

PENENTUAN PERBANDINGAN DIAMETER *NOZZLE* TERHADAP DIAMETER *SHELL* MAKSIMUM PADA *AIR RECEIVER TANK* HORIZONTAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Willyanto Anggono¹⁾, Hariyanto Gunawan²⁾, Ian Hardianto Siahaan³⁾, Ninuk Djonoadji⁴⁾, Ivan Panadi⁵⁾

**Product Innovation and Development Centre Petra Christian University^{1,2,3,4,5)}
Mechanical Engineering Petra Christian University^{1,2,3,4,5)}**

Jalan Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236

E-mail : willy@petra.ac.id¹⁾, harivanto@petra.ac.id²⁾, ian@petra.ac.id³⁾

Abstrak

Air Receiver Tank adalah salah satu jenis *pressure vessel* yang berfungsi untuk menampung udara bertekanan. Pada umumnya, tangki ini terdiri dari bagian *shell* yaitu bagian silinder dari tangki, bagian *heads* yang merupakan penutup tangki dan *nozzle* yang merupakan sebuah pipa yang menjadi jalur masuk dan keluarnya udara. Letak *nozzle* biasanya disambungkan dengan dinding silinder (*shell*) *air receiver tank*. Besar diameter *nozzle* ini sangat mempengaruhi besar tegangan maksimum yang timbul pada *air receiver tank*. Hal ini karena *air receiver tank* akan mengalami perubahan tegangan maksimum. Timbulnya distribusi tegangan dapat membuat perancangan secara analitis sulit untuk dilakukan dalam mengetahui tegangan maksimum yang terjadi.

Perancangan secara analitis yang sering dilakukan dinilai kurang efisien, karena setiap akan dilakukan pengujian percobaan sesungguhnya memerlukan model aktual yang banyak. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada *air receiver tank* horizontal. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan ANSYS *software* yang merupakan *software* yang berbasis metode elemen hingga. Dalam penelitian ini perancangan dilakukan pada 7 tipe *standard air receiver tank* dengan volume (*gallon*) yang berbeda karena mempertimbangkan tiap tipe *gallon* tersebut memiliki diameter *shell* yang berbeda. Ketujuh model tipe *air receiver tank* tersebut adalah *air receiver tank* dengan volume 15 *gallons*, 30 *gallons*, 40 *gallons*, 60 *gallons*, 120 *gallons*, 215 *gallons*, 300 *gallons*. Dari ketujuh tipe tersebut, tiap tipe *air receiver tank* akan dibuat dengan cara melakukan variasi diameter *nozzle*. Cara melakukan variasi diameter *nozzle* tersebut adalah dengan cara memperbesar diameter *nozzle*. Diameter awal *nozzle* yang digunakan dimulai dari 1 inchi, kemudian 2 inchi, 3 inchi dan seterusnya hingga *nozzle* maksimum yang dapat digunakan pada *standard air receiver tank* yang ada.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar diameter *nozzle*, maka semakin besar pula tegangan maksimum yang terjadi pada *air receiver tank* khususnya bagian sambungan antara *nozzle* dengan *shell*. Penelitian ini juga memberikan kesimpulan bahwa penentuan perbandingan antara diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum tidak berlaku untuk ukuran *air receiver tank* yang berbeda-beda. Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian dimana perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada *standar air receiver tank* dengan volume 15 *gallons* adalah 1:4, volume 30 *gallons* adalah 3:14, volume 40 *gallons* adalah 1:8, volume 60 *gallons* adalah 3:20, volume 120 *gallons* adalah 1:8, volume 215 *gallons* adalah 4:30 dan volume 300 *gallons* adalah 5:36. Dalam mendesain sebuah *air receiver tank* perlu dilakukan penelitian sendiri-sendiri dengan dimensi dan bentuk *air receiver tank* yang berbeda-beda.

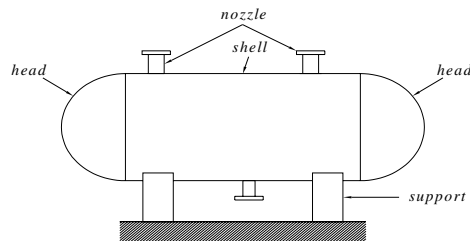
Kata kunci : *Air Receiver Tank*, *Nozzle*, *Shell*, Metode Elemen Hingga.

1. PENDAHULUAN

Air Receiver Tank adalah suatu alat yang berfungsi untuk menampung udara bertekanan. Pada umumnya alat ini digunakan oleh banyak industri, khususnya industri yang menggunakan pneumatik. Karena banyaknya industri yang membutuhkan alat ini, maka banyak juga perusahaan konstruksi yang membuat *air receiver tank* ini. Di dalam *Air Receiver Tank* terdapat empat komponen utama, yaitu *shell*, *heads*,

nozzle, dan *support*. *Shell* dan *heads* bersama-sama membentuk wadah untuk menampung udara bertekanan. *Nozzle* berfungsi sebagai saluran masuk dan keluar fluida bertekanan, sedangkan *support* sebagai penumpu bejana tekan. Pada suatu *air receiver tank*, tegangan maksimum yang terjadi biasanya disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan ini dapat terjadi pada bagian *nozzle* (saluran keluar-masuk udara) dan pada

bagian *head* (penutup tangki). Penelitian ini ditujukan untuk menentukan perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada *air receiver tank* horisontal. Perancangan akan dilakukan pada 7 tipe *standard air receiver tank* dengan volume (*gallon*) yang berbeda, karena dengan pertimbangan tiap tipe *gallon* tersebut memiliki diameter *shell* yang berbeda. Ketujuh tipe tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut.



Gambar 1. Terminologi Bejana Tekan

Tabel 1. Spesifikasi standar Air Receiver Tank

Volume Tangki (<i>gallons</i>)	Diameter <i>Shell</i> (<i>inchi</i>)	Parjang Tangki (<i>inchi</i>)	Tekanan Udara (<i>psi</i>)	Tebal Tangki (<i>mm</i>)
15	12"	34"	150	5
30	14"	48"	150	5
40	16"	51"	150	5
60	20"	50"	150	7
120	24"	65"	150	8
215	30"	75"	150	10
300	36"	75"	150	12

Dari ketujuh tipe tersebut, tiap tipe *air receiver tank* akan dibuat dengan cara memodifikasi diameter *nozzle*. Cara memodifikasi diameter *nozzle* tersebut adalah dengan cara memperbesar diameter *nozzle*. Diameter awal *nozzle* yang digunakan dimulai dari 1 *inchi*, kemudian 2 *inchi*, 3 *inchi* dan seterusnya hingga *nozzle* maksimum yang dapat digunakan pada *standard air receiver tank* yang ada.

Cara ini dilakukan agar dapat diketahui perbedaan tegangan maksimum untuk tiap *nozzle* yang berbeda pada setiap tipe *air receiver tank*, kemudian akan dapat ditentukan perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada *air receiver tank*. Untuk melakukan penelitian ini tidak dimungkinkan untuk melakukan secara eksperimen dan melakukan perhitungan analitis karena penggunaan penelitian secara pengujian sebenarnya atau secara eksperimen dengan memberikan tekanan udara ke *air receiver tank* terlalu berbahaya dan perhitungan analitis yang biasanya digunakan kurang akurat karena mengabaikan pengaruh konsentrasi tegangan yang terjadi pada *air receiver tank*.

Perangkat lunak ANSYS yang berbasis metode elemen hingga dapat digunakan sebagai solusi dalam mengatasi masalah yang telah disebutkan diatas.

Material yang paling banyak digunakan dalam pembuatan *air receiver tank* adalah baja karbon rendah (*low carbon steel*) dan *stainless steel*. Dalam

penelitian ini dipilih *low carbon steel* atau lebih dikenal dengan sebutan *mild steel*. Pemilihan material ini didasarkan pada pemakaian material ini dalam pembuatan *air receiver tank* dalam industri konstruksi dan harga *mild steel* yang murah serta material ini (*mild steel*) cukup memenuhi persyaratan sebagai material *air receiver tank*. *Mechanical property* dari *mild steel* yang dipakai dalam perancangan *air receiver tank* sesuai *Structural Steel* ASTM A-36 adalah:

Modulus Elastisitas (E) = 200 GPa

Poisson's Ratio = 0.3

Yield Strength (S_{yp}) = 36 ksi = 248 MPa

Density (ρ) = 7860 kg/m³

2. KAJIAN PUSTAKA

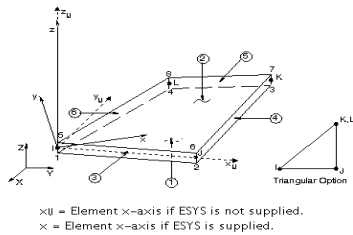
Dalam melakukan perhitungan tegangan dan regangan, komputer (*software* ANSYS) menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik yang tentunya cocok digunakan dengan komputer digital. Dengan metode ini suatu struktur elastik kontinu dibagi-bagi (*discretized*) menjadi beberapa substruktur (disebut elemen). Kemudian dengan menggunakan matriks, defleksi dari tiap titik (*node*) akan dihubungkan dengan pembebanan, properti material, properti geometrik dan lain-lain. Metode elemen hingga telah digunakan secara luas untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks.

Air Receiver Tank memiliki geometri yang *axisymmetric*, ini membuat pemodelan untuk *air receiver tank* bisa dilakukan baik dengan *full modelling* (pemodelan utuh), *symmetric modelling*, maupun *axisymmetric modelling*.

Full modelling yaitu dengan memodelkan seluruh geometri tangki. Pemodelan semacam ini bisa dilakukan baik dengan elemen *shell* maupun *solid*. *Symmetric modelling* berarti hanya memodelkan separuh bagian dari tangki. Pemodelan semacam ini dilakukan karena geometri dan pembebanan yang memang simetri. Untuk *symmetric modelling* juga bisa dilakukan baik dengan elemen *shell* maupun *solid*. *Axisymmetric modelling* memanfaatkan geometri tangki yang simetri sepanjang sumbu-z (apabila menggunakan koordinat silinder). Jadi, pemodelan hanya dilakukan dengan penampang ketebalan tangki, dengan demikian permasalahannya menjadi dua-dimensi. *Axisymmetric modelling* bisa dilakukan dengan *plane element*. Tipe elemen yang dapat digunakan untuk analisa struktur *air receiver tank* antara lain adalah *shell element*, *solid element*, dan *plane element*.

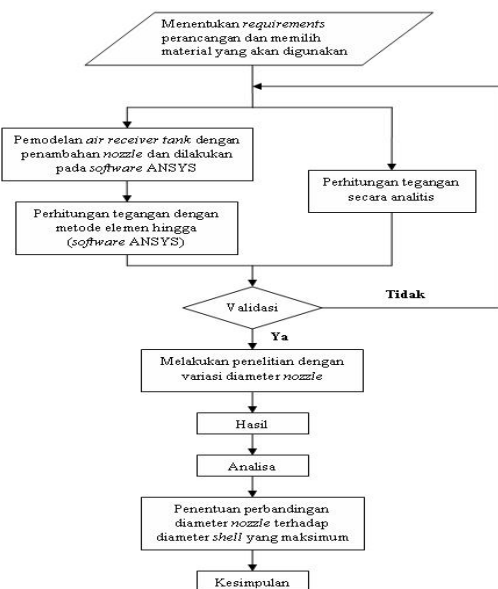
Secara umum elemen kuadratik akan lebih baik dalam memodelkan geometri yang kompleks dengan banyak radius (lekukan). Ini disebabkan oleh keberadaan *node* di tengah (*midside nodes*). Tetapi dalam hal simulasi *Air Receiver Tank*, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh David Heckman

(1998) “*Finite Element Analysis of Pressure Vessel*”, SHELL63 sebagai *linear shell element* menghasilkan kesalahan (*error*) yang relatif lebih kecil daripada elemen-elemen kuadratik. SHELL63 memiliki karakteristik derajat kebebasan yang memenuhi persyaratan dalam simulasi *Air Receiver Tank* ini, yaitu kemampuannya untuk mensimulasikan perpindahan yang disebabkan oleh momen *bending* (gerakan rotasi). Dengan pertimbangan ini maka elemen yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah elemen SHELL63.



Gambar 2. Elemen SHELL63

3. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3. Metodologi Penelitian

Dalam melakukan penelitian (metode penelitian) ini, diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut :

- Material tangki diasumsikan homogen, isotropik, dan kontinu.
- Besar diameter *nozzle inlet* dan *outlet* diasumsikan sama besar, dan sambungan las diabaikan serta material diasumsikan kontinu dan utuh.

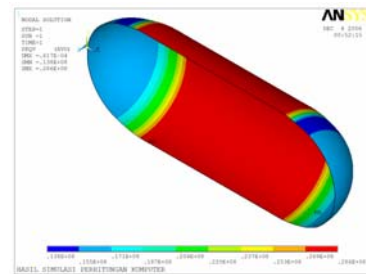
4. HASIL PENELITIAN

Dalam penelitian ini, sebelum melakukan analisa dan penentuan perbandingan diameter *nozzle* terhadap

diameter *shell* yang maksimum, model yang digunakan perlu di-validasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi dengan perhitungan analitis. Karena keterbatasan dari perhitungan analitis, maka validasi hanya dilakukan untuk model dengan bentuk *head hemispherical* tanpa menggunakan *nozzle*.

Perhitungan dengan Metode Elemen Hingga

Langkah pertama dalam validasi adalah melakukan simulasi dengan setengah bagian dari model yang ada. Hal ini disebabkan karena benda tersebut simetri secara geometri serta mengalami gaya-gaya yang bekerja secara simetri pula pada benda tersebut. *Boundary conditions* yang diterapkan adalah *symmetric boundary conditions* dan tekanan kerja yang digunakan sesuai spesifikasi dari *air receiver tank* yaitu 150 psi (1,034214 MPa). Hasil simulasi didapatkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 28.6 MPa tampak sebagai berikut :



Gambar 4. Hasil simulasi *Air Receiver Tank*.

Perhitungan analitis

Perhitungan analitis dilakukan dengan rumus untuk bejana tekan dinding tipis :

Tegangan Keliling (*Hoop Stress*)

$$\sigma_{hoop} = \frac{pr}{t} = \frac{(1034214)(0.1524)}{(0.005)} = 31.52 \text{ MPa}$$

Tegangan Membujur (*Longitudinal Stress*)

$$\sigma_{long} = \frac{pr}{2t} = \frac{(1034214)(0.1524)}{2(0.005)} = 15.76 \text{ MPa}$$

Tegangan kriteria von Mises

$$\sigma_{vonMises} = \frac{\sqrt{2}}{2} \left[(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 \right]^{1/2}$$

dimana : $\sigma_1 = \sigma_{hoop} = 31.52 \text{ MPa}$

$\sigma_2 = \sigma_{long} = 15.76 \text{ MPa}$

$\sigma_3 = p_{internal} = -1.034214 \text{ MPa}$

$\sigma_{von Mises} = 28.19 \text{ Mpa}$

Untuk menghitung kesalahan, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Prosentase Kesalahan} = \left| \frac{\sigma_{hasil simulasi} - \sigma_{analitis}}{\sigma_{analitis}} \right| \times 100 \%$$

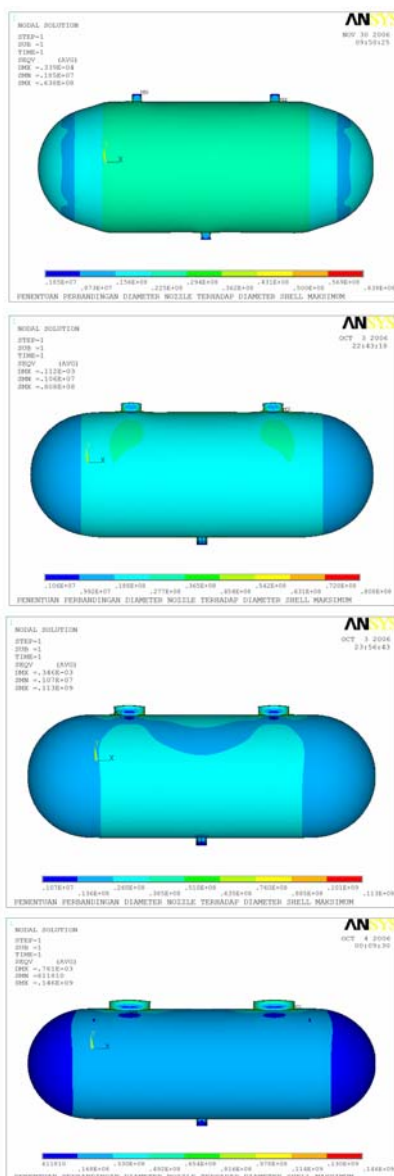
$$\text{Prosentase Kesalahan} = \left| \frac{28,6 - 28,19}{28,19} \right| \times 100 \% = 1,45 \%$$

Kesalahan yang dihasilkan ternyata cukup kecil, sehingga hasil simulasi dianggap valid dan bisa digunakan dalam analisa.

Pemodelan *Air Receiver tank* dilakukan dengan menggunakan *symmetric modelling* dengan elemen SHELL63. *Symmetric modelling* dilakukan karena geometri *air receiver tank* yang memang simetri dan pembebanan yang terjadi juga simetri.

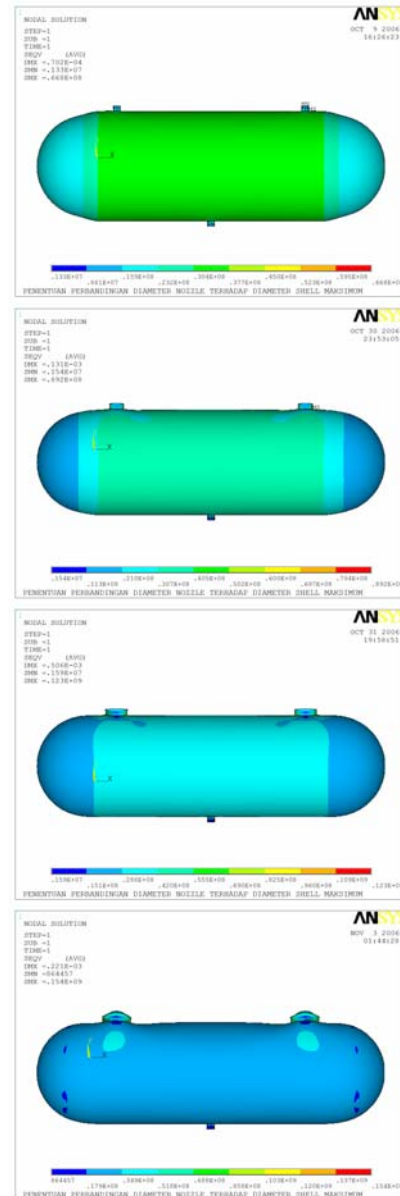
Simulasi Air Receiver Tank

Simulasi dilakukan dengan menerapkan *symmetric boundary conditions* dan tekanan kerja dari *air receiver tank* sebesar 150 psi (1,034214 MPa) diaplikasikan pada model. Hasil simulasi dari setiap perubahan *nozzle* yang terjadi untuk tiap tipe *air receiver tank* yang berbeda adalah sebagai berikut :



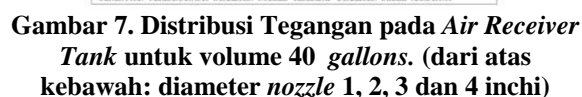
Gambar 5. Distribusi Tegangan pada Air Receiver Tank untuk volume 15 gallons. (dari atas kebawah: diameter nozzle 1, 2, 3 dan 4 inci)

Pada simulasi *air receiver tank* untuk model pertama dengan diameter awal *nozzle* 1 inci, tegangan maksimum yang terjadi adalah 63,8 Mpa, untuk 2 inci tegangan maksimum yang terjadi 80,8 Mpa, untuk 3 inci tegangan maksimum yang terjadi 113 Mpa, dan untuk 4 inci tegangan maksimum yang terjadi 146 Mpa.



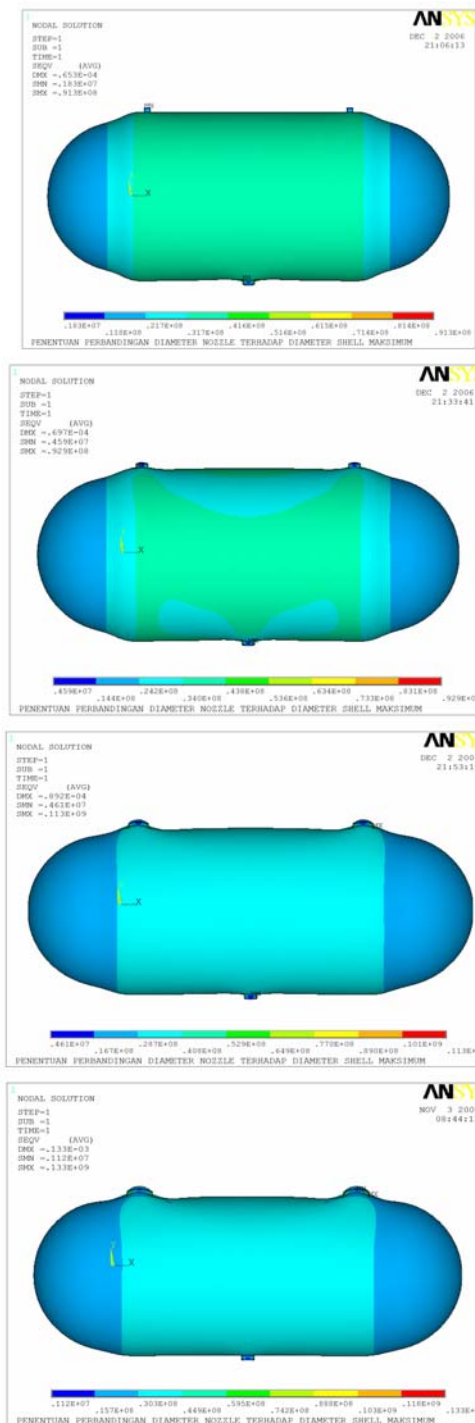
Gambar 6. Distribusi Tegangan pada Air Receiver Tank untuk volume 30 gallons. (dari atas kebawah: diameter nozzle 1, 2, 3 dan 4 inci)

Pada simulasi *air receiver tank* untuk model kedua dengan diameter awal *nozzle* 1 inci, tegangan maksimum yang terjadi adalah 66,8 Mpa, untuk 2 inci tegangan maksimum yang terjadi 89,2 Mpa, untuk 3 inci tegangan maksimum yang terjadi 123 Mpa, dan untuk 4 inci tegangan maksimum yang terjadi 154 Mpa.



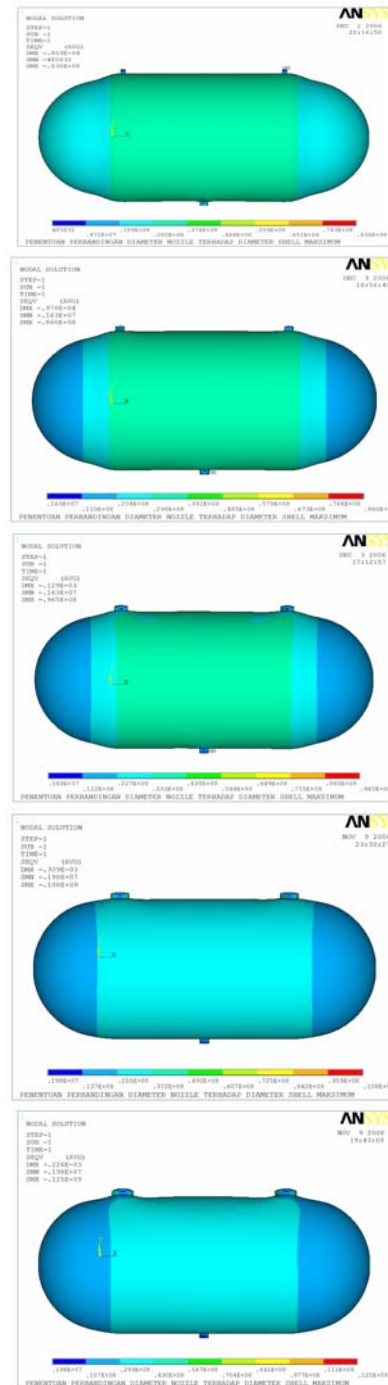
Gambar 8. Distribusi Tegangan pada *Air Receiver Tank* untuk volume 60 gallons. (dari atas kebawah: diameter *nozzle* 1, 2, 3 dan 4 inchi)

Pada simulasi *air receiver tank* untuk model keempat dengan diameter awal *nozzle* 1 inci, tegangan maksimum yang terjadi adalah 72,3 Mpa, untuk 2 inci tegangan maksimum yang terjadi 88,4 Mpa, untuk 3 inci tegangan maksimum yang terjadi 115 Mpa, dan untuk 4 inci tegangan maksimum yang terjadi 137 Mpa.



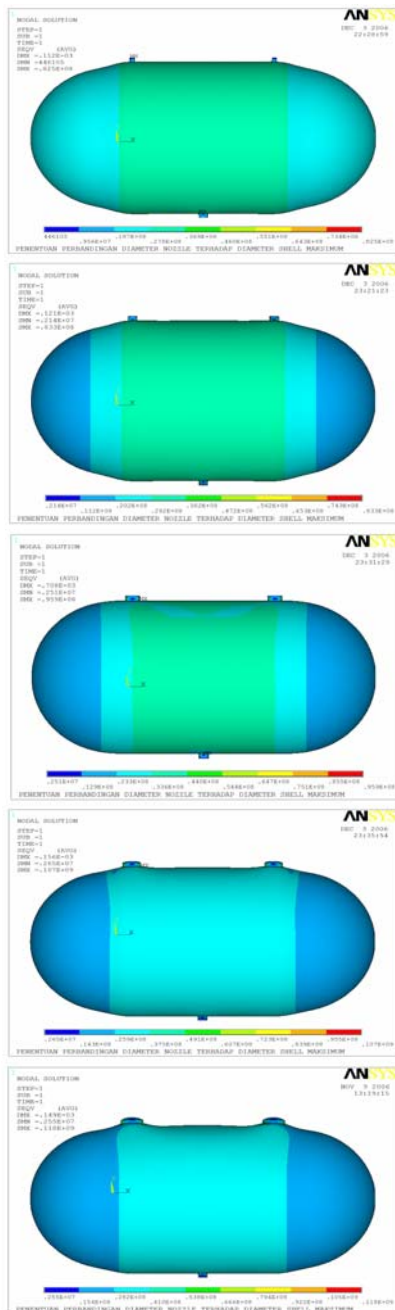
Gambar 9. Distribusi Tegangan pada Air Receiver Tank untuk volume 120 gallons. (dari atas kebawah: diameter nozzle 1, 2, 3 dan 4 inci)

Pada simulasi *air receiver tank* untuk model kelima dengan diameter awal *nozzle* 1 inci, tegangan maksimum yang terjadi adalah 91,3 Mpa, untuk 2 inci tegangan maksimum yang terjadi 92,9 Mpa, untuk 3 inci tegangan maksimum yang terjadi 113 Mpa, dan untuk 4 inci tegangan maksimum yang terjadi 133 Mpa.



Gambar 10. Distribusi Tegangan pada Air Receiver Tank volume 215 gallons. (dari atas kebawah: diameter nozzle 1, 2, 3,4 dan 5 inci)

Pada simulasi *air receiver tank* untuk model keenam dengan diameter awal *nozzle* 1 inci, tegangan maksimum yang terjadi adalah 83,6 Mpa, untuk 2 inci tegangan maksimum yang terjadi 86 Mpa, untuk 3 inci tegangan maksimum yang terjadi 96,5 Mpa, untuk 4 inci tegangan maksimum yang terjadi 108 Mpa dan untuk 5 inci tegangan maksimum yang terjadi 125 Mpa.



Gambar 11. Distribusi Tegangan pada Air Receiver Tank volume 300 gallons. (dari atas kebawah: diameter nozzle 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 inci)

Pada simulasi *air receiver tank* untuk model ketujuh dengan diameter awal *nozzle* 1 inci, tegangan maksimum yang terjadi adalah 83,6 Mpa, untuk 2 inci tegangan maksimum yang terjadi 86 Mpa, untuk 3 inci tegangan maksimum yang terjadi 96,5 Mpa, untuk 4 inci tegangan maksimum yang terjadi 108 Mpa, untuk 5 inci tegangan maksimum yang terjadi 125 Mpa dan untuk 6 inci tegangan maksimum yang terjadi 125 Mpa.

Sebelum menentukan perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada *air receiver tank*, perlu diketahui terlebih dulu besar

angka keamanan untuk setiap perubahan diameter *nozzle*. Hal ini dilakukan agar diketahui besar diameter *nozzle* maksimum yang dapat digunakan pada *air receiver tank*. Untuk mengetahui besar angka keamanan digunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$N = \frac{S_{yp}}{S}$$

Tabel 2. Tegangan kritis dan angka keamanan pada hasil simulasi model pertama (15 gallons)

Diameter Nozzle (inci)	Tegangan Kritis (Mpa)	Angka keamanan (N)
1	63,8	3,8
2	80,8	3,0
3	113	2,2
4	146	1,7

Tabel 3. Tegangan kritis dan angka keamanan pada hasil simulasi model kedua (30 gallons)

Diameter Nozzle (inci)	Tegangan Kritis (Mpa)	Angka keamanan (N)
1	66,8	3,7
2	89,2	2,8
3	123	2,01
4	154	1,6

Tabel 4. Tegangan kritis dan angka keamanan pada hasil simulasi model ketiga (40 gallons)

Diameter Nozzle (inci)	Tegangan Kritis (Mpa)	Angka keamanan (N)
1	80,6	3,07
2	109	2,27
3	143	1,73
4	180	1,37

Tabel 5. Tegangan kritis dan angka keamanan pada hasil simulasi model keempat (60 gallons)

Diameter Nozzle (inci)	Tegangan Kritis (Mpa)	Angka keamanan (N)
1	72,3	3,43
2	88,4	2,8
3	115	2,15
4	137	1,81

Tabel 6. Tegangan kritis dan angka keamanan pada hasil simulasi model kelima (120 gallons)

Diameter Nozzle (inci)	Tegangan Kritis (Mpa)	Angka keamanan (N)
1	91,3	2,71
2	92,9	2,66
3	113	2,19
4	133	1,86

Tabel 7. Tegangan kritis dan angka keamanan pada hasil simulasi model keenam (215 gallons)

Diameter Nozzle (inchi)	Tegangan Kritis (Mpa)	Angka keamanan (N)
1	83,6	2,96
2	86,0	2,88
3	96,5	2,56
4	108	2,29
5	125	1,98

Tabel 8. Tegangan kritis dan angka keamanan pada hasil simulasi model ketujuh (300 gallons)

Diameter Nozzle (inchi)	Tegangan Kritis (Mpa)	Angka keamanan (N)
1	82,5	3,0
2	83,3	2,97
3	95,9	2,58
4	107	2,31
5	118	2,1
6	132	1,87

Dengan keterangan dari seluruh tabel dapat diambil kesimpulan bahwa diameter *nozzle* maksimum yang aman untuk digunakan dalam desain *air receiver tank* untuk semua tipe angka keamanannya tidak boleh kurang dari 2.0 ($N \geq 2.0$) dengan informasi *yield strength* (S_{yp}) pada pemilihan material. Dengan demikian hasil dari penentuan perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada *air receiver tank* untuk semua tipe yang telah diteliti dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

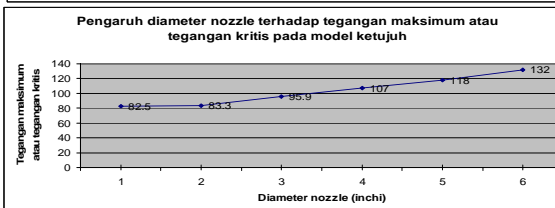
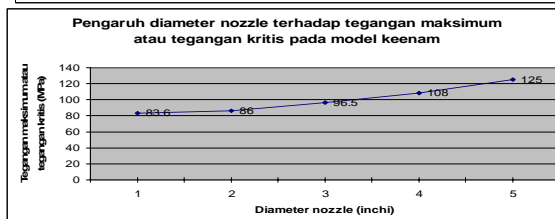
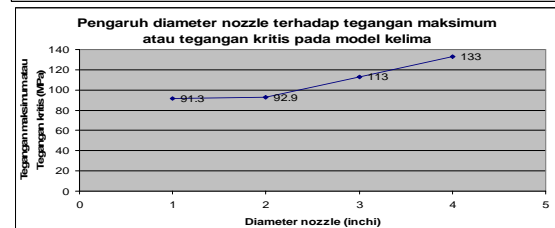
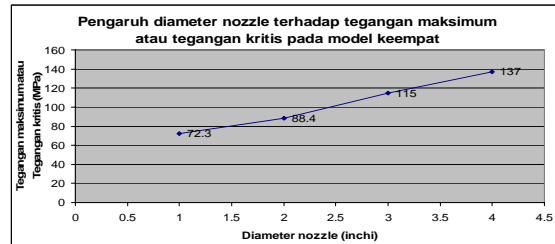
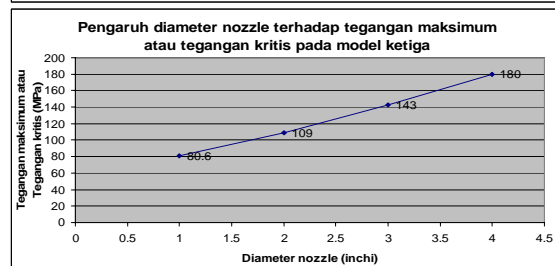
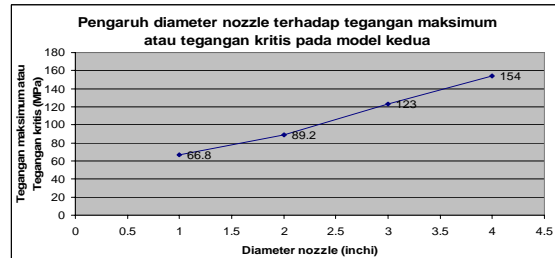
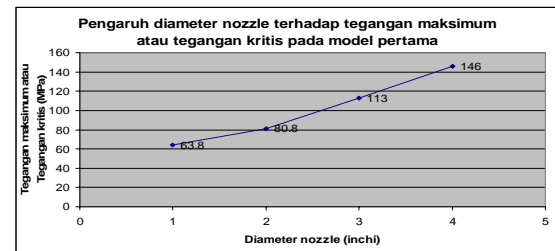
Tabel 9. Perbandingan Diameter Nozzle terhadap Diameter Shell Maksimum untuk Semua Model

Desain Air Receiver Tank (volume)	Perbandingan maksimum \varnothing Nozzle : \varnothing Shell
15 gallons	1 : 4
30 gallons	3 : 14
40 gallons	1 : 8
60 gallons	3 : 20
120 gallons	1 : 8
215 gallons	4 : 30
300 gallons	5 : 36

Dengan tabel 9, hasil penelitian menunjukkan perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada standar *air receiver tank* dengan volume 15 gallons adalah 1:4, volume 30 gallons adalah 3:14, volume 40 gallons adalah 1:8, volume 60 gallons adalah 3:20, volume 120 gallons adalah 1:8, volume 215 gallons adalah 4:30 dan volume 300 gallons adalah 5:36.

4. ANALISA HASIL SIMULASI

Grafik berikut ini menunjukkan bagaimana tegangan maksimum akan meningkat seiring dengan makin besarnya diameter *nozzle*.



Gambar 12. Grafik variasi diameter nozzle terhadap besar tegangan maksimum untuk model pertama hingga model ketujuh

Dengan melihat gambar 12 dari model pertama hingga model ketujuh menunjukkan bahwa semakin besar diameter *nozzle*, maka semakin besar pula tegangan maksimum yang terjadi pada *air receiver tank* (khususnya bagian sambungan antara *shell* dengan *nozzle*).

5. KESIMPULAN

Semakin besar diameter *nozzle*, maka semakin besar pula tegangan maksimum yang terjadi pada *air receiver tank*. Khususnya bagian sambungan antara *nozzle* dengan *shell*.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar diameter *nozzle*, maka semakin besar pula tegangan maksimum yang terjadi pada *air receiver tank* khususnya bagian sambungan antara *nozzle* dengan *shell*. Penelitian ini juga memberikan kesimpulan bahwa penentuan perbandingan antara diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum tidak berlaku untuk ukuran *air receiver tank* yang berbeda-beda. Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian dimana perbandingan diameter *nozzle* terhadap diameter *shell* yang maksimum pada standar *air receiver tank* dengan volume 15 gallons adalah 1:4, volume 30 gallons adalah 3:14, volume 40 gallons adalah 1:8, volume 60 gallons adalah 3:20, volume 120 gallons adalah 1:8, volume 215 gallons adalah 4:30 dan volume 300 gallons adalah 5:36. Dalam mendesain sebuah *air receiver tank* perlu dilakukan penelitian sendiri-sendiri dengan dimensi dan bentuk *air receiver tank* yang berbeda-beda.

REFERENSI

- [1] Anggono. Willyanto, , **Peningkatan Unjuk Kerja Desain Flexible Shield untuk Pompa Sabun dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga**, Indonesia: Jurnal Teknik Mesin, Vol.6, No.2, Okt 2004, pp.57-64, (2004)
- [2] Carucci. Vincent A, **Overview Of Pressure Vessel Design**, <<http://www.asme.org/education/prodev/cdseries/pd/cds12partic.pdf>>, (1999)
- [3] ANSYS Inc., **ANSYS 7.0 Documentation**, ANSYS Inc., USA, (2002)
- [4] Heckman. David, **Finite Element Analysis of Pressure Vessel**, <<http://www.mbari.org/education/internship/98inters/98internpapers/98heckman.html>>, (1998)
- [5] Budynas. Richard G, **Advanced Strength and Applied Stress Analysis**, McGraw-Hill Book Company, Singapore, (1999)
- [6] Juvinall. Robert C , **Engineering Consideration of Stress, Strain and Strength**, McGraw-Hill Book Company, New York, (1967)
- [7] Kaminski. Clemens, **Stress Analysis & Pressure Vessels**, <www.cheng.cam.ac.uk/groups/laser/Teaching/SAV/SAPV.pdf>, (2005)
- [8] Logan. Daryl L, **Mechanics of Materials**,

McGraw-Hill Book Company, New York, (1991)

- [9] Popov. Egor P, 1987, **Introduction to Mechanics of Solids**, Prentice Hall, New Jersey.
- [10] Zero-G nogravity.com. **Pressure Vessel Requirement**. <www.spacex.org/ott/docs/ZG-R-005-Pressure_Vessels.pdf>