

PERENCANAAN LIFT SEPEDA MOTOR PADA MOBIL DISTRIBUSI MOTOR DUA TINGKAT

Yogi Pratama¹⁾, Joni Dewanto²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : m24411001@john.petra.ac.id¹⁾, jdewanto@peter.petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Pada masa sekarang, kebutuhan masyarakat dalam menggunakan sepeda motor semakin lama semakin meningkat. Hal ini juga diikuti oleh penambahan jumlah pendudukan yang meningkat dari waktu ke waktu. Tuntutan akan penggunaan sepeda motor bagi masyarakat menengah ke bawah secara tak sadar telah jauh meningkat, dimana transportasi adalah sarana utama yang berhubungan juga dengan perkembangan suatu daerah. Pabrik motor telah mengetahui dan mencoba meningkatkan kapasitas produksi untuk memenuhi permintaan pasar. Oleh karena itu, diperlukan alat guna membantu mengangkat hasil produksi dalam proses distribusi sepeda motor agar meningkatkan efisiensi. Salah satu alat yang dibutuhkan adalah lift yang mana menggantikan tenaga manusia sebagai terobosan dalam mempercepat proses pengangkatan, pengangkutan dan menjaga keselamatan kerja tetap pada kondisi baik.

Kata kunci: efisiensi, lift, sepeda motor, keselamatan, distribusi.

1. Pendahuluan

Pada era sekarang, transportasi pribadi telah menjadi kebutuhan bagi semua orang. Terutama transportasi pribadi roda dua, yakni sepeda motor. Sepeda motor menjadi sangat diandalkan sebagian orang menengah ke bawah dan beberapa kalangan lain sebagai transportasi dengan biaya perawatan lebih murah daripada mobil. Sepeda motor bagi sebagian orang juga menjadi sarana usaha seperti ojek, transportasi kirim-mengirim dengan jarak pendek dan lainnya. Oleh karena itu, permintaan akan sepeda motor semakin meningkat dari waktu ke waktu. Hal itu ditunjukkan dengan meningkatnya jumlah permintaan motor tiap tahun yang berfluktuasi cukup meningkat bersamaan dengan mobil *low cost green car*. Tiap produsen telah menyadari perlunya upaya guna memenuhi permintaan pasar, karena satu dan lain hal. Persaingan antar merek seperti Honda, Yamaha, Suzuki, Kawasaki dan beberapa merek lain juga semakin ketat dalam hal perkembangan teknologi dan upaya memenuhi ketersediaan stok barang lebih cepat ketika proses pemesanan.

Dalam proses distribusi motor, diperlukan sistem dan alat bantu yang tepat. Penggunaan tenaga manusia belum dan masih jauh dari kata efisien. Tingkat keselamatan juga masih diragukan karena seiring dengan banyaknya jumlah dan keterbatasan manusia, serta unsur kelalaian. Maka, diperlukan suatu alat bantu dalam hal ini untuk mengangkat. Alat yang *simple*, mudah dioperasikan dan dapat menjadikan peningkatan efisiensi serta keselamatan kerja. Hal ini juga menjadi upaya untuk mempercepat proses distribusi sampai ke tangan konsumen. Produsen juga dapat menjamin rendahnya kerusakan *minor* yang mungkin terjadi atau bahkan kerusakan *mayor* akibat proses pengangkatan dan pengangkutan. Sehingga, meminimalkan biaya

perbaikan akibat hal tersebut dan memerlukan tenaga kerja lebih sedikit dan dapat digunakan pada sistem yang terus menerus.

Dari uraian di atas dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Diperlukan alat bantu untuk mengoptimalkan proses distribusi sehingga lebih cepat dan efektif.
2. Diperlukan desain yang sesuai dan dapat menyesuaikan ketinggian tiap mobil distribusi yang memiliki perbedaan dengan rentang ± 10 cm antar tipe mobil distribusi.
3. Mendesain suatu struktur yang kokoh dan dapat dipergunakan dengan jangka waktu lebih lama, fleksibel, mudah dioperasikan dan menjamin keselamatan yang lebih baik.

Pada dasarnya, perencanaan *lift* ini bertujuan untuk mendesain sebuah alat angkat yang sesuai dengan kebutuhan dan memiliki kekuatan struktur yang memenuhi persyaratan dalam hal mengangkat sepeda motor dengan lebih mudah dan efisiensi waktu terpenuhi. Selain itu juga menjaga atau meningkatkan faktor keselamatan selama melakukan proses pengangkatan.

Manfaat dari perencanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

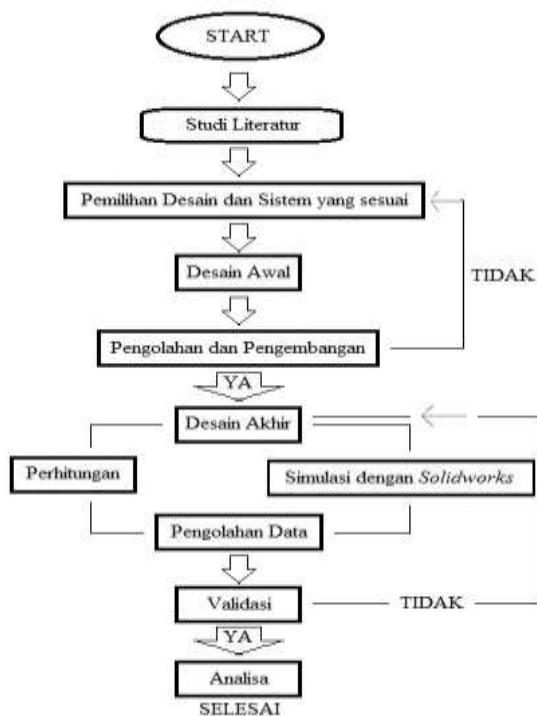
1. Mempermudah proses pengangkatan sepeda motor.
2. Mengurangi kerusakan dan kecelakaan kerja pada sepeda motor dan sumber daya manusia yang terlibat.
3. Mengurangi biaya dan penggunaan tenaga kerja dan efisiensi waktu.

Batasan-batasan dari perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah sepeda motor : 3 motor (tipe bebek atau *matic*) atau 2 motor (tipe *sport*) dalam 1 kali pengangkatan.
(Berdasarkan referensi: berat maksimal motor yang dapat diangkat ialah 300 Kg dengan tambahan berat rangka yang bergerak seberat \pm setengah berat maksimum yang diangkat yaitu 150 Kg)
2. Total berat yang dapat diangkat: 450 Kg
3. Susunan sesuai dengan desain.
4. Dimensi dudukan yang tersedia : 1,5 m x 1,8 m
5. Tinggi angkat maksimal 2,5 m (sesuai dengan tinggi tingkat dua mobil distribusi).

2. Metode Penelitian

Berikut flowchart dari metode penelitian lift yang dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 1. Flow chart

Pada tahap awal pengerjaan tugas akhir ini diawali dengan mengumpulkan studi literatur dari berbagai sumber, seperti: buku, internet, benda serupa (*forklift*) dan lainnya. Kemudian pada tahap pemilihan desain, menentukan desain yang lebih sesuai dengan mengambil konsep menyerupai *forklift* namun secara manual. Di mulai dengan menggambar secara manual dan konsep dasar pada kertas dengan menambah dan mengurangi komponen yang lebih dibutuhkan. Sampai pada tahap pengolahan dan pengembangan, maka dipilihlah desain mulai dari desain *platform* seperti pada bagian 3.2.1 Menentukan Desain *Platform* Dudukan dan *Table*, menentukan mekanisme pengangkat dengan berbagai pilihan seperti menggunakan roda gigi, motor listrik, katrol dengan *steel wire* hingga dipilih menggunakan hidrolik karena sistem lebih sederhana untuk merancang

desain alat angkat tsb. Dengan memperbaiki desain, maka diperoleh desain akhir seperti pada desain yang terbaik. Mulailah proses perhitungan dan/atau simulasi untuk mengetahui kekuatan dan kualitas dari *lift* tsb yang lebih ditekankan pada tingkat keamanannya. Diolah data yang ada dengan membandingkan pada data awal sehingga sesuai dan memenuhi syarat atau tidak. Jika semua telah sesuai, maka proses validasi dan analisa untuk pengembangan juga dilakukan sebelum proses akhir atau *final*.

Menentukan Desain *Platform* Dudukan dan *Table*

Desain pada *platform* bertujuan untuk dudukan dalam meletakkan sepeda motor. Selain itu juga, *platform* bergerak secara vertikal dengan ketinggian tertentu guna mengangkat motor-motor tersebut. Desain *platform* dirancang menyerupai dengan desain garpu pada *forklift*, namun terbuat dari baja profil yang sesuai dan berjumlah 3 (tiga) buah lengan dalam hal ini bertujuan untuk mengurangi berat jika menggunakan besi baja *solid*, membagi distribusi beban yang diterima secara lebih merata dan diberikan penguat pada struktur agar lebih kuat menerima beban.

Terkait dengan *platform* dudukan, desain yang perlu dirancang adalah *table* yang menghubungkan antar lengan sehingga dapat menjadi pijakan *standart* tengah pada motor lebih stabil. Desain *table* juga memenuhi spesifikasi yang sesuai dengan dimensi *platform* dengan ukuran tertentu. *Table* ini juga menjadi kulit dari rangka *platform* dudukan.

Menentukan Mekanisme Pengangkat

Mekanisme pengangkat ini menggunakan sistem hidrolik dan rantai besi. Sistem hidrolik adalah sistem pemindah tenaga dengan menggunakan fluida cair sebagai media perantara berupa minyak hidrolik. Karena sifat zat cair yang selalu mengisi ruang yang ditempati, akan mengalir ke segala arah jika diberikan tekanan dan dapat berubah melewati bentuk dan ukuran. Mekanisme hidrolik dan rantai digunakan untuk mengangkat *platform* dudukan.

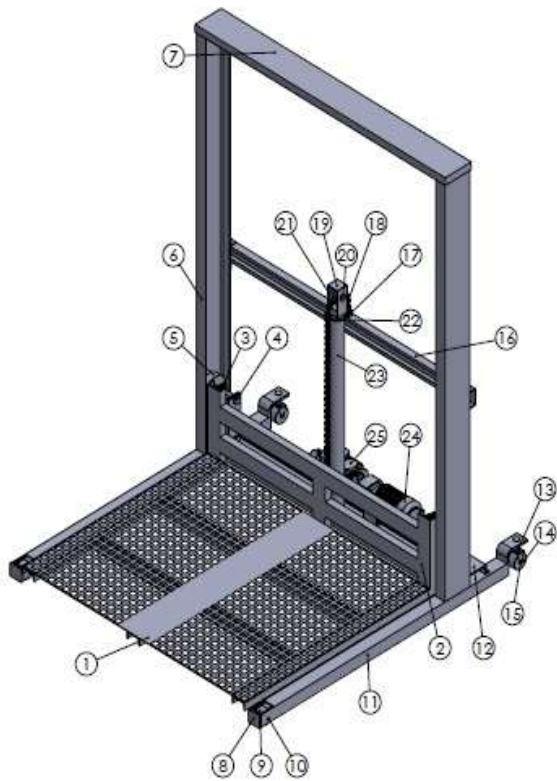
Menganalisa dengan Solidworks

Dengan menggunakan software Solidworks, mulai untuk proses analisa kekuatan struktur lift dengan bahan dan besaran gaya yang bekerja untuk memperoleh data terkait kekuatan atau menganalisa kerusakan yang mungkin terjadi.

3. Hasil dan Pembahasan

Desain *Lift*

Adapun desain dari *lift* yang telah direncanakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Desain konstruksi lift

Tabel 1. Keterangan desain lift

25	1	POMPA HIDROLIK	-	-	-
24	1	MOTOR LISTRIK	-	-	-
23	1	HIDROLIK	-	-	-
22	1	PENGUNCI HIDROLIK	AISI 1045 Steel	-	-
21	1	PULLEY	AISI 1060	-	-
20	1	POROS PULLEY	AISI 1060	-	-
19	1	KATROL RANTAI	AISI 1060	-	-
18	1	RANTAI	-	-	ISO 10A-1
17	1	POROS KONEKTOR RANTAI	AISI 1022	-	-
16	1	DUDUKAN RANTAI	ASTM A-36	-	-
15	2	RODA BELAKANG	ASTM A-36	-	-
14	2	POROS RODA BELAKANG	AISI 1022	-	-
13	2	DUDUKAN RODA BELAKANG	ASTM A-36	-	-
12	2	DUDUKAN HIDROLIK SET	ASTM A-36	-	-
11	2	FRAME BAWAH	ASTM A-36	-	-
10	2	POROS RODA DEPAN	AISI 1022	-	-
9	2	RODA DEPAN	ASTM A-36	-	-
8	2	TUTUP FRAME BAWAH	KARET	-	-
7	1	TUTUP ATAS TIANG	ASTM A-36	-	-
6	2	TIANG / FRAME	ASTM A-36	-	-
5	4	ROLLER	ASTM A-36	-	-
4	2	HUB RAIL ROLLER-LOCK	AISI 1045 Steel	-	-
3	2	HUB RAIL ROLLER	AISI 1045 Steel	-	-
2	1	PLATFORM / CARRIAGE	AISI 1045 Steel	-	-
1	1	TABLE	AISI 304	-	-
NO	JML	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN
SKALA : 1:20		DIGAMBAR : YOGI PRATAMA S		KET :	
SATUAN : mm		NRP : 24411001			
TANGGAL : 28-11-15		DIPERIKSA : Ir. Fosi Dewanto, M.T			
FT. INDUSTRI		MOTORCYCLE LIFT		NO. 1	A4

Perhitungan Gaya Berat Sepeda Motor dan Rangka Dudukan

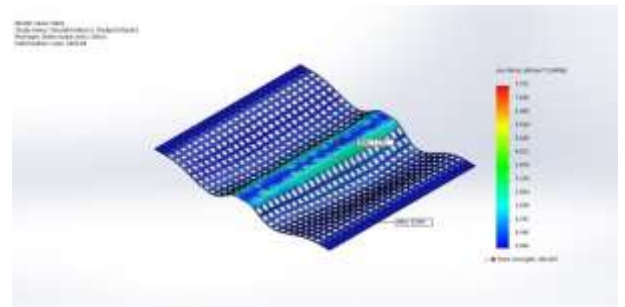
Perhitungan gaya ini diperlukan untuk mengetahui besar gaya berat pada struktur lift dan sebagai *input*-an *loads* di simulasi Solidworks. Untuk menghitung digunakan rumus sebagai berikut:

Wspd. motor =

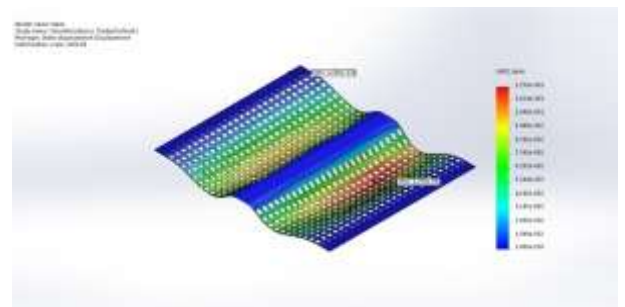
$massa\ total\ x\ g \dots\dots\dots(1)$
 $Wspd.\ motor = 450\ kg \times 9,807\ m/s^2$
 $Wspd.\ motor = 4413,15\ N$

Perhitungan Kekuatan Table dengan Solidworks

Berikut merupakan perhitungan table dudukan ketika menjadi tumpuan sepeda motor dengan simulasi pada Solidworks:



Gambar 3. von Mises Stress pada Table Dudukan



Gambar 4. Displacement pada Table Dudukan

Tabel 2. FOS pada Table Dudukan

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety	Max von Mises Stress	26.6765	8.99039e+006
		Node: 8616	Node: 6113

Berdasarkan data analisa dengan Solidworks di atas, dapat diketahui bahwa maksimum *stress* yang terjadi adalah $7.75241\ N/mm^2 < 206.807\ N/mm^2$, maksimum perubahan bentuk yang terjadi adalah $0.125867\ mm$, dan FOS yang dimiliki dari desain tersebut adalah 26.6765 . Dengan demikian, desain dapat disimpulkan aman (FOS > 1,2) sebagai bagian dari komponen suatu sistem.

Perhitungan Kekuatan Lengan-Lengan Platform dengan Solidworks

Berikut merupakan perhitungan lengan-lengan Platform Dudukan dengan simulasi pada Solidworks:



Gambar 5. von Mises Stress pada Lengan Platform



Gambar 6. Displacement pada Lengan Platform

Tabel 3. FOS pada Lengan Platform

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety	Max von Mises Stress	1.70912 Node: 23051	19918 Node: 17041

Berdasarkan data analisa dengan Solidworks di atas, dapat diketahui bahwa maksimum *stress* yang terjadi adalah $310.102 \text{ N/mm}^2 < 530 \text{ N/mm}^2$, maksimum perubahan bentuk yang terjadi adalah 20.7389 mm , dan FOS yang dimiliki dari desain tersebut adalah 1.70912 . Dengan demikian, desain dapat disimpulkan aman ($\text{FOS} > 1,2$) sebagai bagian dari komponen suatu sistem.

Perhitungan Kekuatan Dudukan Rantai dengan Solidworks

Berikut merupakan perhitungan dudukan rantai dengan simulasi pada Solidworks:



Gambar 7. von Mises Stress pada Dudukan Rantai



Gambar 8. Displacement pada Dudukan Rantai

Tabel 4. FOS pada Dudukan Rantai

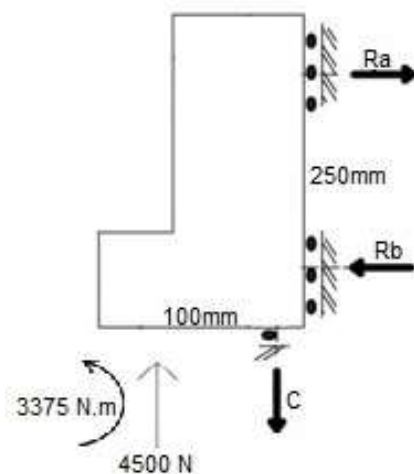
Name	Type	Min	Max
Factor of Safety	Max von Mises Stress	14.8013 Node: 16496	280879 Node: 2088

Berdasarkan data analisa dengan Solidworks di atas, dapat diketahui bahwa maksimum *stress* yang terjadi adalah $16.8905 \text{ N/mm}^2 < 250 \text{ N/mm}^2$, maksimum perubahan bentuk yang terjadi adalah 0.00480448 mm , dan FOS yang dimiliki dari desain tersebut adalah 14.8013 . Dengan demikian, desain dapat disimpulkan aman ($\text{FOS} > 1,2$) sebagai bagian dari komponen suatu sistem.

Perhitungan Gaya-Gaya pada Carriage

Berikut ini adalah perhitungan gaya yang bekerja pada komponen *carriage* yang menjadi satu dengan lengan-lengan *platform*:

$$\text{Asumsi Momen yang terjadi akibat beban: } (m \cdot g) \times \text{jarak} = (450 \cdot 10) \times 0,75 = 3375 \text{ N.m} \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 9. Gaya-gaya pada carriage

Untuk mengetahui gaya yang bekerja, digunakan rumus pada statika struktur yang mana:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \dots\dots\dots(3) \\ 4500 \text{ N} - C &= 0 \\ C &= 4500 \text{ N (arah sesuai pada gambar 3.8)} \end{aligned}$$

Gaya C pada sumbu y adalah gaya yang bekerja pada dudukan poros rantai pada *carriage*.

Untuk mengetahui besar gaya pada titik A dan B digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Sigma M_A = 0 & \dots\dots\dots(4) \\ (- R_b \cdot 0,25) + 3375 \text{ N.m} &= 0 \\ R_b \cdot 0,25 &= 3375 \text{ N.m} \\ R_b &= \mathbf{13500 \text{ N}} \text{ (arah sesuai pada gambar 3.8)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_B = 0 & \dots\dots\dots(5) \\ (- R_a \cdot 0,25) + 3375 \text{ N.m} &= 0 \\ R_a \cdot 0,25 &= 3375 \text{ N.m} \\ R_a &= \mathbf{13500 \text{ N}} \text{ (arah sesuai pada gambar 3.8)} \end{aligned}$$

Perhitungan Kekuatan Poros Carriage

Berikut adalah perhitungan poros pada *carriage* yang mana untuk mengetahui kekuatan konstruksi dengan material sebagai berikut:

Material : **AISI 1022**
 Syp = **205 MPa**
 Ssyp = **118,9 MPa**

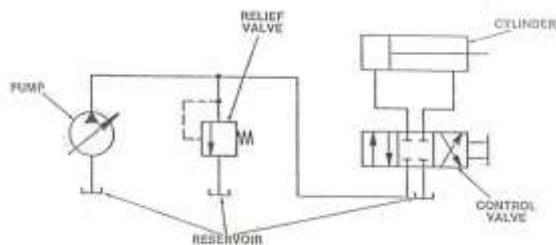
Tegangan geser yang terjadi pada poros dengan persamaan pada bagian 2.3.5, maka:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{R_x}{A} \leq \frac{S_{syp}}{N} \dots\dots\dots(6) \\ \frac{R_x}{\frac{\pi d^2}{4}} &\leq \frac{S_{syp}}{N} \\ \frac{13500}{\frac{\pi 40^2}{4}} &\leq \frac{118,9}{1,2} \\ 10,74 &\leq 99,0 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa ukuran yang digunakan sesuai atau aman.

Perhitungan Hidrolik

Desain yang digunakan berupa katrol yang memanfaatkan keuntungan kecepatan, maka besar gaya yang diperlukan untuk mengangkat adalah:



Gambar 10. Skema sistem hidrolik

Pada sistem hidrolik, dibutuhkan pompa hidrolik dan motor untuk memutar pompa. Dalam sistem hidrolik untuk *lift* ini digunakan pompa dengan spesifikasi mampu mengalirkan minyak hidrolik dengan

kemampuan $13,8 \frac{cm^3}{rev}$ (referensi: pompa dengan debit yang umum digunakan pada *forklift* di bawah 1 ton), sedangkan putaran pompa adalah 400rpm. Oleh karena itu, untuk menghitung debit aliran pompa digunakan rumus:

$$13,8 \frac{cm^3}{rev} \times 400 \text{ rpm} = 5520 \frac{cm^3}{menit} = 5,520 \frac{liter}{menit}$$

Maka, Q (debit aliran) = **5,520 $\frac{liter}{menit}$**

Untuk mencari kecepatan aliran minyak dan waktu yang diperlukan agar hidrolik bekerja mendorong poros hidrolik, digunakan rumus:

$$\begin{aligned} t &= \text{Volume} / Q \dots\dots\dots(7) \\ t &= \pi \cdot r^2 \cdot \text{stroke} / 5520 \frac{cm^3}{menit} = \pi \cdot 3^2 \cdot 114,6 / 5520 \frac{cm^3}{menit} \\ &= 28,26 \cdot 114,6 / 5520 \frac{cm^3}{menit} \\ t &= 3238,596 \text{ cm}^3 / 5520 \frac{cm^3}{menit} \\ t &= \mathbf{0,6 \text{ menit}} \text{ atau } \mathbf{36 \text{ detik}} \text{ untuk bergerak sampai tinggi maksimum.} \end{aligned}$$

Dengan kapasitas minyak hidrolik sebesar **3,238 liter**, maka rancangan tangki reservoir sebesar **± 7 liter** (yang ada di pasaran).

Berikut adalah rumus untuk menghitung tekanan yang ada pada hidrolik:

$$\begin{aligned} p &= Fh / A \dots\dots\dots(8) \\ p &= \frac{2.4413,15 \text{ N}}{2826 \text{ mm}^2} \\ p &= 3,12 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{31,2 \text{ bar}} \end{aligned}$$

Dengan tekanan 31,2 bar (452,5psi) dan gaya dorong hidrolik 8826,3N (1984,23lbs), maka berdasarkan grafik digunakan bore ± Ø 50,8 mm dan shaft Ø 27 mm.

Maka dengan asumsi bahwa mayor dan minor *losses* diabaikan karena pada rancangan terlihat antara hidrolik dan pompa berjarak sangat dekat dan motor dikopel, berikut rumus menghitung daya motor:

$$\begin{aligned} \text{Power motor} &= (Q \times p) : 600 \dots\dots\dots(9) \\ &\text{(rumus digunakan untuk mencari daya motor dalam satuan kW)} \\ \text{Power motor} &= (5,520 \frac{liter}{menit} \times 31,2 \text{ bar}) : 600 \\ \text{Power motor} &= \mathbf{0,29 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Untuk memilih motor, perlu diperhatikan faktor keamanan dan efisiensi motor yang umum digunakan ialah 75-85%. Oleh karena itu, perlu menghitung daya motor yang umum dijual dengan efisiensi tsb.

$$\begin{aligned} \text{Power motor yang sesuai} &= 0,29 / 0,85 = 0,34 \text{ kW atau } 0,46 \text{ HP} \dots\dots\dots(10) \\ \text{Sedangkan motor AC yang tersedia di pasaran} &= \mathbf{0,5 \text{ HP}}. \end{aligned}$$

Perhitungan Kekuatan Roda Depan Poros

Pada perhitungan poros, dihitung besarnya diameter poros yang diizinkan agar poros tidak rusak:

Material : **AISI 1022**
 Syp = **205 MPa**
 Ssyp = **118,9 MPa**

Berikut tegangan geser yang terjadi pada poros:

$$\tau = \frac{R_1}{2A} \leq \frac{S_{syp}}{N}$$

$$\frac{R_1}{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2} \leq \frac{S_{syp}}{N}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot R_1 \cdot N}{\pi \cdot S_{syp}}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot 1330,75 \cdot 1,2}{\pi \cdot 118,9}}$$

$$d \geq 2,92 \text{ mm}$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa ukuran yang dibutuhkan $d \geq 2,92 \text{ mm}$ akan tetapi dimensi yang digunakan sebesar 15 mm.

Roda

Pada bagian roda, digunakan roda dengan kekuatan menumpu beban seberat 135,79 Kg, sedangkan roda untuk *lift* yang ada di pasaran ialah roda besi dengan kapasitas 150 Kg (**Roda Hand Pallet – BS Rollen**)



Gambar 11. Roda depan

Perhitungan Kekuatan Roda Belakang Poros

Pada perhitungan poros, dihitung besarnya diameter poros yang diizinkan agar poros tidak rusak:

Material = **AISI 1022**
 Syp = **205 MPa**
 Ssyp = **118,9 MPa**

Berikut tegangan geser yang terjadi pada poros:

$$\tau = \frac{R_2}{2A} = \frac{R_2}{2 \cdot \frac{\pi}{4} d^2} \leq \frac{S_{syp}}{N}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot R_2 N}{\pi \cdot S_{syp}}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot 3933,42 \cdot 1,2}{\pi \cdot 118,9}}$$

$$d \geq 5,03 \text{ mm}$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa ukuran yang dibutuhkan $d \geq 5,03 \text{ mm}$ akan tetapi dimensi yang digunakan sebesar 15 mm.

Roda

Pada bagian roda, digunakan roda dengan kekuatan menumpu beban seberat 401,369 Kg, sedangkan roda untuk *lift* yang ada di pasaran ialah roda besi dengan kapasitas 450 Kg (**Roda Hand Pallet – BS Rollen**)



Gambar 12. Roda belakang

4. Kesimpulan

Dalam perencanaan *lift* sepeda motor dengan spesifikasi yang ada, telah dilakukan analisa secara perhitungan matematis dan simulasi menggunakan *Solidworks* tiap komponen pendukung guna menentukan kerusakan yang mungkin terjadi ketika sistem bekerja. Dari hal-hal yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa komponen yang ada pada *lift* ini aman atau tidak rusak karena dimensi yang digunakan sesuai atau lebih besar dari batas minimum yang diperlukan, material sesuai, tidak mengalami *stress* dan perubahan melebihi batas kemampuan material menahan tingkatan *stress* dan perubahan yang cenderung relatif kecil besarnya, serta terdapat pada tingkatan faktor keamanan yang sesuai (lebih besar sama dengan 1,2 untuk beban statis, atau 6 untuk beban benda berubah-ubah/dinamis).

Daftar Pustaka

1. Beer, Ferdinand P., et al. *Mechanics of Materials, Sixth Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc., 2012.
2. Callister, William D., *Materials Science and Engineering, Seventh Edition*. John Willey & Sons, Inc., 2007.

3. Beer, Ferdinand P. And Johnston, E. Russell., *Mechanics for Engineers STATICS, Fourth Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc., 1984.
4. Sugondo, S. *Elemen Mesin*. Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2011.
5. Sularso dan Suga, K. 1987, *Dasar dan Pemilihan Elemen Mesin*, Cetakan keenam, Jakarta: Pradnya Paramitha.
6. http://www.academia.edu/6846779/Definisi_dan_Macam-macam_Tegangan