

ANALISA KELAYAKAN BEJANA BERTEKANAN TIPE VERTIKAL DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI AUTODESK INVENTOR

FEASIBILITY ANALYSIS OF VERTICAL TYPE PRESSURE VESSEL USING OFAUTODESK INVENTOR SIMULATION

I G.N.K. Yudhyadi *, Tri Rachmanto, I Made Suartika, Made Wijana, Fahrurrozi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83115

*Corresponding author

E-mail addresses: ngurah.yudhyadi@unram.ac.id

ABSTRACT

The minimum thickness of vertical type pressure vessel of column type distillation, must be planned in accordance with the recommended code of ASME (The American Society of Mechanical Engineering) VIII Div 1. Based on this code, the study aims to determine the feasibility of a pressure vessel that used by PT Pertamina (Persero). For this reason, and to be able to use this ASME code, various data was needed, especially the data sheets and some required data from the field. Based on the data that has been collected, it is then processed and was made a 3D modeling and was simulated using Autodesk Inventor software to test its feasibility. Based on the results of the study, the minimum thickness was obtained, namely head 13.66 mm, shell 13.69 mm, and skirt 3.47 mm, respectively. Taking into account the availability of materials on the market, namely SA-516 Grade 70, the recommended thickness of the head and shell sections was 14 and 5 mm, respectively. From the results of the safety analysis, it was found that at the stress of 0.217, 0.197, 0.196, and 0.195 MPa, the Von Mises stress that occurred were 0.249, 0.226, 0.225, and 0.224 MPa. From these data, based on the distortion energy failure theory, the head and shell materials which have yield strength of 260 MPa can be categorized as very safe because it does not exceed the yield strength of the material used.

Keywords: Distillation Column, Pressure Vessel, ASME VIII div 1, Stress analysis, Autodesk Inventor

1. Pendahuluan

PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit IV Cilacap merupakan salah satu dari 7 jajaran Refinery Unit di tanah air, yang memiliki kapasitas produksi terbesar yakni 348.000 barrel/hari, dan terlengkap fasilitasnya. Kilang ini bernilai strategis karena memasok 34% kebutuhan BBM nasional atau 60% kebutuhan BBM di Pulau Jawa (PT. Pertamina Refinery Unit IV). Dalam operasinya, salah satu alat bantu suatu yang digunakan adalah *distillation column* yang berupa tabung (*vessel*) bertekanan dan beroperasi pada temperatur tertentu. Alat ini berfungsi untuk memisahkan kandungan pada *acid gas* (gas alam yang bersifat asam) yang mengandung CO₂ (*karbondioksida*) dan H₂S (*hidrogen sulfida*) sehingga menjadi beberapa produk dengan metode *distillation*. Produk olahannya berupa bahan baku pembuatan gas LPG (*liquefied petroleum gas*) dan cairan murni untuk bahan baku pembuatan bahan kimia obat-obatan.

Dalam operasinya, bejana bertekanan yang digunakan harus mampu menahan gaya tekanan yang terjadi pada saat operasi baik tekanan internal maupun external sehingga tidak mengalami kerusakan. Kondisi ini disebabkan karena dalam operasinya bejana ini dikenai berbagai beban yang memberikan intensitas tegangan yang berbeda dalam komponennya yang merupakan fungsi dari sifat

beban, geometri, dan komponen konstruksinya [10]. Sehingga, bejana tekan dirancang berdasarkan kode tertentu yang memberikan persamaan dan aturan untuk keamanan pada komponen utamanya [4] dan dirancang sesuai dengan code ASME VIII Divisi 1 [1,2,3], sedangkan divisi 2 mempunyai daerah perancangan yang berbeda dengan divisi 1 dan 3 didasarkan pada tekanan dan temperturnya [9]. Beberapa masalah yang sering dialami dalam penggunaan tabung bertekanan ini seperti kebocoran, ledakan, tidak sesuai dengan operasi, distorsi dan keluaran produk tidak sesuai harapan. Sehingga dalam mendisainnya sangat dibutuhkan analisa tegangan yang menyeluruh sangat penting dilakukan untuk mengetahui kondisi tegangan yang terjadi pada bejana tersebut saat beroperasi [10].

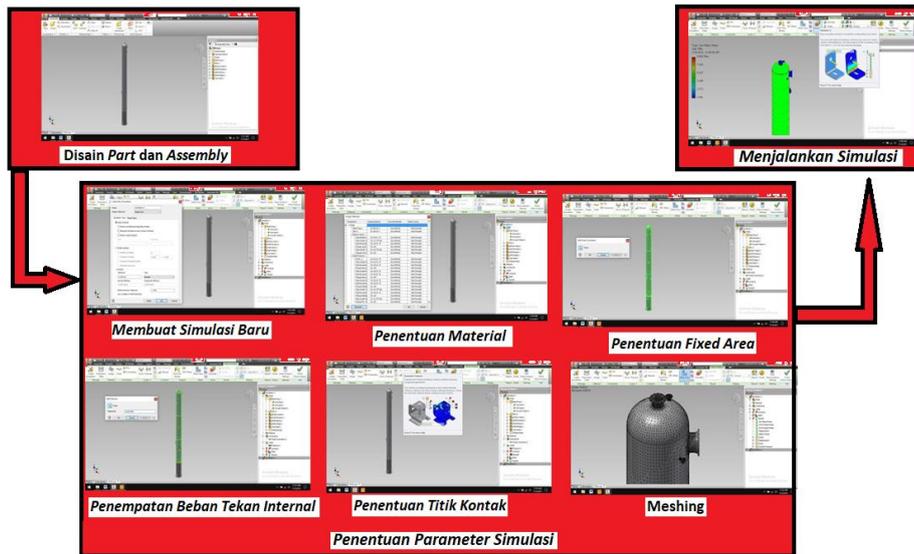
Dalam perencanan tabung bertekanan, pemilihan material yang direkomendasikan adalah menggunakan spesifikasi material SA 516 grade 70. Hal ini disebabkan karena dengan spesifikasi material tersebut memiliki *yield strength* sampai 260 Mpa, sehingga mampu menahan beban tekan yang terjadi akibat operasi pengolahan *acid gas* di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit IV Cilacap. (Section Head Project Engineering, 2016). Selanjutnya, perancangan bejana tekan vertikal dengan variasi pembebanan pada *nozzle* dapat dilakukan dengan simulasi pembebanan eksentris. Hasil dari Analisa menunjukkan bahwa perubahan beban akan meningkatkan rasio tegangan dari *nozzle* dan *reinforcement pad* [7, 8]. Selanjutnya, dalam mendisain bejana bertekanan, analisa kegagalan sangat dibutuhkan. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan. Secara umum jenis kegagalan yang terjadi pada material dapat berupa *fatigue*, keausan (*wear*), korosi (*corrosion*), patah (*fracture*), *impact* dan lainnya. Kegagalan terjadi karena beberapa faktor seperti beban statik, sehingga seiring timbulnya tegangan akibat beban yang melebihi *yield strength*. Dan pada dasarnya kegagalan dapat terjadi akibat kondisi operasi dan sifat kritis material bersangkutan [9]. Tegangan-tegangan yang terjadi pada bejana tekan dapat dianalisa baik manual (perhitungan) maupun dengan alat bantu perangkat lunak. Dalam analisa ini, disebabkan bejana tekan merupakan benda 3 dimensi maka dibutuhkan titik-titik analisa yang banyak. Saat ini, banyak perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mempermudah analisis dan mendapatkan hasil yang lebih akurat, diantaranya ANSYS, CATIA, UGS, Solid Work, Pro Enginer, Autodesk Inventor [10].

Dari berbagai perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan analisis tegangan, *Autodesk Inventor* memiliki beberapa keunggulan sebagai alat bantu analisa tegangan pada bejana tekan (*pressure vessel*). *Autodesk Inventor* memiliki *tool* yang cukup lengkap dibandingkan *software* yang lain, seperti material yang lebih lengkap, proses penggambaran 3D lebih cepat dan dapat menggunakan *software* elemen hingga lain dalam *Autodesk Inventor*. Dalam analisa bejana tekan (*pressure vessel*) pada *Autodesk Inventor*, hal yang penting dan esensial yang dibutuhkan sebagai dasar analisa yang kuat adalah perencanaan dan penggambaran 2D dan 3D sesuai dengan dimensi yang tercantum di dalam *data sheet*.

2. Bahan dan Metode

A. Tahap persiapan Simulasi

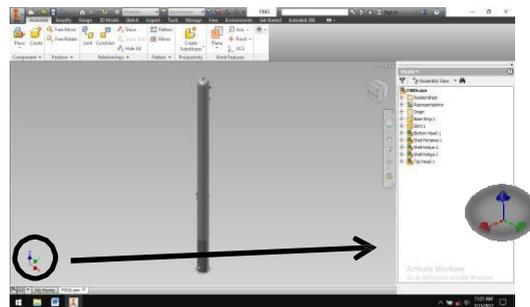
Dalam tahap ini, pembuatan model (modelling process) ditekankan pada proses pembuatan model 2D dan 3D yang fully constrained dan disesuaikan dengan semua data yang tercantum dalam data sheet yang diperoleh. Tahap berikutnya adalah penentuan kondisi batas (boundary condition) yang diperlukan untuk menjamin hasil simulasi sesuai dengan yang diharapkan. Setelah semua kondisi divalidasi, selanjutnya dilakukan proses simulasi yang berlangsung beberapa waktu sampai simulasi telah mencapai kondisi konvergen, yaitu simulasi sudah dalam kondisi steady state (sudah tidak ada lagi perubahan). Tahapan tersebut dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1 Tahap persiapan simulasi

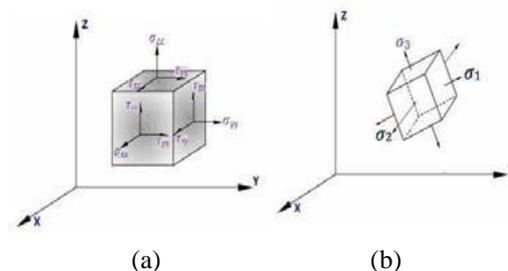
B. Penentuan Arah Simulasi

Sebelum melakukan analisis tegangan terhadap variasi tekanan, terlebih dahulu ditetapkan arah dari model 3D bejana tekan agar mempermudah dalam membaca tegangan yang terjadi. Arah dari model 3D bejana tekan didapatkan dari arah acuan pada *software autodesk inventor*. Arah acuan bejana tekan dalam model 3D dapat dilihat pada Gambar 2. Sumbu Z positif pada model 3D bejana tekan mengarah ke atas atau sumbu vertikal pada arah proyeksi bejana tekan sesungguhnya.



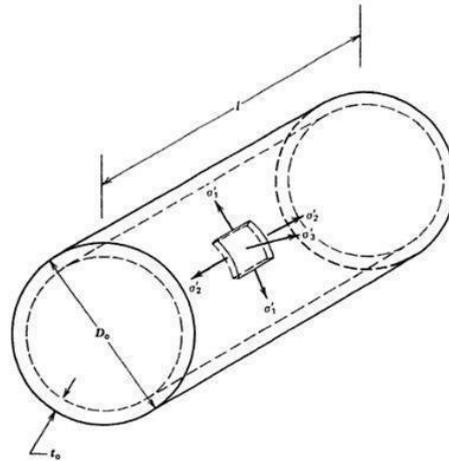
Gambar 2 Arah acuan dari model 3D bejana tekan

Setelah arah acuan pada model 3D didapatkan, maka arah tegangan yang terjadi dapat ditetapkan. Untuk mempermudah dalam pembacaan tegangan, arah dari tegangan dapat dinyatakan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 (a) *Principal planes*, (b) *Principal planes stress* [6]

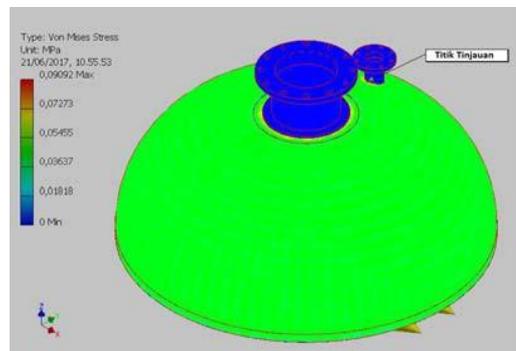
Untuk benda yang berbentuk silinder seperti pada *shell*, arah tegangan yang terjadi dapat digambarkan dalam bentuk potongan dari silinder tersebut. Untuk mempermudah dalam pembacaan, arah *principal stress* pada *shell* bentuk silinder dapat digambarkan pada Gambar 4.



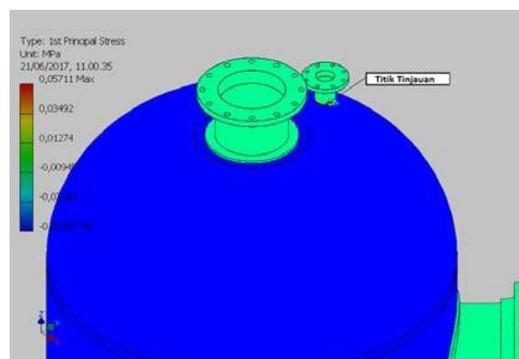
Gambar 4 *Principal stress* pada *shell* bentuk silinder [6]

3. Hasil dan Pembahasan

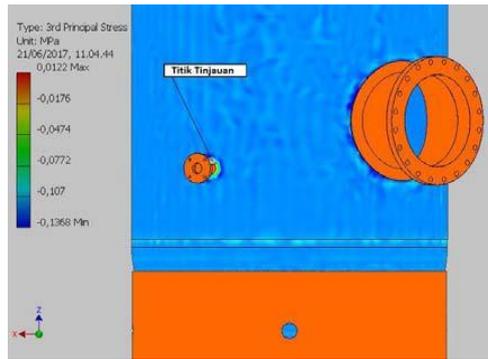
Dalam penelitian ini dilakukan analisis kekuatan bejana tekan terhadap variasi tekanan. Tekanan pada bejana tekan menyebabkan tegangan pada *shell* dan *head*. Analisis kekuatan bejana tekan terhadap variasi tekanan didasarkan pada tegangan maksimum yang terjadi pada bejana tekan tersebut saat menerima tekanan internal. Pada titik itulah nantinya peneliti melakukan analisis pada semua variasi tekanan yang dikenai pada bejana tekan apakah tegangan yang terjadi melebihi atau tidak tegangan yang diijinkan. Setelah melakukan pengamatan dan simulasi, didapat bahwa untuk masing-masing tegangan, titik maksimum yang terjadi pada bejana tekan berbeda-beda. Titik maksimum saat menerima beban tekanan internal dapat dilihat pada Gambar 5 sampai 13.



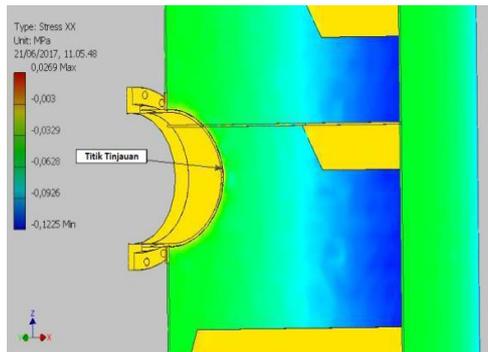
Gambar 5 Titik tinjauan tegangan *vone mises stress*



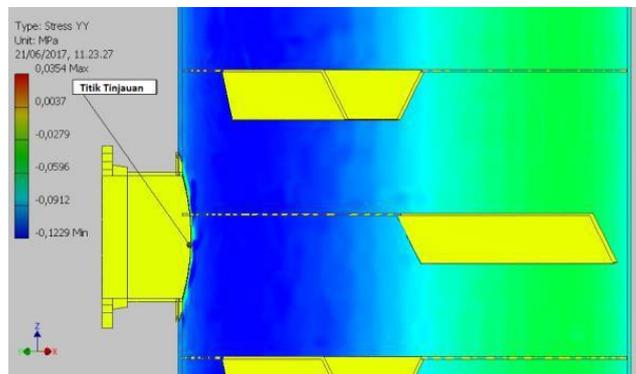
Gambar 6 Titik tinjauan *first principal stress*



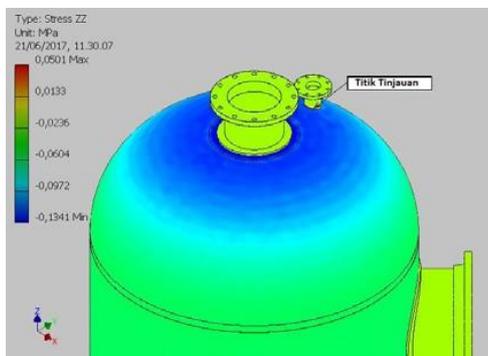
Gambar 7 Titik tinjauan *third principal stress*



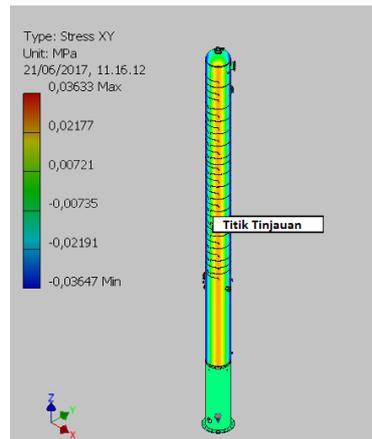
Gambar 8 Titik tinjauan tegangan arah sumbu X



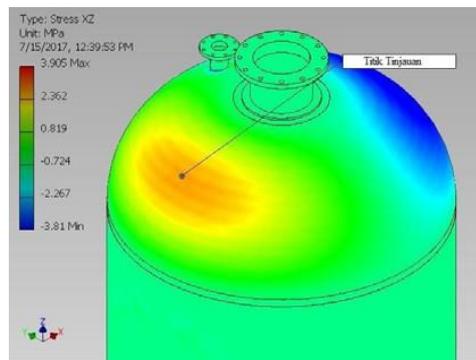
Gambar 9 Titik tinjauan tegangan arah sumbu Y



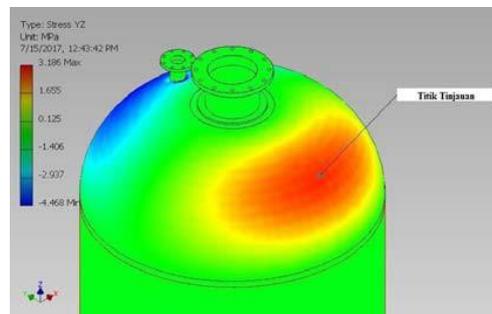
Gambar 10 Titik tinjauan tegangan arah sumbu Z



Gambar 11 Titik tinjauan tegangan geser XY



Gambar 12 Titik tinjauan tegangan geser XZ

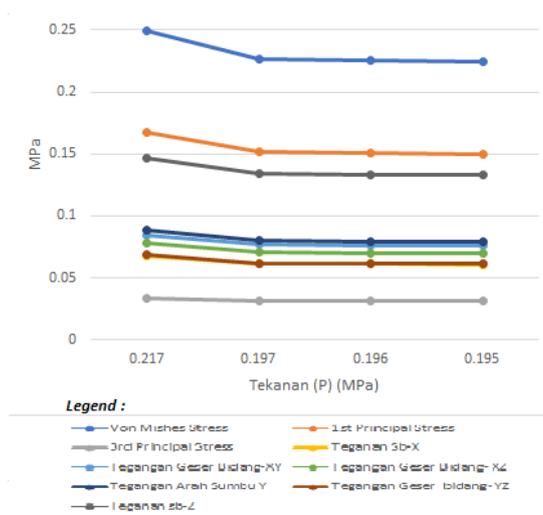


Gambar 13 Titik Tinjauan Tegangan Geser YZ

Setelah melakukan analisis, selanjutnya mencatat besarnya tegangan yang terjadi untuk masing-masing tegangan pada tiap titik tinjauan yang telah ditentukan. Besarnya tegangan yang terjadi ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 14.

Tabel 1 Tegangan yang terjadi pada simulasi variasi tekanan

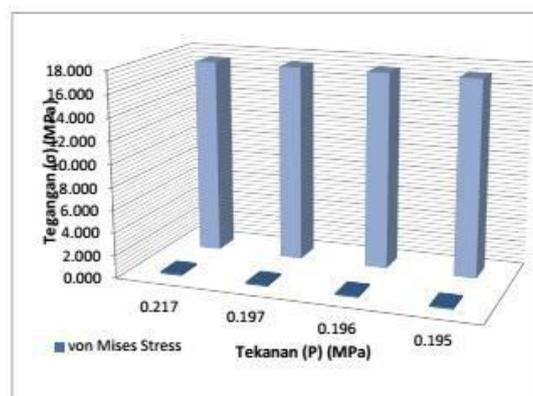
No	Tekanan (MPa)	Von Mises Stress (MPa)	1st Principal Stress (MPa)	3rd Principal Stress (MPa)	Tegangan Sb-X (MPa)	Tegangan Geser Bidang-XY (MPa)	Tegangan Geser Bidang-XZ (MPa)	Tegangan Arah Sb-Y (MPa)	Tegangan Geser bidang-YZ (MPa)	Tegangan sb-Z (MPa)
1.	0,217	0,249	0,167	0,034	0,068	0,084	0,078	0,088	0,069	0,147
2.	0,197	0,226	0,152	0,031	0,062	0,077	0,071	0,08	0,062	0,134
3.	0,196	0,225	0,151	0,031	0,062	0,076	0,07	0,079	0,062	0,133
4.	0,195	0,224	0,15	0,031	0,061	0,076	0,07	0,079	0,062	0,133



Gambar 14 Hubungan berbagai tegangan hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi pada *pressure vessel* terlihat distribusi tegangan *Vone Mises*, *1st Principal Stress*, *3rd Principal Stress*. Arah sumbu X, Y, Z; tegangan geser bidang XY, XZ, dan YZ yang terlihat pada Gambar 8 sampai 13 yang diambil pada tegangan maksimum *pressure vessel*. Gambar 14 memperlihatkan tegangan paling tinggi terjadi pada tekanan 0,217 MPa, selanjutnya menurun pada tekanan 0,197 MPa, 0,196 MPa, dan 0,195 MPa. Jadi semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin besar pula tegangan yang terjadi pada *pressure vessel distillation column* tersebut.

Berdasarkan Tabel 1 hasil pengamatan dilakukan analisis kegagalan untuk mengetahui pada tekanan berapa bejana tekan tersebut dapat dinyatakan gagal. Teori kegagalan pada penelitian ini menggunakan teori energi distorsi. Suatu benda multiaksial dinyatakan gagal apabila tegangan *Von Mises* yang terjadi melebihi tegangan yang diijinkan saat pengujian spesimen dengan material yang sama. Pada saat simulasi, titik tinjauan tegangan *Von Mises* berada pada *head*. *Head* menggunakan bahan SA-516 Grade 70 dengan maksimum *yield strength* sebesar 260 MPa. Hubungan antara tekanan, tegangan *Vone Mises* yang terjadi dan *yield strength* dari material SA-516 Gr 70 dapat dilihat dalam Gambar 15.



Gambar 15 Hubungan tekanan, tegangan *Von Mises* dan tegangan yang diijinkan

Dari studi simulasi tekanan dengan menggunakan *autodesk inventor* yang dilakukan pada *pressure vessel distillation column* berdasarkan data tekanan di lapangan diperoleh hasil tegangan yaitu pada tekanan 0,217 MPa diperoleh tegangan *Von Mises* 0,249 MPa, selanjutnya pada tekanan 0,197 MPa diperoleh tegangan *Vone Mises* 0,226 MPa, dan 0,196 diperoleh tegangan *von Mises* 0,225 MPa, yang terakhir pada tekanan 0,195 MPa diperoleh tegangan *Von Mises* 0,224 MPa. Tegangan

yang terbesar terjadi pada *head* yaitu di sekitar garis tangen yang ditunjukkan pada Gambar 14. Dari Gambar 15, material SA 516 grade 70 *head* dan *shell* mempunyai *yield strength* sebesar 260 MPa. Jika faktor keamanan untuk *pressure vessel vertical type distillation column* sebesar 15 MPa, maka tegangan yang diijinkan untuk *pressure vessel vertical type distillation column* sebesar 17,3 MPa. Dengan demikian dapat dikatakan aman karena tidak melebihi tegangan yang diijinkan material. Hal ini sesuai dengan teori kegagalan energi distorsi yaitu kegagalan diprediksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial bilamana energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana terhadap *pressure vessel* dari material yang sama [7, 8, 9, 10].

4. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan dan analisa tegangan *pressure vessel vertical type distillation column* dengan menggunakan *software autodesk inventor 2015*, secara garis besar terdapat beberapa poin penting sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini digunakan panduan rumus dari ASME (*The American Society of Mechanical Engineering*) untuk menghitung ketebalan *head*, *shell*, dan *skirt*. Dari hasil perhitungan diperoleh ketebalan minimum yaitu *head* 13,66 mm berbentuk *ellipsoidal*, *shell* 13,69 mm, dan *skirt* 3,47 mm. Dengan melihat ketersediaan bahan di pasaran untuk material SA-516 Gr 70 maka *head* dan *shell* menggunakan ketebalan 14 mm serta *skirt* menggunakan ketebalan 5 mm.
2. Pemodelan 3D sesuai dimensi dan studi simulasi tekanan dengan *software autodesk inventor 2015* didapatkan hasil tegangan yaitu pada tekanan 0,217 MPa diperoleh tegangan *Vone Mises* 0,249 MPa. Pada tekanan 0,197 MPa diperoleh tegangan *Vone Mises* 0,226 MPa, pada tekanan 0,196 MPa diperoleh tegangan *Von Mises* 0,225 MPa, dan pada tekanan 0,195 MPa diperoleh tegangan *Vone Mises* 0,224 MPa. Tegangan terbesar terjadi pada *head* yaitu di sekitar garis tangen, material *head* dan *shell* pada *pressure vessel* mempunyai faktor keamanan sebesar 15 maka tegangan yang diijinkan untuk *pressure vessel vertical type distillation column* sebesar 17,3 MPa.

Daftar Pustaka

- [1] ASME, ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1, Rules for Construction of Pressure Vessel, ASME Press, New York, 2004.
- [2] ASME, ASME B16.5, Pipe Flanges and Flanged Fitting NPS ½ Through NPS 24, ASME Press, New York, 1998.
- [3] ASME, ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Materials, ASME Press, New York, 2010.
- [4] Bednar, Pressure Vessel Design Handbook, Krieger Publishing Company, Florida, 1986.
- [5] Budynas, G. Richard, Advanced Strength and Applied Stress Analysis, McGraw-Hill, Singapore, 1999.
- [6] J.A. Collins, Failure of Materials in Mechanical Design, Wiley-Interscience Publication, New York, 1992.
- [7] J.R. Fathoni, Perancangan bejana tekan vertikal dan simulasi pembebanan pada nozzle (Studi kasus separator unit Karaha PT. Pertamina Geothermal Energy), Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM, Yogyakarta, 2013.
- [8] E. Hutagaol, Perancangan bejana tekan horisontal dengan variasi pembebanan pada nozzle (Studi kasus perancangan slug catcher di jalur perpipaan gas Semarang-Gresik), Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM, Yogyakarta, 2013.
- [9] D.K. Kurniawan, Perancangan bejana tekan horisontal berbasis code ASME VIII divisi 2 (Studi kasus test separator field peciko 3, Total E&P Indonesia), Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM, Yogyakarta, 2014.
- [10] D.R. Moss, Pressure Vessel Design Manual, 3 Edition, Gulf professional Publishing, 2004.