Evaluasi Desain Tutup Bejana Tipe Hemispherical Bertekanan Udara Dengan Metode Elemen Hingga dan Eksperimental

Asbar R, Amir Zaki Mubarak, Sabri, Asmanuzar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

email: amir_zm@unsyiah.ac.id

Abstrak

Kebutuhan fluida bertekanan tinggi pada era teknologi yang demikian pesat menuntut syarat yang ketat terhadap wadah untuk menampung dan menyimpan suatu fluida bertekanan tinggi baik berupa cairan, uap air, atau gas. Dalam aplikasinya bejana tekan secara luas digunakan untuk keperluan industry, baik untuk bahan kimia, farmasi, uap panas, minyak dan gas dan lainnya. Proses desain dan produksi suatu bejana tekan merupakan factor utama dalam penggunaan bejana tekan, terlebih apabila penggunaannya untuk fluida yang sifatnya beracun. Dalam penelitian ini dianalisis tegangan yang terjadi pada tutup bejana tekan. Metode analisis menggunakan metode elemen hingga dan ekperimental. Tahap awal dilakukan pemodelan yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian secara eksperimental. Dari hasil pengujian, untuk tekanan 3 Pa, diperoleh tegangan maksimum sebesar 25.922,1 N/m^2 sedangkan dari hasil simulasi diperoleh tegangan maksimum sebesar 15.537,7 N/m^2.

Kata kunci : Bejana Tekan, tegangan, regangan, metode elemen hingga

1. Pendahuluan

Dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat, telah diciptakan suatu alat yang bisa menampung dan menyimpan suatu fluida bertekanan tinggi, baik berupa cairan, uap air, atau gas. Bejana tekan telah digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi industri yang mencakup bahan kimia, farmasi, uap panas, minyak dan bahan bakar dan lainnya, dengan tingkat tekanan yang tinggi. Maka proses desain dan produksi suatu bejana tekan merupakan faktor utama dalam penggunaan bejana tekan, terlebih apabila fluida yang digunakan bersifat beracun karena proses kimia.

Tingkat keamanan komponen bejana tekan harus benar-benar terjamin. Untuk menunjang aspek sistem keselamatan untuk mendapatkan tingkat keamanannya maka diperlukan evaluasi terhadap desain bejana tekan. Evaluasi desain komponen dapat dilakukan dari sisi integritas sifat material yaitu mengevaluasi perubahan sifat material yang menyusun komponen terhadap perubahan kondisi lingkungan operasi, dan evaluasi berdasarkan beban mekanikal yang diterima oleh struktur yaitu menghitung beban-beban yang diberikan baik dari struktur komponen itu sendiri seperti berat dan massa, dalam penelitian ini dilakukan dua metode analisa yaitu dengan metode elemen hingga dan metode eksperimental.

Adapun tujuannya adalah mendapatkan nilai hasil tegangan regangan pada pengujian teoritis dan eksperimental serta membandingkan hasil dari analisa teoritis dan eksperimental dengan mengacu pada

standarisasi ASME section VIII dan manfaat yang didapatkan yaitu untuk mendapatkan desain yang diizinkan dari jenis bentuk head bejana tekan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Bejana Tekan

Bejana tekan (*Pressure Vessels*) adalah tempat penampungan suatu fluida baik berupa cair maupun gas dengan tekanan yang lebih tinggi dari tekanan atmosfir. Pressure Vessels paling sering digunakan sebagai media penampung fluida cairan, uap air, atau gas pada tingkatan tekanan yang lebih besar dari tekanan udara. Bejana tekan menampung suatu unsur yang digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi industri yang mencakup bahan kimia, farmasi, makanan dan minuman, minyak dan bahan bakar, industri nuklir, dan industri plastik, Dennis R Moss [1].

Langkah pertama dalam mendesain bejana tekan adalah pemilihan tipe yang cocok untuk pelayanan proses yang diinginkan. Faktor terpenting dalam pemilihan adalah lokasi dan fungsi bejana tekan, sifat fluida, temperatur dan tekanan operasi serta proses. Pada umumnya bejana dapat digolongkan dalam beberapa bentuk, yaitu:

1. *Open tanks*
2. *Flat bottomed, vertical cylindrical tanks*
3. *Vertical cylindrical*
4. *Horizontal vessel*
5. *Spherical vessel*

2.2 Komponen Utama Bejana Tekan

Komponen utama dari bejana tekan yang biasanya dijumpai di industri terdiri dari:

1. *Shell*
   Shell merupakan bagian utama dari bejana tekan yang berbentuk silinder dengan ketebalan plat yang konstan (secara umum) sesuai dengan kebutuhan dan kondisi perencanaan.

2. *Support*
   Support merupakan alat penumpu bejana sehingga dapat berdiri diatas tanah. *Support* dapat berupa *skirt dan lug support* yang digunakan pada bejana tekan vertikal. Sedangkan untuk bejana tekan horizontal, sebagai tumpuan digunakan jenis *saddle support*

3. *Head*
   Head merupakan bagian bejana yang berfungsi sebagai penutup *shell*. Adapun jenis dari *head* bejana tekan yaitu :
   1. *Hemispherical Head*
   2. *Ellipsoidal Head*
   3. *Torispherical Head*
   4. *Conical Head*

4. *Accesoris*
   Accesoris juga merupakan bagian utama dari bejana terdiri atas *nozzle, flens* dan *gasket*, tangga dan lain-lain.

2.3 Kondisi Tegangan Pada Bejana Tekan

Tegangan bejana tekan yang diakibatkan oleh beban operasi, dibedakan menjadi dua tipe yaitu , bejana berdinding tipis (*thin – walled vessel*) dan bejana tekan bendinding tebal (*thick-walled vessel*).

2.4 Metode Elemen Hingga

Menurut Saeed Moaveni [2], metode elemen hingga adalah salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk memperoleh solusi dari berbagai persoalan teknik, banyak digunakan untuk menghitung struktur akibat pembebanan ataupun pengaruh lain pada struktur. Tujuan utamanya untuk memperoleh nilai pendekatan tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur, pendekatan dengan metode elemen hingga merupakan suatu analisa berdasarkan asumsi tegangan atau regangan.

2.5 Analisa Tegangan Eksperimental

Menurut Dally dan Riley [3], analisa tegangan ekperimental telah berkembang sejak tahun 1950an, analisa tegangan eksperimental ini menggunakan alat – alat instrumentasi dengan ketelitian tinggi dengan bantuan pembacaan komputer, metode eksperimental ini sangat membantu dalam verifikasi kebenaran dari hasil analisa teoritis atau komputasi, karena tegangan biasanya tidak dapat diukur secara langsung.

Percobaan sederhana berikut ingin mempelajari perilaku tegangan maksimum dan regangan maksimum dari bejana tekan ketika menerima tekanan dan mengetahui seberapa besar perbedaan perhitungan teoritis untuk desain bejana tekan dengan hasil eksperimental. Pengujian bejana menggunakan sensor *strain gauge* yang dibaca dengan *data logger* untuk mempelajari perilaku regangannya untuk setiap tekanan yang diberikan dibawah tekanan maksimum.

2.5.1 Pengukuran Regangan

Ketika regangan yang dihasilkan pada spesimen uji dan alat ukur yang melekat, regangan yang terjadi pada *strain gauge* mengakibatkan kawat halus atau foil dalam *strain gauge* mengalami variasi dalam hambatan listrik. Variasi ini persis sebanding dengan regangan (*manual book strain gauge* [4])

- Regangan Maksimum

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{2}\left[\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}}\right] \ldots (1)$$

- Regangan Minimum

$$\varepsilon_{min} = \frac{1}{2}\left[\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}}\right] \ldots (2)$$

- Regangan geser maksimum

$$\gamma_{max} = \sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}} \ldots (3)$$

- Tegangan Maksimum

$$\sigma_{max} = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}) \ldots (4)$$

$$= \frac{E}{2}\left(\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{1-\nu} + \frac{1}{1+\nu}\sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}}\right)$$

- Tegangan Minimum

$$\sigma_{min} = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_{min} + \varepsilon_{max}) \ldots (5)$$

$$= \frac{E}{2}\left(\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{1-\nu} - \frac{1}{1+\nu}\sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}}\right)$$

- Tegangan Geser Maksimum

$$\tau_{max} = \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{max} \ldots (6)$$

$$= \frac{E}{2(1+\nu)}\sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}}$$

Keterangan :

ε_1 = Regangan pada *Strain gauge* 1
ε_2 = Regangan pada *Strain gauge* 2
ε_3 = Regangan pada *Strain gauge* 3
ε_{max} = Regangan maksimum
ε_{min} = Regangan minimum
γ_{max} = Regangan geser maksimum
σ_{max} = Tegangan maksimum
σ_{min} = Tegangan minimum
τ_{max} = Tegangan geser maksimum
E = Modulus elastisitas
ν = *Poisson rasio*

3. Metodologi

Pada studi literatur, data analisa dilakukan dengan kajian teoritik dan kajian eksperimental yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas. Data – data yang didapat antara lain dari buku, jurnal, dan tulisan ilmiah.

Gambar 1. Alat dan bahan pengujian

3.1 Alat dan Bahan

Untuk bahan yaitu Tabung lampu petromaks (Gambar 1) yang terbuat dari bahan *copper* dengan nilai modulus elastisitas 1.1 x 10 11 N/m^2.

Tabel 1. *Details Of Material*

Propert	***Valu***	***U***	***Val***
Elastic	*1.1e*	*N*	*Co*
Poisson'	*0.37*	*N*	*Co*
Shear	*4e+*	*N*	*Co*
Mass	*8900*	*k*	*Co*
Tensile	*3.94*	*N*	*Co*
Yield	*2.58*	*N*	*Co*
Thermal	*2.4e-*	*/*	*Co*
Thermal	*390*	*W*	*Co*
Specific	*390*	*J/*	*Co*

Sumber : Database Material pada Solidworks 2010

Sedangkan Alat yang digunakan pada pengujian eksperimental untuk penelitan ini adalah sebagai berikut:

1. *Data Logger*
2. *Strain Gauges*
3. *Pressure Gauge*
4. Pompa

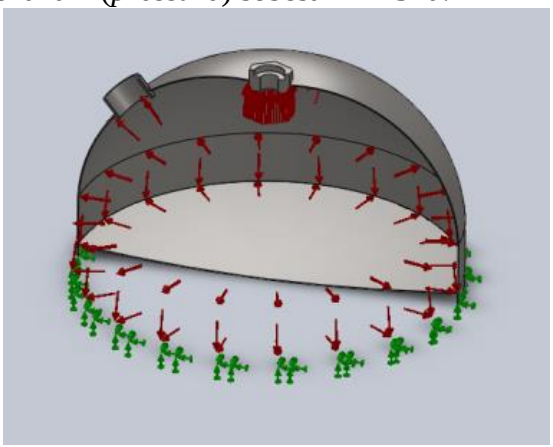
Langkah – langkah pemasangan strain gages dilakukan sebagai berikut :

1. Pembersihan
2. Perekatan/ penempelan *strain gauges*
3. Penempatan *strain gauges* pada head bejana tekan

3.2 Pemodelan

Pemodelan bejana tekan dibuat dengan bantuan *software Solidworks 2010*. Model elemen bejana tekan dibuat dalam bentuk tiga dimensi dengan ukuran yang sebenarnya. Kemudian dilanjutkan dengan m*eshing.* Pada tahap ini komponen yang akan dianalisis dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang selanjutnya dianalisis dengan kondisi pembebanan dalam perhitungan. Untuk analisis tiga dimensi dilakukan *meshing* pada seluruh rangkaian komponen bejana tekan dengan *meshing* secara otomatis.

Gambar 2 dibawah menunjukkan pembebanan pada komponen bejana tekan yang akan dianalisis menggunakan *software Solidworks 2010*, komponen bagian dalam bejana tekan akan diberikan tekanan (*pressure*) sebesar P = 3Pa.



Gambar 2. Pembebanan pada bejana Tekan dengan *Solidworks 2010*

4. Hasil dan Pembahasan

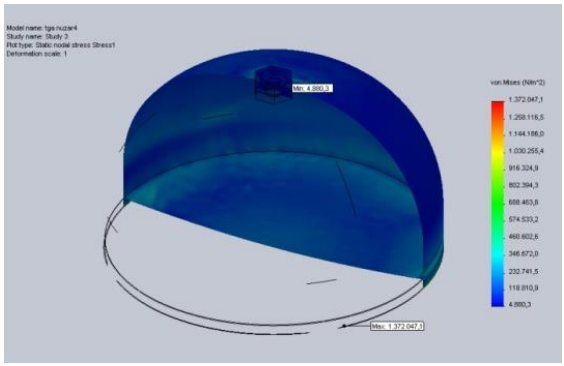
Penghitungan tegangan dan regangan pada bejana tekan pada penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu metode elemen hingga dan eksperimental

4.1 Analisis Tegangan dan Regangan Dengan Metode Elemen Hingga

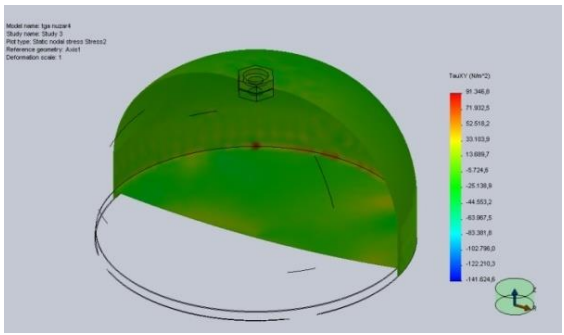
Perhitungan tegangan dan regangan dengan metode elemen hingga, analisis dilakukan pada seluruh daerah bejana tekan dan beban yang diberikan adalah beban tekanan internal sebesar P = 3 Pa.

4.1.1 Distribusi Tegangan Pada Head Bejana Tekan

Langkah awal sebelum dilakukan analisis tegangan dan regangan, terlebih dahulu membuat model bejana tekan. Setelah dilakukan analisis dengan memasukkan jenis dan propetis bahan yang yang digunakan, lalu model dibagi-bagi menjadi elemen hingga melalui proses *meshing* dan diberikan beban tekan internal P = 3 Pa.

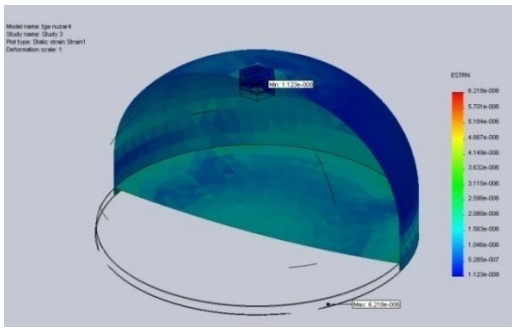


Gambar 3. Tegangan pada bejana tekan

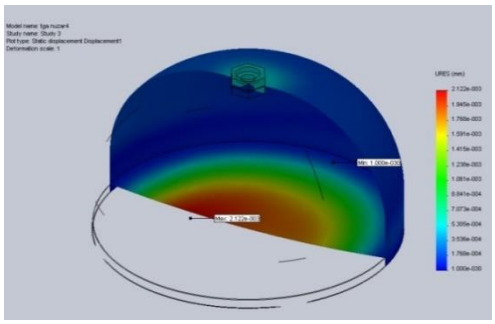


Gambar 4. Tegangan geser pada bejana tekan

4.1.2 Distribusi Regangan Pada Head Bejana Tekan



Gambar 5. Regangan pada bejana tekan



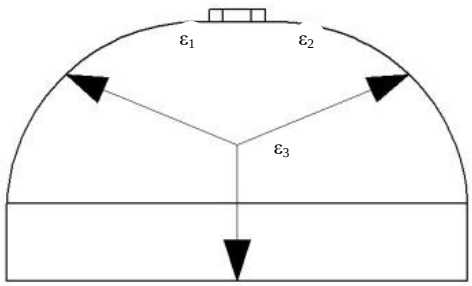
Gambar 6. *Displacement* total pada bejana tekan

4.2 Analisis Tegangan dan Rengangan dengan Metode Eksperimental.

Dari hasil pengujian eksperimental didapat nilai regangan adalah :

Tabel 2. Hasil Pengujian

Strain gage	Nilai
ε_1	0.059 µm
ε_2	0.106 µm
ε_3	0.104 µm



Gambar 7. Arah regangan pada strain gage yang ditempelkan

Untuk menghitung regangan maksimum dan minimum digunakan persamaan (1) dan (2) dimana untuk nilai $\varepsilon_{1,}\varepsilon_2$ dan ε_3 dapat dilihat dari Tabel 2 maka didapat hasil regangan maksimum senilai $1{,}143x10^{-5}$ m dan untuk nilai regangan minimum $5{,}07x10^{-6}$ m.

Dan untuk menghitung regangan geser digunakan persamaan (3) dimana untuk nilai $\varepsilon_{1,}\varepsilon_2$ dan ε_3 dapat dilihat dari Tabel 2. Sehingga di dapat nilai regangan gesar sebesar $6{,}36x10^{-6}$ m.

4.2.1 Distribusi tegangan pada bejana tekan

Persamaan–persamaan yang akan digunakan untuk mengitung regangan maksimum dan minimum adalah persamaan (4) dan (5) dengan nilai $\varepsilon_{1,}\varepsilon_2$ dan ε_3 dapat dilihat dari Tabel 2. Dari persamaan (4) dan persamaan (5) maka didapat hasil tegangan maksimum 1690700 N/m^2 dan untuk nilai tegangan minimum 1180300 N/m^2.

Sedangkanan untuk menghitung tegangan geser digunakan persamaan (6), dimana untuk nilai $\varepsilon_{1,}\varepsilon_2$ dan ε_3 dapat dilihat dari tabel 2. Sehingga di dapat nilai tegangan gesar sebesar 255328,4 N/m^2.

5. Kesimpulan

Evaluasi desain tutup bejana tekan dilakukan untuk mendapatkan tingkat keamanan dalam integritas struktur komponen. Evaluasi desain komponen dilakukan dengan metode elemen hingga dan metode eksperimental dengan cara menghitung beban mekanikal yang diterima oleh struktur pada daerah tutup bejana tekan adalah dibandingkan hasilnya dengan nilai tegangan yang diizinkan atau secara konvensional adalah nilai tegangan luluh material.

Hasil perhitungan menunjukkan nilai maksimum distribusi tegangan pada tutup bejana tekan sebesar 1690700 N/m^2 dibawah tegangan yang diizinkan sebesar $2.5865x10^8$ N/m^2. secara umum distribusi tegangan pada tekanan 3Pa masih dibawah tegangan yang diizinkan sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi ini masih dalam kondisi aman.

Daftar pustaka

[1]. Moss, denis, 2003, “Pressure Vessels Design and Construction Handbook Manual”, Third Edition, Elsevier, UK.

[2]. Moaveni, saeed. 1999. Finite element analysis: theory and application with ansys. New jersey: prentice hall, inc.

[3]. James W. Dally and William F. Riley “Experimental Stress Analysis,” McGraw-Hill, Inc., The third edition, 1991.

[4]. Manual Book Strain Gauge TML: www.tml.jp/e