

PERHITUNGAN LENGAN EKSAVATOR KAPASITAS 450 KG UNTUK LABORATORIUM

Ucok Mulyo Sugeng⁽¹⁾, Erizal⁽²⁾, Deniyanto⁽³⁾

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri – ISTN

Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640.

Email : ucok@istn.ac.id

ABSTRAK

Dewasa ini sistem hidrolik banyak digunakan dalam berbagai macam industri dan penerapan sistem hidrolik juga banyak digunakan pada proses produksi. Tetapi sebagian besar belum banyak yang mengetahui tentang cara kerja dan perawatan sistem hidrolik itu sendiri.

Dengan apa yang terjadi yang tertulis di atas maka harus dicari solusi atau alternatif guna mencukupi kebutuhan itu, maka dari itu penulis melakukan perhitungan dan analisa pada alat peraga lengan ekskavator kapasitas 450 kg untuk laboratorium. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui cara kerja sistem hidrolik dan kekuatan silinder hidrolik pada lengan ekskavator kapasitas 450 kg untuk laboratorium.

Penulis melakukan perhitungan tegangan pada meja penopang lengan ekskavator kapasitas 450 kg dan perhitungan gaya yang dapat diterima pada masing-masing silinder hidrolik untuk komponen bucket, arm, dan boom. Dengan dilakukan perhitungan ini maka akan dapat diketahui kekuatan dan kapasitas lengan ekskavator serta cara kerja dari system hidrolik.

Berdasarkan hasil perhitungan, rangka meja penopang lengan ekskavator mempunyai tegangan maksimal sebesar 15,62 N/mm². Sedangkan untuk kekuatan silinder hidrolik mempunyai gaya pada saat *in stroke* sebesar 20.742 N dan saat *out stroke* sebesar 27.632 N. Jika kekuatan silinder hidrolik dibandingkan dengan beban total lengan ekskavator yang terberat terletak pada boom sebesar 176,58 N maka didapatkan selisih yang besar, ini berarti sistem hidrolik aman digunakan karena gaya dorong lebih besar dari beban dan dapat bergerak dengan lancar.

Kata kunci : hidrolik, tegangan, gaya, lengan ekskavator

ABSTRACT

Nowadays, hydraulic systems are widely used in many industries and the applicaton is widely used in the production process. But many have yet to know how hydraulic system works and how to do the maintenance of it.

The solution or other alternative must be found to meet those needs. Therefore the author makes calculations and analysis on the miniatur excavator arm with a capacity of 450 kg for laboratories use. The purpose of this thesis is to find out how hidraulic sistem works and to find out the strength of the hydraulic cylinder in the excavator arm with a capacity of 450 kg for laboratories use.

The author does the strength calculation on the excavator arm support table and calculates the acceptable strength on each hydraulic cylinder for the bucket, arm, and boom components. By doing this calculation it will be able to know the strength and capacity of the excavator arm and how the hydraulic system works.

Based on the calculation results, the suporting frame of the excavator arm has a maximum strength of 15,62 N/mm². While the strength of the hydraulic cylinder has 20.742 N of in stroke strength and 27.632 N of out stroke strength. If the strength of the hydraulic cylinder is compared with the total load of 176,58 N of the excavator arm that is on the boom, a big difference is obtained. Thus means it is safe to use the hydraulic system because the strength is greater than the load and therefore it can move smoothly.

Keywords : hydraulic, strength, excavator arm

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini sistem hidrolik banyak digunakan dalam berbagai macam industri. Penerapan sistem dengan penggerak hidrolik biasanya banyak digunakan pada proses produksi, perakitan mesin, proses pemindahan, proses pengangkatan, proses mesin press *injection molding* dan lain-lain.

Skripsi tentang Perhitungan Lengan Eksavator ini adalah lanjutan perhitungan dari Tugas Akhir penulis sewaktu menempuh pendidikan Diploma 3. Dimana saat itu penulis hanya melakukan perhitungan pada bagian rangka meja penopang lengan eksavator. Sedangkan untuk skripsi ini penulis melakukan perhitungan secara menyeluruh mulai dari perhitungan rangka meja, kekuatan silinder hidrolik dan tegangan yang diterima pada komponennya.

Proses kerja alat peraga sistem hidrolik ini oli akan mengalir dari tempat awal ke tempat lain. Berawal dari saklar menghidupkan motor listrik, menggerakkan *gear pump*, melewati *control manual valve*, menuju *relief valve*, lalu menggerakkan silinder arah maju dan mundur, pada *pressure gauge* dapat di ketahui tekanannya jika tuas pengatur di tahan lama.

Perhitungan kali penulis ini menggunakan *Relief Valve* dengan kapasitas sebesar 220 Bar. Berbeda dengan saat Tugas Akhir Diploma 3, dimana saat itu tekanan yang bekerja adalah 150 Bar. Dengan mengganti *Relief Valve* yang memiliki kapasitas lebih besar, sehingga tekanan yang bekerja pada silinder hidrolik adalah sebesar 220 Bar. Dengan hal ini maka didapatkan kapasitas lengan Eksavator sebesar 450 kg.

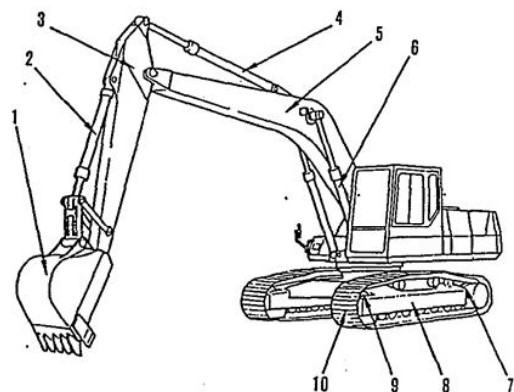
Dalam sistem hidrolik ini maka harus dapat diketahui bagaimana mekanisme kerja suatu rangkaian alat. Pada Tugas Akhir skripsi ini penulis diberikan kepercayaan oleh dosen pembimbing untuk melakukan perhitungan dan analisa pada alat peraga sistem hidrolik lengan Eksavator dengan judul : **PERHITUNGAN LENGAN**

EKSAVATOR KAPASITAS 450 KG UNTUK LABORATORIUM.

I. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Hidrolik Eksavator

Hidrolik Eksavator merupakan alat serba guna yang dapat digunakan untuk menggali tanah (*digging*), memuat material ke *dump truck* (*loading*), mengangkat material (*lifting*), mengikis tebing (*scraping*), meratakan (*grading*), menggali parit, lubang dan pondasi, penghancuran gedung, mengeruk sungai serta pertambangan. Kontruksi lengan hidrolik Eksavator umumnya terdiri dari *boom*, *arm*, dan *bucket* yang digerakkan oleh silinder hidrolik. Konstruksi hidrolik Eksavator terdiri atas dua bagian, yaitu bagian atas (*upper structure*) dan bagian bawah (*lower structure*). Bagian atas dari hidrolik Eksavator dapat berputar (*swing*) sebesar 360° (Komatsu, 2005). Unit hidrolik Eksavator seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 di bawah ini.



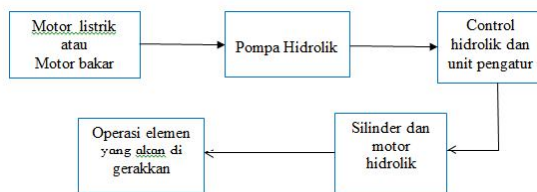
Gambar 2.1 Hidrolik Eksavator
(Sumber: Komatsu, 2005)

Keterangan:

1. *Bucket*
2. *Bucket Cylinder*
3. *Arm*
4. *Arm Cylinder*
5. *Boom*
6. *Boom Cylinder*
7. *Sprocket*
8. *Track Frame*
9. *Idler*
10. *Track Shoe*

2.2 Pengertian Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik adalah sistem penerus daya dengan menggunakan oli. Minyak mineral adalah jenis fluida yang sering dipakai. Prinsip dasar dari sistem hidrolik adalah memanfaatkan sifat bahwa zat cair tidak mempunyai bentuk, namun menyesuaikan tempat yang ditempatinya. Zat cair bersifat inkompresible, karena itu tekanan yang diterima diteruskan ke segala arah secara merata. Hidrostatika memiliki prinsip bahwa dalam suatu fluida yang berada dalam keadaan tidak bergerak, tekanan pada titik manapun akan sama besar. Tekanan hanya tergantung pada kerapatan fluida tersebut dan ketinggian. Gambar 2.2 menunjukkan diagram aliran sistem hidrolik.



Gambar 2.2 Diagram aliran sistem hidrolik

Sistem hidrolik biasanya diaplikasikan untuk memperoleh gaya yang lebih besar dari gaya awal yang dikeluarkan. Fluida penghantar dinaikkan tekanannya oleh pompa yang kemudian diteruskan ke silinder kerja melalui pipa-pipa saluran dan katup-katup. Gerakan translasi batang piston dari silinder kerja yang diakibatkan oleh tekanan fluida pada sebuah ruang silinder dimanfaatkan untuk gerakan maju dan mundur maupun naik dan turun sesuai dengan pemasangan silinder yaitu arah horisontal maupun vertikal.

2.3 Keuntungan dan Kekurangan Sistem Hidrolik

2.3.1 Keuntungan Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

1. Fleksibilitas.

Sistem hidrolik berbeda dengan metode pemindahan tenaga mekanis dimana daya ditransmisikan dari *engine*

diteruskan ke *shafts, gears, belts, chains*, atau *cable* (elektrik). Pada sistem hidrolik, daya dapat ditransfer ke segala tempat dengan mudah melalui pipa/selang fluida.

2. Melipat gandakan gaya.

Pada sistem hidrolik gaya yang kecil dapat digunakan untuk menggerakkan beban yang besar dengan cara memperbesar ukuran diameter silinder.

3. Sederhana.

Sistem hidrolik memperkecil bagian-bagian yang bergerak dari keausan dengan pelumasan sendiri.

4. Hemat.

Karena penyederhanaan dan penghematan tempat yang diperlukan sistem hidrolik dapat mengurangi biaya pembuatan sistem.

5. Relatif aman.

Dibanding sistem yang lain, kelebihan beban (*over load*) pada sistem hidrolik mudah dikontrol dengan menggunakan *relief valve*.

6. Tidak menghasilkan goncangan atau getaran yang besar sehingga relatif lebih stabil untuk pekerjaan-pekerjaan presisi (ketelitian tinggi) karena menggunakan fluida yang elastis.

7. Bekerja pada suhu yang relative rendah dan tidak menimbulkan panas, sehingga aman.

2.3.2 Kekurangan Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik memiliki pula beberapa kekurangan:

1. Bahaya akibat tekanan yang terlalu besar, apabila tekanan terlalu besar akan mengakibatkan kerusakan/kebocoran pada selang sehingga kerja hidrolik tidak maksimal.
2. Temperatur harus terjaga, karena perubahan temperatur dapat mempengaruhi sifat-sifat kekentalan minyak hidrolik.
3. Pencemaran lingkungan oleh limbah minyak (bahaya kebakaran atau kecelakaan).

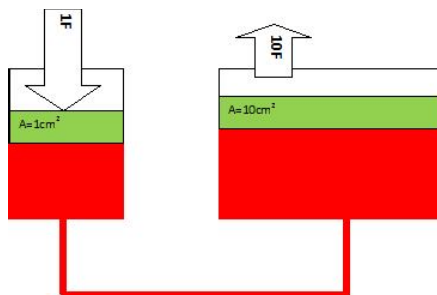
2.4 Dasar-Dasar Sistem Hidrolik

Prinsip dasar dari sistem hidrolik

berasal dari hukum *Pascal*, pada dasarnya menyatakan dalam suatu bejana tertutup yang ujungnya terdapat beberapa lubang yang sama maka akan dipancarkan ke segala arah dengan tekanan dan jumlah aliran yang sama. Dimana tekanan dalam fluida statis harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- Tidak punya bentuk yang tetap, tetapi selalu berubah sesuai dengan tempatnya.
- Tidak dapat dimampatkan.
- Meneruskan tekanan ke semua arah dengan sama rata.

Gambar 2.3 memperlihatkan dua buah silinder berisi cairan yang dihubungkan dan mempunyai diameter yang berbeda. Apabila beban F diletakkan di silinder kecil, tekanan P yang dihasilkan akan diteruskan ke silinder besar ($P = F/A$, maka beban dibagi luas penampang silinder) menurut hukum ini, pertambahan tekanan dengan luas rasio penampang silinder kecil dan silinder besar, atau $F = P.A$



Gambar 2.3 Fluida dalam pipa menurut hukum *Pascal*

Gambar diatas sesuai dengan hukum *pascal*, dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

F_1 = Gaya masuk

F_2 = Gaya keluar

A_1 = Diameter piston kecil

A_2 = Diameter piston besar

Persamaan diatas dapat diketahui besarnya F_2 dipengaruhi oleh besar kecilnya luas penampang dari piston A_2 dan A_1 .

Dalam sistem hidrolik, hal ini dimanfaatkan untuk merubah gaya tekan fluida yang dihasilkan oleh pompa hidrolik untuk menggeserkan silinder kerja maju dan mundur maupun naik atau turun sesuai letak dari silinder. Daya yang dihasilkan silinder kerja hidrolik lebih besar dari daya yang dikeluarkan oleh pompa. Besar kecilnya daya yang dihasilkan oleh silinder hidrolik dipengaruhi besar kecilnya luas penampang silinder kerja hidrolik.

2.5 Komponen-Komponen Penyusun Sistem Hidrolik

2.5.1 Motor

Motor berfungsi sebagai pengubah dari tenaga listrik menjadi tenaga mekanis. Dalam sistem hidrolik motor berfungsi sebagai penggerak utama dari semua komponen hidrolik dalam rangkaian ini. Kerja dari sebuah motor yaitu dengan cara memutar poros pompa yang dihubungkan dengan poros input motor. Motor listrik dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Motor Listrik

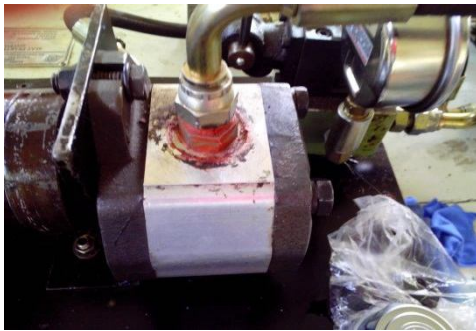
2.5.2 Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik ini digerakkan secara mekanis oleh motor listrik. Pompa hidrolik berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolik dengan cara menekan fluida hidrolik ke dalam sistem.

Dalam sistem hidrolik, pompa merupakan suatu alat untuk menimbulkan atau membangkitkan aliran fluida (untuk memindahkan sejumlah volume fluida) dan untuk memberikan daya sebagaimana yang diperlukan.

Apabila pompa digerakkan motor (penggerak utama), pada dasarnya pompa melakukan dua fungsi utama :

- a. Pompa menciptakan kevakuman di sebagian pada saluran masuk pompa. Kevakuman ini memungkinkan mempunyai tekanan atmosfer untuk mendorong fluida dari tangki (*reservoir*) ke dalam pompa.
 - b. Gerakan mekanik pompa menghisap fluida ke dalam rongga pemompaan, dan membawanya melalui pompa. Kemudian mendorong dan menekannya ke dalam sistem hidrolik.
- Pompa hidrolik dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Pompa Hidrolik

2.5.3 Katup (Valve)

Dalam sistem hidrolik, katup berfungsi sebagai pengatur tekanan sekaligus aliran fluida yang sampai ke silinder kerja. Menurut pemakaiannya, berikut adalah macam-macam katup hidrolik antara lain :

- a) Katup Pengatur Tekanan (*Relief Valve*)

Katup pengatur tekanan digunakan untuk melindungi pompa-pompa dan katup-katup pengontrol dari kelebihan tekanan dan untuk mempertahankan tekanan tetap dalam sirkuit hidrolik minyak. Cara kerja katup ini adalah berdasarkan kesetimbangan antara gaya pegas dengan gaya tekan fluida. Dalam kerjanya katup ini akan membuka apabila tekanan fluida dalam suatu ruang lebih besar dari tekanan katupnya, dan katup akan menutup kembali setelah tekanan fluida turun sampai lebih kecil dari tekanan pegas katup. Dibawah ini adalah gambar *Relief Valve*.



Gambar 2.6 Katup pengatur tekanan.

- b) Katup Pengatur Arah Aliran (*Control Valve*)

Katup pengatur arah aliran digunakan untuk mengatur arah aliran fluida dari pompa yang akan menuju ke aktuator atau silinder penggerak. Gambar 2.7 berikut ini menunjukkan katup pengatur arah aliran (*Control Valve*).



Gambar 2.7 Katup pengatur arah aliran (*Control Valve*).

2.5.4 Silinder Kerja Penggerak Ganda (*Double Acting Cylinder*)

Silinder kerja ini merupakan silinder kerja yang memiliki dua buah ruang fluida didalam silinder yaitu ruang silinder di atas piston dan di bawah piston, hanya saja ruang di atas piston ini lebih kecil bila dibandingkan dengan yang di bawah piston karena sebagian ruangnya tersita oleh batang piston. Dengan konstruksi tersebut silinder kerja memungkinkan untuk dapat melakukan gerakan bolak-balik atau maju-mundur. Silinder kerja penggerak ganda ditunjukkan pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Silinder kerja penggerak ganda

2.5.5 Pressure Gauge

Biasanya pengatur tekanan dipasang dan dilengkapi dengan sebuah alat yang dapat menunjukkan sebuah tekanan fluida yang keluar. Prinsip kerja alat ini ditemukan oleh Bourdon. Oli masuk ke pengatur tekanan lewat lubang saluran P. Tekanan didalam pipa yang melengkung *Bourdon* (menyebabkan pipa memanjang).

Tekanan lebih besar akan mengakibatkan belokan radius lebih besar. Gerakkan perpanjangan pipa tersebut kemudian diubah ke suatu jarum penunjuk lewat tuas penghubung tembereng roda gigi dan roda gigi pinion. Tekanan pada saluran masuk dapat dibaca pada garis lengkung skala penunjuk. Jadi, prinsip pembacaan pengukuran tekanan alat ini adalah bekerja berdasarkan atas dasar prinsip analog. *Pressure gauge* yang dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 *Pressure gauge* dengan prinsip kerja *Bourdon*
(Sumber: www.niceintegrate.com)

2.5.6 Saringan oli (Oil Filter)

Filter berfungsi menyaring kotoran-kotoran dari minyak hidrolik dan diklasifikasikan menjadi filter saluran yang dipakai menjadi saluran bertekanan. Filter ditempatkan didalam tangki pada saluran masuk yang akan menuju ke pompa. Dengan adanya *filter*, diharapkan efisiensi peralatan hidrolik dapat ditinggikan umur pemakaian lebih lama. Dibawah ini adalah gambar 2.10 yang menunjukkan contoh filter oli.



Gambar 2.10 *Filter oli*
(Sumber: en.wikipedia.org)

2.5.7 Fluida Hidrolik

Fluida hidrolik adalah salah satu unsur yang penting dalam peralatan hidrolik. Fluida hidrolik merupakan suatu bahan yang mengantarkan energi dalam peralatan hidrolik dan melumasi setiap peralatan serta sebagai media penghilang kalor yang timbul akibat tekanan yang ditingkatkan dan meredam getaran dan suara. Fluida hidrolik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- Mempunyai *viskositas* temperatur cukup yang tidak berubah dengan perubahan temperatur.
- tidak berubah buruk dengan mudah jika dipakai dibawah temperatur.
- Mempunyai stabilitas oksidasi yang baik.
- Mempunyai kemampuan anti karat
- Tidak rusak karena reaksi kimia (karat) dan cat
- Mempunyai tendensi anti *foatming* (tidak menjadi busa) yang baik.
- Mempunyai kekentalan terhadap api.

2.5.8 Selang Saluran Oli

Selang saluran oli merupakan salah satu komponen penting dalam sebuah sistem hidrolik yang berfungsi untuk meneruskan fluida kerja yang bertekanan dari pompa pembangkit ke silinder kerja. Mengingat kapasitas yang mampu dibangkitkan oleh silinder kerja, maka agar maksimal dalam penerusan fluida kerja bertekanan, pipa-pipa harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Mampu menahan tekanan yang tinggi dari fluida.
- Koefisien gesek dari dinding bagian dalam harus sekecil mungkin.
- Dapat menyalurkan panas dengan baik.
- Tahan terhadap perubahan suhu dan tekanan.
- Tahan terhadap perubahan cuaca.
- Berumur relatif panjang.
- Tahan terhadap korosi.

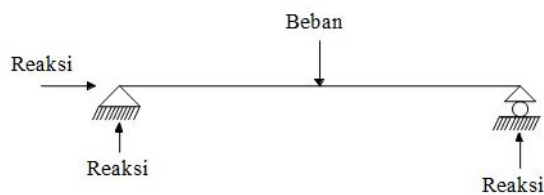
Gambar 2.11 dibawah ini adalah contoh gambar dari selang oli hidrolik.



Gambar 2.11 Selang saluran oli
(Hose)

2.6 Statika

Statika adalah ilmu yang mempelajari tentang statika dari suatu beban terhadap gaya-gaya dan juga beban yang mungkin ada pada bahan tersebut. Dalam ilmu statika keberadaan gaya-gaya yang mempengaruhi sistem menjadi suatu obyek tinjauan utama. Sedangkan dalam perhitungan kekuatan rangka, gaya-gaya yang diperhitungkan adalah gaya luar dan gaya dalam. Hal ini seperti ditunjukkan pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Sketsa prinsip statika
kesetimbangan

Jenis beban dapat dibagi menjadi :

1. Beban dinamis adalah beban yang besar atau arahnya berubah terhadap waktu.
2. Beban statis adalah beban yang besar atau arahnya tidak berubah terhadap waktu.
3. Beban terpusat adalah beban yang bekerja pada suatu titik.
4. Beban terbagi adalah beban yang terbagi merata sama pada setiap satuan luas.
5. Beban momen adalah hasil gaya dengan jarak antara gaya dengan titik yang ditinjau.
6. Beban torsi adalah beban akibat puntiran.

2.6.1 Gaya Luar

Adalah gaya yang diakibatkan oleh beban yang berasal dari luar sistem yang pada umumnya menciptakan kestabilan konstruksi. Gaya luar dapat berupa gaya vertikal, horisontal dan momen puntir. Pada persamaan statis tertentu untuk menghitung besarnya gaya yang bekerja harus memenuhi syarat dari kesetimbangan :

$$\Sigma F_x = 0 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\Sigma F_y = 0 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\Sigma M_a = 0 \dots\dots\dots (2.5)$$

2.6.2 Gaya Dalam

Gaya dalam dapat dibedakan menjadi :

1. Gaya normal (*normal force*) adalah gaya yang bekerja sejajar sumbu batang.
2. Gaya lintang/geser (*shearing force*) adalah gaya yang bekerja tegak lurus sumbu batang.
3. Momen lentur (*bending moment*).

Persamaan kesetimbangannya adalah

$$\Sigma F = 0 \quad \text{atau} \quad \Sigma F_x = 0$$

$\Sigma F_y = 0$ (tidak ada gaya resultan yang bekerja pada suatu benda)

$$\Sigma M = 0 \quad \text{atau} \quad \Sigma M_x = 0$$

$\Sigma M_y = 0$ (tidak ada resultan momen yang bekerja pada suatu benda)

(Bersumber dari buku Popov, E.P., 1995)

4. Reaksi.

Reaksi adalah gaya lawan yang timbul akibat adanya beban. Reaksi itu sendiri terdiri dari :

- a. Momen.

$$\text{Momen (M)} = F \times s \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

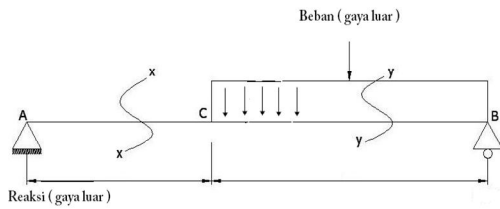
$$M = \text{momen (N.mm).}$$

$$F = \text{gaya (N).}$$

$$s = \text{jarak (mm).}$$

- b. Torsi.

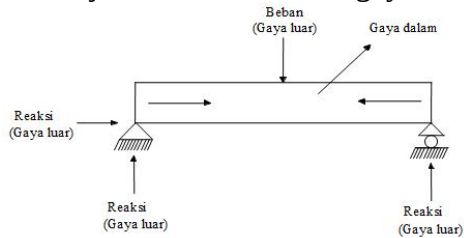
Gambar 2.13 dibawah ini menunjukkan sketsa potongan torsi.



Gambar 2.13 Sketsa potongan torsi

c. Gaya.

Gambar 2.14 dibawah ini menunjukkan sketsa reaksi gaya dalam.



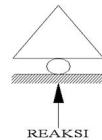
Gambar 2.14 Sketsa gaya dalam

2.6.3 Tumpuan

Dalam ilmu statika, tumpuan dibagi atas :

1. Tumpuan roll/penghubung.

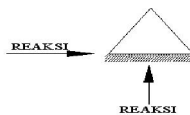
Tumpuan ini dapat menahan gaya pada arah tegak lurus penumpu, biasanya penumpu ini disimbolkan seperti pada gambar 2.15 berikut ini.



Gambar 2.15 Sketsa reaksi tumpuan rol

2. Tumpuan sendi.

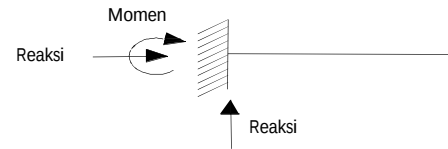
Tumpuan ini dapat menahan gaya dalam segala arah. Simbol tumpuan sendi seperti ditunjukkan pada gambar 2.16 berikut ini.



Gambar 2.16 Sketsa reaksi tumpuan sendi

3. Tumpuan jepit.

Tumpuan ini dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Simbol tumpuan jepit seperti ditunjukkan pada gambar 2.17 berikut ini.



Gambar 2.17 Sketsa reaksi tumpuan jepit

2.6.4 Diagram Gaya Dalam

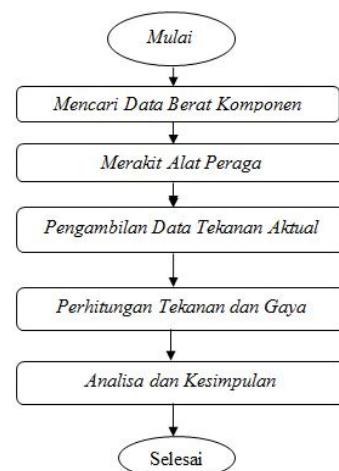
Diagram gaya dalam adalah diagram yang menggambarkan besarnya gaya dalam yang terjadi pada suatu konstruksi. Sedang macam-macam diagram gaya dalam itu sendiri adalah sebagai berikut :

1. Diagram gaya normal (NFD).
Yaitu diagram yang menggambarkan besarnya gaya normal yang terjadi pada suatu konstruksi.
2. Diagram gaya geser (SFD).
Yaitu diagram yang menggambarkan besarnya gaya geser yang terjadi pada suatu konstruksi.
3. Diagram moment (BMD).
Yaitu diagram yang menggambarkan besarnya momen lentur yang terjadi pada suatu konstruksi.

III. PENGOLAHAN DATA DAN PERHITUNGAN

3.1 Metode Pelaksanaan

Proses perhitungan miniatur lengan Eksavator seperti terlihat pada diagram alir berikut ini :



Gambar 3.1 Skema Pelaksanaan

3.2 Tempat dan Lokasi

Tempat yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian adalah Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta yang bertempat di Jl. Ir Sutami No. 36 A, Pucang Sawit, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah. Tempat tersebut dipilih karena penulis alumni dari universitas tersebut.

3.3 Alat Penelitian

Pada penelitian skripsi ini terdapat beberapa alat yang digunakan yaitu :

1. Power Pack

Power pack merupakan suatu mesin tenaga hidrolik yang berfungsi untuk menggerakkan alat atau mekanisme aktuator. Aktuator yang dipakai adalah silinder hidrolik. *Power pack* merupakan gabungan dari beberapa komponen yang dirangkai menjadi satu kesatuan sehingga dapat menghasilkan tenaga hidrolik.

2. Alat Peraga Lengan Eksavator

Alat peraga lengan Eksavator ini menggunakan acuan hidrolik Eksavator Komatsu tipe PC200LC-7 untuk desainnya yang diproduksi oleh PT. Komatsu.

3. Timbangan yang akan digunakan untuk mengukur berat komponen alat peraga lengan Eksavator yang digunakan.

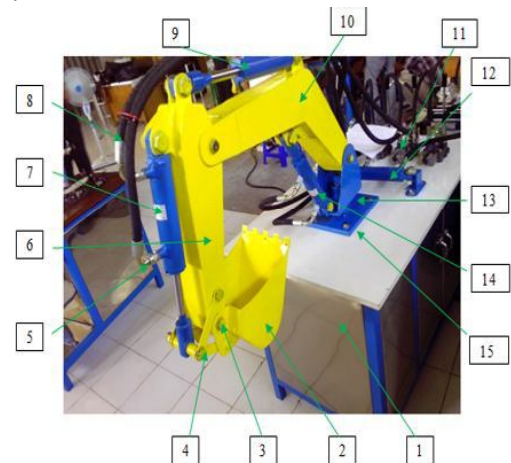
4. Pressure gauge yang akan digunakan untuk mengukur tekanan aktual yang dihasilkan power pack.

3.4 Perakitan Alat Peraga

Perakitan alat peraga lengan Eksavator dilakukan dengan menggabungkan semua komponen alat peraga dan dihubungkan pada Power pack sebagai sumber tenaganya. Semua komponen dipasang dan digabungkan menjadi satu kesatuan menurut pasangannya, sehingga akan menjadi alat yang siap digunakan sesuai dengan fungsi yang sudah direncanakan.

Komponen-komponen dari alat peraga sistem hidrolik lengan Eksavator

diperlihatkan seperti gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Alat Peraga Lengan Eksavator

Keterangan:

1. Meja alat peraga
2. *Bucket*
3. *Baut bucket*
4. *Engsel bucket*
5. *Fitting 3/8 inch*
6. *Arm*
7. *Silinder bucket*
8. *Hose 3/8 inch*
9. *Silinder arm*
10. *Boom*
11. *Control valve*
12. *Silinder swing*
13. *Dudukan swing*
14. *Silinder boom*
15. *Poros dudukan swing*

❖ Langkah-langkah perakitan:

1. Menyiapkan rangka (meja).
2. Memasang papan kayu sebagai landasan.
3. Memasang dudukan poros utama beserta penguncinya (baut, mur dan ring).
4. Memasang dudukan *swing* dan *bearing* beserta mur pengunci.
5. Memasang *boom* dan *boom cylinder* beserta penguncinya (baut, mur dan ring).
6. Memasang *arm* dan *arm cylinder* beserta penguncinya (baut, mur dan ring).

7. Memasang *bucket* dan *bucket cylinder* beserta penguncinya (baut, mur dan ring).
8. Memasang mekanisme engsel *bucket* beserta penguncinya (baut, mur dan ring).
9. Memasang *bracket* dan *swing cylinder* pada meja beserta penguncinya (baut, mur dan ring).
10. Memasang mekanisme engsel *swing* pada meja beserta penguncinya (baut, mur dan ring).
11. Memasang *control valve* pada meja beserta penguncinya (baut, mur dan ring).
12. Memasang *neeples* 3/8 pada masing-masing lubang silinder.
13. Memasang *neeples* 3/8 pada masing-masing lubang *control valve*.
14. Memasang selang penghubung antar komponen dan memastikan kekencangan antar bagian penghubung agar tidak terjadi kebocoran oli.
15. Memasang selang penghubung dari *control valve* ke *power pack*.
16. Perakitan alat selesai.

3.5 Pengambilan Data Alat Peraga

Penulis melakukan pengambilan data pada alat peraga lengan Eksavator dengan sumber tenaga dari power pack. Berikut adalah data-data yang penulis peroleh dari alat peraga tersebut. Data yang diperoleh seperti ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Berat komponen alat peraga lengan Eksavator

Nama Komponen	Jumlah	Ukuran	Total
Silinder Hidrolik	4	3 kg	$12 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 117,72 \text{ N}$
Control Valve	4	3 kg	$12 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 117,72 \text{ N}$
Arm	1	4 kg	$4 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 39,2 \text{ N}$
Boom	1	7 kg	$7 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 68,6 \text{ N}$
Bucket	1	1 kg	$1 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N}$
Baut Pengunci	1 Unit	5 kg	$5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 49 \text{ N}$
Engsel / As	1	2 kg	$2 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 19,6 \text{ N}$
Selang dan Fitting	1 Unit	11 kg	$11 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 107,8 \text{ N}$
Neeple	1	1 kg	$1 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N}$
Dudukan dan Bearing	1	13 kg	$13 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 127,4 \text{ N}$
Tekanan Kerja Pompa	1	220 Bar	220 kg/cm^2

3.6 Perhitungan

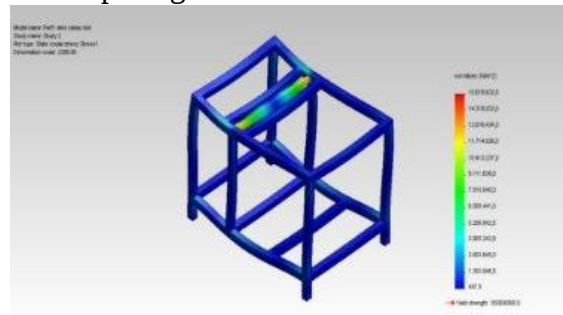
3.6.1 Perhitungan Kontruksi Meja

Setelah semua data komponen telah didapatkan, maka selanjutnya adalah menghitung beban yang diterima oleh rangka dalam keadaan diam. Perhitungan ini untuk mendapatkan reaksi yang terjadi pada rangka, baik reaksi gaya luar maupun reaksi gaya dalam. Perhitungan kontruksi rangka dengan menggunakan simulasi solid work.

Hasil analisa kekuatan konstruksi rangka yang didapat dari simulasi dengan menggunakan *solidworks* adalah:

1. Tegangan (Von Mises)

Adalah kumpulan gaya (*force*) pada suatu permukaan benda. Semakin sempit luasan permukaan namun gaya tetap, maka tegangan semakin besar. Tegangan terbesar ditunjukkan pada gradasi warna paling merah, terkecil adalah paling biru. Sedangkan area dengan tegangan sedang adalah area dengan warna kuning-hijau-biru muda. Hasil simulasi tegangan dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini.



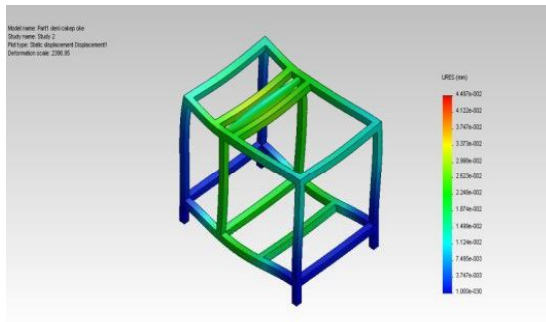
Gambar 3.3 Tegangan hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi di atas, diperoleh nilai tegangan, yaitu tegangan maksimal sebesar: $15,62 \text{ N/mm}^2$ dan tegangan minimal sebesar: $0,0048 \text{ N/mm}^2$.

2. Perubahan Bentuk (*Displacement*)

Displacement adalah perubahan bentuk pada benda yang dikenai gaya. Bagian yang mengalami *displacement* paling besar dari rangka ini adalah daerah berwarna paling merah, dan bagian yang mengalami *displacement* paling kecil adalah bagian yang paling berwarna biru. Hasil simulasi

displacement dapat dilihat pada gambar 3.4 di bawah ini.



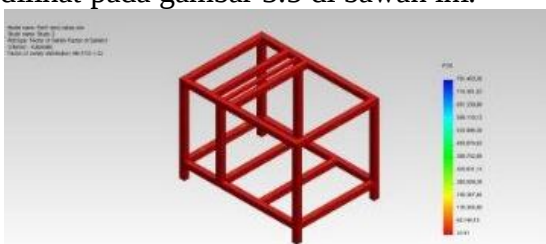
Gambar 3.4 *Displacement* hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi di atas, diperoleh nilai *displacement* yang paling besar yaitu 0.0449681 mm.

3. Faktor Keamanan (*Factor of Safety/FOS/SF*)

Adalah patokan utama yang digunakan dalam menentukan kualitas suatu produk. Patokannya, jika nilai FOS minimal kurang dari 1, maka produk tersebut kualitasnya jelek, tidak aman untuk diproduksi, cenderung membahayakan, sebaliknya jika nilai FOS lebih dari 1 (biasanya antara 1 – 3) maka produk tersebut berkualitas baik, aman dan layak diproduksi. Namun apabila nilai FOS minimal mencapai 3 digit atau lebih (misal 100 atau lebih) maka produk tersebut aman, berkualitas baik namun harganya sangat mahal dan cenderung berbobot besar, karena material yang digunakan terlalu banyak.

Hasil simulasi *factor of safety* dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 *Safety factor* hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi di atas, diperoleh nilai *Safety factor* sebesar 22,4.

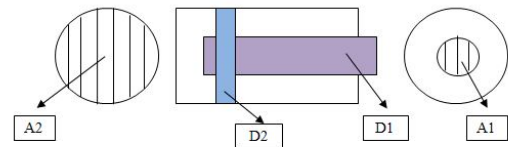
3.6.2 Perhitungan Silinder Bucket

Diketahui :

Massa *bucket* : 1 kg

Massa silinder : 3 kg
 Percepatan gravitasi : 9.81 ms^{-2}
 Diameter piston silinder (D1): 20 mm
 Diameter dalam silinder (D2): 40 mm
 Panjang piston (*stroke*) : 100 mm
 Tekanan Fluida (P) : 220 kg/cm^2

Gambar 3.6 di bawah ini menunjukkan sketsa penampang silinder hidrolik pada Bucket.



Gambar 3.6 Penampang Silinder Hidrolik

1. Mencari Luas Penampang Silinder
 - a. Mencari luas penampang silinder saat maju

$$A_2 = \pi/4 (D2)^2 \\ = 0,785 \times (40)^2 \text{ mm}^2 \\ = 1256 \text{ mm}^2$$

- b. Mencari luas penampang piston silinder
- $$A_1 = \pi/4 (D1)^2 \\ = 0,785 \times (20)^2 \text{ mm}^2 \\ = 314 \text{ mm}^2$$

- b. Mencari luas penampang silinder saat mundur

$$A = \pi/4 (D2)^2 - \pi/4 (D1)^2 \\ = 1256 \text{ mm}^2 - 314 \text{ mm}^2 \\ = 942 \text{ mm}^2$$

2. Mencari Gaya Silinder

- a. Saat maju

$$F = P \times A_2 \\ = 22 \text{ N/mm}^2 \times 1256 \text{ mm}^2 \\ = 27.632 \text{ N}$$

- b. Saat mundur

$$F = P \times A \\ = 22 \text{ N/mm}^2 \times 942 \text{ mm}^2 \\ = 20.724 \text{ N}$$

3. Mencari Beban *Bucket* :

$$F \text{ beban} = \text{massa bucket} \times \text{gravitasi} \\ = 1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ ms}^{-2} \\ = 1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ ms}^{-2} \\ = 9,81 \text{ N}$$

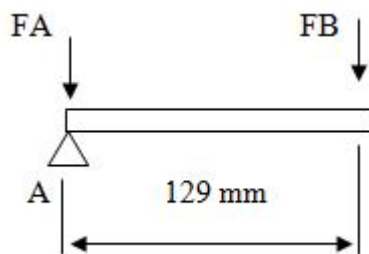
4. Mencari Beban Maksimal Silinder *Bucket* :

Gambar 3.7 di bawah ini menunjukkan gambar desain sketsa *Bucket*.



Gambar 3.7 Desain sketsa *Bucket*

Gambar 3.8 dibawah ini menunjukkan skema pembebanan yang diterima oleh silinder *bucket*.



Gambar 3.8 Skema Pembebanan silinder *bucket*

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{FA (gaya mundur silinder)} &= 20.742 \text{ N} \\ \text{FB (titik pusat massa)} &= \text{massa bucket} \times \text{gravitasi} \\ &= 1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 9,81 \text{ N} \end{aligned}$$

Mencari beban maksimal silinder *bucket*

Beban Maksimal

$$\begin{aligned} &= (\text{FA} \times 0 \text{ mm}) - (\text{FB} \times 129 \text{ mm}) = 0 \\ &= (0 \text{ Nmm}) - (9,81 \text{ N} \times 129 \text{ mm}) = 0 \\ &= (0 \text{ Nmm}) - (1.265,49 \text{ Nmm}) = 0 \\ &= 1.265,49 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh hasil bahwa silinder *Bucket* mengalami pembebanan sebesar **9,81 N**. Beban yang diterima oleh silinder *Bucket* nilainya masih di bawah dari nilai kekuatan silinder *Bucket*. Kekuatan silinder *Bucket* saat maju sebesar **27.632 N** dan saat mundur sebesar **20.742 N** maka F Silinder *Bucket* >

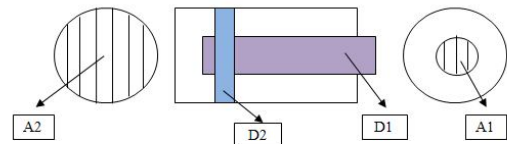
F beban, sehingga mekanisme lengan *Bucket* dapat digerakkan. Beban maksimal yang mampu ditahan oleh silinder *Bucket* adalah **1.265,49 N**.

3.6.3 Perhitungan Silinder Arm

Diketahui :

Massa <i>bucket</i>	: 1 kg
Massa <i>arm</i>	: 4 kg
Massa silinder	: 3 kg
Percepatan gravitasi	: 9.81 ms^{-2}
Diameter piston silinder (D1)	: 20 mm
Diameter dalam silinder (D2)	: 40 mm
Panjang piston (<i>stroke</i>)	: 100 mm
Tekanan Fluida (P)	: 220 kg/cm^2

Gambar 3.9 di bawah ini menunjukkan sketsa penampang silinder hidrolik pada Arm.



Gambar 3.9 Penampang Silinder Hidrolik

1. Mencari Luas Penampang Silinder

- a. Mencari luas penampang silinder saat maju

$$\begin{aligned} A_2 &= \pi / 4 (D2)^2 \\ &= 0,785 \times (40)^2 \text{ mm}^2 \\ &= 1256 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- b. Mencari luas penampang piston silinder

$$\begin{aligned} A_1 &= \pi / 4 (D1)^2 \\ &= 0,785 \times (20)^2 \text{ mm}^2 \\ &= 314 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- c. Mencari luas penampang silinder saat mundur

$$\begin{aligned} A &= \pi / 4 (D2)^2 - \pi / 4 (D1)^2 \\ &= 1256 \text{ mm}^2 - 314 \text{ mm}^2 \\ &= 942 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Mencari Gaya Silinder

- a. Saat maju

$$\begin{aligned} F &= P \times A_2 \\ &= 22 \text{ N/mm}^2 \times 1256 \text{ mm}^2 \\ &= 27.632 \text{ N} \end{aligned}$$

- b. Saat mundur

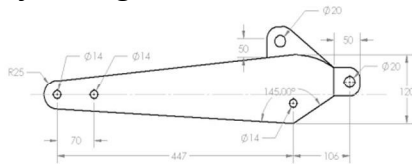
$$\begin{aligned} F &= P \times A \\ &= 22 \text{ N/mm}^2 \times 942 \text{ mm}^2 \\ &= 20.742 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Mencari Beban Silinder Arm :

$$\begin{aligned}
 F \text{ beban} &= (\text{massa bucket} + \text{massa arm} + \text{massa silinder bucket}) \times \text{gravitasi} \\
 &= (1 \text{ kg} + 4 \text{ kg} + 3 \text{ kg}) \times 9.81 \text{ ms}^{-2} \\
 &= 8 \text{ kg} \times 9.81 \text{ ms}^{-2} \\
 &= 78,48 \text{ N}
 \end{aligned}$$

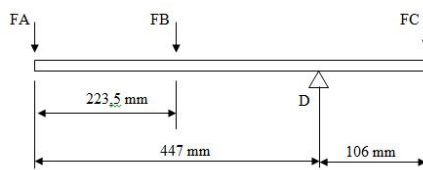
4. Mencari Beban Maksimal Silinder Arm :

Gambar 3.10 di bawah ini menunjukkan gambar desain sketsa Arm.



Gambar 3.10 Desain sketsa Arm

Gambar 3.11 dibawah ini menunjukkan skema pembebanan yang diterima oleh silinder Arm.



Gambar 3.11 Skema Pembebanan Arm

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 FC \text{ (gaya mundur silinder)} &= 20.742 \text{ N} \\
 FB \text{ (titik pusat massa)} &= (\text{massa arm} + m \text{ silinder}) \times \text{gravitasi} \\
 &= (4 + 3) \text{ kg} \\
 &\times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 68,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Mencari beban maksimal (FA)

$$\sum MD = 0$$

$$(FC \times 106 \text{ mm}) - (FB \times 223,5 \text{ mm}) - (FA \times 447 \text{ mm}) = 0$$

$$(20.742 \text{ N} \times 106 \text{ mm}) - (68,67 \text{ N} \times 223,5 \text{ mm}) - (FA \times 447 \text{ mm}) = 0$$

$$(2.198.652 \text{ Nmm}) - (15.347,745 \text{ Nmm}) - (FA \times 447 \text{ mm}) = 0$$

$$(FA \times 447 \text{ mm}) = 2.183.304,26 \text{ Nmm}$$

$$FA = 2.183.304,26 \text{ Nmm} / 447 \text{ mm}$$

$$FA = 4.884,35 \text{ N}$$

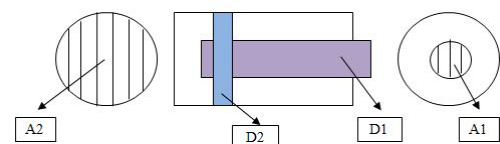
Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh hasil bahwa silinder arm mengalami pembebanan sebesar **78,48 N**. Beban yang diterima oleh silinder arm nilainya masih di bawah dari nilai kekuatan silinder arm. Kekuatan silinder arm saat maju sebesar **27.632 N** dan saat mundur sebesar **20.742 N** maka $F \text{ Silinder Arm} > F \text{ beban}$, sehingga mekanisme lengan arm dapat digerakkan. Beban maksimal yang mampu ditahan oleh silinder arm sebesar **4.884,35 N**.

3.6.4 Perhitungan Silinder Boom

Diketahui :

Massa bucket	: 1 kg
Massa arm	: 4 kg
Massa Boom	: 7 kg
Massa silinder	: 3 kg
Percepatan gravitasi	: 9.81 ms^{-2}
Diameter piston silinder (D1)	: 20 mm
Diameter dalam silinder (D2)	: 40 mm
Panjang piston (stroke)	: 100 mm
Tekanan Fluida (P)	: 220 kg/cm^2

Gambar 3.12 di bawah ini menunjukkan sketsa penampang silinder hidrolik pada Boom.



Gambar 3.12 Penampang Silinder Hidrolik

1. Mencari Luas Penampang Silinder

a. Mencari luas penampang silinder saat maju

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \pi / 4 (D2)^2 \\
 &= 0,785 \times (40)^2 \text{ mm}^2 \\
 &= 1256 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b. Mencari luas penampang piston silinder

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \pi / 4 (D1)^2 \\
 &= 0,785 \times (20)^2 \text{ mm}^2 \\
 &= 314 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- c. Mencari luas penampang silinder saat mundur

$$\begin{aligned} A &= \pi / 4 (D_2)^2 - \pi / 4 (D_1)^2 \\ &= 1256 \text{ mm}^2 - 314 \text{ mm}^2 \\ &= 942 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Mencari Gaya Silinder

- a. Saat maju

$$\begin{aligned} F &= P \times A_2 \\ &= 22 \text{ N/mm}^2 \times 1256 \text{ mm}^2 \\ &= 27.632 \text{ N} \end{aligned}$$

- b. Saat mundur

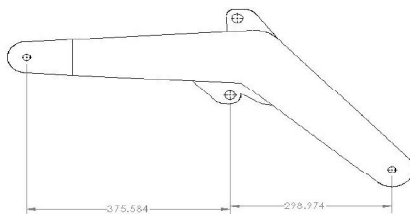
$$\begin{aligned} F &= P \times A \\ &= 22 \text{ N/mm}^2 \times 942 \text{ mm}^2 \\ &= 20.742 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Mencari Beban Silinder Boom :

$$\begin{aligned} F \text{ beban} &= (\text{massa bucket} + \text{massa silinder bucket} + \text{massa silinder arm} + \text{massa boom}) \times \text{gravitasi} \\ &= (1 \text{ kg} + 3 \text{ kg} + 4 \text{ kg} + 3 \text{ kg} + 7 \text{ kg}) \times 9.81 \text{ ms}^{-2} \\ &= 18 \text{ kg} \times 9.81 \text{ ms}^{-2} \\ &= 176,58 \text{ N} \end{aligned}$$

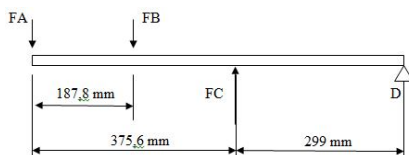
4. Mencari Beban Maksimal Silinder Boom :

Gambar 3.13 di bawah ini menunjukkan gambar desain sketsa Boom.



Gambar 3.13 Desain sketsa Boom

Gambar 3.14 dibawah ini menunjukkan skema pembebanan yang diterima oleh silinder Boom.



Gambar 3.14 Skema Pembebanan Boom

Diketahui:

$$\begin{aligned} FC \text{ (gaya mundur silinder)} &= 20.742 \text{ N} \\ FB \text{ (titik pusat massa)} &= (\text{massa silinder arm} + \text{Massa Boom}) \times \text{gravitasi} \\ &= (4 + 7) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 107,91 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FA &= (\text{massa Bucket} + \text{massa silinder Bucket} + \text{massa arm}) \times \text{gravitasi} \\ &= (1 + 3 + 4) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 78,48 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \diamond \text{ Mencari beban maksimal silinder Boom} &= [(FC \times 299 \text{ mm}) - \{(FB \times 486,7 \text{ mm}) + (FA \times 674,6 \text{ mm})\}] / 674,6 \text{ mm} \\ &= [(20.742 \times 299 \text{ mm}) - \{(107,91 \text{ N} \times 486,7 \text{ mm}) + (78,48 \text{ N} \times 674,6 \text{ mm})\}] / 674,6 \text{ mm} \\ &= [6.201.858 \text{ Nmm} - \{52.519,8 \text{ Nmm} + 52.942,61 \text{ Nmm}\}] / 674,6 \text{ mm} \\ &= [6.201.858 \text{ Nmm} - 105.462,41 \text{ Nmm}] / 674,6 \text{ mm} \\ &= 6.096.395,59 \text{ Nmm} / 674,6 \text{ mm} \\ &= 9.037,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh hasil bahwa silinder boom mengalami pembebanan sebesar **176,58 N**. Beban yang diterima oleh silinder boom nilainya masih di bawah dari nilai kekuatan silinder boom. Kekuatan silinder boom saat maju sebesar **27.632 N** dan saat mundur sebesar **20.742 N** maka $F \text{ Silinder Arm} > F \text{ beban}$, sehingga mekanisme lengan boom dapat digerakkan. Beban maksimal yang mampu ditahan oleh silinder boom sebesar **9.037,05 N**.

3.7 Pengujian Alat Peraga Lengan Eksavator

3.7.1 Langkah-Langkah Pengujian

Berikut ini langkah-langkah pengujian alat peraga sistem hidrolik lengan Eksavator :

1. *Power pack* dan alat peraga sistem hidrolik disiapkan.
2. Kabel *extension* 3 phase disiapkan dan dihubungkan ke listrik PLN.
3. Saklar dihidupkan.
4. Tuas *control valve* digerakkan satu per satu sesuai dengan skema.
5. Mengamati gerakan silinder dan posisi alat peraga.
6. Jika sudah selesai, silinder diposisikan pada kondisi *in-stroke*.
7. Mematikan saklar.

3.7.2 Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian dengan benar maka didapatkan hasil sebagai berikut:

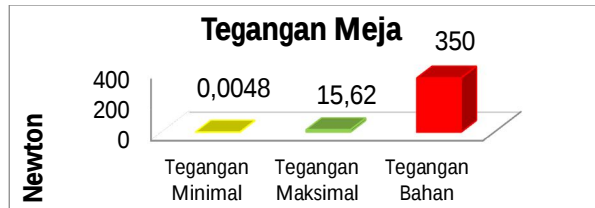
1. *Power pack* bekerja dengan tekanan fluida sebesar 220 kg/cm^2 .
2. Alat peraga sistem hidrolik lengan Eksavator bekerja dengan baik.
3. Tidak ada kebocoran oli pada sambungan selang dan *neeples*.
4. Silinder *bucket out stroke* 100 mm menghasilkan sudut gerak *bucket* sebesar 95° .
5. Silinder *arm out stroke* 100 mm menghasilkan sudut gerak *arm* sebesar 50° .
6. Silinder *boom out stroke* 100 mm menghasilkan sudut gerak *boom* sebesar 45° .
7. Silinder *swing out stroke* 100 mm menghasilkan sudut putar *swing* sebesar 120° .

IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan dan pengujian, alat peraga sistem hidrolik lengan Eksavator bekerja dengan baik. Dari hasil perhitungan dan pengujian yang telah dilakukan maka dapat diketahui beban yang diterima oleh setiap silinder dan mekanisme sistem hidrolik dari alat peraga lengan Eksavator tersebut.

4.1 Kekuatan Konstruksi Meja

Dari hasil perhitungan kekuatan konstruksi meja dengan menggunakan simulasi solid work, maka didapatkan hasil seperti ditampilkan pada gambar grafik 4.1 dibawah ini.



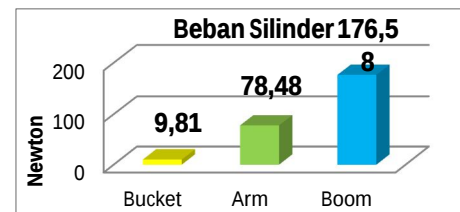
Gambar 4.1 Grafik Tegangan Meja

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimal yang

diterima oleh konstruksi meja adalah sebesar 15,62 N. Nilai tegangan maksimal yang diterima konstruksi meja masih dibawah nilai dari tegangan maksimal bahan sebesar 350 N. Karena tegangan yang diterima konstruksi meja akibat beban yang ada masih dibawah tegangan bahan, maka konstruksi meja dikatakan aman dengan safety faktor sebesar 22,4.

4.2 Kekuatan Silinder Bucket, Arm, dan Boom

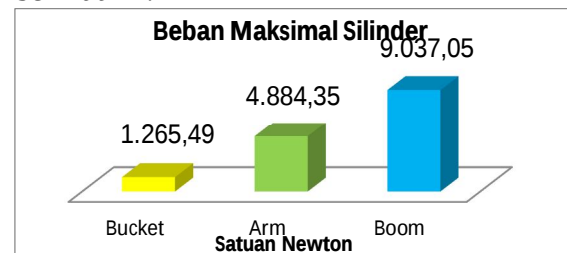
Dari hasil perhitungan kekuatan silinder pada masing – masing bagian alat peraga lengan Eksavator, maka didapatkan hasil beban yang diterima oleh masing – masing silinder tersebut. Beban yang diterima oleh tiap – tiap silinder seperti digambarkan pada gambar grafik 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik Beban Silinder

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui nilai beban yang diterima oleh setiap silinder. Silinder Bucket menerima beban sebesar 9,81 N, silinder Arm menerima beban sebesar 78,48 N dan silinder Boom menerima beban sebesar 176,58 N.

Sedangkan untuk beban maksimal yang diterima oleh setiap silinder dapat dilihat pada gambar 4.3 grafik beban maksimal yang diterima oleh silinder berikut ini.



Gambar 4.3 Grafik Beban Maksimal Silinder

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimal yang diterima silinder Bucket, Arm, dan Boom. Nilai tegangan maksimal terbesar diterima oleh silinder Boom dengan nilai sebesar 9.037,05 N. Nilai tegangan maksimal yang diterima oleh silinder Boom masih dibawah dari nilai tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh silinder hidrolik yaitu sebesar 20.742 N.

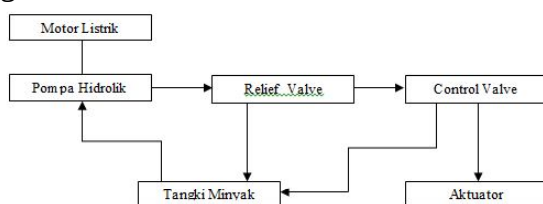
Karena gaya yang diterima silinder hidrolik masih dibawah gaya maksimal dari kekuatan silinder hidrolik, sehingga mekanisme alat peraga lengan Eksavator dapat digerakkan dengan lancar dan baik.

4.3 Mekanisme Sistem Hidrolik

4.3.1 Mekanisme Power Pack

Power pack merupakan suatu mesin tenaga hidrolik yang berfungsi untuk menggerakkan alat atau mekanisme aktuator. Aktuator yang dipakai adalah silinder hidrolik. *Power pack* merupakan gabungan dari beberapa komponen yang dirangkai menjadi satu kesatuan sehingga dapat menghasilkan tenaga hidrolik.

Skema aliran fluida pada *power pack* yang digunakan ditunjukkan seperti pada gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Skema Aliran Fluida *Power Pack*

Sedangkan *power pack* yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 *Power Pack*

Prinsip kerja dari *power pack* yaitu sesuai dengan gambar skema aliran fluida. Putaran poros output dari motor listrik disalurkan oleh kopling ke poros input pompa hidrolik. Oleh pompa hidrolik ini, putaran dari motor listrik digunakan untuk menhisap fluida dari tangki minyak. Kemudian fluida ini terhisap dan mendapat tekanan sehingga terdorong menuju *relief valve*.

Fluida dari pompa hidrolik ini memiliki tekanan yang tinggi. *Relief valve* berfungsi untuk mengatur tekanan fluida, sebagian fluida dikembalikan lagi ke tangki minyak melalui saluran (*bypass*). Selanjutnya fluida dari *relief valve* ini disalurkan menuju ke *control valve*. *Control valve* ini berfungsi untuk mengatur arah jalannya fluida. Saat *control valve* posisi netral, aliran fluida hanya bersirkulasi melewati *control valve* dan kembali ke tangki minyak melewati saluran *bypass*. Saat *control valve* digerakkan ke arah maju atau mundur, maka saluran *bypass* akan tertutup dan fluida akan mengalir menuju aktuator.

4.3.2 Mekanisme Kerja Silinder Hidrolik

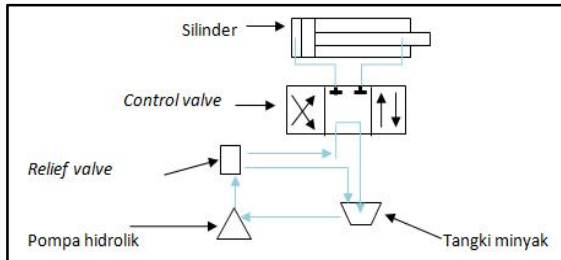
Alat peraga sistem hidrolik lengan Eksavator terpisah dari *power pack*. Untuk menghubungkan alat peraga tersebut dibutuhkan penghubung yaitu menggunakan selang hidrolik. Alat peraga ini menggunakan selang hidrolik ukuran 3/8 dengan ujung selang menggunakan dua variasi *fitting*, yaitu *fitting* L dan *fitting* lurus. Mekanisme sistem hidrolik lengan Eksavator bekerja berdasarkan aliran oli yang bertekanan dari *power pack*.

Silinder Hidrolik berfungsi untuk menggerakkan salah satu mekanisme dari sebuah lengan Eksavator. Silinder Hidrolik ini menggunakan prinsip kerja *double acting cylinder*, yaitu dapat bergerak maju dan mundur.

Mekanisme kerja silinder hidrolik, yaitu:

1. *Control valve* posisi netral

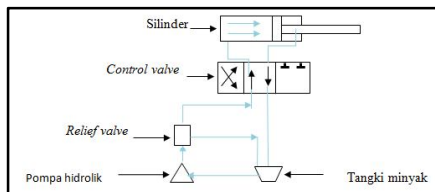
Aliran fluida dari pompa hidrolik masuk ke *relief valve* kemudian masuk ke *inlet control valve* dan keluar melewati *outlet* lalu kembali lagi ke tangki minyak, seperti diperlihatkan pada gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6 Skema Aliran fluida (*control valve* saat netral)

2. *Control valve* posisi mundur

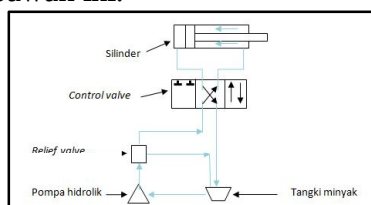
Aliran fluida dari pompa hidrolik masuk ke *relief valve* lalu ke *inlet control valve*, gerakan tuas mundur menyebabkan lubang *outlet* tertutup maka fluida melewati lubang *out-stroke* sehingga piston silinder terdorong keluar, seperti diperlihatkan pada gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Skema Aliran fluida (*control valve* saat mundur)

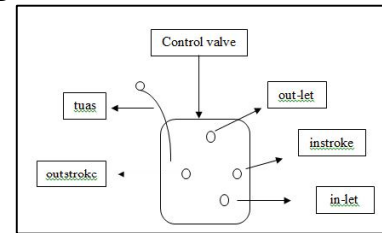
3. *Control valve* posisi maju

Aliran fluida dari pompa hidrolik masuk ke *relief valve* kemudian masuk ke *inlet control valve*, gerakan tuas maju menyebabkan lubang *outlet* tertutup maka fluida melewati lubang *in-stroke* sehingga menyebabkan piston silinder terdorong ke dalam, diperlihatkan seperti pada gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 Skema Aliran fluida (*control valve* saat maju)

Sedangkan untuk gambar dari *Control valve* sendiri seperti ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Skema bagian *control valve*

Berdasarkan dengan *control valve* yang digunakan seperti yang dijelaskan pada gambar diatas, maka skema proses kerja alat lengan Eksavator dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Skema posisi *control valve*

Proses Kerja	Lever / Tuas Kontrol Valve		
	Bucket	Arm	Boom
<i>Digging / Menggali</i>	Mundur (out stroke)	Mundur (out stroke)	Maju (in stroke)
<i>Loading / Mengisi</i>	Mundur (out stroke)	Mundur (out stroke)	Mundur (out stroke)
<i>Dumping / Membuang</i>	Maju (in stroke)	Maju (in stroke)	Mundur (out stroke)

V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian serta analisa data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tegangan maksimal akibat beban meja ($\sigma = 15,62 \text{ N/mm}^2$) lebih kecil dari tegangan maksimal bahan ($\sigma = 350 \text{ N/mm}^2$), maka konstruksi meja penopang alat peraga lengan Eksavator dinyatakan AMAN.
2. Tekanan maksimal yang bekerja pada sistem hidrolik lengan Eksavator yang dihasilkan oleh Power pack sebesar 220 kg/cm^2 .
3. Silinder hidrolik mempunyai gaya sebesar 27.632 N saat maju dan 20.742 N saat mundur.
4. Beban maksimal yang diterima setiap silinder hidrolik berbeda – beda. Beban maksimal terbesar diterima oleh silinder Boom yaitu sebesar $9.037,05 \text{ N}$.

5. Sistem hidrolik adalah suatu mesin yang memanfaatkan fluida sebagai media pemindah / penerus gaya. *Power pack* merupakan suatu mesin tenaga hidrolik yang berfungsi untuk menggerakkan alat atau mekanisme aktuator. Aktuator yang dipakai adalah silinder hidrolik.

DAFTAR PUSTAKA

1. KOMATSU. (2005). Specification & Application Handbook. Edition 26.
2. *Japan*
3. Khurmi, R.S. & Gupta, J.K. (2002). Machine Design. S. C Had & Company LTD. Ram Nagar-New Delhi.
4. Wijayana, K. A. (2011). Pembuatan Alat Peraga Sistem Hidrolik. Proyek Akhir. Tidak diterbitkan. Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
5. Anonim ,2005. Power Pack Hidrolik. Semarang. katalog toko Mitra Flotech.
6. Anonim ,2002. Dasar - Dasar Hidrolik. Semarang. katalog toko Mitra Flotech.
7. Nieman, G. 1999. *Elemen Mesin. Jilid 1*, Edisi kedua. Jakarta. Erlangga.
8. PT. United Tractors, 2013, Buku Basic Mechanic Course, Hydraulic System.
9. Komatsu. 2012. Operation & Maintenance Manual PC200-8. Japan.
10. Komatsu. 2013. Shop Manual PC200-8. Japan.
11. Komatsu. 2013. Service Manual PC200-8. Japan.