

ANALISIS TEGANGAN PADA BEJANA TEKAN VERTIKAL 13ZL100040291 DI PT. ANEKA GAS INDUSTRI

Efrando Manullang¹⁾, Stenly Tangkuman²⁾, Benny L. Maluegha³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi
Jl. Kampus UNSRAT, Manado

ABSTRACT

A pressure vessel is a container for a pressurized fluid, both liquid or gas. The stress on the shell of pressure vessel must have serious attention because the stress is the basic in determining the dimension and the type of material used, and also the treatment for the pressure vessel.

This research intended to obtain the maximum stress in the pressure vessel 13ZL100040291 of the working pressure. The object of this research was a vertical type cryogenic pressure vessel at PT. Aneka Gas Industri, sagrat, Bitung. The analysis was conducted by applying the finite element method aided by softwares.

Research results showed that the maximum stress at the inner vessel based on the software simulation is 203,79 MPa, with nominal stress of 33.965 MPa. The nominal stress based on the calculation using mechanical theory is 37,24 MPa. The stress calculation in simulation using software had considered the stress concentration. Afterwards, based on the simulation results, it was found that the stress concentration at the inner vessel and outer vessel is 6.

The maximum stress calculated by the simulation software at inner vessel and outer vessel is still in the safe limit, because the Von Mises stress is smaller than the allowed stress of each material used.

Keyword: *pressure vessel, inner vessel, outer vessel, stress*

ABSTRAK

Bejana tekan (*pressure vessel*) merupakan suatu wadah untuk fluida bertekanan, baik fluida cair maupun gas. Tegangan pada dinding bejana tekan harus mendapat perhatian serius karena tegangan menjadi dasar dalam penentuan dimensi dan jenis material yang digunakan serta perlakuan pada bejana tekan.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh tegangan maksimum pada bejana tekan 13ZL100040291 terhadap tekanan kerjanya. Objek penelitian ini merupakan bejana tekan jenis *cryogenic* vertikal yang terdapat di PT. Aneka Gas Industri, Kelurahan Sagrat, Bitung. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga berbantuan perangkat lunak.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan maksimum berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak pada *inner vessel* adalah sebesar 203.79 MPa, dan tegangan nominal yang diperoleh adalah sebesar 33,965 MPa. Besaran tegangan nominal pada perhitungan teori mekanika adalah 37,24 MPa. Perhitungan tegangan pada simulasi menggunakan perangkat lunak telah memperhitungkan masalah konsentrasi tegangan. Selanjutnya didapatkan bahwa nilai konsentrasi tegangan pada *inner vessel* dan *outer vessel* berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar 6.

Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *inner vessel* maupun *outer vessel* masih dalam kategori aman, karena nilai tegangan (Von Mises) yang terjadi lebih kecil dibandingkan tegangan ijin dari setiap bahan yang digunakan.

Kata kunci: *Bejana tekan, inner vessel, outer vessel, tegangan*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bejana tekan (*pressure vessel*) merupakan sebuah wadah yang berfungsi sebagai penampung fluida bertekanan, baik fluida cair maupun gas. Dalam perancangan bejana tekan di dunia industri, harus memperhitungkan tegangan-tegangan yang muncul pada dinding bejana tekan. Tegangan yang terjadi dapat diakibatkan oleh faktor eksternal berupa beban angin dan gempa, serta faktor internal yang diakibatkan oleh tekanan kerja dan berat bejana itu sendiri. (Purnomo dan Satrijo, 2012)

Seiring dengan kemajuan industri, penggunaan bejana tekan sebagai wadah fluida bertekanan semakin meningkat, yang menyebabkan meningkatnya produksi bejana tekan sebagai penampung material. Namun, banyak bejana tekan yang dirancang tidak sesuai dengan beban yang akan diterima, sehingga mengakibatkan kegagalan pada material bejana tekan tersebut.

Tegangan pada suatu bejana tekan tidak dapat diabaikan karena tegangan adalah dasar penentuan

dimensi dan jenis material yang digunakan pada bejana tekan. Penerapan pendekatan secara analitis maupun dengan perangkat lunak diharapkan mampu memberikan analisis tegangan yang terjadi pada bejana tekan sehingga dapat diketahui besar dan posisi tegangan maksimum yang terjadi, sehingga dapat terhindar dari hal-hal yang tidak diinginkan.

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana distribusi tegangan yang terjadi pada dinding bejana tekan tipe 13ZL100040291 di PT. Aneka Gas Industri Bitung.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh tegangan maksimum pada bejana tekan 13ZL100040291 terhadap tekanan kerja maksimum.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian penulisan skripsi ini lebih terarah dan jelas, maka bidang bahasan akan dibatasi pada beberapa hal berikut :

1. Obyek penelitian merupakan bejana tekan tipe

13ZL100040291 (LOX1) di PT. Aneka Gas Industri.

2. Bejana tekan yang dianalisis merupakan bejana tekan vertikal.
3. Analisis tegangan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench 2014 dan model bejana tekan dibuat menggunakan SolidWork 2013

2. ANALISIS TEGANGAN

Bejana tekan merupakan suatu wadah untuk menyimpan fluida bertekanan. Fluida yang disimpan dapat mengalami perubahan keadaan pada saat kondisi suhu di dalam bejana tekan meningkat ataupun menurun, seperti pada penampung gas cair. (Supriyanto dan Satrijo, 2012).



Gambar 1 Bejana tekan di PT. Aneka Gas Industri

Konsentrasi tegangan terjadi akibat perubahan bentuk dan dimensi dari sebuah benda. Besarnya konsentrasi tegangan dapat diketahui dengan menghitung faktor konsentrasi tegangan (K) (*stress concentration factor*), dimana SCF merupakan perbandingan antara tegangan tertinggi (σ_{max}) dan tegangan nominal (σ_{nom}).

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \dots \dots \dots (1)$$

2.1 Analisis Tegangan Pada *Cylindrical Shell*

Analisis bejana tekan silinder dilakukan dibawah tekanan internal *uniform* yang bekerja pada seluruh permukaan silinder bagian dalam. Geometrikal silinder ini sangat banyak dipakai pada bejana tekan pada umumnya di industri-industri.

Tegangan yang bekerja pada bidang diferensial adalah σ_L (bidang longitudinal) & σ_t (bidang transversal). (Bednar, 1986).

Dengan memasukan tekanan fluida (P), radius *shell* (R), dan tebal dinding *shell* (t) didapat nilai tegangan longitudinal (σ_L):

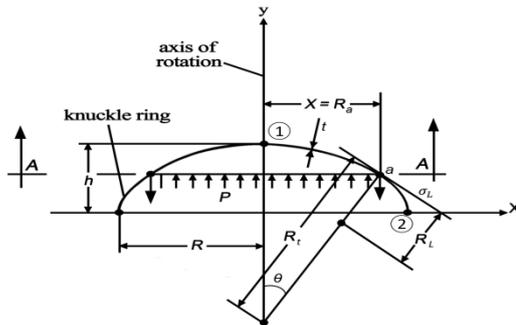
$$\sigma_L = PR / 2t \dots \dots \dots (2)$$

dan tegangan tangensial (σ_t):

$$\sigma_t = PR_t / t = PR / t \dots \dots \dots (3)$$

2.2 Analisis Tegangan Pada Semiellipsoidal Head 2:1

Semiellipsoidal head 2:1 adalah bentuk geometrikal yang banyak digunakan dalam desain, dengan rasio R :



Gambar 2 *Semiellipsoidal head* 2:1

$h = 2 : 1$. Dengan rasio geometrikal untuk *point* 1 dan 2 seperti pada Gambar 2 (Bednar, 1986):

Dengan memasukkan tekanan fluida (P), radius *head* (R), tebal dinding *head* (t), dan tinggi *head* (h) didapat tegangan tangensial pada *semiellipsoidal head* 2:1 didapat:

Point 1

$$\sigma_t = \frac{P R^2}{2th} \dots\dots\dots(4)$$

Point 2

$$\sigma_t = \frac{P R}{2t} \dots\dots\dots(5)$$

dan tegangan tangensial pada *Semiellipsoidal Head* didapat:

Point 1

$$\sigma_L = \frac{P R^2}{2th} \dots\dots\dots(6)$$

Sehingga, $\sigma_t = \sigma_L$

Point 2

$$\frac{PR}{t} \left(1 - \left(\frac{R^2}{2h^2} \right) \right) = \sigma_t \dots\dots(7)$$

2.3 Metode Energi Distorsi (Von Mises)

Metode ini mendefinisikan mengenai istilah baru, tegangan *Von Mises* , yang ditunjukkan dengan simbol σ' , yang untuk tegangan-tegangan biaksial, dengan tegangan utama maksimal dan minimal, σ_1 dan σ_2 , dapat dihitung dari:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \dots\dots(8)$$

Kegagalan diprediksi akan terjadi jika $\sigma' > S_y$. (Mott, 2009).

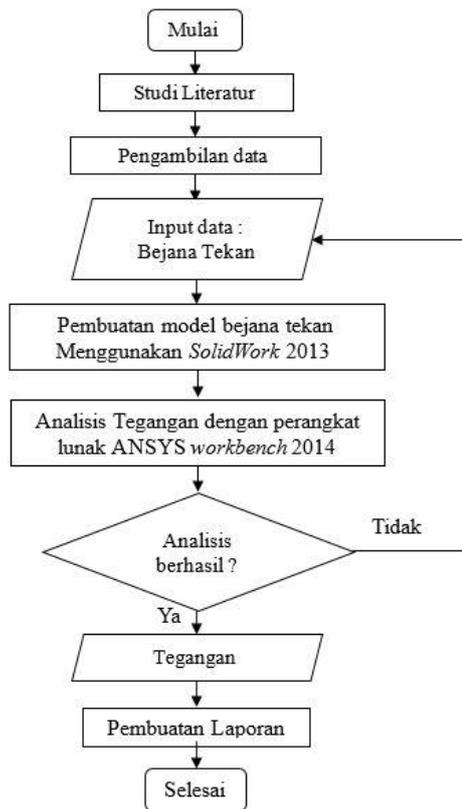
3. PROSEDUR PENELITIAN

Simulasi dalam penelitian ini menggunakan prinsip metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak. Prosedur penelitian dilakukan seperti pada Gambar 3:

Pada penelitian ini dimulai dengan studi literatur, lalu kemudian pengambilan data yang terdiri dari data primer berupa data umum bejana tekan dan data sekunder berupa desain bejana tekan.

Pada pengimputan data, dimulai dengan membuat model bejana tekan menggunakan

perangkat lunak Solidwork 2013, dan kemudian dilanjutkan dengan analisis tegangan menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench 2014.



Gambar 3 Gambar diagram penelitian

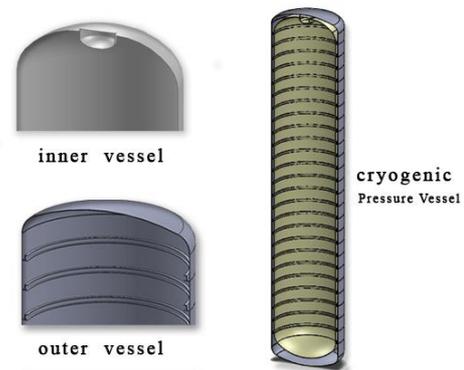
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Bejana Tekan

Data yang diperoleh dari PT. Aneka Gas Industri berupa data desain bejana tekan kemudian dibuat model bejana tekan menggunakan perangkat lunak SolidWork 2013.

Komponen-komponen yang dibuat diantaranya *shell* dan *head* dari bejana tekan. Jenis bejana tekan

yang akan dianalisis adalah bejana tekan *cryogenic* sehingga dalam pembuatan model bejana tekan dilakukan pemisahan yaitu pembuatan *inner vessel* dan pembuatan *outer vessel* serta sekat-sekat pemisah antara *ouet* dan *inner vessel*.



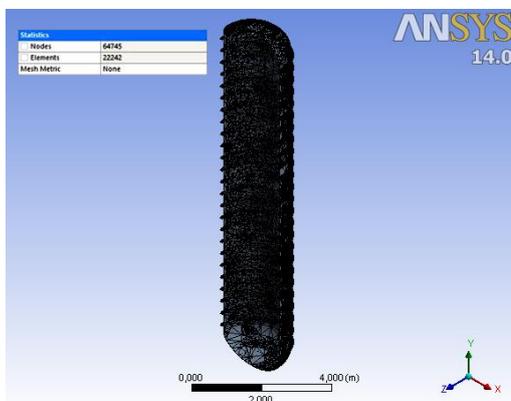
Gambar 4 Bagian-bagian bejana tekan

Hasil akhir dari model bejana tekan 13ZL100040291 (LOX1) dapat dilihat pada Gambar 4. Bejana tekan yang diteliti merupakan bejana tekan *cryogenic* yang memiliki ruang vakum untuk menjaga agar suhu cairan oksigen yang ditampung dalam *inner vessel* tidak berubah. Model yang telah dibuat kemudian disimpan dengan format STEP AP214 agar dapat dianalisis menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench 2014.

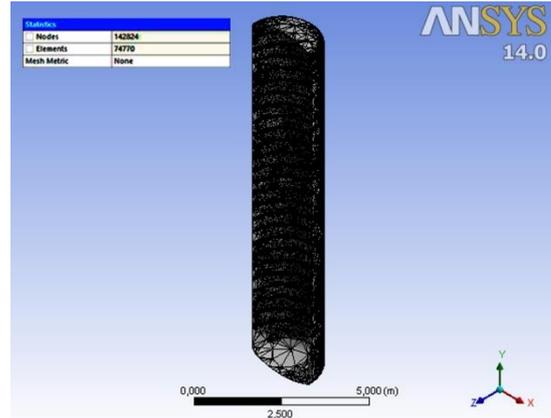
4.2 Analisis Tegangan Menggunakan Perangkat Lunak

Untuk proses analisis tegangan yang terjadi pada bejana tekan digunakan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench 2014 dengan pembebanan pada *inner vessel* berupa tekanan maksimum saat produksi di bulan juli sebesar 200.000 Pa, dan pembebanan pada *outer vessel* berupa berat *inner* dan *liquid oxygen* sebesar 20.799,45 N.

Langkah analisis tegangan pada perangkat lunak ANSYS Workbench 2014 dapat dimulai dengan menjalankan perangkat lunak ini lalu kemudian *input* model bejana tekan, lalu masukkan data bahan bejana pada *engineering data*. Kemudian bejana tekan dibagi ke dalam elemen-elemen kecil dengan melakukan *meshing* pada model seperti terlihat pada Gambar 5 dan 6

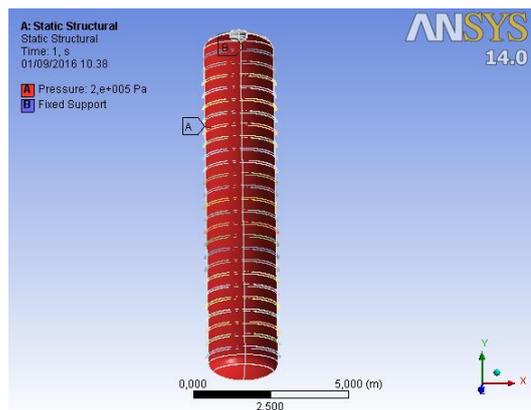


Gambar 5 Meshing inner vessel

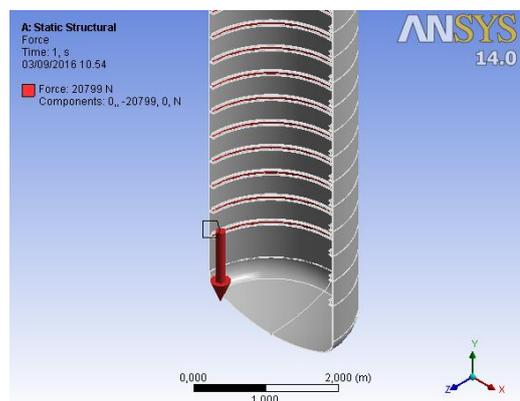


Gambar 6 Meshing outer vessel

Setelah membagi model menjadi elemen-elemen kecil kemudian *input* gaya yang diterima setiap model.



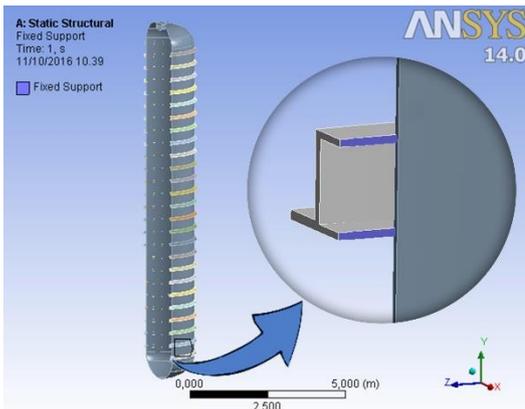
Gambar 7 Pemberian gaya pada inner



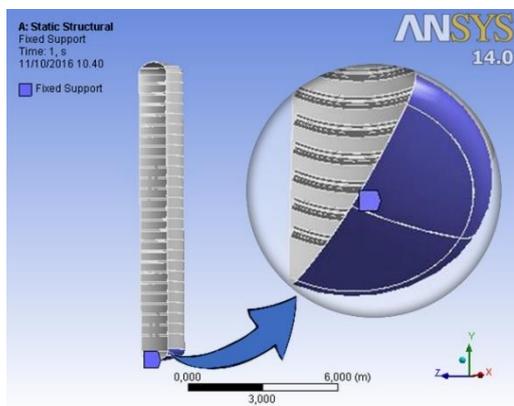
Gambar 8 Pemberian gaya pada outer

Pada gambar 7 dan 8 dapat dilihat pembebanan pada *inner vessel* diberikan gaya tekanan sebesar 200.000 Pa, dan pada *outer vessel* diberikan gaya berat sebesar 20.799,45 N.

Tahapan selanjutnya sebelum analisis tegangan dilakukan, tumpuan pada model bejana tekan dipilih terlihat pada Gambar 9 dan 10, tumpuan *inner vessel* terdapat pada sekat-sekat pemisah, dan pada *outer vessel* terdapat di bawah *outer*.



Gambar 9 Pemilihan tumpuan pada *inner*

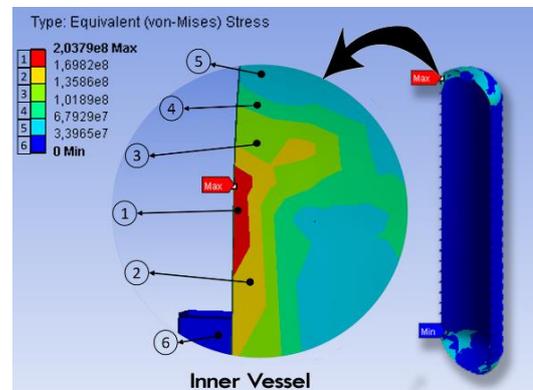


Gambar 10 Pemilihan tumpuan pada *outer*

Tumpuan pada model bejana tekan ditunjukkan dengan sebaran warna biru yang terlihat pada Gambar 9 dan 10

Setelah selesai memilih tumpuan maka tahapan selanjutnya memilih analisis yang diinginkan. Pada penelitian ini analisis yang digunakan merupakan tegangan von mises, maka pada *solution* pilih *equivalent elastic strain (Von Mises)*.

Hasil analisis tegangan dengan perangkat lunak didapat tegangan maksimum pada *inner vessel* terletak pada *head* atas *point 2*, sebesar 207.33 MPa seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Tegangan *Von Mises* pada *inner*

Perbedaan warna pada setiap bagian dinding *inner vessel* menggambarkan besaran tegangan yang diterima oleh dinding tersebut.

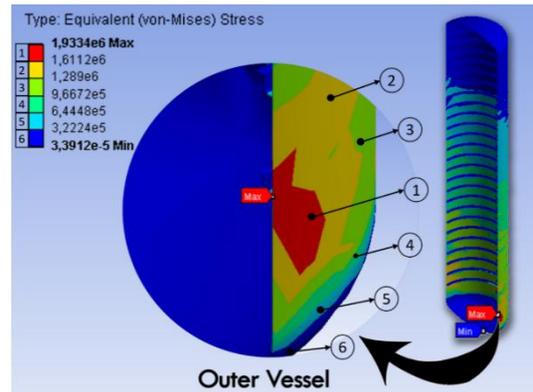
Dari hasil analisis tegangan menggunakan bantuan perangkat lunak dapat diketahui konsentrasi tegangan yang terjadi pada *inner vessel*, yaitu dengan membagi tegangan rata-rata yang terjadi pada *head* terhadap tegangan maksimum dengan menggunakan persamaan (1) didapat konsentrasi tegangan.

$$K = \frac{203.79 \text{ MPa}}{33.965 \text{ MPa}}$$

$$K = 6$$

Tegangan maksimum yang terjadi pada *inner vessel* masih dalam kategori aman, karena tegangan yang terjadi sebesar 203.79 MPa lebih kecil dibanding dengan tegangan ijin sebesar 520 MPa pada bahan Q245R *Steinless steel*.

Hasil tegangan maksimum pada *outer vessel* dengan menggunakan perangkat lunak didapat sebesar 1.9334 MPa. Terlihat pada Gambar 13, tegangan maksimum terdapat di dinding *outer vessel* yang bersentuhan dengan sekat-sekat dari bagian *outer vessel*.



Gambar 12 Tegangan *Von Mises* pada *outer*

Nilai konsentrasi tegangan pada bejana tekan dengan menggunakan persamaan (1) didapat.

$$K = \frac{1.9334 \text{ MPa}}{0.32224 \text{ MPa}}$$

$$K = 6$$

Tegangan yang terjadi pada *outer vessel* masih dalam kategori aman, karena tegangan yang terjadi sebesar 1.9334 MPa pada *outer vessel* lebih kecil dari tegangan ijin sebesar 231 MPa pada bahan S30408 *Steinless steel*.

4.3 Analisis Tegangan Menggunakan Teori Mekanika

Analisis tegangan dengan teori mekanika dilakukan untuk memvalidasi hasil analisis menggunakan perangkat lunak. Analisis tegangan menggunakan

teori mekanika dilakukan pada *inner vessel*.

Tegangan yang terjadi pada *inner vessel* terdiri dari dua tegangan yaitu tegangan longitudinal dan tegangan tangensial.

Tegangan longitudinal didapat dengan menggunakan persamaan (2) untuk *shell*, persamaan (4) untuk *head point 1*, dan persamaan (5) untuk *head point 2*.

pada *shell* didapat:

$$\sigma_L = \frac{(200.000 \text{ Pa})(1.126 \text{ m})}{2(0.006 \text{ m})}$$

$$\sigma_L = \frac{225.200 \text{ Pa.m}}{0.012 \text{ m}}$$

$$\sigma_L = 18.76 \text{ MPa}$$

pada *head point 1* didapat:

$$\sigma_L = \frac{(200.000 \text{ Pa})(1.126 \text{ m})^2}{2(0.008 \text{ m})(0.563 \text{ m})}$$

$$\sigma_L = \frac{(253.575.20 \text{ Pa.m})}{(0.009008 \text{ m}^2)}$$

$$\sigma_L = 28.15 \text{ MPa}$$

Pada *head point 2* didapat:

$$\sigma_L = \frac{(200.000 \text{ Pa})(1.126 \text{ m})}{2(0.008 \text{ m})}$$

$$\sigma_L = \frac{(225.200 \text{ Pa.m})}{(0.016 \text{ m})}$$

$$\sigma_L = 14.075 \text{ MPa}$$

Tegangan tangensial didapat dengan menggunakan persamaan (3) untuk *shell*, persamaan (6) untuk *head point 1*, dan persamaan (7) untuk *head point 2*.

pada *shell* didapat:

$$\sigma_t = \frac{(200.000 \text{ Pa})(1.126 \text{ m})}{(0.006 \text{ m})}$$

$$\sigma_t = \frac{225.200 \text{ Pa.m}}{0.006 \text{ m}}$$

$$\sigma_t = 37.53 \text{ MPa}$$

Pada *head point 1* didapat tegangan tangensial sama dengan tegangan longitudinal yaitu sebesar 28.15 MPa.

dan tegangan tangensial pada *head point 2* didapat:

$$\sigma_t = \frac{(200.000 \text{ Pa})(1.126 \text{ m})}{0.008 \text{ m}} \left[1 - \left(\frac{(1.126 \text{ m})^2}{2(0.563 \text{ m})^2} \right) \right]$$

$$\sigma_t = \frac{(225.200 \text{ Pa.m})}{0.008 \text{ m}} \left[1 - \left(\frac{(1.2678 \text{ m}^2)}{(0.6339 \text{ m}^2)} \right) \right]$$

$$\sigma_t = 28.150.000 \text{ Pa} [1 - 2]$$

$$\sigma_t = -28.15 \text{ MPa}$$

Tegangan-tegangan yang terjadi pada bejana tekan adalah tegangan gabungan antara tegangan tangensial dan tegangan longitudinal, sehingga untuk menganalisisnya digunakan metode energi distorsi atau biasa disebut metode *Von Mises*.

Dengan menggunakan persamaan (8) didapat tegangan *Von Mises*.

Pada *shell* bejana tekan didapat :

$$\sigma' = \sqrt{18.76^2 \text{ MPa} + 37.53^2 \text{ MPa} - 18.76 \text{ MPa} 37.53 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = \sqrt{351.94 \text{ MPa} + 1.408.50 \text{ MPa} - 704.06 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = \sqrt{1.056.38 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = 32.5 \text{ MPa}$$

pada *point 1*

$$\sigma' = \sqrt{28.15^2 \text{ MPa} + 28.15^2 \text{ MPa} - 28.15 \text{ MPa} 28.15 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = \sqrt{792.42 \text{ MPa} + 792.42 \text{ MPa} - 792.42 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = \sqrt{792.42}$$

$$\sigma' = 28.15 \text{ MPa}$$

pada *point 2*

$$\sigma' = \sqrt{14.075^2 \text{ MPa} + (-28.15^2 \text{ MPa}) - 14.075 \text{ MPa}(-28.15 \text{ MPa})}$$

$$\sigma' = \sqrt{198.11 \text{ MPa} + 792.42 \text{ MPa} + 396.21 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = \sqrt{1.386.74 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = 37.24 \text{ MPa}$$

4.4 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan maksimum berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak pada *inner vessel* adalah sebesar 203.79 MPa, dan tegangan nominal yang diperoleh adalah sebesar 33,965 MPa. Besaran tegangan nominal pada perhitungan mekanika (analitis) adalah 37,24 MPa. Perhitungan tegangan pada simulasi menggunakan perangkat lunak telah memperhitungkan masalah konsentrasi tegangan. Selanjutnya didapatkan bahwa nilai konsentrasi tegangan pada *inner vessel* dan *outer vessel* berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar 6.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tegangan *Von Mises* pada bejana tekan 13ZL100040291 dapat disimpulkan bahwa tegangan maksimum *Von Mises* yang didapat menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench 2014 pada *inner vessel* yaitu sebesar 203.79 MPa dan tegangan

maksimum *Von Mises* pada *outer vessel* adalah sebesar 1.9334 MPa. Tegangan yang terjadi baik pada *inner vessel* maupun *outer vessel* masih dalam kategori aman, karena tegangan yang terjadi lebih kecil dibandingkan tegangan ijin dari setiap bahan yang digunakan.

5.2 Saran

Pada bejana tekan didapat tegangan maksimum terjadi pada bagian ujung *shell*, dengan demikian untuk segi operasionalnya agar sepanjang ujung *shell* diperhatikan selalu.

DAFTAR PUSTAKA

- Bednar, H.H. 1986. *Pressure Vessel Design Handbook*. Second Edition. Krieger Publishing Company. Florida.
- Cahyono, E. 2004. *Perancangan Bejana Tekan Vertical Berisi Udara Untuk Peralatan Kapasitas 8.25 m³ Dengan Tekanan Kerja 5.7 kg/cm²*. Skripsi S1 Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Habsya, A. dan Satrijo D. 2012. *Perancangan dan Analisa*

Tegangan Pada Bejana Tekan Horizontal Dengan Metode Elemen Hingga.
Skripsi Program S1 Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Semarang.

Tegangan Pada Bejana Tekan Spherical Dengan Metode Elemen Hingga.
Skripsi Program S1 Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Semarang

Moran, J.M. dan Shapiro N.H. 2006.
Fundamentals Of Engineering Thermodynamics. 5th Edition.
John Wiley & Sons, Inc. England.

Zubaidi, A.B. 2012. *Analisis Perancangan Bejana Tekan (Shell Thickness, Nozzle Neck) Pada Shell and Tube Heat Exchanger Tipe Bem.*
Skripsi Program S1 Teknik Mesin Universitas Jember. Jember.

Mott, R.L. 2009. *Elemen-Elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis.* Terjemahan Rines, dkk. ANDI. Yogyakarta.

Purnomo, J. dan Satrijo D. 2012.
Perancangan Bejana Tekan Tipe Vertikal. Program S1 Teknik Mesin Univeristas Diponegoro. Semarang.

Rodiawati, M, dkk. 2013.
Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) Untuk Pengolahan Limbah Kelapa Sawit Dengan Variabel Kapasitas Produksi 10.000 Ton/Bulan. Jurnal FEMA. Vol 1. No 4.

Supriyanto, E. dan Satrijo Dj. 2012.
Perancangan dan Analisa