

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian perancangan menggunakan bantuan *software* telah banyak dilakukan oleh penguji untuk mempermudah dan mengurangi waktu analisa dalam proses perancangan. Adithya dan Patnaik (2013) dalam jurnal nya yang berjudul *finite element analysis of horizontal reactor pressure vessel supported on saddles* menganalisa distribusi tegangan yang terjadi pada *vessel* dan *saddle* menggunakan teori zick's dan metode FEA dengan bantuan *software ANSYS*. Pada penelitiannya ditemukan bahwa jarak variasi cincin pengaku yang berdekatan memiliki hasil yang paling efektif. Pada konfigurasi ini optimasi ketebalan dilakukan, sehingga berat bejana jauh berkurang dengan menjaga volume bejana tetap *constant*. Pengurangan berat sebesar 22% terjadi pada komponen *shell* saja, ini juga menunjukkan bahwa penambahan cincin pengaku membantu mengurangi ketebalan *shell*, sehingga membantu menghemat material dan biaya pada bejana.

Aziz, dkk (2014) melakukan penelitian tentang perancangan bejana tekan untuk sparasi 3 fasa dengan bantuan *software PVelite*. Pada penelitian tersebut, perancangan menggunakan material SA-516 Grade 70 untuk *shell* dan *head*, tekanan desain 3,1 MPa, panjang silinder 5900 mm, diameter dalam silinder 2140 mm, dan corrosion allowance sebesar 6 mm. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan nilai ketebalan *shell* 30,45 mm dan *head* 30,18 mm dari perhitungan menggunakan *software PVelite*, sedangkan hasil dari perhitungan manual didapatkan nilai ketebalan *shell* 29,84 mm dan *head* 17,92 mm. Tekanan maksimal berdasarkan *software PVelite* pada *shell* 5,0418 MPa dan *head* 5,1356 MPa, sedangkan hasil dari perhitungan manual pada *shell* 3,9102 MPa dan *head* 1,0144 MPa.

Kumar, dkk (2014) dalam jurnalnya yang berjudul *Design of Saddle Support for Horizontal Pressure Vessel*, menganalisa berbagai tegangan yang terjadi pada *vessel* dan *saddle* di beberapa bagian akibat pembebanan. Tegangan dievaluasi secara manual menggunakan perhitungan matematika dan menggunakan *software ANSYS* kemudian dibandingkan. Kesimpulan yang

didapatkan dari pengujian tersebut yaitu tegangan yang dihitung oleh *software ANSYS* lebih kecil dari perhitungan secara manual menggunakan perhitungan matematika dan lebih kecil dari tegangan maksimal yang diijinkan sehingga desain dinyatakan aman. Tegangan yang terjadi pada vessel dan saddle di beberapa bagian ditunjukkan pada gambar 2.1.

Tabel 2.1. Comparasion of Stresses

COMPARISON OF STRESSES					
Sr. No.	Stress Location and Type	Scl	Manual Result (kgf/cm ²)	ANSYS Result (kgf/cm ²)	Allowable Stress (kgf/cm ²)
1	σ_1	Scl 10	121.61	110.63	1407.17
2	σ_2	Scl 6	124.32	107.47	1407.17
3	σ_3	Scl 1	124.32	113.59	1407.17
4	σ_4	Scl 9	121.61	109.21	1407.17

Kumar dan Kumar (2014) melakukan pengujian perancangan desain mekanis bejana tekan dengan menggunakan *software PVelite*. Pengujian ini hanya meneliti sebagian dari desain parameter, ada parameter lain yang tidak dipertimbangkan seperti beban thermal, beban angin, beban gempa, beban transportasi, dan metode fabrikasi. Namun kekurangan dapat diatasi dengan penguasaan *software*. Kesimpulan yang didapat dalam pengujian tersebut yaitu dalam mendesain mekanis bejana tekan menggunakan bantuan *software* berbasis grafis sangat mudah dilakukan pada proses menggambar dan *input* data dapat dilakukan pada layar yang sama. Penelitian dapat di eksplorasi dengan memperhitungkan parameter lainnya. Materi seleksi mengacu pada ASME, standar juga dapat dikembangkan.

Zore dan Qaimi (2015) pernah meneliti tentang desain dan pengoptimisasi saddle pada bejana tekan *horizontal*. Pengoptimisasi dilakukan dengan memvariasikan jumlah rib (3, 4, dan 5) dan ketebalan pada rib (10 mm, 12 mm, 14 mm, 15 mm, dan 16 mm). Dari penelitian tersebut didapatkan hasil penurunan nilai stress pada setiap variasi jumlah rib seiring dengan meningkatnya ketebalan rib, akan tetapi pada variasi 3 rib dengan ketebalan diatas 15 mm stress mengalami peningkatan.

Khambali (2017) melakukan penelitian tentang perancangan bejana tekan *vertical air receiver* kapasitas 50 m³, tekanan desain *internal* 0,99 MPa, dan temperatur desain 70,8°C, dengan bantuan *Software PVElite*. Dalam perancangan tersebut menggunakan perhitungan yang sesuai dengan standar *ASME section VIII division I*. Hasil dari penelitian tersebut, berdasarkan *internal pressure* didapatkan nilai ketebalan *shell* sebesar 0,4934 in dan *head* sebesar 0,4921 in, mampu menerima tekanan maksimum dan dinyatakan aman dengan tes tekanan hidrostatik sebesar 203,256 psi.

Krisdiyanto (2018) melakukan pengujian menggunakan *software inventor* tentang pengaruh variasi tebal *web plate* terhadap distribusi beban. Pengujian ini dilakukan dengan menganalisa distribusi tegangan dan *displacement* yang terjadi pada struktur *geometry* sesuai dengan jumlah variasi. Hasil dari pengujian tersebut yaitu perbedaan tegangan maksimum bertambah relatif besar ketika *saddle* diberi *web plate*, Semakin tebal *web plate* maka tegangan maksimum bertambah dengan interval relatif kecil. Sedangkan Perbedaan *displacement* maksimum bertambah relatif kecil ketika *saddle* diberi *web plate*. Semakin tebal *web plate* maka *displacement* maksimum bertambah dengan interval relatif kecil.

Tabel 2.2. Rangkuman Penelitian Sebelumnya

Penulis	Judul	Tujuan	Hasil
Adithya dan Patnaik (2013)	<i>Finite Element Analysis of Horizontal Reactor Pressure Vessel Supported on Saddles</i>	Mengetahui nilai distribusi tegangan pada bejana tekan ketika diberi cincin pengaku (<i>Stiffener</i>)	Dengan ditambahkan cincin pengaku, tebal pada bejana dapat di optimasi, sehingga berat pada bejana dapat berkurang sebesar 22%. Penggunaan cincin pengaku juga mengurangi biaya pada bejana tekan.
Aziz, dkk (2014)	Perancangan Bejana Tekan (<i>Pressure Vessel</i>) Untuk Separasi 3 Fasa	Melakukan proses perancangan bejana tekan dengan bantuan <i>software PVelite</i> .	Dengan adanya aplikasi PV Elite memudahkan untuk mendesain suatu bejana tekan untuk mengetahui ketebalan, beban dan tekanan yang diperbolehkan pada bejana tekan.
Kumar, dkk (2014)	<i>Design of Saddle Support for Horizontal Pressure Vessel</i>	Mengetahui nilai distribusi tegangan yang terjadi pada bejana tekan horizontal	Tegangan yang dihitung oleh <i>software ANSYS</i> lebih kecil dari perhitungan secara manual menggunakan perhitungan matematika dan lebih kecil dari tegangan maksimal yang diijinkan sehingga desain dinyatakan aman.

Penulis	Judul	Tujuan	Hasil
Kumar dan Kumar (2014)	<i>Mechanical design of pressure vessel by using PVelite software</i>	Mengetahui mekanisme perancang desain bejana tekan dengan bantuan software	Proses perancangan pada software PVelite sangat mudah dilakukan. Hasil dari software PVelite sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan.
Zore dan Qaimi (2015)	<i>Design and Optimization of Saddle For Horizontal Pressure Vessel</i>	Mengetahui pengaruh ketebalan rib terhadap distribusi beban pada bejana tekan.	Penurunan nilai stress pada setiap variasi jumlah rib seiring dengan meningkatnya ketebalan rib, akan tetapi pada variasi 3 rib dengan ketebalan diatas 15 mm stress mengalami peningkatan.
Khambali (2017)	Perancangan Bejana Tekan Vertikal <i>Air Receiver</i> Kapasitas 50 m ³ , Tekanan Desain Internal 0,99 MPa, dan Temperatur Desain 70,8°C, dengan Bantuan <i>Software PV Elite 2016</i>	Merancang bejana tekan vertikal air receiver dengan bantuan <i>software PVelite 2016</i> .	Berdasarkan hasil <i>software PV Elite 2016</i> maka perancangan bejana tekan <i>air receiver</i> kapasitas 50 m ³ , tekanan desain internal 0,99 MPa, dan temperatur desain 70,8oC telah aman digunakan.

Penulis	Judul	Tujuan	Hasil
Krisdiyanto (2018)	<i>The Effect of Saddle Web Plate Thickness to Maximum Stress of Horizontal Pressure Vessel</i>	Mengetahui pengaruh tebal web plate terhadap distribusi tegangan pada bejana tekan.	Tegangan <i>geometry</i> paling rendah pada struktur bejana tekan dengan <i>saddle</i> tanpa <i>web plate</i> . Tegangan maksimum paling besar sebesar 53,71 Mpa. Perbedaan tegangan maksimum bertambah relatif besar ketika <i>saddle</i> diberi <i>web plate</i> . Semakin tebal <i>web plate</i> maka tegangan maksimum bertambah dengan interval relatif kecil. Tegangan maksimum paling besar pada penelitian ini sebesar 53,79 Mpa ketika variasi <i>saddle</i> dengan tebal <i>web plate</i> 112,5 mm dan 120,0 mm

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Definisi Bejana Tekan

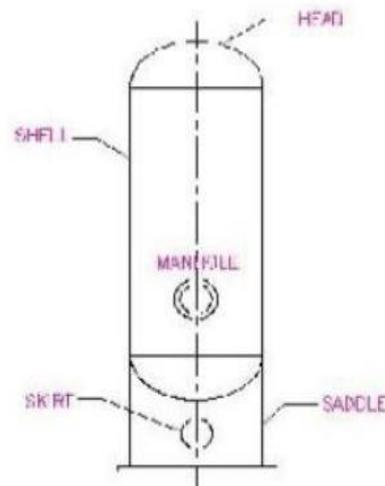
Menurut Aziz, dkk (2014) bejana tekan (*pressure vessel*) merupakan tangki yang digunakan untuk penyimpanan fluida. Biasanya fluida yang disimpan dalam bejana tekan adalah fluida yang memiliki karakteristik maupun perlakuan khusus, misalnya fluida bertekanan, fluida dalam temperatur rendah maupun temperatur tinggi dan lain-lain.

2.2.2. Klasifikasi Bejana Tekan

Klasifikasi bejana tekan di bagi menurut posisi atau tata letak bejana tekan yang terdiri dari dua macam posisi yaitu : posisi *vertical* dan posisi *horizontal* (Aziz dkk, 2014).

1. Posisi tegak (*vertical*)

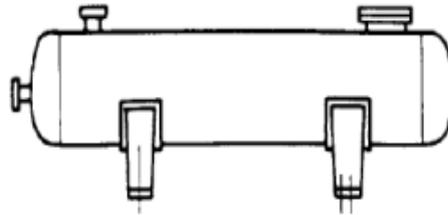
Posisi *vertical* yaitu posisi tegak lurus terhadap sumbu netral axis, dimana posisi ini banyak digunakan didalam instalasi anjungan minyak lepas pantai (*offshore*), yang mempunyai tempat terbatas (Aziz dkk,2014).



Gambar 2.1. Bejana Tekan Vertikal

2. Posisi datar (*horizontal*)

Bejana tekan posisi *horizontal* banyak ditemukan dan digunakan pada lading sumur minyak didaratan karena mempunyai kapasitas produksi yang lebih besar.(Aziz dkk,2014)



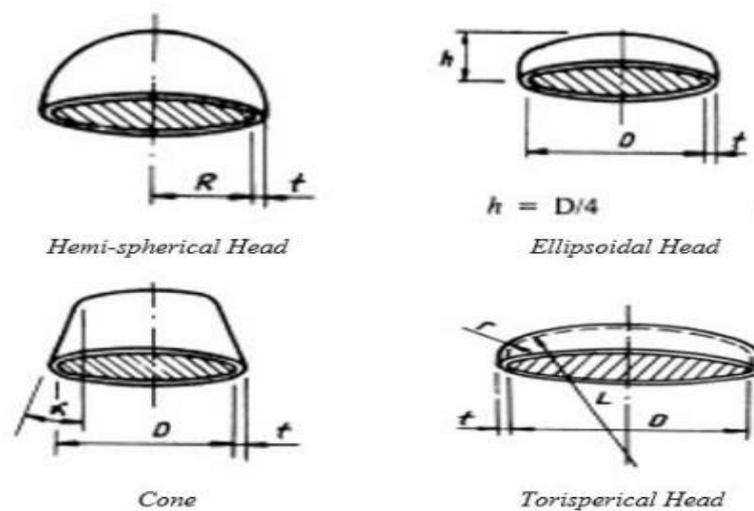
Gambar 2.2. Bejana Tekan Horizontal

2.2.3. Bagian-bagian Bejana Tekan

Bejana tekan dalam melakukan pemrosesan suatu *fluida* supaya beroperasi sesuai fungsinya, bejana tekan harus memiliki beberapa komponen yang menyusunnya. Dibawah ini adalah komponen penyusun dari suatu bejana tekan, yaitu :

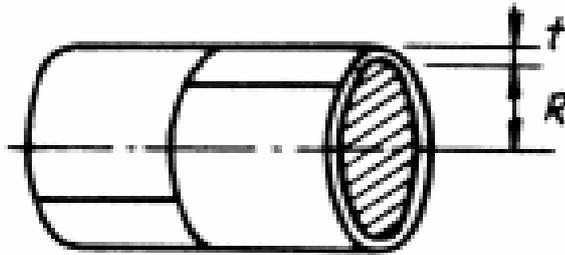
1. *Head*

Head (kepala) merupakan bagian yang berfungsi sebagai penutup dari pada bejana tekan. Wisnu G (2018) mengatakan bahwa *Head* biasanya dibuat dengan cara *forming* pada material *head*, sehingga bentuk yang dibuat dapat sesuai dengan bentuk dan ukuran *shell*. *Head* dibagi menjadi beberapa jenis seperti pada gambar 2.3.

Gambar 2.3. Jenis-jenis *Head*

2. *Shell*

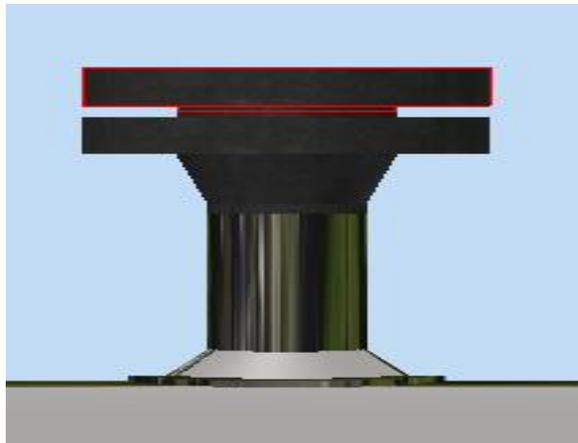
Shell (dinding) merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat dimana fluida di tampung dan bageian yang menyelimuti keseluruhan daripada badan bejana tekan tersebut.



Gambar 2.4. *Shell*

3. *Nozzle*

Nozzle merupakan komponen dari bejana tekan yang memiliki fungsi untuk menyambungkan dua komponen yaitu pipa dan bejana itu sendiri.



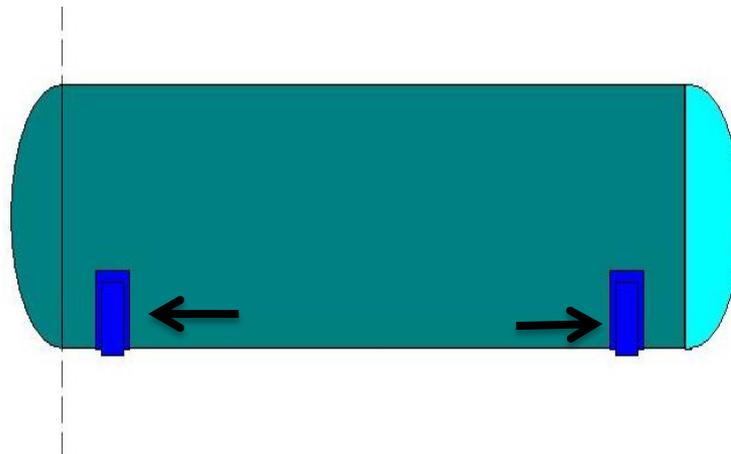
Gambar 2.5. *Nozzle*

4. *Support*

Support merupakan komponen pendukung yang berfungsi sebagai dudukan/penopang keseluruhan bagian bejana tekan. Jenis-jenis *support* adalah sebagai berikut:

a. *Saddle support*

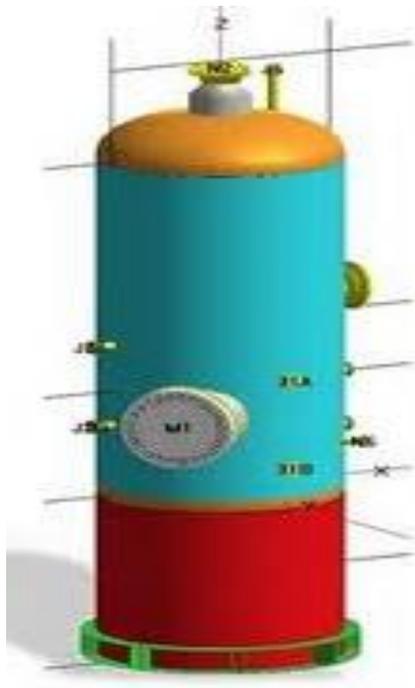
Saddle merupakan penyangga yang biasa digunakan untuk menopang bejana tekan *horizontal* yang dipasang pada bagian bawah pada *body shell*.



Gambar 2.6. *Saddle Support*

b. *Skirt support*

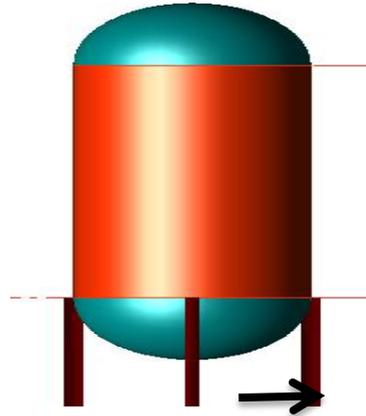
Skirt merupakan penyangga yang digunakan untuk menopang bejana tekan *vertikal* tower yang dipasang pada bagian bawah *shell*.



Gambar 2.7. *Skirt Support*

c. *Leg support*

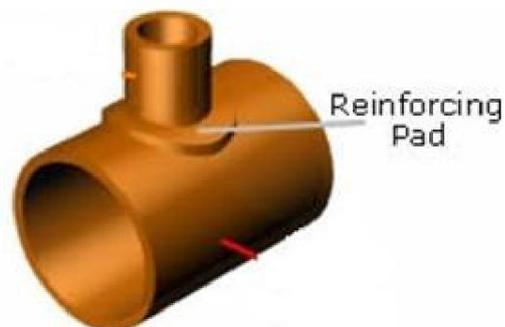
Leg merupakan penyangga yang digunakan untuk menopang bejana tekan *vertikal* yang berukuran kecil. Jumlah *leg* tergantung pada besarnya dimensi bejana tekan itu sendiri.



Gambar 2.8. *Leg Support*

5. *Reinforce Pad*

Reinforce pad atau lebih sering disebut plat penguat merupakan suatu plat yang memiliki fungsi untuk penguat *nozzle*. Untuk letak dari plat penguat ini sendiri berapa di bagian bawah *nozzle* dan menempel pada bagian *shell* maupun *head* dengan cara di las untuk pemasangannya, penggunaan plat penguat ini tidak selalu dibutuhkan karena tidak semua *nozzle* membutuhkannya. *Nozzle* dinyatakan membutuhkan plat penguat apabila pada saat perhitungan dinyatakan membutuhkan karena *reinforce pad* ini sangat menentukan kekuatan dalam penguatan *nozzle*.



Gambar 2.9. *Reinforcing Pad*

2.2.4. Teori Kegagalan Material

1. Teori Tegangan Normal Maksimal (Rankine)

Kegagalan suatu material terjadi bila tegangan normal maksimal mencapai suatu harga tegangan luluh atau tegangan patahnya dapat dilihat pada persamaan 2.1. Kriteria ini cocok untuk material bersifat getas.

$$\sigma_1 < \sigma_y \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Teori Tegangan Geser Maksimal (Tresca)

Kegagalan suatu material terjadi bila tegangan geser maksimum yang terjadi pada setiap titik mencapai tegangan luluh geser dari material tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.2 dan 2.3. Kriteria ini cocok untuk material bersifat ulet.

$$\tau_{maks} < \tau_y \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan

$$\tau_y = \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \dots\dots\dots(2.3)$$

3. Teori Energi Distorsi (Von Mises)

Kegagalan suatu material terjadi bila energi distorsi per satuan volume menjadi sama atau melebihi energy distorsi per satuan volume pada saat gagal uji material dapat dilihat pada persamaan 2.4 dan 2.5.

$$\sigma_{vm} < \sigma_y \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{2}{3} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.2.5. Beban Yang Bekerja Pada Bejana Tekan

1. Beban Temperatur

Pembagian beban temperatur sendiri dibagi menjadi dua, yaitu :

a. Temperatur Operasi (T_o)

Temperatur operasi adalah temperatur yang digunakan pada saat di lakukan pengoperasian pada benda kerja bejana tekan.

b. Temperatur Desain (T_d)

Temperatur desain adalah temperatur yang digunakan pada saat awal pendesainan/perancangan alat bejana tekan sebelum di buat

benda. Dalam pembuatan/perancangan bejana tekan memiliki rumus sendiri, yaitu dapat dilihat pada persamaan 2.6.

$$T_d = T_o + 50^\circ\text{F} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

T_d = Temperatur Desain [$^\circ\text{F}$]

T_o = Temperatur Operasi [$^\circ\text{F}$]

2. Beban Tekanan *Internal*

Pembagian beban tekanan *internal* sendiri dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Tekanan Operasi (P_o)

Tekanan operasi adalah tekanan yang digunakan pada saat bejana tekan dilakukan pengoperasian.

b. Tekanan Desain (P_d)

Tekanan desain adalah tekanan yang digunakan pada saat mulai mendesain suatu bejana tekan. Untuk perancangan tekanan desain ini menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8.

$$P_d = P_o + a + P_{hs} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P_{hs} = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P_d = Tekanan Desain [psi]

P_o = Tekanan Operasi [psig]

a = Margin (maks [0,1 . P_o atau 10 psi])

P_{hs} = Tekanan Hidrostatik [psi]

ρ = Densitas *fluida* [kg/m^3]

g = Gravitasi Bumi [m/s^2]

H = Tinggi Bejana Tekan [in]

2.2.6. Tegangan Maksimum Yang Diizinkan

Tegangan maksimum yang diizinkan (*Maximum allowable stress values*) setiap material itu berbeda-beda tergantung komponen material tersebut. Untuk tegangan maksimum yang diizinkan mengacu pada standar ASME B31.3.

2.2.7. Efisiensi Sambungan

Nilai yang mempengaruhi efisiensi dari sambungan pada bejana tekan adalah pada jenis dan bentuk dari sambungan itu sendiri, serta presentase pada tes radiografi yang dilakukan.

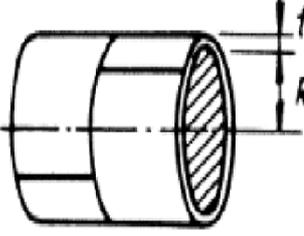
Tabel 2.3. Efisiensi Sambungan

TYPES OF WELDED JOINTS					
TYPES CODE UW-12		JOINT EFFICIENCY, E When the Joint:			
		a. Fully Radio- graphed	b. Spot Examined	c. Not Examined	
1		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.	1.00	0.85	0.70
2	 <small>For circumferential joint only</small>	Single-welded butt joint with backing strip which remains in place after welding	0.90	0.80	0.65
3		Single-welded butt joint without use of backing strip	—	—	0.60
4		Double-full fillet lap joint	—	—	0.55
5		Single-full fillet lap joint with plug welds	—	—	0.50
6		Single full fillet lap joint without plug welds	—	—	0.45

2.2.8. Penentuan Ketebalan Shell

Perhitungan ketebalan *shell* dilakukan berdasarkan dimensi dan tekanan *internal* serta dihitung dalam keadaan terkorosi. Dibawah ini adalah tabel rumus umum untuk menentukan ketebalan dari *shell*.

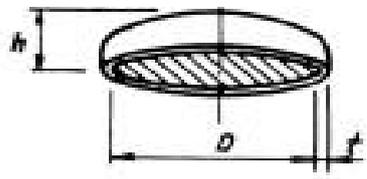
Tabel 2.4. Ketebalan *Shell*

No	Bagian	Dimensi Dalam
1	 <p style="text-align: center;"><i>Cylindrical Shell</i></p>	$t = \frac{P \cdot R_{corr}}{S.E - 0,6.P} + CA$

2.2.9. Penentuan ketebalan dan bentuk dimensi head 2:1 ellipsoidal

Perhitungan ketebalan *head* dilakukan berdasarkan dimensi dan tekanan internal serta dihitung dalam keadaan terkorosi. Dibawah ini adalah tabel rumus umum untuk menentukan ketebalan dari *head*.

Tabel 2.5. Ketebalan *Head*

No	Bagian	Dimensi Dalam
1	 <p style="text-align: center;">$h = D/4$ <i>Ellipsoidal Head</i></p>	$t = \frac{P \cdot D_{corr}}{2.S.E - 0,2.P} + CA$

2.2.10. Penentuan Tegangan Bejana Tekan pada Saddle Support

Bejana tekan yang di tumpu dengan menggunakan jenis *support saddle* di tujuan untuk menahan tegangan lentur *longitudinal*, tegangan geser *tangential* dan tegangan *circumferential*.

1. Penentuan tegangan *Logitudinal Bending*

Perhitungan tegangan *longitudinal bending* ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai kekuatan lengkung yang terjadi pada bejana tekan pada bagian *saddle* dan *midspan*.

a. Pada *saddle* :

Perhitungan *longitudinal bending* pada *saddle* dapat dilihat pada persamaan 2.9, 2.10, dan 2.11.

$$S_1 = \pm \frac{QA \left(1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2 \cdot A \cdot L}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right)}{K \cdot R^2 \cdot t_s} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$S_- = \left(\frac{P \cdot R}{2 \cdot t_s} \right) - S_1 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$S_+ = \left(\frac{P \cdot R}{2 \cdot t_s} \right) + S_1 \dots\dots\dots(2.11)$$

Perhitungan tegangan tarik dalam rumus S_1 , faktor K_1 harus digunakan. Perhitungan tegangan tekan dalam rumus S_1 , faktor K_8 harus digunakan. Pada persamaan diatas nilai *longitudinal bending* pada *saddle* S_{1-} dan S_{1+} tidak boleh melebihi nilai dari persamaan 2.12 dan 2.13.

$$S_{1-} \leq \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \dots\dots\dots(2.12)$$

$$S_{1+} \leq S_a \cdot E \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

S_{1-} = Tegangan tekan [Psi]

S_{1+} = Tegangan tarik [Psi]

Q = Beban Pada *Saddle* [lbs]

A = Jarak *Saddle* Dari Ujung *Shell* Terdekat [in]

L = Panjang *Shell* [in]

R = Jari-jari *Shell* [in]

H = Panjang *Head* [in]

K = Konstanta Nilai Sudut Dari *Saddle*

t_s = Tebal *Shell* [in]

σ_y = Kekuatan Luluh Material [Psi]

S_a = Kekuatan Ijin Material [Psi]

b. Pada *midspan* :

Perhitungan *longitudinal bending* pada *saddle* dapat dilihat pada persamaan 2.14, 2.15, dan 2.16.

$$S_1 = \pm \frac{\frac{QL}{4} \left(1 + 2 \frac{R^2 - H^2}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right)}{\pi R^2 t_s} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$S_{1-} = \left(\frac{P \cdot R}{2 \cdot t_s} \right) - S_1 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$S_{1+} = \left(\frac{P \cdot R}{2 \cdot t_s} \right) + S_1 \dots\dots\dots(2.16)$$

Pada persamaan diatas nilai *longitudinal bending* pada *midspan* S_{1-} dan S_{1+} tidak boleh melebihi nilai dari persamaan 2.17 dan 2.18.

$$S_{1-} \leq \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \dots\dots\dots(2.17)$$

$$S_{1+} \leq S_a \cdot E \dots\dots\dots(2.18)$$

Ketrangan :

S_{1-} = Tegangan tekan [Psi]

S_{1+} = Tegangan tarik [Psi]

Q = Beban Pada *Saddle* [lbs]

A = Jarak *Saddle* Dari Ujung *Shell* Terdekat [in]

L = Panjang *Shell* [in]

R = Jari-jari *Shell* [in]

H = Panjang *Head* [in]

K = Konstanta Nilai Sudut Dari *Saddle*

σ_y = Kekuatan Luluh Material [Psi]

S_a = kekuatan Ijin Material [Psi]

2. Penentuan Tegangan *Tangential Shear*

Perhitungan untuk *tangential shear* di tunjukkan pada persamaan 2.19.

$$S_2 = \frac{K_2 \cdot Q}{R \cdot t_s} \left(\frac{L - 2A}{L + \frac{4}{3}H} \right) \dots \dots \dots (2.19)$$

Pada persamaan diatas nilai *Tangential shear* S_2 tidak boleh melebihi nilai dari persamaan 2.20.

$$S_2 \leq 0,8 \cdot S_a \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

- Q = Beban Pada *Saddle* [lbs]
- A = Jarak *Saddle* Dari Ujung *Shell* Terdekat [in]
- L = Panjang *Shell* [in]
- R = Jari-jari *Shell* [in]
- H = Panjang *Head* [in]
- K = Konstanta Nilai Sudut Dari *Saddle*
- t_s = Tebal *Shell* [in]
- S_2 = Tegangan Tangensial Shear [Psi]
- S_a = Kekuatan Ijin Material [Psi]

3. Penentuan Tegangan *Circumferential*

a. Tegangan *circumferential* pada tanduk *saddle*

Tegangan *circumferential* pada tanduk *saddle* di tunjukkan pada persamaan 2.21.

$$S_4 = \frac{Q}{4 \cdot t_s (b + 1,56 \sqrt{R t_s})} - \frac{12 \cdot K_6 \cdot Q \cdot R}{L t_s^2} \dots \dots \dots (2.21)$$

Pada persamaan diatas nilai Tegangan *circumferential* pada tanduk *saddle* S_4 tidak boleh melebihi nilai dari persamaan 2.22.

$$S_4 \leq 1,5 \cdot \sigma_u \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan :

- Q = Beban Pada *Saddle* [lbs]
- L = Panjang *Shell* [in]
- R = Jari-jari *Shell* [in]

- K_6 = Konstanta Nilai Sudut Dari *Saddle*
- t_s = Tebal *Shell* [in]
- b = Lebar *Base Plate* [in]
- σ_u = Kekuatan Tarik material *shell* [Psi]

b. Tegangan *circumferential* pada bagian bawah *shell*

Tegangan *circumferential* pada bagian bawah *shell* di tunjukkan pada persamaan 2.23.

$$S_5 = -\frac{K_7 \cdot Q}{t_s(b+1.56\sqrt{Rt_s})} \dots\dots\dots(2.23)$$

Pada persamaan diatas nilai Tegangan *circumferential* pada bagian bawah *shell* S_4 tidak boleh melebihi nilai dari persamaan 2.24.

$$S_1 \leq \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

- Q = Beban Pada *Saddle* [lbs]
- L = Panjang *Shell* [in]
- R = Jari-jari *Shell* [in]
- K = Konstanta Nilai Sudut Dari *Saddle*
- t_s = Tebal *Shell* [in]
- b = Lebar *Base Plate* [in]
- σ_y = Kekuatan Luluh Material *Shell* [Psi]

2.2.11. Penentuan Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)

Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) merupakan tekanan maksimal yang diizinkan pada saat beroperasinya bejana tekan. MAWP dari bejana tekan di tentukan melalui tekanan internal dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi namun tidak termasuk faktor korosinya (CA) pada saat temperatur operasi. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

1. Penentuan MAWP Shell

MAWP pada bagian shell di tunjukkan pada persamaan 2.25.

$$MAWP_{shell} = \frac{S.E.t_{corr}}{R_{corr}+0,6.t_{corr}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

S = Tegangan Maksimum Yang Diijinkan [*psi*]

E = Efisiensi Sambungan

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

R_{corr} = Jari-jari Dalam Bejana Tanpa Faktor Korosi [*in*]

2. Penentuan MAWP Head

MAWP pada bagian head di tunjukkan pada persamaan 2.26.

$$\text{MAWP}_{\text{head}} = \frac{2 \cdot S \cdot e \cdot t_{\text{corr}}}{D_{\text{corr}} + 0,2 \cdot t_{\text{corr}}} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

S = Tegangan Maksimum Yang Diijinkan [*psi*]

E = Efisiensi Sambungan

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

D_{corr} = Diameter Bejana Tekan Tanpa Faktor Korosi [*in*]

3. MAWP Flange

Penentuan MAWP *flange* dapat dilakukan dengan memilih rating yang memiliki nilai MAWP di atas tekanan desain (P_d) dengan menggunakan standar pada tabel ASME B16.5.

4. MAWP Bejana Tekan

MAWP bejana tekan ditentukan oleh MAWP terkecil dari tiga komponen bejana tekan, yaitu *shell*, *head*, atau *flange*.

2.2.12. Penentuan Tekanan Tes Hydrostatic

Tes *hydrostatic* merupakan suatu tes yang dilakukan pada saat bejana tekan sudah selesai dibuat. Tes ini menggunakan *fluida* yang dimasukkan kedalam bejana tekan tersebut, sehingga tes ini memiliki tujuan untuk mengetahui apakah bejana tekan tersebut mampu menahan tekanan sesuai dengan desain yang telah dibuat saat awal perancangan. Perhitungan tes *hydrostatic* ini menggunakan persamaan 2.27.

$$P_{\text{hs}} = 1,3 \cdot P_{\text{d}} \cdot \frac{S_{\text{pada } T_{\text{Test}}}}{S_{\text{pada } T_{\text{Desain}}}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

P_{hs} = Tekanan Tes Hidrostatik [Psi]

P_d = Tekanan Desain [Psi]

ST_{test} = Tekanan Maksimum Yang Diiijinkan Material
Dengan Temperatur Test [Psi]

ST_{desain} = Tekanan Maksimum Yang Diiijinkan Material
Dengan Temperatur Desain [Psi]

2.2.13. Penentun Desain Saddle Support

Penentuan *Desain saddle support* diperlukan untuk mengetahui bentuk dimensi dari saddle.

1. Menentukan Volume Bejana Tekan.

a. Menentukan Volume *Shell*.

Nilai dari volume *shell* ini ditentukan dengan persamaan 2.28.

$$V_{shell} = 0,7854 \cdot D^2 \cdot L \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan :

V_{shell} = Volume *Shell* [m³]

L = panjang *shell* [m]

D = Diameter [m]

b. Menentukan Volume *Head*.

Nilai dari volume *head* ini ditentukan dengan persamaan 2.29.

$$V_{head} = 0,2618 \cdot D^3 \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

V_{head} = Volume *Head* [m³]

D = Diameter [m]

c. Menentukan Volume Bejana Tekan

Setelah melakukan perhitungan dari volume *shell* dan volume *head*, kita perlu melakukan penjumlahan total volumenya.

$$V_{bejanatekan} = V_{shell} + V_{head} \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan :

$$V_{\text{head}} = \text{Volume Head [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{shell}} = \text{Volume Shell [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{bejana tekan}} = \text{Volume Bejana Tekan [m}^3\text{]}$$

2. Menentukan Massa Bejana Tekan.

a. Menentukan Massa Fluida

Nilai dari massa fluida ini ditentukan dengan persamaan 2.31.

$$M_{\text{fluida}} = \rho_{\text{fluida}} \cdot V_{\text{bejana tekan}} \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan :

$$M_{\text{fluida}} = \text{Massa Shell Dan Head [kg]}$$

$$\rho_{\text{material}} = \text{Densitas Material [kg]}$$

$$V_{\text{bejanatekan}} = \text{Volume Total Bejana Tekan [m}^3\text{]}$$

b. Menentukan Massa *Shell* dan *Head*.

Nilai dari massa *shell* dan *head* ini ditentukan dengan persamaan 2.32.

$$M_{\text{shell dan head}} = \rho_{\text{material}} \cdot V_{\text{bejanatekan}} \dots\dots\dots(2.32)$$

Keterangan :

$$M_{\text{shell dan head}} = \text{Massa Shell Dan Head [kg]}$$

$$\rho_{\text{material}} = \text{Densitas Material [kg]}$$

$$V_{\text{bejanatekan}} = \text{Volume Total [m}^3\text{]}$$

c. Menentukan Massa Bejana Tekan.

Nilai dari massa bejana tekan ini ditentukan dengan persamaan 2.33.

$$M_{\text{bejanatekan}} = M_{\text{fluida}} + M_{\text{shell dan head}} \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan :

$$M_{\text{bejanatekan}} = \text{Massa Bejana Tekan [kg]}$$

$$M_{\text{fluida}} = \text{Massa Fluida [kg]}$$

$$M_{\text{shell dan head}} = \text{Massa Shell Dan Head [kg]}$$

Nilai dari massa bejana atau diameter bejana tekan digunakan untuk bentuk dimensi dari saddle support dapat dilihat pada tabel 2.6.

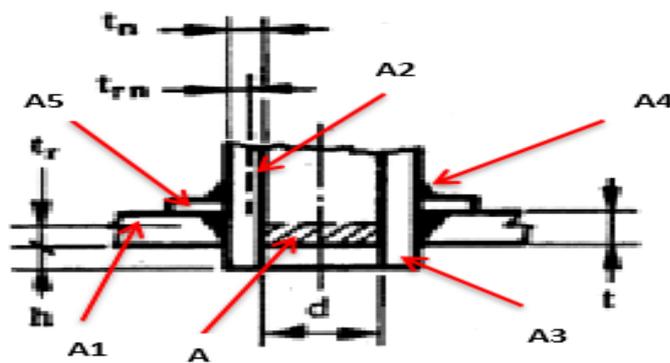
Tabel 2.6. Dimensi Penentuan Saddle

SADDLE											
NOMINAL DIAM. OF VESSEL FT. - IN.	DIMENSIONS						NO. OF RIBS	PLATE THICKNESS INCHES			MAXIMUM WEIGHT ON VESSEL
	A FT. - IN.	B FT. - IN.	C IN.	D IN.	E FT. - IN.	BOLT DIAM. INCH		BASE G	WEB, FLANGE, RIBS H	WEAR K	
1-0	0-10½	1-0	4	4	0-3½	½	0	¼	¼	—	42000
1-2	1-½	1-1	4	4	0-4	½	0	¼	¼	—	50000
1-4	1-2	1-2	4	4	0-5	½	0	¼	¼	—	56000
1-6	1-3½	1-3	4	4	0-6	½	0	¼	¼	—	62000
1-8	1-5½	1-4	4	4	0-6½	½	0	¼	¼	—	70000
1-10	1-7	1-5	4	6	0-7	½	0	¼	¼	—	76000
2-0	1-9	1-6	4	6	0-7½	½	0	¼	¼	—	84000
2-2	1-10½	1-7	4	6	0-8	½	0	¼	¼	¼	90000
2-4	2-½	1-8	4	6	0-8½	½	0	½	¼	¼	98000
2-6	2-2	1-9	4	6	0-9	½	0	½	¼	¼	104000
2-8	2-4	1-10	4	6	0-9½	½	0	½	¼	¼	112000
2-10	2-5	1-11	6	11	0-10	½	0	½	¼	¼	128000
3-0	2-6½	2-0	6	11	0-11	½	0	½	¼	¼	134000
3-2	2-9	2-1	6	11	1-0	¾	0	½	¼	¼	144000
3-4	2-11	2-2	6	11	1-1	¾	0	½	¾	¾	210000
3-6	3-½	2-3	6	11	1-2	¾	0	½	¾	¾	220000
4-0	3-6	2-6	6	11	1-4	¾	0	¾	¾	¾	252000
4-6	3-11	3-0	6	11	1-6	¾	0	¾	¾	¾	282000
5-0	4-4	3-3	6	11	1-8	¾	1	¾	¾	¾	312000
5-6	4-9½	3-6	6	11	1-10	¾	1	¾	¾	¾	344000
6-0	5-2½	3-9	9	18	2-0	¾	1	¾	¾	¾	402000
6-6	5-8	4-0	9	18	2-2	¾	1	¾	½	¾	436000
7-0	6-1	4-3	9	18	2-4	1	1	¾	½	¾	470000
7-6	6-6	4-6	9	18	2-6	1	1	¾	½	¾	502000
8-0	6-11½	4-9	9	18	2-8	1	1	1	½	¾	536000
8-6	7-4½	5-0	9	18	2-10	1	2	1	½	½	760000
9-0	7-9½	5-3	9	18	3-0	1	2	1	½	½	806000
9-6	8-3½	5-6	9	24	3-2	1¼	2	1	¾	½	852000
10-0	8-8	5-9	9	24	3-4	1¼	2	1	¾	½	896000
10-6	9-1½	6-0	9	24	3-6	1¼	2	1	¾	½	940000
11-0	9-6½	6-3	9	24	3-8	1¼	2	1	¾	½	986000
11-6	10-0	6-6	9	24	3-10	1¼	3	1	¾	½	1030000
12-0	10-5	6-9	9	24	4-0	1¼	3	1	¾	½	1076000

2.2.14. Desain Penguat Nozzle

Perancangan sebuah penguat *nozzle* terdapat beberapa aturan yang harus dipenuhi supaya perancangan dapat seoptimal mungkin, diantaranya adalah berikut ini :

- a) Tidak perlunya mengganti banyak logam aktual yang terbuang (akibat lubang *nozzle*), tetapi hanya sebesar yang diperlukan untuk menahan tekanan internal saja. Tebal *vessel* pada *opening* biasanya lebih kecil daripada dilokasi lain dari *shell* atau *head*.
- b) Plat aktual yang digunakan dan leher *nozzle* biasanya lebih tebal daripada yang diperlukan sesuai dengan perhitungan. Kelebihan tebal dinding *vessel* (A1) dan dinding *nozzle* (A2) digunakan sebagai penguat. Hal serupa juga untuk 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 daripada kekuatan dari dinding bejana.
- e) Luas yang diperlukan untuk penguatan harus dijamin pada semua bidang melalui pusat *opening* dan tegak lurus permukaan bejana.



Gambar 2.10. Nozzle Dengan Plat Penguat.

1. Menentukan Bidang Penguat Yang Diperlukan.

Besar luasan ini ditentukan dengan persamaan 2.34.

$$A = d \cdot t_r \dots\dots\dots(2.34)$$

Keterangan :

A = luas yang diperlukan untuk menahan tekanan internal pada *shell* atau *head* [in²]

d = diameter dalam *nozzle* (tidak termasuk CA) [in]

t_r = tebal *shell/head* yang diperlukan [in]

2. Menentukan Bidang Yang Tersedia Untuk Plat Penguat.

a. Menentukan Nilai A1

Besarnya luasan ini dipilih yang paling besar antara dua persamaan 2.35 dan 2.36.

$$A_1 = (t - t_r) \cdot d \dots\dots\dots(2.35)$$

Atau

$$A_1 = 2 \cdot (t - t_r) \cdot (t_n - t) \dots\dots\dots(2.36)$$

Keterangan :

d = diameter dalam *nozzle* (tidak termasuk CA)

t = Tebal Dinding Bejana Tekan (tidak termasuk CA)

t_r = tebal *shell/head* yang diperlukan [in]

A₁ = luas kelebihan pada dinding bejana tekan [in²]

b. Menentukan Nilai A2

Besarnya luasan ini dipilih yang paling kecil antara dua persamaan 2.37 dan 2.38.

$$A_2 = 5 \cdot t \cdot (t_n - t_{rn}) \dots\dots\dots(2.37)$$

Atau

$$A_2 = 5 \cdot t_n \cdot (t_n - t_{rn}) \dots\dots\dots(2.38)$$

Keterangan :

t = Tebal Dinding Bejana Tekan (tidak termasuk CA)

t_{rn} =Tebal dinding *nozzle* tanpa sambungan [in]

t_n = Tebal Dinding *Nozzle* (tidak termasuk CA) [in]

A₂ = luas kelebihan pada dinding *nozzle*.

c. Menentukan Nilai A3

Besar luasan ini ditentukan dengan persamaan 2.39.

$$A_3 = 2 \cdot h \cdot (t_n - c) \dots\dots\dots(2.39)$$

Keterangan :

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

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

t_n = Tebal Dinding *Nozzle* (tidak termasuk CA) [in]

c = Corrosion Allowance (CA)

d. Menentukan Nilai A4

Besar luasan ini ditentukan dengan persamaan 2.40.

$$A_4 = (\text{area of fillet weld})^2 \dots\dots\dots(2.40)$$

Keterangan :

A_4 = Luas logam pengelasan [in²]

Jika besarnya luas A lebih besar dari jumlah luasan (A_1 , A_2 , A_3 , dan A_4) maka nilai *nozzle* tersebut scara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut ini :

$A < (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) \rightarrow$ tidak diperlukan plat penguat,

$A > (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) \rightarrow$ diperlukan plat penguat (A_5)

e. Menentukan Nilai A5.

Besarnya luasan ini ditentukan dengan persamaan 2.41 dan 2.42.

$$l_{\text{pad}} = \frac{(A - A_{\text{tot}})}{(\text{area of fillet weld})} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$A_5 = OD_n \cdot l_{\text{pad}} \dots\dots\dots(2.42)$$

Keterangan :

l_{pad} = lebar *reinforcing pad* [in]

A_5 = diameter plat penguat [in]

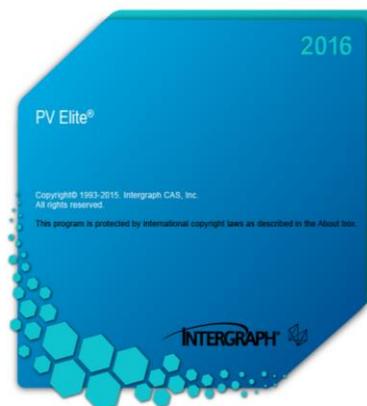
OD_n = diameter luar *nozzle* [in]

2.3. Software PV Elite 2016

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. Tujuan dibuatnya *software* ini adalah untuk mempermudah dalam merancang dan menganalisa suatu bejana tekan dengan hasil perhitungan yang detail dan tidak memerlukan waktu yang lama dalam perancangannya dibandingkan dengan merancang manual.

2.3.1. Tampilan Awal Software PV Elite

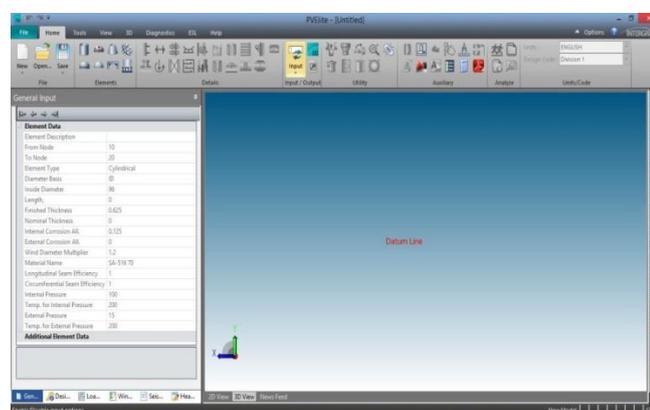
Tampilan awal *software* ini terdapat logo dan tahun perilisan dari *software* tersebut.



Gambar 2.11. Tampilan Awal PVelite 2016

2.3.2. Lembar Kerja

Lembar kerja merupakan suatu tampilan yang ada pada *software* yang berguna untuk mengerjakan suatu pekerjaan pada *software* tersebut.



Gambar 2.12. Lembar Kerja

2.3.3. Alur Pengerjaan PV Elite

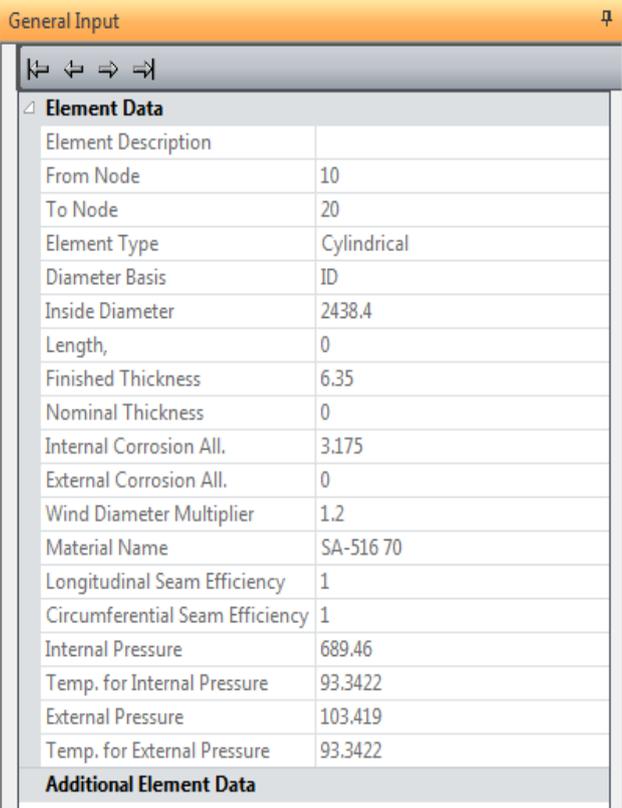
Pengoperasian suatu *software* terdapat alur/langkah kerjanya. Berikut ini merupakan langkah kerja dari *software PV Elite*.

1. *Input*

Input merupakan tahapan untuk memasukkan data-data apa saja yang diperlukan untuk merancang suatu pekerjaan bejana tekan.

a. *General input*

General input merupakan kolom inputan yang memiliki fungsi untuk memasukkan data-data suatu perancangan bejana tekan.



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 2.13. *General Input*

b. *Desain Constrains*

Pada kolom menu *desain constrains* ini digunakan untuk menginput data perancangan bejana tekan meliputi tekanan, temperature, dan lain-lain.

Design Data	
Design Internal Press, psig	100
Design External Press, psig	15
Design Internal Temp, F	200
Design External Temp, F	200
Datum Line Options	click to edit
Hydrotest Type	No Hydro
Hydrotest Position	Horizontal
Projection from Top, in.	0
Projection from Bottom, in.	0
Projection from Bottom Ope, in.	0
Min. Des Metal Temp, F	-20
No UG-20(f) Exemptions	
Flange Distance to Top, ft.	0
Construction Type	Welded
Service Type	None
Degree of Radiography	RT 1
Miscellaneous Weight %	click for options
Design Code	Division 1
User defined MAWP, psig	0
User defined MAPnc, psig	0
User defined Hydro. Press, psig	0
Additional One. Static Press, psig	0

Gambar 2.14. Desain constrains

c. Input Nozzle

Input Nozzle merupakan salah satu isi dari menu home pada bagian details yang memiliki fungsi untuk menambahkan *Nozzle* pada desain bejana tekan.

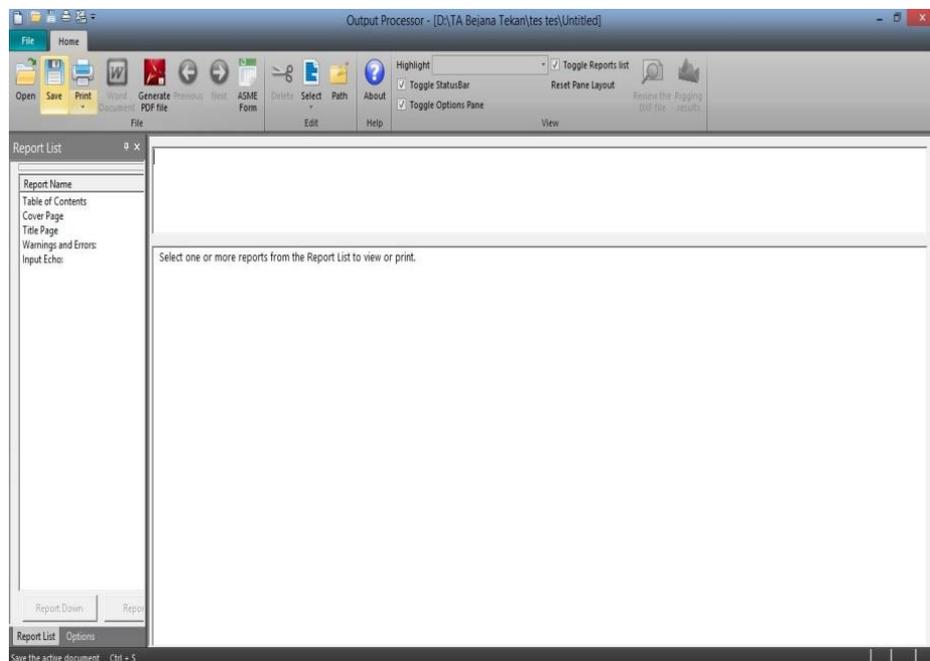
Gambar 2.15. Input Nozzle

2. Analisis

Analisis merupakan suatu proses dimana data yang sudah diinput ke dalam *software* lalu di terjemahkan oleh *software* tersebut dan mengolahnya sesuai dengan kode atau standar yang sesuai lalu menampilkan hasilnya.

3. Output

Output merupakan tahap terakhir dari suatu alur pengerjaan yang berupa hasil dari sesuatu yang sudah di kerjakan/di analisis dalam *software* tersebut.



Gambar 2.16. Hasil *Analysis*.

2.4. Software Autodesk Inventor 2017.

Autodesk Inventor Profesional merupakan salah satu perangkat lunak (*software*) jenis Computer Aided Drawing (CAD) yang lebih menekankan pada permodelan solid. Perangkat lunak ini merupakan salah satu produk dari Autodesk Inc. yang merupakan perusahaan dari USA. *Software* ini dibuat untuk tujuan penggambaran teknik permesinan yang di dalamnya disediakan secara lengkap fasilitas untuk memvisualisasikan modelnya dalam bentuk 3D, gambar rakitan (*assembly*), gambar kerja (*drawing*).

2.4.1. Tampilan Awal Software Autodesk Inventor.

Tampilan awal software ini terdapat logo dan tahun perilisan dari software tersebut.



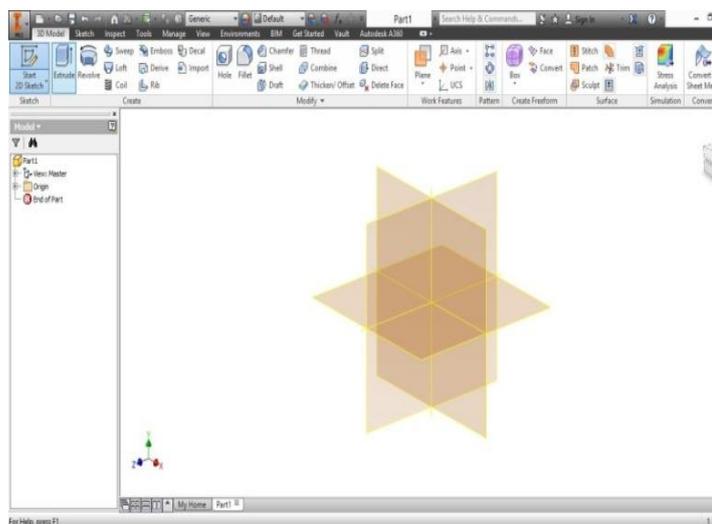
Gambar 2.17. Tampilan Awal *Software*

2.4.2. Alur Pengerjaan Autodesk Inventor.

Pengoperasian suatu *software* terdapat alur/langkah kerjanya. Berikut ini merupakan langkah kerja dari *software* autodesk inventor.

1. *Create Part 2D and 3D*

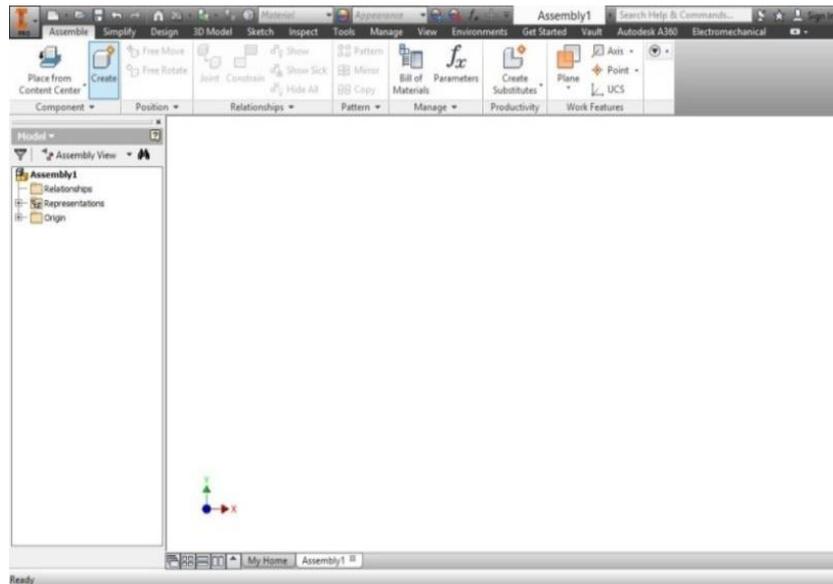
Create Part 2D and 3D merupakan tahapan untuk menggambar dasar yang awalnya bentuk sketsa atau garis-garis lalu di visualisasikan menjadi gambar 3D yang dapat dilihat lebih nyata.



Gambar 2.18. Lembar Pembuatan 2D/3D.

2. Assembly

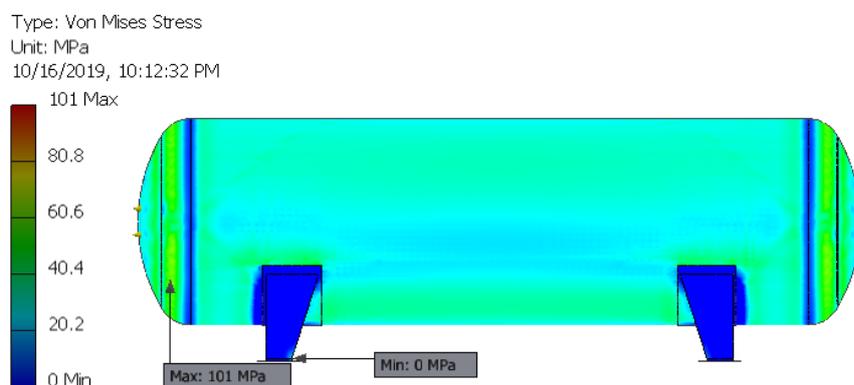
Assembly adalah rangkaian dari proses di inventor yang memiliki pengertian penggabungan dari part-part yang sudah di buat pada proses drawing yang bertujuan untuk mengetahui lebih jelas desain apa yang sedang kita kerjakan.



Gambar 2.19. Lembar Kerja Assembly

3. Analisis

Analisis merupakan suatu proses dimana data yang sudah diinput ke dalam *software* lalu di terjemahkan oleh *software* tersebut dan mengolahnya lalu menampilkan hasilnya.



Gambar 2.20. Hasil Analisa Inventor