

Perancangan dan Analisis Tegangan Separator Produksi Menggunakan Software PV Elite dan SolidWorks

Aan Budi Setiawan, Swandya Eka Pratiwi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: 41314110024.student@mercubuana.ac.id

Abstrak—Separator produksi adalah sebuah bejana bertekanan yang digunakan untuk memisahkan fluida yang berasal dari sumur produksi ke dalam fasa cairan dan fasa gas. Dalam pembuatannya, separator produksi tidak dibuat secara masal, dikarenakan karakteristik sumur produksi yang berbeda-beda antara sumur produksi yang satu dengan yang lainnya. Hal ini mengakibatkan berbedanya spesifikasi separator produksi yang digunakan. Sehingga setiap pembuatan separator produksi harus dilakukan proses perancangan. Proses perancangan yang dilakukan adalah membuat gambar desain bejana tekan dengan menggunakan software Autocad, dilanjutkan menghitung ketebalan material menggunakan software PV Elite dan menganalisa tegangan longitudinal dan circumferential menggunakan software Solidworks. Hasil perhitungan menggunakan software PV Elite diperoleh tebal shell = 22mm, tebal head=28mm, ketebalan dan rating nozzle N1 = 6" sch 80 class 300 lb, N2 = 6" sch 80 class 300 lb, N3 = 2" sch 160 class 300 lb, N4 = 2" sch 160 class 300 lb, N5 = 2" sch 160 class 300 lb, N6 = 2" sch 160 class 300 lb, N7 = 2" sch 160 class 300 lb, N8 = 2" sch 160 class 300 lb, N9A/B = 2" sch 160 class 300 lb, N10 = 2" sch 160 class 300 lb, MH = 24" t20mm class 300 lb. Setelah dilakukan perhitungan tegangan longitudinal diperoleh nilai sebesar 9648e psi, tegangan circumferential sebesar 1565 psi. Tegangan ini jika dibandingkan dengan tegangan ijin meterialnya sebesar 20000 psi maka tegangan yang terjadi masih dalam kondisi aman.

Kata kunci: Bejana tekan, pressure vessel, pv elite, separator produksi, solidworks

Abstract-- Production separator is a pressure vessel used to separate fluid from production wells into liquid phase and gas phase. In its manufacture, the production separator is not mass-produced, due to the different characteristics of production wells from one production well to another. This results in different specifications of the production separator that must be used, so the design process must be carried out. The design process was carried out by creating a pressure vessel design drawing using Autocad software, followed by calculating the thickness of the material using PV Elite software and analyzing the longitudinal and circumferential stresses using Solidworks software. The calculation results using PV Elite software obtained shell thickness = 22mm, head thickness = 28mm, nozzle thickness and rating N1 = 6 "sch 80 class 300 lb, N2 = 6" sch 80 class 300 lb, N3 = 2 "sch 160 class 300 lb, N4 = 2 "sch 160 class 300 lb, N5 = 2" sch 160 class 300 lb, N6 = 2 "sch 160 class 300 lb, N7 = 2" sch 160 class 300 lb, N8 = 2 "sch 160 class 300 lb, N9A / B = 2 "sch 160 class 300 lb, N10 = 2" sch 160 class 300 lb, and MH = 24 "T20mm class 300 lb. The results of the calculation of longitudinal stress and circumferential stress obtained values of 9648 psi, and 1565 psi respectively where the allowable stress material is 20000 psi, so the stress that occurs is still in safe condition.

Keywords: Bejana tekan, pressure vessel, pv elite, separator produksi, solidworks

1. PENDAHULUAN

Bejana tekan adalah suatu wadah yang digunakan untuk menampung fluida yang memiliki tekanan dan temperatur tertentu [1]. Salah satu bentuk pengaplikasian bejana tekan terdapat pada separator produksi dalam industri minyak dan gas bumi [2]. Separator produksi adalah sebuah bejana bertekanan yang digunakan untuk memisahkan fluida yang berasal dari sumur produksi ke dalam fasa cairan dan fasa gas. Berdasarkan jumlah fasanya, separator produksi dibedakan menjadi 2, yaitu 2 fasa dan 3 fasa. 2 fasa memisahkan cairan dan gas, 3 fasa memisahkan minyak, air, dan gas. Dalam pembuatannya, separator produksi tidak dibuat

secara masal, dikarenakan karakteristik sumur produksi yang berbeda-beda antara sumur produksi yang satu dengan yang lainnya. Hal ini mengakibatkan berbedanya spesifikasi separator produksi yang digunakan.

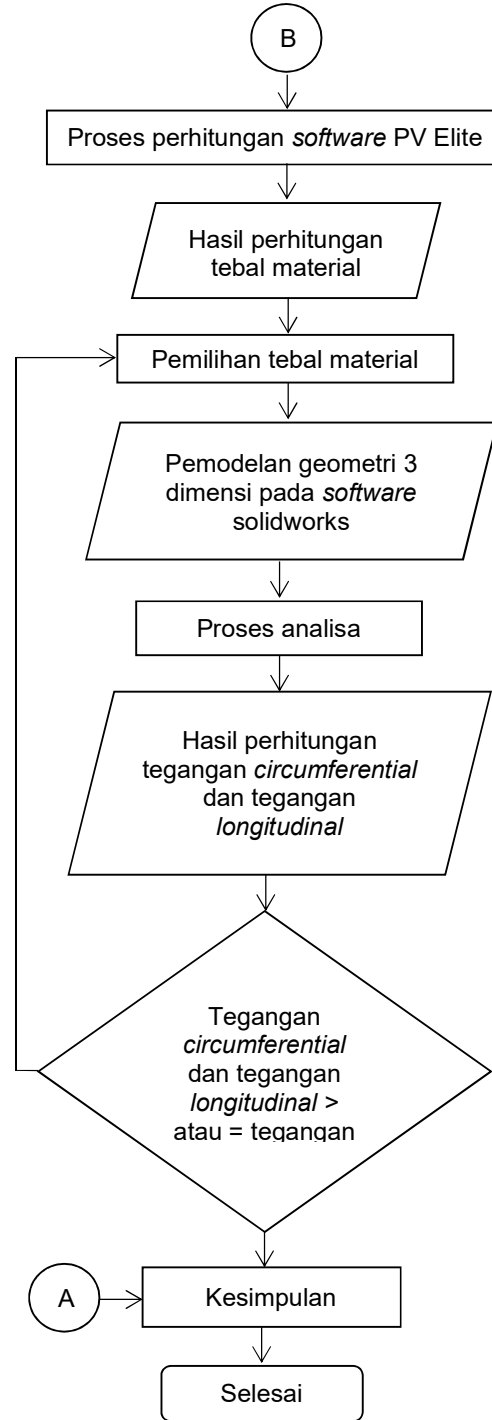
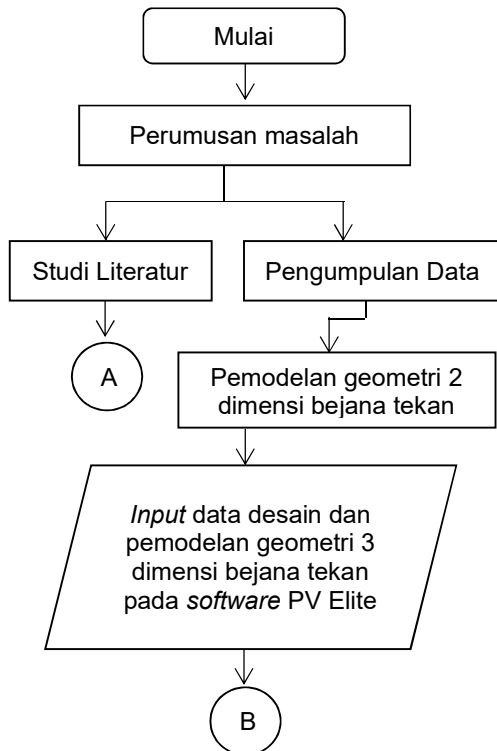
Bejana tekan merupakan peralatan teknik yang mengandung resiko bahaya tinggi dan dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan [3]. Dalam perancangan bejana tekan dibutuhkan perhitungan dan analisa untuk menjamin keamanan peralatan tersebut. Pemilihan ketebalan material yang digunakan harus mampu menahan beban yang diterima oleh bejana, dan juga tegangan yang timbul akibat beban yang ditanggung oleh bejana [4]. Permasalahan tersebut menjadi sebuah pertimbangan yang

penting pada saat merancang bejana tekan. Perhitungan ketebalan material dan perhitungan tegangan yang terjadi pada bejana, penting dilakukan untuk menganalisa keadaan bejana saat menerima beban, sehingga atas dasar perhitungan tersebut dapat dilakukan tindakan yang akan diambil setelah nya. Hal ini dilakukan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kegagalan pada bejana tekan. Atas dasar pemikiran tersebut maka penulis akan melakukan perhitungan ketebalan material dan tegangan yang terjadi pada bejana tekan. Agar didapatkan hasil perhitungan dengan tingkat akurasi yang tinggi, dalam perhitungan ketebalan material bejana tekan dibuat menggunakan *software* PV Elite, karena *software* ini telah menggunakan standar dan kode terbaru dari ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* [5], sehingga diakui dan diterima dalam dunia industri. Sedangkan dalam perhitungan tegangan *longitudinal* dan tegangan *circumferential* dibuat menggunakan *software* solidworks, karena *software* solidworks telah dilengkapi dengan program *finite element analysis* yang memungkinkan para pengguna untuk melakukan analisa terhadap rancangan-nya [6].

Dengan menggunakan bantuan *software* diatas, diharapkan penulis mendapatkan hasil yang dapat dipertanggung jawabkan dalam perancangan bejana tekan.

2. METODOLOGI

Sistematika dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir berikut:



2.1 Data-data yang diperoleh

- Ukuran bejana tekan : 1100 mm ID x 3050 mm T/T
- Tekanan desain : 600 Psig
- Tekanan operasi : 120 Psig
- Temperature desain : 120 Deg F
- Temperature Operasi : 90Deg F
- Kapasitas
 - Liquid : 200 BLD
 - Gas : 10 MMSCFD

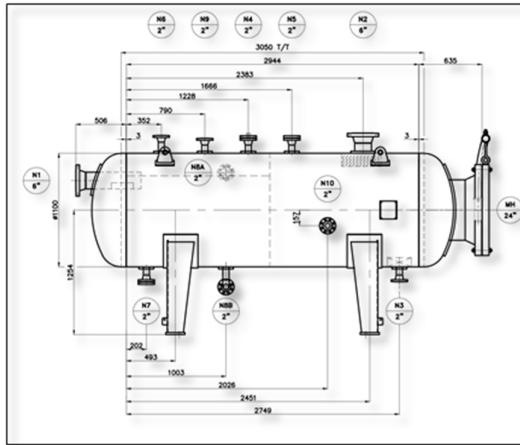
Material <i>shell</i>	: A 516 Gr B
Tegangan izin A 516 Gr B	: 20000 psi
Material <i>head</i>	: A 516 Gr B
Material <i>nozzle</i>	: A 106
<i>Corrosion allowance</i>	: 3.175 mm
<i>Joint efficiency</i>	: 1
Kode standard desain	: ASME Sect 8
Tipe separator	: 2 Fasa

Tabel 1. Daftar kebutuhan *nozzle*

No	Jmlh	Ukrn	Face	Fungsi
N1	1	6"	WN.RF	<i>Inlet</i>
N2	1	6"	WN.RF	<i>Gas Out</i>
N3	1	2"	WN.RF	<i>Liquid Out</i>
N4	1	2"	WN.RF	<i>Pic & PI</i>
N5	1	2"	WN.RF	<i>Spare</i>
N6	1	2"	WN.RF	<i>PSV</i>
N7	1	2"	WN.RF	<i>Spare</i>
N8A/B	2	2"	WN.RF	<i>Bridle</i>
N9	1	2"	WN.RF	<i>Rupture D</i>
N10	1	2"	WN.RF	<i>TI / TW</i>
MH	1	24"	WN.RF	<i>Manhole</i>

2.2 Perancangan 2 Dimensi

Berdasarkan data-data yang sudah terkumpul, kemudian dibuatkan gambar rancangan bejana tekan dengan menggunakan *software* Autocad seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan geometri 2 dimensi

2.3 Perancangan Menggunakan *Software* PV Elite

a. *Pre Processing*

Pre processing merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisa sebuah model perancangan [7].

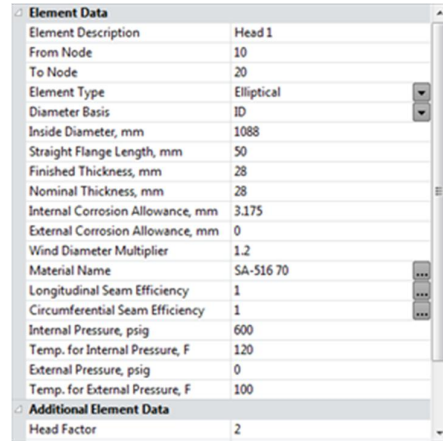
- **Pemodelan menggunakan PV Elite**

Pemodelan geometri 3 dimensi pada *software* PV Elite dibuat berdasarkan gambar pemodelan geometri 2 dimensi, lihat gambar 1. Pada gambar 1 sudah dibuat orientasi letak dari komponen bejana tekan lengkap dengan ukuran komponen dan jarak komponen, sehingga dengan mengikuti ukuran yang ada pada gambar 1 mempermudah

dalam pembuatan pemodelan geometri 3 dimensi di *software* PV Elite.

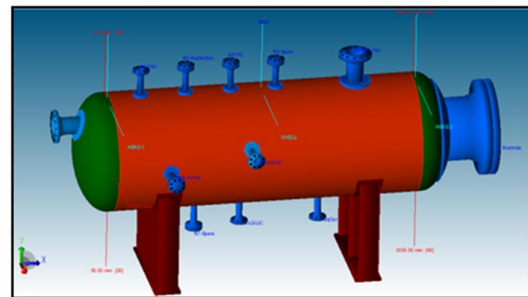
Untuk membuat komponen bejana tekan pada *software* PV Elite, pilihlah komponen bejana tekan yang tersedia pada *menu bar software* PV Elite, sesuai dengan komponen yang akan dibuat.

Selain membuat komponen bejana tekan, pada tahap ini data fisik material dan parameter perancangan mulai ditambahkan. Data-data tersebut diperlukan untuk membuat kondisi komponen seperti pada kondisi kerja atau kondisi nyata yang diinginkan.



Gambar 2. *Element data head*

Semua pembuatan komponen bejana tekan menggunakan *software* PV Elite harus diisikan data fisik material pada setiap komponen yang dibuat, contohnya seperti pada gambar 2. Pemilihan atau pengisian material sangat penting dilakukan, karena material mempengaruhi hasil dari perhitungan *software* PV Elite. Sementara untuk data parameter (*corrosion allowance* dan *joint efficiency*) cukup diisikan pada salah satu komponen bejana tekan, yang secara otomatis akan terisi pada komponen yang lain.

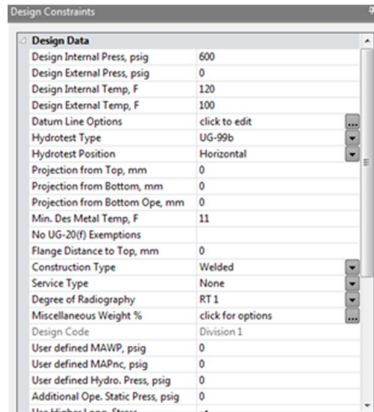


Gambar 3. Pemodelan geometri 3 dimensi

- **Menentukan beban yang akan diterima oleh bejana tekan**

Beban yang diterima oleh bejana tekan ada dua yaitu beban tekanan dan beban temperatur. Masukkan data tekanan desain dan data temperatur desain pada *software* PV Elite.

Tekanan desainnya adalah 600 psig, sedangkan temperatur desainnya adalah 120 derajat F.



Gambar 4. Input data tekanan dan temperatur

b. Kalkulasi

Dengan bantuan *software* PV Elite, kondisi-kondisi yang telah ditetapkan pada saat *pre processing* akan diliterasi oleh *software* tersebut.

c. Post Processing

Post processing merupakan penampilan hasil analisa maupun perhitungan rancangan [8]. *Software* PV Elite akan menampilkan hasil perhitungan bejana tekan berupa tabel dan nilai hasil perhitungan.

d. Pemilihan ketebalan material dan MAWP

Hasil perhitungan ketebalan material dari *software* PV Elite berupa tebal minimal yang dibutuhkan pada bejana tekan. Sedangkan pemilihan ketebalan material didasarkan pada ketersediaan tebal material yang ada dipasaran, dengan spesifikasi harus lebih tebal dibandingkan dengan tebal minimal hasil perhitungan *software* PV Elite.

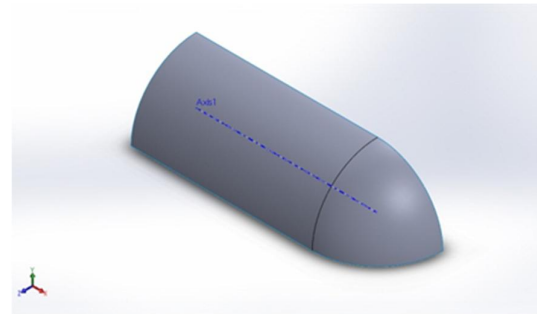
Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) adalah tekanan kerja maksimal yang diijinkan pada bejana tekan. MAWP diambil dari perhitungan tekanan maksimum yang diizinkan pada komponen *shell*, *head* dan *flange*. Dari ketiga komponen tersebut diambil nilai yang paling kecil untuk dijadikan MAWP pada perancangan bejana tekan.

2.3 Analisa dengan Software Solidworks

a. Pre Processing

• Pemodelan menggunakan Solidworks

Pembuatan geometri 3 dimensi menggunakan *software* solidworks, ukuran komponen sesuai dengan gambar 1. Komponen yang dibuat pada analisa ini hanya 2 komponen saja, yaitu komponen *head* dan *shell*, dikarenakan analisa yang akan dibuat adalah analisa tegangan *circumferential* dan tegangan *longitudinal*, sehingga dengan kedua komponen tersebut sudah memenuhi syarat untuk dilakukannya analisa.



Gambar 5. Pemodelan geometri 3 dimensi komponen *shell* dan *head*

- **Pemilihan study pada solidworks**
Study dipilih untuk menentukan jenis simulasi yang akan digunakan. Pada penelitian ini *study* yang digunakan adalah *statics simulation*.

• Pemilihan material & memberikan data ketebalan material

Komponen 3 dimensi yang sudah dibuat, kemudian ditambahkan data fisik berupa material yang digunakan pada komponen tersebut. Material yang digunakan pada komponen *shell* dan *head* adalah A 516 Gr B.

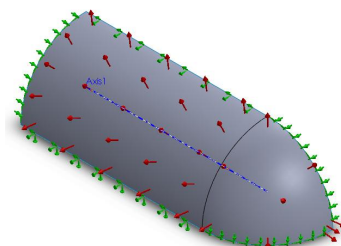
Komponen pada gambar 5 masih berbentuk *surface* yang artinya belum memiliki ketebalan material. Tambahkan ketebalan material sesuai dengan hasil perhitungan tebal material pada *software* PV Elite.

• Menentukan tumpuan pada simulasi

Pemilihan jenis tumpuan dilakukan untuk membatasi pergerakan komponen ketika simulasi dilakukan. Tumpuan yang digunakan pada penelitian ini adalah *fixed geometry* dengan tipe lanjutan *symmetri*. Kemudian aplikasikan pada model komponen yang sudah dibuat. Gambar tumpuan bisa dilihat pada gambar 6, ditandai dengan simbol anak panah berwarna hijau.

• Menentukan beban

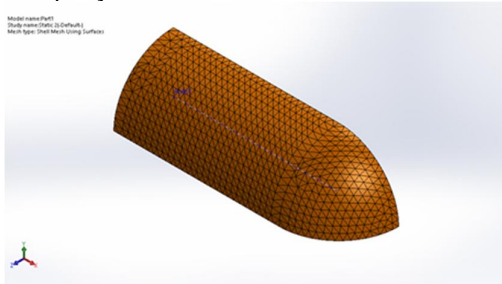
Beban yang diterima oleh bejana tekan adalah beban tekanan dan beban temperatur, pada penelitian ini beban yang berpengaruh adalah beban tekanan [9]. Tambahkan beban tekanan pada *software* solidworks sebesar 600 psig dengan arah mengenai atau mengarah ke dinding bejana tekan, lihat pada gambar 6 ditandai dengan simbol anak panah berwarna merah.



Gambar 6. Pemodelan kondisi fisik

• Meshing

Bidang komponen yang terkena beban tekanan, dibagi-bagi dalam elemen-elemen kecil. Elemen-elemen kecil ini nantinya berperan sebagai kontrol surface atau volume dalam proses perhitungan, kemudian tiap-tiap elemen ini akan menjadi masukkan untuk elemen disebelahnya. *Mesh* yang digunakan pada penelitian ini adalah level 8, semakin rapat elemennya maka semakin akurat perhitungan yang didapat. Namun menambah waktu penyelesaian simulasi.



Gambar 7. Meshing

b. Analysis

Dengan bantuan *software* solidworks *statics simulation*, kondisi-kondisi yang telah ditetapkan pada saat *pre processing* akan dihitung (diiterasi). Untuk mendapatkan hasil perhitungan tegangan *circumferential* dan tegangan *longitudinal*, pada hasil simulasi tegangan pilih kriteria simulasi *1st Prinsipal stress* dan *2nd Prinsipal stress*.

c. Post Processing

Hasil dari perhitungan *software* solidworks berupa warna yang berbeda-beda pada komponen, yang menandakan tingkat tegangan yang terjadi pada komponen tersebut. Hasil perhitungan juga menginformasikan nilai tegangan tertinggi dan terendah serta lokasi tegangan tertinggi dan terendah.

d. Analisa Hasil

Tegangan *circumferential* dan tegangan *longitudinal* dinyatakan aman, apabila tegangan tersebut lebih kecil dibandingkan dengan tegangan izin maksimum pada material.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Software PV Elite

Data-data yang sudah di masukan pada *software* PV Elite kemudian akan diolah oleh *software* tersebut, dan didapatkan hasil berupa tabel sebagai berikut:

a. Tebal Material Shell dan Head

Tabel 2. Hasil tebal material shell dan head

No	Diskripsi	Tebal minimal (mm)
1	Head	19.5557
2	Shell	20.1194

Hasil ketebalan material *shell* berdasarkan perhitungan dari *software* PV Elite didapatkan hasil 20.1194 mm. Menyesuaikan ketebalan material yang berada dipasaran, pada penelitian ini ketebalan material *shell* yang digunakan adalah 22 mm.

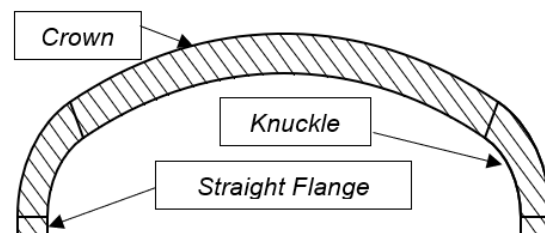
Minimal tebal material *head* yang digunakan adalah 19.5557 mm. Pada pemilihan ketebalan material *head*, selain mempertimbangkan ketersediaan material yang ada dipasaran, juga harus mempertimbangkan ketebalan pada bagian *knuckle head*, lihat gambar 8. Untuk mendapatkan ketebalan material (t-nom) pada bagian *knuckle head*, dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$t\text{-nom} : (25 \% \times t\text{-minimal}) + x t\text{-minimal} \quad (1)$$

Perhitungan ini dilakukan dikarenakan, pada proses pembuatan *head*, material *plate* A 516 Gr B mengalami proses *forming*. Pada proses ini mengakibatkan tebal material pada bagian *knuckle* menjadi menyusut. Agar pada bagian *knuckle* tetap memiliki tebal minimal sesuai dengan perhitungan yang didapatkan dari *software* PV Elite yaitu 19.5557 mm, maka dilakukan proses perhitungan seperti persamaan (1), sebelum memilih ketebalan material. Hasil perhitungannya adalah:

$$\begin{aligned} t\text{-nom} & : (25 \% \times t\text{-minimal}) + x t\text{-minimal} \\ & : (25\% \times 19.5557) + 19.5557 \\ & : 24.444625 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mengacu pada perhitungan *knuckle head* diatas, tebal material *head* yang dipilih adalah 28 mm, tebal ini dipilih karena memiliki tebal yang lebih besar dari pada perhitungan material t-nom, dan menyesuaikan tebal material *plate* A 516 Gr B yang tersedia dipasaran.



Gambar 8. Detail head ellipsoidal 2:1

b. Tebal Nozzle

Tabel 3. Hasil tebal (*schedule*) dan rating nozzle

No	Jmlh	Ukrm	Facing	Rating	Sch
N1	1	6"	WN.RF	300	80
N2	1	6"	WN.RF	300	80
N3	1	2"	WN.RF	300	160
N4	1	2"	WN.RF	300	160
N5	1	2"	WN.RF	300	160
N6	1	2"	WN.RF	300	160
N7	1	2"	WN.RF	300	160
N8A/B	2	2"	WN.RF	300	160

N9	1	2"	WN.RF	300	160
N10	1	2"	WN.RF	300	160
MH	1	24"	WN.RF	300	T20

Rating digunakan untuk menggolongkan material *flange*, berdasarkan batasan tekanan kerjanya. Pemilihan material *flange* didasarkan pada tekanan desain bejana tekan, tekanan kerja maksimum material *flange* harus lebih besar dibandingkan tekanan desain bejana tekan. *Rating flange* 300# memiliki tekanan maksimum 740 psig [10].

Ketebalan material pipa dan *flange* pada *nozzle* disebut dengan *schedule* (sch). Berdasarkan standard ASME / ANSI B36.10, pipa 6" sch 80 memiliki ketebalan 10.97 mm. Pipa 2" sch 160 memiliki ketebalan 8.74 mm.

c. Hasil MAWP

Tabel 4. MAWP bejana tekan

No	Komponen	MAWP (psi)
1	Head	881,910
2	Shell	665,429
3	Nozzle	740

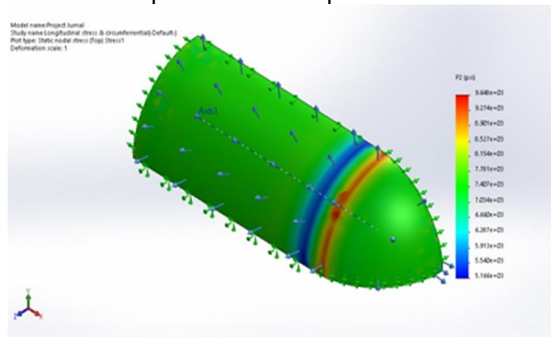
Didapatkan data perhitungan MAWP seperti pada tabel diatas. Pada tabel tersebut komponen *shell* memiliki MAWP yang paling kecil yaitu 665,429 psi, dan material *head* memiliki MAWP yang paling besar yaitu 881,910 psi. Dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini, bejana tekan memiliki MAWP sebesar 665,429 psi.

3.2 Hasil Analisa Software Solidworks

a. Tegangan Longitudinal

Tegangan *longitudinal* adalah tegangan yang searah dengan panjang pipa. Jika tegangan tersebut melebihi tegangan izin material, kemungkinan bejana tekan yang direncanakan akan mengalami kegagalan, yaitu bejana bisa terputus menjadi 2 bagian.

Berdasarkan perhitungan dengan *software* solidworks diperoleh hasil seperti dibawah ini:



Gambar 9. Tegangan Longitudinal

Tabel 5. Nilai tegangan longitudinal

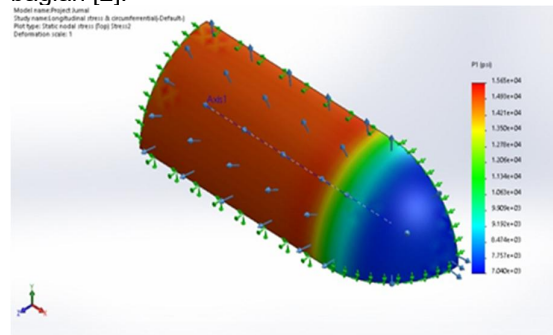
Tegangan	Tegangan Terendah	Tegangan Tertinggi
Longitudinal	5166 psi	9648 psi

Node : 302	Node: 669
------------	-----------

Tegangan *longitudinal* tertinggi pada dinding bejana tekan adalah 9648 psi dengan lokasi di *node*: 669, dan memiliki tegangan terendah dengan tekanan 5166 psi dengan lokasi di *node*: 302.

b. Tegangan Circumferential

Tegangan *Circumferential* adalah tegangan dengan arah melingkar. Jika tegangan tersebut melebihi tegangan izin material, kemungkinan bejana tekan yang direncanakan akan mengalami kegagalan, yaitu bejana bisa terbelah menjadi dua bagian [2].



Gambar 10. Tegangan Circumferential

Tabel 6. Nilai tegangan Circumferential

Tegangan	Tegangan Terendah	Tegangan Tertinggi
Circumferential	7040 psi Node : 78	15650 psi Node: 517

Tegangan *Circumferential* tertinggi pada dinding bejana tekan adalah 15650 psi dengan lokasi di *node*: 517, dan memiliki tegangan terendah dengan tekanan 7040 psi dengan lokasi di *node*: 78.

c. Analisis Hasil

Tegangan longitudinal (*longitudinal stress*) pada dinding bejana tekan lebih kecil (9648 psi) dari pada tegangan ijin material yang digunakan (20000 psi), maka bejana tekan dinyatakan aman. Tegangan melingkar (*circumferential stress*) pada dinding bejana tekan lebih kecil (1565 psi) dari pada tegangan ijin material yang digunakan (20000 psi), maka bejana tekan dinyatakan aman.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan perencanaan dengan *software* dari PV Elite dan solidworks didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Tebal *shell* yang digunakan adalah 22 mm. dan tebal *head* yang digunakan adalah 28mm.
2. Tebal dan *rating nozzle* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil tebal (*schedule*) dan *rating nozzle*

No	Jmlh	Ukurn	Facing	Rating	Sch
N1	1	6"	WN.RF	300	80
N2	1	6"	WN.RF	300	80
N3	1	2"	WN.RF	300	160
N4	1	2"	WN.RF	300	160
N5	1	2"	WN.RF	300	160
N6	1	2"	WN.RF	300	160
N7	1	2"	WN.RF	300	160
N8A/B	2	2"	WN.RF	300	160
N9	1	2"	WN.RF	300	160
N10	1	2"	WN.RF	300	160
MH	1	24"	WN.RF	300	T20

3. Tekanan kerja maksimal yang diijinkan pada bejana tekan (MAWP) adalah 665,429 psi.
4. Tegangan *longitudinal* pada dinding bejana tekan adalah 9648 psi, dan tegangan *circumferential* pada dinding bejana tekan adalah 1565 psi. Tegangan izin yang diizinkan material adalah 20000 psi, maka tegangan yang terjadi pada bejana tekan masih dalam kondisi aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Devaraju, A., & Pazhanivel, K. (2015). A Study on Stress Analysis for Design of Pressure Vessel. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 3, 98-101.
- [2] Rodiawati, M., Risano, A.Y.E., & Su'udi, A. (2013). Perancangan Bejana Tekan (pressure Vessel) untuk Pengolahan Limbah Kelapa Sawit dengan Variabel Kapasitas Produksi 10.000 ton/bulan. *Jurnal FEMA*, 1(4), 36-41.
- [3] Raparla, S.K., & Sesaiah, T. (2012). Design and Analysis of Multilayer High-Pressure Vessels. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(1), 355-361.
- [4] Satrijo, D., & Habsya, S.A. (2012). Perancangan dan Analisa Tegangan pada Bejana Tekan Horizontal dengan Metode Elemen Hingga. *Rotasi*, 14(3), 32-40.
- [5] Mali, A., Bashale H., Bedi, D.S., & Modasara Akash. (2017). Design of Vertical Pressure Vessel using PV Elite software. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(1), 2147-2153.
- [6] Hendrawan, M.A., Purboputro, P.I., Saputro, M.A., & Setiyadi, W. (2018). Perancanganchassis Mobil Listrik Prototype "Ababil" dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016. *The 7th University Research Colloquium 2018 STIKES PKU Muhammadiyah Surakarta*, 96-105.
- [7] Putro, Y.P.W. (2015). Simulasi Aliran Pada Silinder Sirkular dengan menggunakan Software Solidworks. *JTM Universitas Surabaya*, 3(1), 178-185.
- [8] Winarso, R. (2014). Simulasi dan Pemodelan Metal Bearing Menggunakan Elemen Hingga. *Prosiding SNATIF Ke -1 Tahun 2014*, 189-196.
- [9] Moss, R., D. (2004). *Pressure Vessel Design manual 3th edition*. USA: Gulf Profesional Publishing.
- [10] Buthod, P., & Megyessy, E.F. (2004). *Pressure Vessel Handbook*. Oklahoma: Pressure Vessel Publishing Inc.