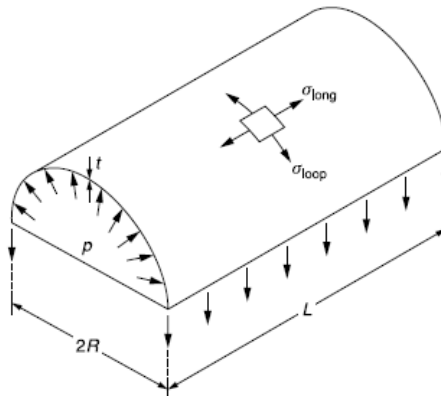
1. Bejana tekan dinding tebal yaitu bejana yang memiliki ketebalan dinding *shell* lebih dari 1/10 diameter *shell*.
2. Bejana tekan dinding tipis yaitu bejana yang memiliki ketebalan dinding *shell* kurang dari 1/10 diameter *shell*.



Gambar 2.10. Distribusi tegangan (a) Bejana tekan dinding tipis, (b) Bejana tekan dinding tebal (Supriyanto, 2012).

Perbedaan bejana tekan dinding tipis dengan dinding tebal berada pada distribusi tegangan yang terjadi pada dinding bejana tekan tersebut, bejana tekan dinding tebal memiliki distribusi tegangan yang harus diperhitungkan sedangkan pada bejana tekan dinding tipis distribusi tegangan dapat diabaikan karena perbedaan diameter luar dengan diameter dalam sangat tipis sehingga distribusi tegangan yang terjadi sangat kecil.

Tegangan yang terdapat pada bejana tekan dinding tipis tidak memiliki distribusi tegangan sehingga tegangan yang terjadi pada dindingnya dapat dianggap seragam. Tegangan yang terjadi pada plat dinding *shell* bejana tekan dinding tipis dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. *Shell* silinder dinding tipis (Satrijo, 2012)

Perancangan bejana tekan untuk *shell* yang sebagian besar didasarkan pada asumsi elastis linear, memungkinkan untuk perilaku inelastik terbatas atas wilayah lokal. Ketebalan plat dinding adalah parameter desain utama dan dikontrol oleh tekanan internal maupun tekanan eksternal yang dapat menghasilkan *buckling*. Dasar ketebalan didasarkan pada analisis tegangan yang disederhanakan dan tegangan yang diijinkan untuk material konstruksi. Berikut merupakan perhitungan dalam penentuan ketebalan plat dinding bejana tekan berdasarkan tekanan internal dan diameter dalam pada bejana tekan akibat menurut tegangan yang ada pada *shell* terdapat pada persamaan 2.4 dan 2.5.

Tebal akibat tegangan *circumferential*

$$t = \frac{P R_i}{SE - 0,6 P} \dots \dots \dots (2.4)$$

Tebal akibat tegangan *longitudinal*

$$t = \frac{P R_i}{SE - 0,6 P} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

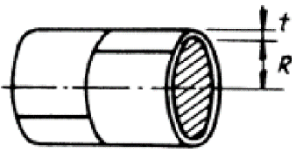
- t = Tebal *shell* [in]
- P = Tekanan desain internal [in]
- R = Jari-jari dalam *shell* [in]
- S = Tegangan ijin material [psi]
- E = Efisiensi sambungan

Karena tegangan *circumferential* lebih besar dibanding dengan tegangan longitudinal, maka pemilihan tebal berdasarkan tebal akibat tegangan *circumferential*.

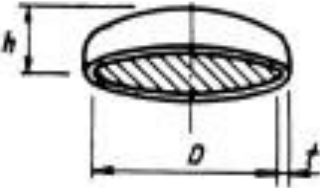
2.2.8 Penentuan Ketebalan *Shell* dan *Head*


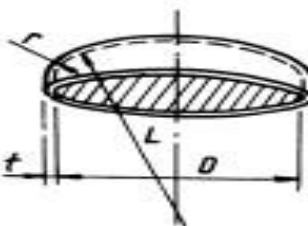
Perhitungan ketebalan *shell* dan *head* dilakukan berdasarkan dimensi dan tekanan internal serta dihitung dalam keadaan terkorosi (*coroded*). Untuk menentukan ketebalan *shell* dan *head* bejana tekan dapat dihitung dengan rumus pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penentuan Ketebalan *shell* berdasarkan Tekanan Internal dan Dimensi Dalam (Megyesy, 1998)

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

Tabel 2.3 Penentuan Ketebalan *head* berdasarkan Tekanan Internal dan Dimensi Dalam (Megyesy, 1998)

No	Bagian	Dimensi Dalam
1	 <p>$h = D/4$</p> <p><i>Ellipsoidal Head</i></p>	$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + CA$

No	Bagian	Dimensi Dalam
2	 <p data-bbox="443 674 783 707"><i>Cone and Conical Section</i></p>	$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (S \cdot E - 0,6 \cdot P)} + CA$
3	 <p data-bbox="483 1043 743 1077"><i>Torispherical Head</i></p>	<p data-bbox="882 730 1334 797">Untuk $\frac{L}{r} = 16\frac{2}{3}$, dimana L = 96 in</p> $t = \frac{0,885 \cdot P \cdot L}{S \cdot E - 0,1 \cdot P} + CA$ <p data-bbox="858 909 1358 1010">Untuk $\frac{L}{r} = 16$, dimana L = 96 in dan r = 6 in</p> $t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + CA$

2.2.9 Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)

Maximum allowable working pressure (MAWP) adalah tekanan kerja maksimal yang diijinkan pada operasi bejana tekan. MAWP bejana tekan ditentukan melalui tekanan internal dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi namun tidak termasuk dengan faktor korosi (CA) pada saat temperatur operasi.

Perhitungan untuk menentukan MAWP dapat dihitung melalui persamaan 2.6 dan 2.7.

a. MAWP Shell

$$MAWP_{shell} = \frac{S \cdot E \cdot t_{corr}}{R_{corr} + 0,6 \cdot t_{corr}} \quad [psi] \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

S = Tegangan maksimum yang diijinkan material [psi]

E = Efisiensi Sambungan

T_{corr} = Tebal *Shell* tanpa Faktor Korosi [in]

R_{corr} = Jari-jari dalam bejana tekan tanpa faktor korosi [in]

b. MAWP *Head*

$$MAWP_{head} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t_{corr}}{D_{corr} + 0,2 \cdot t_{corr}} \quad [psi] \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

S = Tegangan maksimum yang diijinkan material [psi]

E = Efisiensi Sambungan Las

T_{corr} = Tebal *Shell* tanpa faktor korosi [in]D_{corr} = Diameter bejana tekan tanpa faktor korosi [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

Nilai MAWP bejana tekan ditentukan oleh MAWP terkecil diantara ketiga komponen *shell, head* dan *flange*.

2.2.10 Tekanan Tes Hidrostatik

Tekanan tes hidrostatik adalah tekanan yang digunakan untuk mengetes kekuatan bejana tekan setelah selesai dibuat. Tes dilakukan dengan menggunakan fluida pengisi bejana tekan. Perhitungan besarnya nilai tekanan tes hidrostatik dilakukan menurut UG99b seperti pada rumus 2.8.

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

Keterangan:

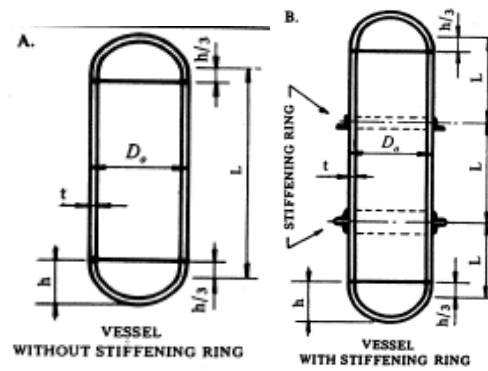
P_{hs} = Tekanan Tes Hidrostatik [psi]P_d = Tekanan Desain [psi]S dengan T_{test} = Tegangan maksimum yang diijinkan Material dengan Temperature Test [psi]S dengan T_{desain} = Tegangan maksimum yang diijinkan Material Dengan Temperature Desain [psi]

2.2.11 Beban Tekanan Eksternal

Beban tekanan eksternal adalah beban akibat tekanan yang bekerja didalam bejana tekan kurang dari tekanan atmosfer.

a Shell

Penentuan ketebalan dinding *shell* akibat beban tekanan eksternal adalah dengan melakukan plot data untuk memperlihatkan tegangan kritis terendah (A) berdasarkan rasio L/D_o dan D_o/t dari silinder seperti pada ASME melalui gambar 2.10.



Gambar 2.12. (a) Bejana Tekan Tanpa *Stiffening Ring*, (b) Bejana Tekan Dengan *Stiffening Ring* (Megyesy, 1998)

Gambar 2.12 menunjukkan ukuran-ukuran yang digunakan dalam perhitungan beban tekanan eksternal. Jika $D_o/t = 10$ atau $D_o/t > 10$, maka besarnya tekanan ijin maksimum (P_a) dapat dihitung melalui rumus 2.9.

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

Keterangan :

P_a = Tegangan ijin maksimum [psi]

B = Faktor B

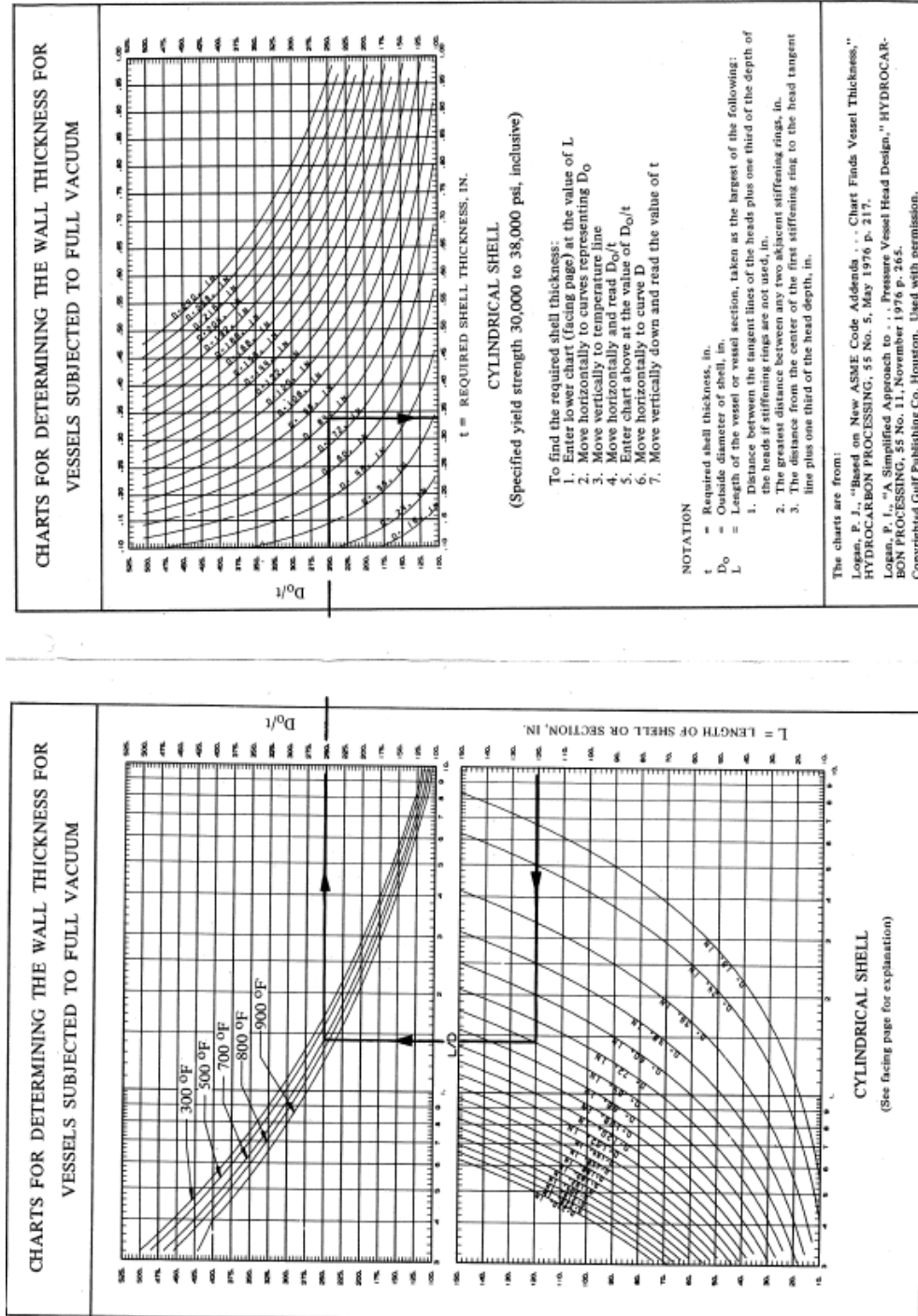
D_o = Diameter luar *shell* [in]

t = Tebal *shell* [in]

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

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

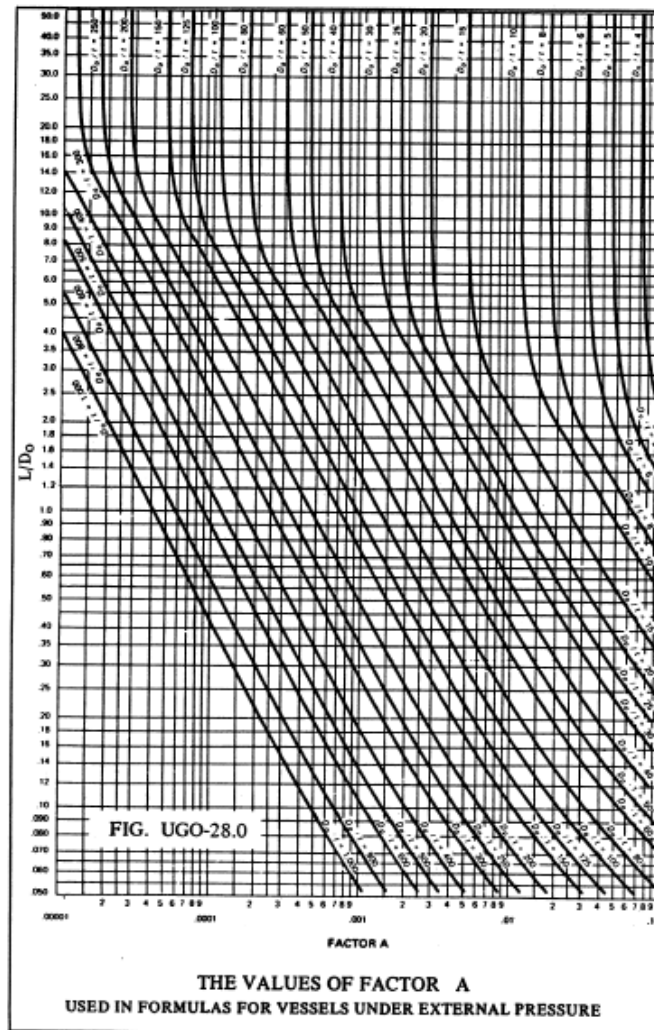
Asumsi ketebalan dinding dengan melihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Grafik Untuk Menentukan Ketebalan Dinding Shell (Megyesy, 1998)

- 2) Menentukan nilai Faktor A dengan nilai L/D_o dan D_o/t

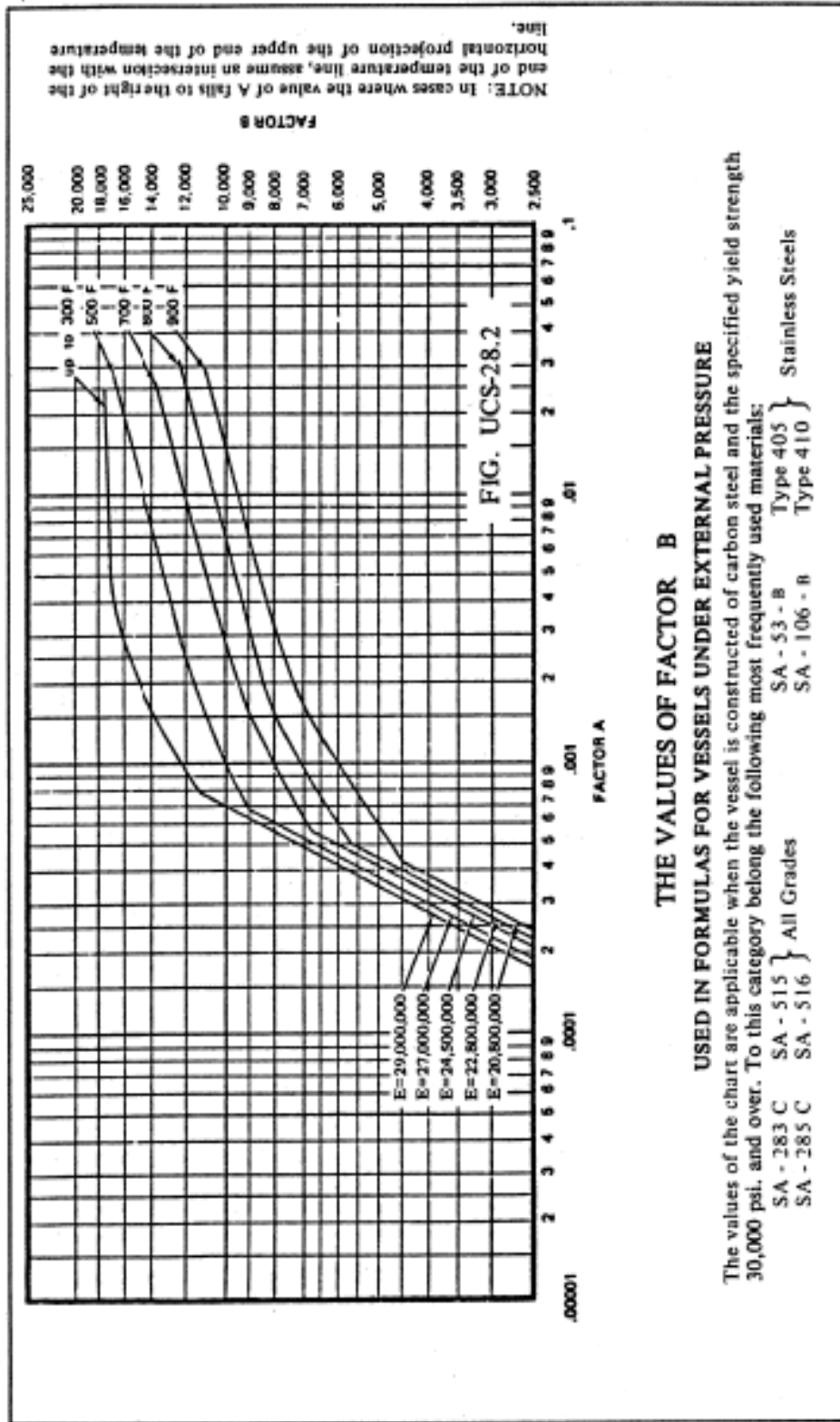
Besarnya nilai faktor A ditentukan dengan melihat pada gambar 2.12. Faktor A dapat dicari dengan bantuan data L/D_o dan diameter luar (D_o) bejana tekan.



Gambar 2.14. 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 2.15.



Gambar 2.15. Nilai Faktor B untuk Bejana Tekan dengan Material Carbon Steel (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 ijin maksimum (psi)
- t = Ketebalan dinding minimum yang diperlukan (in)

Dengan demikian, maka besarnya nilai tekanan ijin maksimum dapat diketahui. Apabila tekanan ijin maksimum lebih kecil dibandingkan tekanan desain, perhitungan harus diulang dengan cara menambah ketebalan dinding (t) atau mengurangi panjang (L) dengan menambahkan ring penguat (*stiffening ring*).

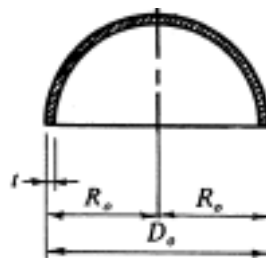
b *Sphere* atau *Hemi-spherical Head*

Tekanan ijin 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 ijin maksimum (psi)
- R_o = *radius sphere/hemi-sphereical haed* (in)
- t = Ketebalan dinding minimum (in)

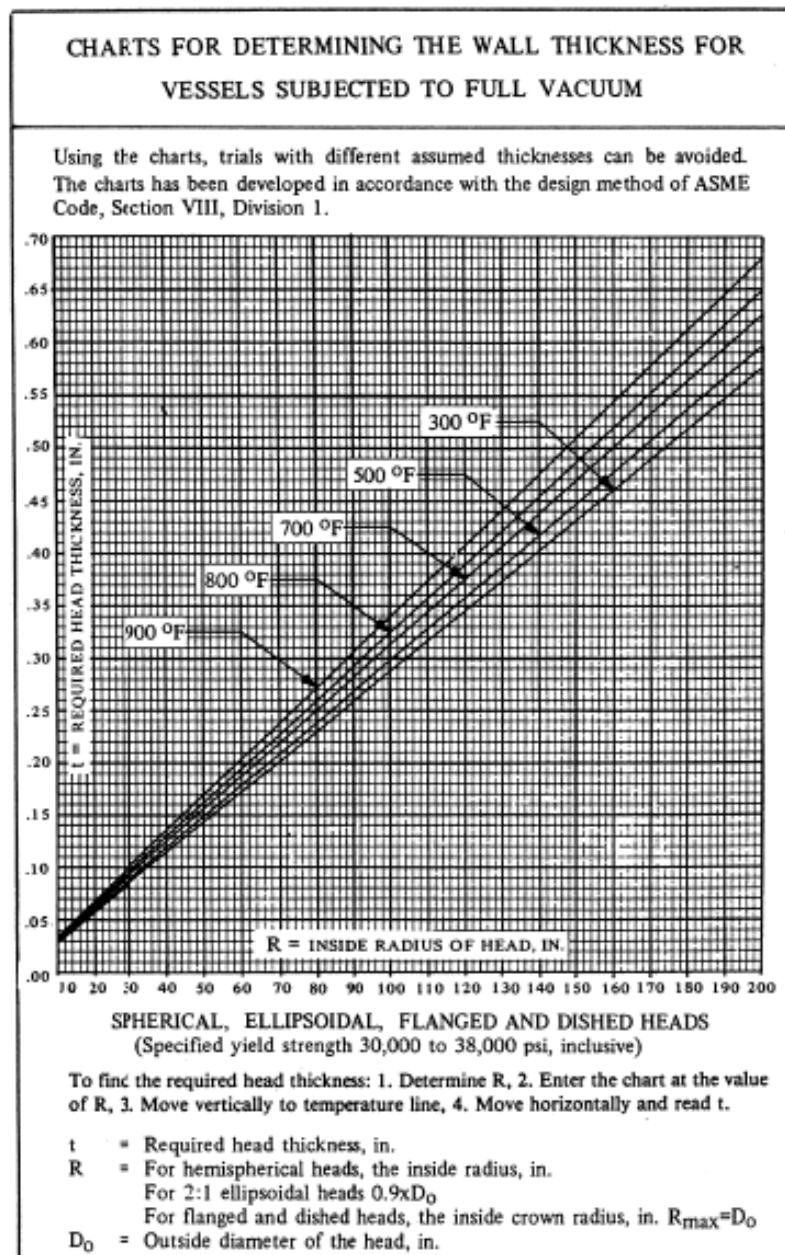


Gambar 2.16. Analisis *Spherical Head* (Megyesy, 1998)

Gambar 2.14 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 2.17.



Gambar 2.17. 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 ijin maksimum ditentukan melalui persamaan 2.13.

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

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

c *Elipsoidal Head*

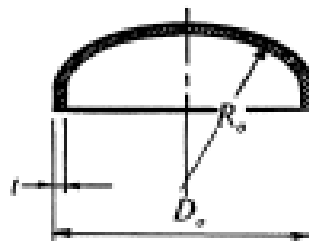
Dalam perancangan *elipsoidal head*, ketebalan dinding yang dibutuhkan harus memenuhi persyaratan:

- 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:

$$R_o = 0,9 D_o$$

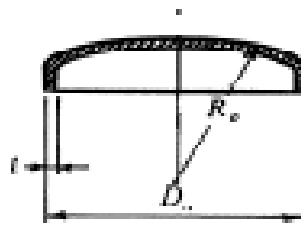


Gambar 2.18. Analisis *Elipsoidal Head* (Megyesy, 1998)

Perhitungan untuk *elipsoidal head* dilakukan dengan ukuran-ukuran seperti pada gambar 2.16 diatas. Nilai faktor B ditentukan melalui perumusan seperti pada *sphere* atau *hemi-spherical head*.

d *Torispherical Head*

Ketebalan dinding yang dibutuhkan dan tekanan ijin maksimum untuk *torispherical head* dihitung dengan cara seperti perhitungan *elipsoidal head* dengan ukuran-ukuran seperti yang ditunjukkan melalui gambar 2.19.



Gambar 2.19. Analisis *Torispherical Head* (Megyesy, 1998)

2.2.12 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang diberikan pada bejana tekan akibat tekanan aliran turbulen yang terjadi pada alam, biasanya arah angin yang bekerja berupa horizontal. Perancangan bejana tekan vertikal terhadap beban angin dapat mengacu pada 3 standar yaitu:

a. Standar ASA A58.1 – 1995

Hubungan antara kecepatan angin dengan tekanan angin yang dihasilkan pada bejana tekan untuk penampang lingkaran adalah seperti pada rumus 2.15.

$$P_w = 0,0025 \cdot V_w^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

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 2.16.

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

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 disekitar 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 disekitar 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 adalah seperti pada rumus 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]

Tabel 2.5 *Velocity Pressure* (Megyesy, 1998)

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

G = Faktor Akibat Tekanan Angin

Tabel 2.6 *Coefficient G* (Megyesy, 1998)

HEIGHT Above Ground, ft.	EXPOSURE B	EXPOSURE C	EXPOSURE D
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:

- Di urban / sub-urban area, menggunakan Exp B (0,8)
- Di open *terrain 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]

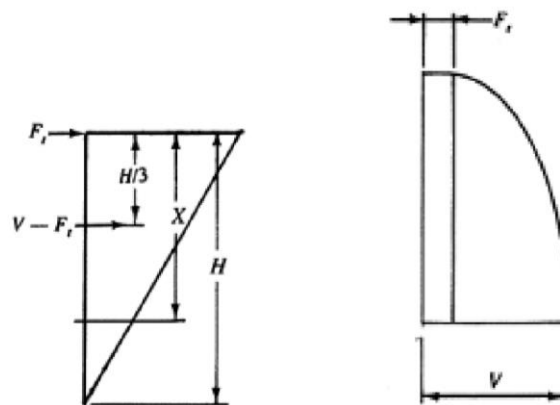
= $D \cdot H$

Keterangan:

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

2.2.13 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban akibat getaran pada tanah yang mengakibatkan reaksi pada dukungan bejana tekan. Faktor utama yang mengakibatkan kerusakan adalah intensitas dan durasi dari gempa. Kondisi pembebanan pada bejana tekan karena beban gempa dapat 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 2.20 (a) Diagram Distribusi Gaya. (b) Diagram Gaya Geser
(Megyesy, 1998)

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

1) *Base Shear* (V)

Base share merupakan jumlah total *horizontal seismic shear* pada dasar bejana tekan. Perhitungan besarnya nilai *base share* didapat dari persamaan 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)

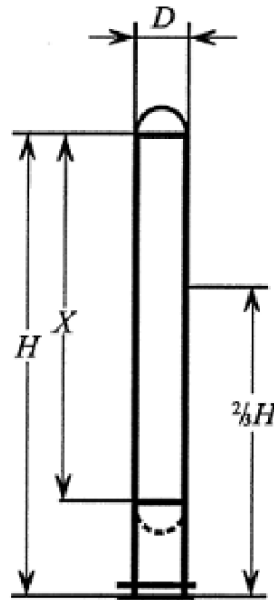
$$= \frac{1,25 \times S}{T^3}$$

R_w = Koefisien Numerik (2,9 untuk bejana tekan)

W = Berat Bejana Keseluruhan [lbf]

2) Momen guling (*Overtuning Moment*)

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



Gambar 2.21 Skema Bejana Tekan Vertikal (Megyesy, 1998)

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

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

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

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

Keterangan:

M =Momen Maksimum Pada Dasar Bejana Tekan [ft.lbf]

F_t =Total *Horizontal Seismic Force* pada Ujung Atas Bejan [lbf]

H =Tinggi Bejana Tekan Termsuk *Skirt* [ft]

V = Total *Seismic Shear at Base* [lbf]

M_x = Momen Pada Jarak X [ft.lbf]

2.2.14 Desain *Skirt Support*

Pemilihan tipe penyangga pada bejana tekan bergantung kepada beberapa aspek, antara lain ukuran bejana, ketebalan dinding, area plant yang tersedia, elevasi dari bejana dibanding dengan elevasi tanah, dan konstruksi materialnya. Bejana tekan tipe vertikal biasanya disangga dengan jenis *support* berupa *skirt*. *Skirt* umumnya dilas pada bagian *bottom head* dari bejana tekan dan jenis pengelasan yang digunakan menentukan seberapa besar tebal dinding *skirt* yang diperlukan.

Dalam melakukan perhitungan tebal lasan diperlukan nilai efisiensi sambungan pengelasan. Ketebalan *skirt* ditentukan dengan rumus 2.23.

$$t = \frac{12 \cdot M_T}{R^2 \cdot \pi \cdot S \cdot E} + \frac{W}{D \cdot \pi \cdot S \cdot E} \dots\dots\dots(2.23)$$

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*

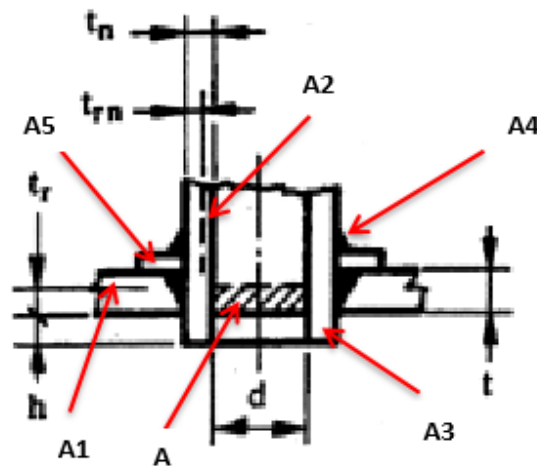
= 0,45 untuk jenis sambungan *Lap Weld*

W = Berat Tower di Atas Sambungan *Skirt* ke *Head* (pada kondisi operasi) [lb]

2.2.15 Desain Penguat *Nozzle*

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

- Tidak perlu mengganti sejumlah logam aktual yang terbuang (akibat lubang *nozzle*), tetapi hanya sebesar yang diperlukan untuk menahan tekanan internal. Tebal vessel pada *opening* biasanya lebih kecil dari pada dilokasi lain dari *shell* atau *head*.
- Plat aktual yang digunakan dan leher *nozzle* biasanya lebih tebal daripada yang diperlukan sesuai perhitungan. Kelebihan tebal dinding *vessel* (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.
- Penguatan harus dalam batas nilai tertentu.
- Luas penguatan harus naik proporsional jika nilai kekuatan lebih rendah dari pada kekuatan dari dinding *vessel*.
- Luas yang diperlukan untuk penguatan harus dijamin pada semua bidang melalui pusat *opening* dan tegak lurus permukaan *vessel*.



Gambar 2.22 *Nozzle* dengan Plat Penguat (Megyasy, 1998)

Keterangan:

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

A_1 = luas kelebihan pada dinding bejana tekan. Besarnya luasan ini dipilih yang paling besar diantara dua persamaan 2.23 dan 2.24.

$$A_1 = (t - t_r) \cdot d \quad [in^2] \dots\dots\dots(2.23)$$

Atau

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

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 diantara dua persamaan 2.25 dan 2.26.

$$A_2 = 5 \cdot t \cdot (t_n - t_m) \quad [in^2] \dots\dots\dots(2.25)$$

Atau

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

Keterangan:

t_m = Tebal dinding *nozzle* tanpa sambungan yang diperlukan.

A_3 = Luas perpanjangan ke dalam bejana tekan dari *opening*. Besar luasan ini ditentukan dengan persamaan 2.27.

$$A_3 = 2 \cdot h \cdot (t_n - c) \quad [in^2] \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan:

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

c = *Corrosion Allowance* (CA)

A_4 = Luas logam pengelasan [in^2]

A_5 = Luas plat pengaut

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 nilai *nozzle* tersebut secara matematis dapat dirumuskan sebagai :

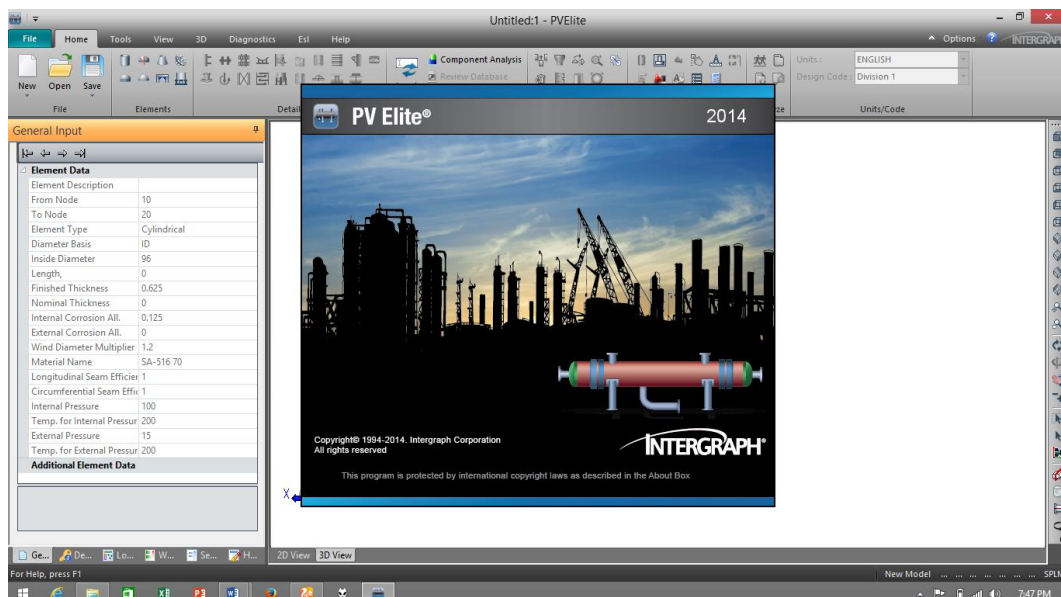
$$A < (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) \quad \text{tidak diperlukan plat penguat}$$

$$A > (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) \quad \text{diperlukan plat penguat}$$

(minimal sebesar A_5)

2.2.16 Software PV Elite 2014

Software PV Elite 2014 adalah salah satu program yang berguna untuk menganalisis dan mendesain suatu bejana tekan. Perangkat lunak ini sudah disesuaikan dengan standar yang ada untuk *boiler and pressure vessel* yaitu ASME *section VIII division 1 dan 2* (Kumar, 2014). Tujuan dibuatnya software ini adalah untuk mempermudah dalam merancang dan menganalisis suatu bejana tekan dengan kalkulasi yang terperinci dan komentar yang mendukung sehingga mempermudah dalam mendesain bejana tekan. Desain bejana tekan menggunakan PV Elite secara umum lebih praktis karena memakan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan melakukan desain secara manual (Gupta, 2014)



Gambar 2.23 Tampilan awal PV Elite 2014

a. Alur Kerja PV Elite

Dalam pengoperasian *software* PV Elite terdapat tiga langkah kerja yang harus dilakukan, yaitu:

1) *Input*

Input adalah tahap untuk memasukan data-data yang dibutuhkan dalam perancangan bejana tekan.

2) *Analisis*

Tahap *analisis* adalah dimana data yang telah diinputkan diterjemahkan oleh *software* dengan perancangan dan analisis algoritma, menerapkan aturan kode atau standar yang sesuai, dan menampilkan hasilnya.

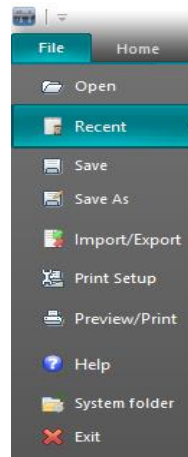
3) *Output*

Output adalah tahap sajian data berupa laporan akhir yang komperhensif dari hasil analisis.

b. Anatarmuka PV Elite 2014

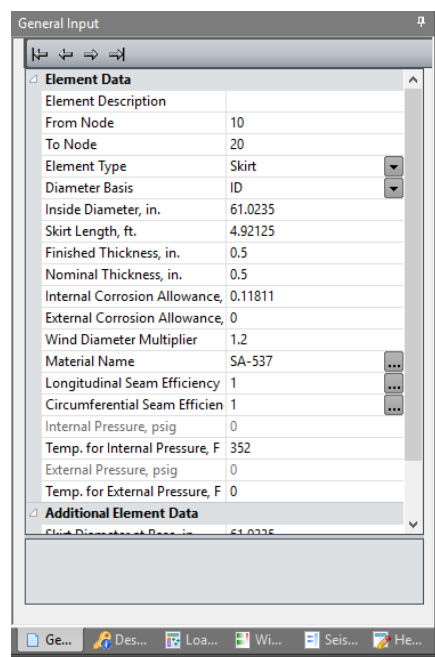
1) *Menu file*

Pada menu ini berisi tentang *toolbar-toolbar* utama yang digunakan untuk langkah awal dalam mendesain pada PV Elite 2014 diantaranya *open*, *close*, *save*, *print* dan lain-lain. Penyimpanan file desain dianjurkan untuk dibuat folder terlebih dahulu dengan tujuan semua file yang dihasilkan meliputi PVD8 file, PVU file, dan T80 file berada dalam satu folder.

Gambar 2.24 Menu *File*

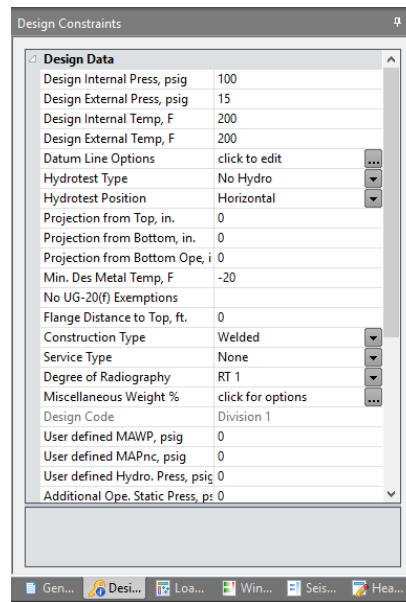
2) *General Input*

General input digunakan untuk mengisi elemen bejana tekan yang dirancang. Elemen yang didesain meliputi *head*, *shell*, dan *support*.

Gambar 2.25 *General Input*

3) *Design Constrains*

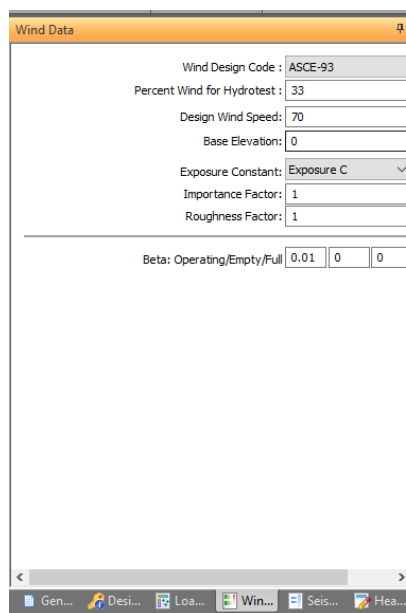
Pada menu *desain constrain* digunakan untuk memasukan data perancangan bejana tekan seperti tekanan, temperatur, dan ketebalan dinding bejana tekan, dan lain-lain.



Gambar 2.26 *Design Constrains*

4) *Wind Data*

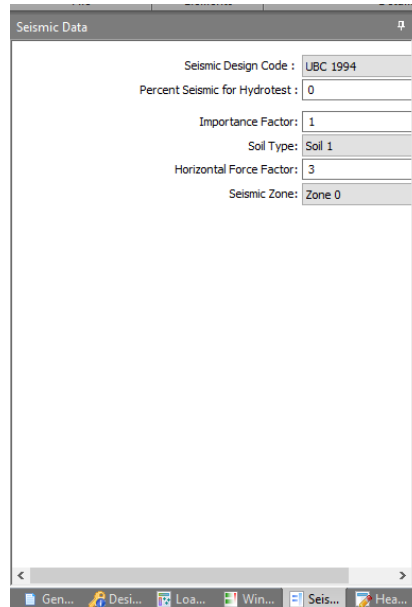
Menu *wind data* digunakan untuk memasukan data beban angin.



Gambar 2.27 *Wind Data*

5) *Seismic Data*

Menu *Seismic data* digunakan untuk memasukkan data beban gempa.



Gambar 2.28 *Seismic Data*

6) *Elements*

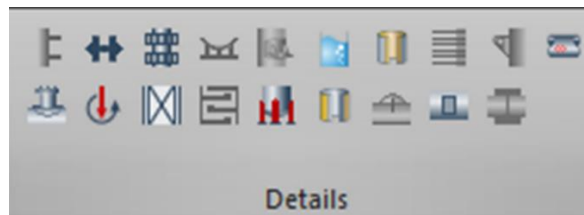
Pada menu *elements* berisi komponen-komponen utama yang dipilih dalam merancang bejana tekan. Komponen tersebut meliputi *cylinder*, *ellipse*, *bolted flange*, *skirt*, dan lain-lain.



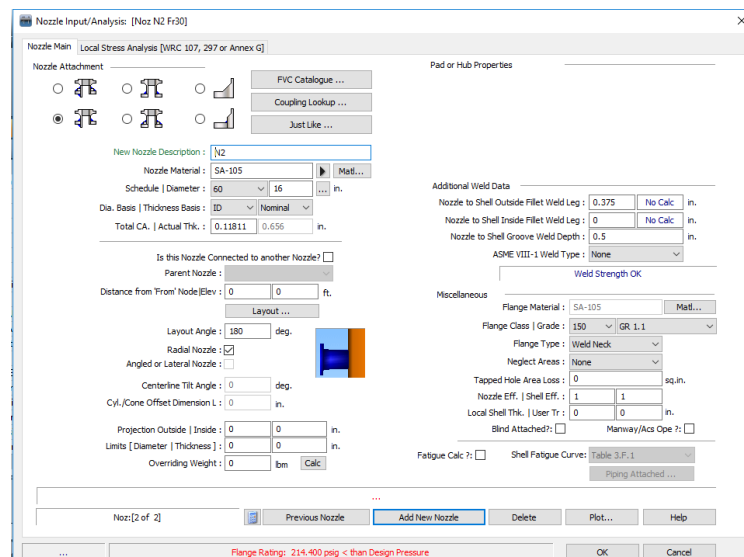
Gambar 2.29 Menu *Elements*

7) *Details*

Pada menu *details* meliputi penambahan detail model bejana tekan seperti *saddle input*, *nozzle input*, *liquid input*, *stiffening ring*, *leg input*, dan lain-lain.

Gambar 2.30 Menu *Details*

Nozzle merupakan detail yang pasti digunakan kedalam model perancangan. Pertimbangan konfigurasi *nozzle* tanpa plat penguat dan dengan plat penguat, *nozzle* menonjol tanpa plat penguat dan dengan plat penguat, dan ada pula *nozzle special forged* yang tersedia untuk analisis.

Gambar 2.31 *Toolbar* Perancangan *Nozzle*

8) Output

Untuk mengetahui rincian hasil perhitungan *software* PV Elite yaitu dengan mengklik *button analyze* atau menekan tombol F12 pada *keyboard*. Tampilan hasil perhitungan PV Elite telah dikelompokkan pada bagian *Report List* sehingga mudah untuk mencari jenis perhitungan yang dibutuhkan.