MODIFIKASI *EXCAVATOR* MENGGUNAKAN TABUNG PENYIMPAN UDARA BERTEKANAN (*PRESSURE VESSEL*) SEBAGAI MEDIA EDUKASI

Supriadi[1], Nazaruddin[2]

Laboratorium Hidrolik dan Pneumatik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

[1]supriadiadisucipto45@gmail.com, [2]nazaruddin@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Excavators are heavy equipment used to move material from one place to another.Excavators are widely used in various fields, namely: construction, mining,infrastructure, etc.The University of Riau has produced a mini excavator model design in the Hydraulic and Pneumatic Laboratory of the Faculty of Engineering Mechanical Engineering using a pneumatic system based on undercarriage, equipped with a remote control system, and 360˚ swing rotation.This research was modified the air supply section , in the design of the tube using a two data that the calculation and software autodesk inventor 2015, This research was revealed the highest strees calculation data results of head 9.05 MPa and shell of 4.56 MPa, while data software autodesk inventor 2015 that was obtained the highest strees head of 4.15 MPa and shell of 4.49 MPa.The tube pressure of 5.8 bars of total air requirement wason a pneumatic system of 3.8 bars and the remaining air that was stored in 2 bars. The pneumatic system can drive the air pressure of 5.8-6 bars. Therefore, the movement was likelyan excavator in general.

Key Word : *excavator, presurre, strees analysis*

1. Pendahuluan

Excavator merupakan suatu alat berat yang digunakan untuk memindahkan material dari satu tempat ke tempat lain. Berbagai macam aktifitas alat berat pada suatu pekerjaan atau proyek pembangunan, seperti: transportasi jalan, jembatan, bandara, bangunan air, waduk, bendungan, pelabuhan, dan bangunan gedung bertingkat. Alat berat di dalam suatu proyek bangunan memiliki peran yang sangat penting dalam hal keberlangsungan proyek tersebut. *Excavator* banyak digunakan dalam berbagai bidang dan industri antara lain: konstruksi, pertambangan, *infrastructure* dan sebagainya. Karena mempunyai peran multifungsi, maka *excavator* selalu tampil dalam berbagai jenis banyak pekerjaan berat baik di daratan ataupun di perairan[1].

Pada umumnya alat berat *excavator* mempunyai komponen mesin untuk menggerakkan seperti: *boom*, *stick*, *cabin*, *upper struckture* dan *bucket* serta memanfaatkan sistem hidrolik dan fluida sebagai media penggerak. Dengan seiring berkembangnya teknologi maka diciptakan sistem pergerakan *excavator* untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain menggunakan motor hidrolik pada roda rantainya.

Universitas Riau saat ini telah menghasilkan rancangan model *excavator* mini tepatnya di Laboratorium Hidrolik dan Pneumatik Teknik Mesin Fakultas Teknik. Dimana *excavator* dibuat oleh peneliti sebelumnya menggunakan sistem pneumatik, memanfaatkan udara bertekanan untuk menggerakkan lengan-lengan *excavator*. Semua gerakan dikontrol dengan menggunakan *remote* berkabel yang langsung terhubung dengan *excavator*, kemudian *swing* berputar sebanyak 360˚ sehingga serupa dengan *excavator* pada umumnya.

Gerakan *excavator* sudah mulai sempurna akan tetapi masih menggunakan kompresor yang besar sehingga sulit dalam berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya serta *adapter* untuk mengubah arus listrik AC ke arus listrik DC, sehingga pergerakan masih terbatas akibat adanya selang dan kabel yang terpasang pada *excavator*.Oleh karenanya diperlukan sebuah rancangan tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*), yang berfungsi untuk menyimpan udara bertekanan. Udara dalam tabung yang memiliki tekanan nantinya digunakan untuk menggerakkan sistem pneumatik.

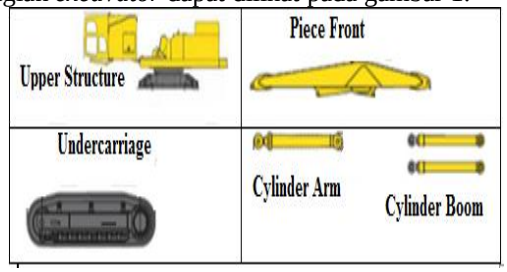
Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi tabung yang menetap menjadi tabung *portable* yang menempel pada bodi *excavator*, mengetahui tegangan secara toritis, mengetahui kapasitas udara dan tekanan maksimal pada tabung, membuktikan asumsi udara sisa dalam tabung, dan mengetahui jumlah gerakan lengan-lengan *excavator*.

2. Teori

2.1. Pengertian *Excavator*

Excavator adalah sebuah jenis alat berat yang terdiri dari mesin di atas roda yang khusus yang dilengkapi dengan lengan (*arm*) dan alat pengeruk (*bucket*) yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan berat berupa penggalian tanah yang tidak bisa dilakukan secara langsung oleh tangan manusia

agar menjadi lebih ringan dan dapat mempercepat waktu pekerjaan[2]. *Excavator* disebut juga dengan alat serba guna yang digunakan untuk menggali tanah (*digging*), memuat material ke *dump truck* (*loading*), mengangkat material (*lifting*), mengikis tebing (*scraping*), dan meratakan (*grading*). Dengan menggunakan beberapa kombinasi penggantian alat kerja (*work equipment*), maka dapat digunakan untuk memecah batu (*breaking*), membongkar aspal, dan lain sebagainya[3]. Bagian-bagian *excavator* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1Bagian-Bagian *excavator*[3]

2.2. Pneumatik

Pneumatik berasal dari bahasa Yunani yang berarti udara atau angin. Semua sistem yang menggunakan tenaga yang disimpan dalam bentuk udara yang dimampatkan untuk menghasilkan suatu kerja disebut pneumatik[4].Untuk kebutuhan udara pada sistem pneumatik (Q) terlebih dahulu harus diketahui kebutuhan udara persentimeter langkah piston, panjang langkah piston (cm) dan jumlah siklus kerja per menit. Gambar tabel kebutuhan udara pneumatik persentimeter langkah dengan fungsi tekanan kerja dan diameter piston[4].

$$Q = 2\,x\,(sxnxq) \qquad (1)$$

Dimana : Q = kebutuhan udara silinder (ℓ/min)
q = kebutuhan udara persentimeter langkah piston (ℓ/cm)
s = panjang langkah piston (cm)

2.3. Tabung PenyimpananUdara (*Pressure Vessel*)

Bejana tekan ialah merupakan wadah tertutup yang dirancang untuk menampung cairan atau gas pada temperatur dan tekanan yang berbeda dari temperatur dan tekanan lingkungan. Bejana tekan atau istilah dalam teknik adalah tabung tertutup berbentuk silinder, sebagai penampung tekanan dalam maupun tekanan luar[5]. Tabung penyimpan udara dapat dilihat pada gambar 2.

Gambar 2 *Pressure Vessel* (Tabung Penyimpan Udara Bertekanan)[6]

Menghitung sisa tekanan udara minimum dalam tabung sampai tidak dapat untuk menggerakkan sistem pneumatik.
Menghitung tekanan sisa (Bar) = tekanan udara – (jumlah rata-rata tekanan kerja (maju dan mundur) x jumlah gerakan pneumatik) (2)

Tegangan yang terjadi pada tangki tabung ada ada dua yaitu tegangan hoop (σ_1) dan tegangan longitudinal (σ_2) dihitung dengan menggunakan persamaan rumus[7]:

$$\sigma_1 = \sigma_{hoop} = \frac{pr}{t} \qquad (3)$$

$$\sigma_2 = \sigma_{longtudinal} = \frac{pr}{2t} \qquad (4)$$

Dimana : $P = tekanan$ (N/m²)
t = Tebal tangki (cm)
r = Panjang tangki (cm)

Dari hasil tegangan pada persamaan rumus 3 dan 4, maka dapat menghitung juga tegangan maksimum dan minimum pada tabung. Menggunakan rumus:

$$\sigma_{maximum} = \sigma_{average} + R = \frac{\sigma 1+\sigma 2}{2} + R \qquad (5)$$

$$\sigma_{minimum} = \sigma_{average} - R = \frac{\sigma 1+\sigma 2}{2} - R \qquad (6)$$

3. Metode

Penelitian ini modifikasi dengan merancang dan membuat tabung penyimpan udara

3.1. Modifikasi

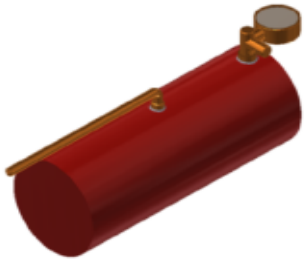
Penelitian ini melakukan modifikasi model *excavator*[1], penambahan tabung penyimpan udara bertekanan pada model *excavator*. Dimana pada penelitian sebelumnya menggunakan kompresor kemudian diganti dengan tabung penyimpan udara bertekanan, model *excavator* yang akan dimodifikasi dapat dilihat pada gambar 3.

Gambar 3 Model *Excavator*[1]

3.2. Modifkasi Suplai Udara Bertekanan Dengan Menggunakan Tabung Penyimpan Udara Bertekanan (*Pressure Vessel*)

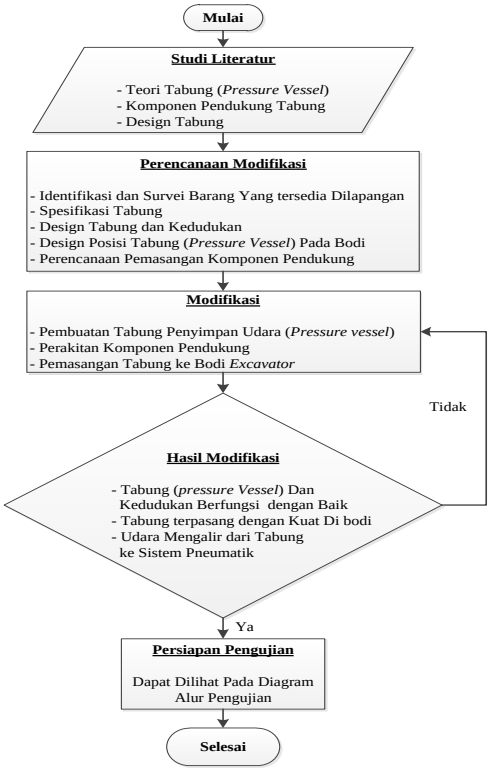
Modifikasi dilakukan pada sistem suplai udara dimana menggunakan kompresor besar maka diganti dengan tabung penyimpan udara bertekanan. Dengan kapasitas penyimpanan tabung yaitu 5,8 sampai dengan 6 bar dan kebutuhan tekanan udara pneumatik *excavator* 6 bar. Pada pembuatan tabung penyimpan udara ini dilengkapi dengan katup masuk dan keluar, bagian katup masuk menggunakan pentil ban mobil sedangkan bagian katup keluar dilengkapi dengan *pressure*

gage, *sefty valve*, dan katup pengatur tekanan (*pressur control valve*). Ilistrasi tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*) dapat di lihat pada gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi Tabung Penyimpan Udara Bertekanan (*Pressure Vessel*)

Berikut adalah diagram alir perancangan tabung penyimpan udara bertekanan(*Pressure Vessel*). Dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 diagram alir perancangan tabung

3.2.1 Perancangan Dan Pembuatan Tabung Penyimpan Udara Bertekanan (*Pressure Vessel*)

Tabung Penyimpan Udara Bertekanan (*pressure vessel*) digunakan sebagai wadah untuk menyimpan udara bertekanan yang mana berfungsi untuk menggerakkan sistem pneumatik pada *excavator*. Dalam perencanan dan pembuatan tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*) memiliki beberapa tahap, antara lain :

1. Pemilihan Material

material yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan tabung adalah menggunakan material pipa *steel* 3,5 in dengan ketebalan pipa 5 mm, dengan panjang pipa 200 mm dan tebal plat s*teel head* 10 mm.

2. Komponen Pendukung Tabung

Komponen pendukung tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*) antara lain: *pressure gage*, *sefty valve*, katup keluar (*control valve*), pentil (katup masuk), dan penyambung pipa (*threaded component*).

3. Komponen Tambahan

Kedudukan tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*) untuk tempat tabung pada *excavator*.

3.2.2 Pembuatan

Proses pembuatan tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*) dan pembuatan kedudukan. Tahap pembutan tabung dan kedudukan tabung sebagai berikut:

- Pembuatan tabung dengan cara menutup kedua sisi pipa dengan menggunakan plat dengan cara dilas menggunakan las SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) kemudian dilapisi sebuk kuningan agar tidak ada terjadinya kebocoran. Setelah itu dilakukan penge*drill*an untuk pembuatan lubang *nozzle* masuk dan keluar yang telah disesuaikan, setelah lubang tersedia maka dilakukan pemasangan *nozzle* yaitu pentil dan sambungan pipa dimana sambungan pipa *nipple* dan *cross*. Setelah kedua *nozzle* terpasang maka dilakukan pengelasan pada keduanya dengan menggunakan las SMAW dan kemudian dilapisi serbuk kuningan agar tidak terjadi kebocoran pada sambungan. Perakitan Tabung dapat dilihat pada gambar 6.

Gambar 6 Pembuatan Tabung

- Pembuatan kedudukan tabung, agar tabung pada *excavator* dalam keadaan diam saat dioperasikan. Yang terbuat dari plat *steel* dengan ketebalam 2 mm, kemudian dibentuk sesuai dengan bentuk tabung. Kedudukan Tabung dapat dilihat pada gambar 7.

Gambar 7 Pembuatan Kedudukan Tabung

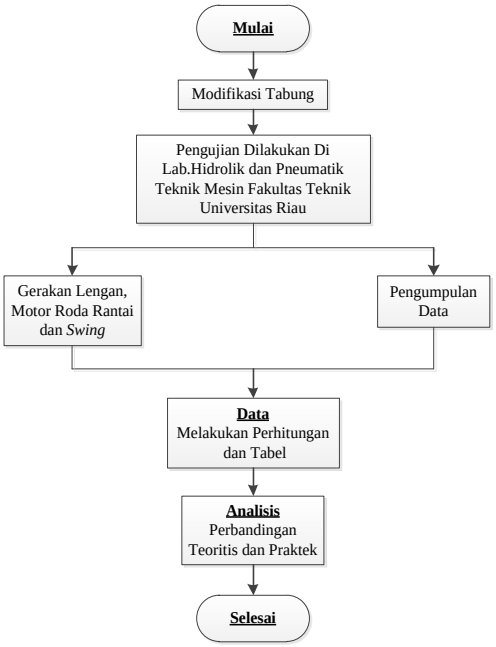
4. Hasil

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan modifikasi pada model *excavator* (Anang Suhandi Ali, 2015) adalah suplai udara sudah menggunakan tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*) yang terpasang di bodi *excavator*. Seperti dilihat pada gambar 8.

Gambar 8 Model *Excavator* Setelah Dilakukan Modifikasi

5. Pembahasan

Setelah dilakukan modifikasi, selanjutnya mengetahui kualitas kelayakan dengan pengujian pada bagian yang dimodifikasi. Pengujian dilakukan pada tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vessel*). Alur pengujian dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Diagram Alur Pengujian

5.1. Pengujian Tabung Penyimpan Udara Bertekanan (*Pressure Vessel*)

Dilakukan dua tahap pengujian, yaitu pengujian secara teoritis dan *menggunakan software Autodesk Inventor* 2015. Tahap pengujian antara lain:

5.1.1 Pengujian Tabung Penyimpan Udara Bertekanan (*Pressure Vessel*) Berdasarkan Teoritik.

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data yang akurat data yang dimaksudkan ialah mengenai nilai tegangan-tegangan yang terjadi pada *shell* tabung dan *head* tabung.

- Menghitung *head* (Tutup) tabung

$$\sigma = \frac{3x(3+v)xPxr^2}{8xt^2} = \frac{1,238xPxr^2}{t^2}$$

$$= \frac{1,238x0,58\ N/mm^2 x(35,5)^2 mm}{(10)^2 mm}$$

$$= 9,05\ N/mm^2 \text{ (MPa)}$$

$$\tau max = ½ (9,05\ N/mm^2) = 4,53\ N/mm^2 \text{(MPa)}$$

- Menghitung *shell* (Selimut) tabung

Pertama menentukan tegangan *hoop* (σ_1) dan tegangan *longitudional* (σ_2).

$$t = \frac{40\ mm - 45,5\ mm}{40\ mm} = 0,112 \text{ mm (berdinding tipis)}$$

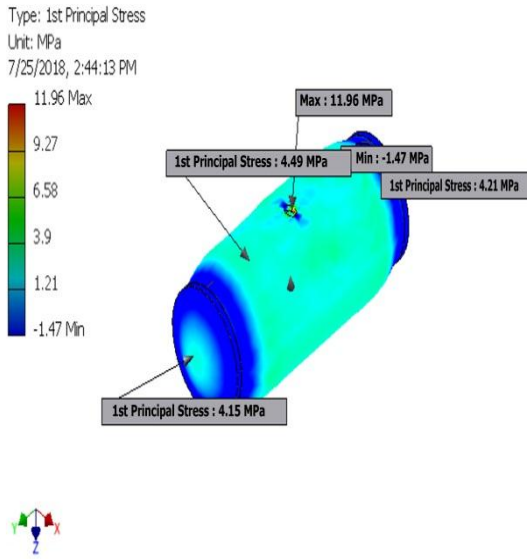
$$\sigma_1 = \frac{0,58\ N/mm^2 x\ \ 35,5\ mm}{4,5\ mm} = 4,58 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

σ_2= ½ x (4,58 N/mm²) = 2,29 N/mm² (MPa)

σ_{ave}= ½ (4,58 N/mm² + 2,29 N/mm²) = 3,43 N/mm² (MPa)

5.1.2. Pengujian Tabung Penyimpan Udara Bertekanan (*Pressure Vessel*) Berdasarkan *Software Autodesk Inventor*

Simulasi ini dilakukan untuk membandingkan antara nilai tegangan secara teoritis dengan nilai tegangan dengan menggunakan simulasi *inventor*, hasil dari simulasi menggunakan *inventor* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Simulasi Dengan Menggunakan *Software Autodesk Inventor* 2015

Perhitungan menggunakan simulasi *autodesk inventor* didapat besar tegangan yang terjadi pada tutup tabung (*head*) memiliki nilai 4,15 Mpa. Kemudian tegangan tertinggi pada selimut tabung (*shell*) memiliki nilai 4,49 Mpa dan 11,96 Mpa tegangan yang terjadi pada *nozzle* tabung. Dari hasil simulasi dengan menggunakan *software autodesk inventor* 2015 pada selimut tabung dapat masuk ke kategori aman.

5.2. Pengujian Asumsi Udara Pneumatik

Pengujian asumsi udara dilakukan dengan dua tahap, pengujian secara teoritis dan pengujian secara langsung serta udara sisa. Tahap pengujian antara lain:

5.2.1. Pengujian Asumsi Udara Teoritis Yang Diperlukan Untuk Menggerakkan Setiap Pneumatik *Excavator*

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data yang akurat, data yang dimaksudkan untuk mengetahui kebutuhan udara disetiap masing-masing pneumatik pada lengan *excavator*, diketahui panjang langkah piston pneumatik *boom* 7,614 cm pneumatik *stick* 13,649 cm dan pneumatik *bucket* 6,703 cm. Sedangkan untuk mencari kebutuhan udara persentimeter langkah piston dapat dicari menggunakan gambar tabel [5] dengan menyesuaikan diameter piston pneumatik. Lalu untuk jumlah siklus kerja permenit dengan mengasumsikan 1 kali/menit.

- *Boom*

$$q = \frac{1{,}818 - 1{,}6}{2{,}5 - 1{,}6} = \frac{x - 0{,}014}{0{,}033 - 0{,}014} = 0{,}019 \text{ l/min}$$

Q = 2 x (7,614 cm x 1 kali/menit x 0,019 ℓ/min) = 0,57 ℓ/min

Karena terdapat dua pneumatik untuk menggerakkan *boom* maka hasil dari kebutuhan udara dikali dua yaitu 0,57 ℓ/min x 2 = 1,14 ℓ/min.

- *Stick*

$$q = \frac{1{,}229 - 1{,}2}{1{,}6 - 1{,}2} = \frac{x - 0{,}008}{0{,}014 - 0{,}008} = 0{,}008 \text{ ℓ/min}$$

Q = 2 x (13,649 cm x 1 kali/menit x 0,008 ℓ/min) = 0,23 ℓ/min

- *Bucket*

$$q = \frac{1{,}168 - 0{,}6}{1{,}2 - 0{,}6} = \frac{x - 0{,}0019}{0{,}008 - 0{,}0019} = 0{,}004 \text{ ℓ/min}$$

Q = 2 x (6,703 cm x 1 kali/menit 0,004 ℓ/min) = 0,05 ℓ/min

Kebutuhan udara disetiap penumatik berbeda-beda dimana untuk penggerak boom memiliki dua pneumatik, maka kebutuhan udara untuk menggerakkan *boom* yaitu 1,14 liter/menit, sedangkan pneumatik penggerak *stick* yaitu 0,23 liter/menit, lalu pneumatik penggerak *bucket* yaitu 0,05 liter/ menit.

5.2.2. Pengujian secara langsung asumsi udara untuk menggerakkan pneumatik dan sisa udara dalam tabung untuk menggerakkan pneumatik *excavator*

Hal ini bertujuan untuk mengetahui udara yang diperlukan untuk menggerakkan pneumatik, dengan menggunakan volume tabung 0,000791 m^3 panjang 0,2 m, diamater dalam 0,071 m dan tekanan 5,8 bar. Kemudian dapat diketahui tekanan udara untuk mem*back-up* seluruh pneumatik hingga tekanan sisa pada tabung yang tidak dapat untuk mengoperasikan seluruh pneumatik. Dalam setiap pengujian dilakukan dengan 3 kali pengisian udara pada tabung.

- *Boom*
  Kebutuhan udara total pneumatik = (0,36 + 0,4) x 5 kali = 3,8 bar
  Menghitung udara sisa dalam tabung (Bar) = 5,8 bar – 3,8 bar = 2 bar
- *Stick*
  Kebutuhan udara total pneumatik = (0,22 + 0,2) x 9 kali = 3,8 bar
  Menghitung udara sisa dalam tabung (Bar) = 5,8 bar – 3,8 bar = 2 bar
- *Bucket*
  Kebutuhan udara total pneumatik = (0,124 + 0,112) x 16 kali = 3,8 bar
  Menghitung udara sisa dalam tabung (Bar) = 5,8 bar – 3,777 bar = 2 bar

Hasil perhitungan kebutuhan udara total dan udara sisa dalam tabung dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Perhitungan Kebutuhan Udara Total Dan Udara Sisa Dalam Tabung

NO	Nama	Kebutuhan Udara Total (Bar)			Udara Sisa Dalam Tabung (Bar)		
		1	2	3	1	2	3
1	*Boom*	3,8	3,5	3,5	2	2,3	2,3
2	*Stick*	3,8	3,8	3,8	2	2	2
3	*Bucket*	3,8	3,8	3,8	2	2	2

6. Simpulan

Dari hasil perencanaan, mulai dari pembuatan dan pengujian tugas akhir dengan judul modifikasi dengan menggunakan tabung penyimpan udara bertekanan (*pressure vesse*) sebagai media edukasi. Penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Modifikasi *excavator* menggunakan tabung penyimpan udara dapat berfungsi dengan baik.
2. Perancangan tabung menggunakan dua data yaitu : data hasil perhitungan dan menggunakan simulasi *software autodesk inventor* 2015. Dari hasil perhitungan didapat tegangan tertinggi pada *shell* (selimut tabung) yaitu 4,56 MPa dan tegangan tutup tabung yaitu 9,05 MPa. Sedangkan menggunakan simulasi *Autodesk Inventor* 2015, maka tegangan tertinggi pada tutup tabung (*head*) ialah 4,15 MPa dan tegangan tertinggi pada selimut tabung (*shell*) ialah 4,49 MPa serta 11,96 MPa tegangan yang terjadi pada *nozzle* tabung. Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan tabung penyimpan udara bertekanan disini dapat dikategorikan aman apabila nilai tegangan dari hasil perhitungan dan simulasi tidak melebihi tegangan luluhnya (*yield*) pada material yang digunakan.
3. Kebutuhan udara disetiap penumatik berbeda-beda dimana untuk penggerak boom memiliki 2 (dua) pneumatik, maka kebutuhan udara untuk

menggerakkan *boom* yaitu 1,14 liter/menit, sedangkan penumatik penggerak *stick* yaitu 0,23 liter/ menit, lalu pneumatik penggerak *bucket* yaitu 0,05 liter/menit. Oleh sebab itu untuk menggerakkan sistem pneumatik menggunakan tekanan tabung 5,8 bar, maka dibutuhkan 3,8 bar dari satu kali rasio gerak pada *boom* 6 kali, *stick* 9 kali, dan *bucket* 16 kali. Sehingga tekanan sisa tabung 2 bar tidak mampu untuk menggerakkan kembali sistem pneumatik *excavator*.

Daftar Pustaka

[1] Ali, A.S. 2015. Modifikasi Serta Pengujian Sistem Kontrol dan Sistem *Swing* Model *Excavator*. *Skripsi.* Fakultas Teknik Universitas Riau.

[2] Buntarto. 2016: Alat Berat dan Sistem *Undercarriage*. Pustaka Baru Press. Yogyakarta

[3] Hutagalung, J. 2014: Spesifikasi Alat Berat : *Excavator* dan *Shovel* : https://jefrihutagalung.wordpress.com/2014/03/21/spesifikasi-alat-berat-excavator-dan-shovel/. Diakses tanggal 05 April 2017

[4] Ebel, F. 2002. *Festo Proportional Pneumatics "Collection Of Transparencies*". Festo Didactic. Germany.

[5] Abdul Aziz. 2014. Perancangan Bejana Tekan (*Presure Vessel*) Untuk Separasi 3 Fasa. Sinergi. Vol 3. No 1

[6] Hakim, Arif Nur. 2015. Rancangan Bangun Tabung Komposit Tekanan Tinggi Untuk Propelan Roket Cair Korosif (*Design Of Composit Overwrappedd Pressure Vessel For Corrosive Liquid Rocket Propellant*). Jurnal Teknologi Dirgantara. 3 (2) : (163-176)

[7] Bee, F.P, dkk. 2012. *Mechanics Of Material Edition Sixth*. The MC Graw-Hill. New York.