

Pengaruh *Ovality* terhadap Kekuatan dan Ekspansi Volume pada Tangki Toroidal dengan Beban Tekanan Internal (*Internal Pressure*)

Jamiatul Akmal, Asnawi Lubis, Irfan Mahyunis

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jalan Prof. Soemantri Brodjonegoro No. 1 Gedung H Fakultas Teknik, Bandar Lampung 35145

Telp : (0721) 3555519, Fax : (0721) 734947

*Email : jamiatulakmal@gmail.com

Abstrak

Persediaan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang semakin berkurang membuat pemerintah berusaha mengkonversi BBM ke Bahan Bakar Gas (BBG). Untuk itu, dibutuhkan penelitian-penelitian yang mendukung program pemerintah tersebut. Salah satu bidang penelitiannya yaitu dalam bidang tangki penyimpanan BBG dalam kendaraanya. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa bentuk toroidal lebih baik dalam menahan stress dibandingkan bentuk silinder yang ada saat ini. Oleh karena itu, penelitian diperluas dengan memfungsikan bentuk toroidal berpenampang oval kedalam kendaraan roda empat. Secara Teori Membran bahwa semakin besar Rasio R/r , maka semakin tinggi limit tekanannya, tetapi di satu sisi semakin besar Rasio R/r maka semakin kecil volumenya. Dalam menentukan rancangan tangki toroidal terbaik, maka dipilih perbandingan jari-jari dan ovality terbaik yang dapat memberikan limit tekanan tertinggi pada tangki toroidal. Hasil analisis menunjukkan bahwa limit tekanan tertinggi diberikan oleh rasio R/r 3,4. Untuk simulasi penampang ovality baik in-plane maupun out-plane menunjukkan bahwa penampang dengan ovality 0% menghasilkan limit tekanan yang paling tinggi dalam menahan stress maksimum tangki. Berdasarkan simulasi pada ukuran tersebut didapat bahwa tangki ini memiliki limit tekanan mencapai 1,089 kali tekanan yield (p_y) dan pertambahan volume sebesar 0,238%.

Kata Kunci : tangki toroidal, limit tekanan, ovality

PENDAHULUAN

Bahan Bakar sangat penting dalam kehidupan manusia. Berbagai kegunaan bahan bakar yaitu untuk menunjang berbagai sektor. Sektor-sektor yang sering memanfaatkan bahan bakar ini diantaranya, industri manufaktur, transportasi, dan rumah tangga. Di bidang transportasi, bahan bakar utama yang umum dipakai adalah Bahan Bakar Minyak (BBM). Persediaan BBM semakin hari, semakin berkurang. Untuk itu, pemerintah berusaha mengkonversi BBM ke Bahan Bakar Gas (BBG), karena ketersediaannya masih melimpah. Hal-hal yang masih menjadi kendala adalah penguasaan teknologinya masih kurang, Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas (SPBG) masih sedikit, dan harga kendaraan yang menggunakan BBG lebih mahal dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan BBM.

Untuk itu perlu dilakukan penelitian-penelitian yang mendukung konversi BBM ke BBG. Hal ini dilakukan agar masyarakat terbiasa memakai BBG. Berbagai bidang penelitian yang dilakukan diantaranya, teknologi konverter, teknologi SPBG, dan teknologi penyimpanan gas. Bidang penelitian yang dilakukan oleh penulis

dalam tangki BBG nya. Tangki penyimpanan BBG yang digunakan saat ini adalah berbentuk silinder. Tangki silinder memiliki kelemahan-kelemahan diantaranya, limit *pressure* nya relatif kecil, ukurannya yang gemuk, mudah terbentur batu apabila diletakkan dibawah kendaraan, serta tidak stabil karena perlu dibuat dudukan tangki dalam kendaraannya. Dalam perbaikannya, pada penelitian ini dikaji tangki BBG dengan bentuk yang lain dengan harapan dapat memiliki limit tekanan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan tangki yang ada saat ini. Bentuk yang dikaji pada penelitian ini adalah tangki toroidal.

Pada dasarnya bejana tekan bentuk toroidal adalah sebuah revolusi dari bentuk silinder. Sebuah toroidal dapat dipandang sebagai sebuah silinder bengkok tanpa ujung. Dibandingkan dengan sebuah silinder yang ekuivalen, sebuah toroidal membutuhkan lebih sedikit material, karena tidak memerlukan tutup pada dua ujungnya. Bejana tekan toroidal selama ini sedikit mendapat perhatian karena geometrinya yang lebih rumit untuk difabrikasi. Penelitian terhadap perilaku statik maupun dinamik *shell* toroidal telah dilakukan oleh peneliti. Jiang dan Redekop (2003) telah melakukan analisis karakteristik statik dan dinamik *shell*

toroidal *orthotropic* dengan tebal yang bervariasi dan memperoleh solusi berdasarkan persamaan *shell* Sanders-Budiansky. Analisis getaran bebas dua buah shell toroidal telah dilakukan oleh Tzou dan Wang (2003) untuk mengontrol getaran struktur *shell* toroidal dan meningkatkan akurasi dan reliabilitas. Pengujian limit tekanan eksternal tiga buah tabung toroidal telah dilakukan oleh Btachut (2003), dua diantaranya difabrikasi dari baja mild dengan cara spinning 2 belahan toroidal dilas pada bagian intrados dan extradosnya. Analisis *stress* dan *strain* pada tabung LPG telah dilakukan oleh Velickovic (2007) menggunakan metode elemen hingga. Kisioglu (2009) adalah satu dari sedikit peneliti yang telah melakukan investigasi limit tekanan sebuah tabung toroidal untuk LPG kendaraan bermotor di Turki dan Kekuatan rancangan tabung toroidal untuk LPG 3Kg yang dilaporkan oleh Lubis (2011). Kemudian dalam meningkatkan fungsinya maka dicoba untuk meneliti kekuatan tangki toroidal yang berpenampang oval. Bagi masyarakat yang mobilnya sudah ada dapat memanfaatkan tempat roda ban cadangan. Bentuk yang cocok yang diusulkan adalah berbentuk ban cadangan. Oleh sebab itu, bentuk tangki BBG toroidal berpenampang oval diharapkan mampu memiliki limit tekanan yang jauh lebih besar dalam menahan *stress* maksimum dari tangki tersebut. Tulisan ini menyajikan hasil rancangan jari-jari dan ovality terbaik ditinjau dari limit tekanan dan *stress* maksimum pada tangki.

METODE PENELITIAN

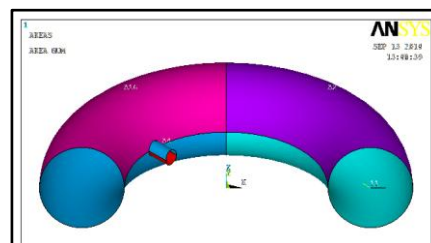
Materi tangki BBG toroidal direncanakan terbuat dari baja lembaran (plat) dengan ketebalan sebesar 2,3 mm. *Material properties* yang diperlukan berdasarkan ASTM-A414 adalah modulus elastisitas E, kekuatan luluh σ_y , dan rasio Poisson ν , masing-masing sebesar 207 GPa, 295 MPa, dan 0,3. Tangki BBG yang berbentuk toroidal akan diletakkan pada posisi ban cadangan sebuah mobil, sehingga parameter geometri yang ditentukan berdasarkan dimensi atau spesifikasi ban mobil. Sebelum pembuatan model sebaiknya ditentukan parameter geometri dari benda yang akan dimodelkan yaitu analisis ukuran dilakukan untuk tangki BBG kendaraan Toyota All New Avanza dengan ukuran kode ban roda 185/70/R14 (tipe G) dengan model toroidal. Untuk itu dilakukan perhitungan dimensi untuk model sesuai dengan ukuran ban cadangan mobil tersebut. Sebelum pembuatan model sebaiknya ditentukan parameter geometri dari benda yang akan dimodelkan yaitu analisis ukuran dilakukan untuk tangki BBG kendaraan Toyota All New Avanza dengan ukuran

kode ban roda 185/70/R14 (tipe G) dengan model toroidal.

Tabel 1 Dimensi kode ban roda kendaraan mobil

Kode Ban/Roda	185/70/R14
R (in)	14 in
Diameter Velg R (mm)	355,6 mm
Jari-Jari velg R	177,8 mm
W (mm)	185 mm
H (%)	70 %
H (mm)	129,5 mm
R, Extra (mm)	307,3 mm
R, Intra (mm) untuk $(\rho) = 3,4$	167,618 mm
R, (mm) untuk $(\rho) = 3,4$	237,459 mm
r, (mm) untuk $(\rho) = 3,4$	69,84 mm
Vol Tangki (Liter) pada $(\rho) = 3,4$	22,863 Liter

Setelah didapatkan data-data geometri tangki toroidal sesuai kode ban kendaraan mobil maka selanjutnya diubah penampang lingkaran menjadi oval dengan menentukan nilai *ovality* dengan persamaan $Ovality = \frac{2\alpha}{r}$ Boyle dan Spence (1980). Setelah didapatkan data-data geometri tangki toroidal maka selanjutnya dilakukan pemodelan geometri tangki dengan *software* ANSYS 13.



Gambar 1 Model tangki toroidal pada ovality 0%

Elemen yang digunakan berupa elemen segi empat dengan tipe elemennya SHELL 181. Kondisi batas yang digunakan pada model tangki BBG toroidal penampang oval dan besar nilai pembebanan batasnya yaitu:

$$p_y = \frac{2 \sigma_y t}{r} \left(\frac{\rho - 1}{2\rho - 1} \right) \tag{1}$$

Untuk $\rho = 3,4$

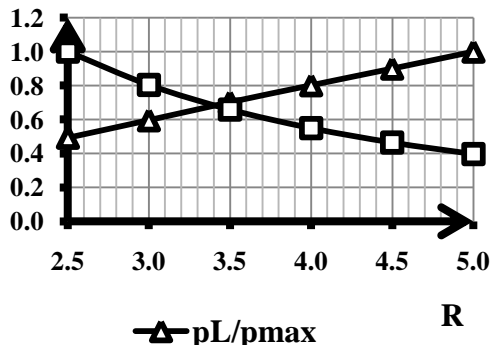
$$p_y = \frac{2 (295 \text{ Mpa}) (2,3 \text{ mm})}{69,84 \text{ mm}} \left(\frac{3,4 - 1}{6,8 - 1} \right) \tag{2}$$

$$p_y = 8,04 \text{ Mpa}$$

Jadi beban yang diberikan harus melebihi batas maksimum p_y yaitu 8,04 MPa.

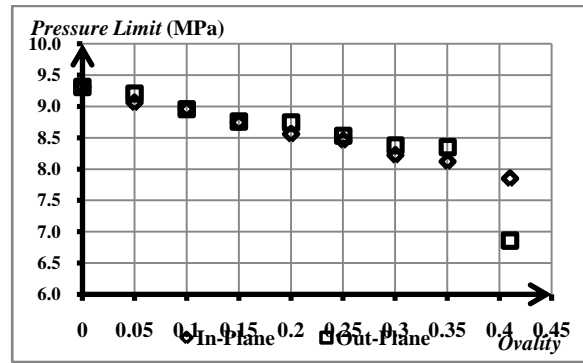
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang diperoleh pada analisis *stress* dan ekspansi volume maksimum pada tangki toroidal berpenampang oval yaitu berupa nilai Rasio R/r terbaik. Secara Teori Membran bahwa semakin besar Rasio R/r, maka semakin tinggi limit tekanannya, tetapi di satu sisi semakin besar Rasio R/r maka semakin kecil volumenya. Oleh sebab itu, maka dilakukan optimasi antara limit tekanan (*pressure limit*) dan volume tangki toroidal tanpa *nozzle*. Optimasi dilakukan dengan membuat nilai tidak berdimensi agar dapat ditemukan nilai optimasinya seperti yang diuraikan pada Grafik pada gambar 2 :



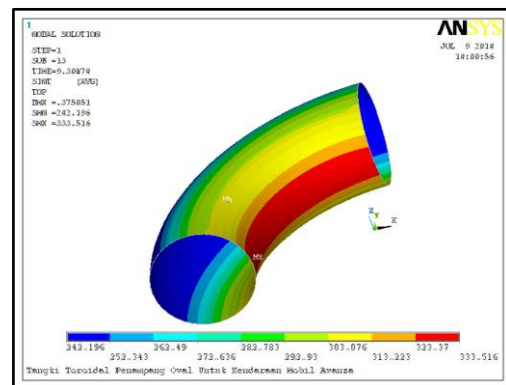
Gambar 2 Grafik Optimasi R/r

Dari hasil grafik pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa garis p_L/p_{max} berpotongan dengan garis V/V_{max} pada nilai R/r sebesar 3,4, maka dapat diketahui nilai R/r terbaik adalah 3,4. Berikut adalah grafik hubungan antara *ovality* terhadap *pressure limit* tangki toroidal tanpa *nozzle* pada langkah pembebanan terakhir untuk setiap *ovality-in-plane* dan *out-plane* yang berbeda, dalam hal ini dapat dilihat grafik pada Gambar 3 :

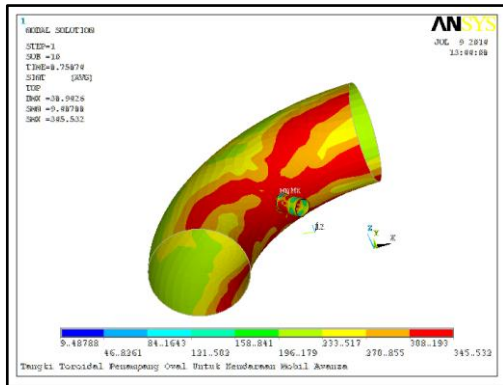


Gambar 3 Grafik *ovality* terhadap *pressure limit*

Pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar *ovality*, maka semakin kecil limit tekanannya. Untuk *ovality* 0% sampai 35% memiliki nilai limit tekanan yang hampir sebanding (Berhimpit), sedangkan nilai limit tekanan pada *ovality* 41% menunjukkan nilai *ovality-in-plane* dan *out-plane* yang cukup berbeda. Dari hasil grafik pada Gambar 3 dapat terlihat bahwa limit tekanan yang paling tinggi pada tangki toroidal yaitu dengan *ovality* 0% pada p_L/p_y sebesar 1,15781105 baik pada *ovality-in-plane* maupun *out-plane*. Dalam hal ini penampang *ovality* 0% menunjukkan penampang lingkaran. Oleh karena itu pada *ovality* 0% yang akan dijadikan acuan untuk diteliti lebih lanjut lagi mengenai hubungan tegangan dan regangannya pada setiap langkah pembebanannya, serta dapat diketahui juga *stress* maksimum dan *strain* maksimum yang terjadi pada *ovality* 0% . Dengan demikian dari geometri tersebut, dapat dilakukan analisis lebih lanjut hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi akibat pembebanan. Berikut ini hasil *stress* maksimum pada *pressure limit* pada *ovality* terbaik (*ovality* 0%) tanpa *nozzle* dan dengan *nozzle* yang ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4 Tampilan *stress* maksimum pada saat limit tekanan dicapai untuk tangki toroidal tanpa *nozzle*



Gambar 5. Tampilan *stress* maksimum pada saat limit tekanan dicapai untuk tangki toroidal dengan *nozzle*

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa *stress* tertinggi yang terjadi pada tangki toroidal dengan *nozzle* adalah pada daerah sekitar *nozzle* dimana pada daerah *nozzle* tersebut tegangan yang terjadi σ/σ_y mencapai 1,171294915. Hal tersebut berbeda ketika tangki sebelum diberi *nozzle*, maka tegangan terbesar terjadi pada *intrados* yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4

Pada saat terjadi deformasi, semua dimensi elemen mengalami ekspansi. Sehingga volume elemen juga berubah. Besar ekspansi volume dihitung pada saat terjadinya ekspansi volume maksimum yaitu ketika limit tekanannya dicapai. Dalam menentukan ekspansi *volume*, terlebih dahulu menentukan luas penampang sebelum terjadi pembebanan dan luas penampang setelah terjadi pembebanan. Untuk luas penampang sebelum terjadi pembebanan. Berdasarkan hasil persentase ekspansi volume maksimum yang didapat pada saat limit tekanan dicapai yaitu sebesar 0,238 % maka kemudian dilakukan justifikasi atau dasar pembenaran berdasarkan hasil ekspansi dengan Teori Dilatasi yang ditulis oleh Harvey dalam buku yang berjudul: “*Theory And Design Of Pressure Vessels*” pada tahun 1985. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui perhitungan pada simulasi tangki benar atau tidaknya.

Dari hasil ekspansiberdasarkan Teori Harvey didapat bahwa persentase ekspansi volume yang dicapai yaitu sebesar 0,111 %. Nilai ini menunjukkan bahwa besar ekspansi volume maksimum yang didapat dari analisis dengan *software* ANSYS 13 lebih besar bila dibandingkan besar ekspansi menurut Teori Harvey. Hal ini disebabkan karena nilai yang didapat dari Teori Harvey merupakan ekspansi volume yang didapat pada saat elastis. Sedangkan analisis hasil berdasarkan simulasi ekspansi volume pada saat limit tekanan dicapai atau sudah melewati tegangan luluh (σ_y).

KESIMPULAN

Dari analisis hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :Dari hasil optimasi R/r terhadap *Pressure Limit* dan *Volume* pada tangki toroidal penampang oval, Rasio R/r optimum adalah sebesar 3,4. Dalam menentukan optimasi nilai R/r terbaik dilakukan tanpa meletakkan *nozzle* pada tangki. Hal ini dilakukan agar didapat nilai yang lebih akurat, karena tidak terkonsentrasinya tegangan disekitar daerah *nozzle*. Dari data yang diperoleh, maka bentuk geometri tangki toroidal dengan penampang *ovality* 0% yang memiliki limit tekanan yang paling tinggi. Pada *ovality* ini, langkah pembebanan terakhir mencapai limit tekanan yang diberikan p/p_y sebesar 1,089402639 dengan *stress* maksimum σ/σ_y sebesar 1,171294915. Berdasarkan analisis tegangan tangki toroidal berpenampang oval pada saat limit tekanan dicapai terlihat bahwa *stress* terbesar yang terjadi pada tangki sebelum diberi *nozzle* terjadi pada seluruh daerah *intrados*, tetapi pada saat diberi *nozzle*, *stress* tertinggi yang terjadi adalah pada daerah sekitar *nozzle*. Dari data yang diperoleh pada penelitian, maka besar persentase ekspansi volume yang terjadi pada tangki toroidal setelah diberikan pembebanan yaitu sebesar 0,238 % sedangkan secara teori bahwa ekspansi volume yang terjadi pada tangki adalah sebesar 0,111 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Boyle, J.T, and Spence, J., 1980, *A simple analysis for oval pressurised pipe bends under external bending*. Proceeding of the 4th International Conference on Pressure Vessel Technology, vol.II, pp.201-207.
- [2]. Harvey, J.F., 1985, *Theory And Design Of Pressure Vessels*. New York : Van Nostrand Reinhold Company Ltd.
- [3]. Btachat, J., 2003, *Collapse Tests on Externally Pressurized Toroids*. ASME Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 125, No. 1, hal. 91-96.
- [4]. Jiang, W., dan Redekop, D., 2003, *Static and Vibration Analysis of Orthotropic Toroidal Shells of Variable Thickness by Differential Quadrature*. Thin Walled Structure, Vol.41 No.5, hal. 461-78.
- [5]. Tzou, H.S., dan Wang, D.W., 2003, *Vibration Control of Toroidal Shells with Parallel and Diagonal Piezoelectric Actuators*. ASME Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.125, No. 2, hal. 171-176.

- [6]. Velickovic, V., 2007, *Stress and Strain States in the Material of the Stressed Toroidal Container for Liquefied Petroleum Gas*. Scientific Technical Review, Vol. LVII, No. 3-4, pp. 94-105.
- [7]. Kisioglu, Y., 2009, *Burst Tests and Volume Expansions of Vehicle Toroidal LPG Fuel Tanks*. Turkish Journal of Engineering Environmental Science, Vol.33 hal. 117-125.
- [8]. Lubis, A., 2011, *Strength Design of Toroidal Tank for LPG 3Kg*. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-10, 2 – 3 November 2011, Universitas Brawijaya, Malang.