

APLIKASI METODE ELEMEN HINGGA PADA PERANCANGAN POROS BELAKANG GOKAR LISTRIK

Henra Heny Sigarlaki¹⁾, Stenly Tangkuman²⁾, Tritya Arungpadang³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Masyarakat sekarang ini membutuhkan kendaraan sederhana, murah dan ramah lingkungan. Salah satu alternatif pilihan adalah gokar listrik. Pada gokar listrik terdapat sebuah poros belakang yang berfungsi untuk memindahkan daya dan putaran yang berasal dari motor listrik ke roda belakang sehingga memungkinkan gokar listrik dapat berjalan.

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut: Pertama, membuat simulasi metode elemen hingga dengan perangkat lunak solidworks untuk mendapatkan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi akibat beban. Kedua, membuat perhitungan metode elemen hingga secara manual untuk memvalidasi hasil simulasi dengan perangkat lunak solidworks. Ketiga, mendapatkan dimensi poros untuk gokar listrik yang dirancang oleh Jurusan Teknik Mesin Unsrat.

Simulasi metode elemen hingga dengan perangkat lunak solidworks telah memperoleh hasil tegangan maksimum $120,212 \times 10^6$ Pa., dan defleksi maksimum 0,00051mm. Sedangkan dengan perhitungan manual diperoleh nilai perpindahan/displacement maksimum adalah 0,00045 mm. Selain itu kedua hasil juga menunjukkan bahwa perpindahan maksimum tersebut terjadi pada lokasi atau titik yang sama. Dengan demikian, hasil simulasi sudah tervalidasi dengan menggunakan hasil perhitungan manual. Adapun dimensi poros hasil rancangan adalah diameter 20 mm dan panjang 1000 mm.

Kata kunci: Gokar, Metode Elemen Hingga, Simulasi.

ABSTRACT

Today, Society needs a vehicle a simple , inexpensive and environmentally friendly. One alternative option is an electric gokart. In the

electric gokart are a rear axle which serves to move the power and spin that comes from the electric motor to the rear wheels so as to allow an electric gokarts can run.

The aim of this study as follows : First, create a simulation of the finite element method with SolidWorks software to get the voltage and the maximum deflection caused by the load . Second, making calculations manually finite element method to validate the simulation results with SolidWorks software. Third , get the dimensions of the shaft for electric gokart designed by the Department of Mechanical Engineering University of Samratulangi Manado.

Finite element method simulations with SolidWorks software has gained maximum voltage results $120,212 \times 10^6$ Pa., and the maximum deflection of 0.00051 mm. While the manual calculation values obtained displacement / maximum displacement is 0.00045 mm. Besides the results also indicate that the maximum displacement occurs at the same location or point. Thus , the simulation results have been validated by using the results of manual calculations. The dimensions of the design is the diameter of the shaft 20 mm and a length of 1000 mm.

Key word: Gokart, Finite Element Method, Simulation.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gokar yang merupakan suatu ide penggabungan dari konstruksi kendaraan dan *engine*, memiliki bagian-bagian yang merupakan gabungan dari banyak komponen. Sebagai seorang perancang dalam merancang perlu memperhatikan faktor keamanan dari komponen yang dirancang, efisiensi serta faktor biaya. Salah satu ide yaitu gokar

yang didisain ini adalah gokar yang ramah lingkungan, yaitu dengan menggunakan motor listrik sebagai penggerak.

Roda gokar listrik terdiri dari roda depan dan roda belakang. Roda depan berguna untuk menahan beban kemudi, menjaga keseimbangan kendaraan saat berjalan, dan mengurangi kecepatan. Roda belakang berguna untuk menahan

beban, mendorong kendaraan dan mengurangi kecepatan.

Di dalam roda belakang terdapat poros yang merupakan salah satu komponen terpenting dalam sebuah gokar listrik. Komponen ini harus memiliki dimensi dan kekuatan yang cukup agar dapat menopang beban-beban yang dikenakan padanya.

Dalam penelitian akan dilakukan simulasi berbasis metode elemen hingga dengan perangkat lunak solidworks, setelah itu akan dilakukan perhitungan metode elemen hingga secara manual untuk memvalidasi hasil simulasi.

I.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah: 1).Bagaimana membuat simulasi metode elemen hingga dengan perangkat lunak solidworks? 2).Bagaimana membuat perhitungan metode elemen hingga secara manual untuk memvalidasi hasil simulasi dengan perangkat lunak solidworks? 3).Bagaimana mendapatkan dimensi poros untuk gokar listrik?

1.3 Batasan Masalah

1. Perancangan poros roda belakang yang berhubungan dengan transmisi motor listrik.
2. Material poros bersifat homogen.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Membuat simulasi metode elemen hingga dengan perangkat lunak solidworks untuk mendapatkan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi akibat beban.
2. Membuat perhitungan metode elemen hingga secara manual untuk memvalidasi hasil simulasi dengan perangkat lunak solidworks.
3. Mendapatkan dimensi poros untuk gokar listrik yang dirancang oleh Jurusan Teknik Mesin Unsrat.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Poros

Poros adalah komponen alat mekanis yang mentransmisikan gerak berputar dan daya. Poros merupakan salah satu bagian terpenting dari mesin. Hampir semua mesin

meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran (Mott, 2009)

2.2.1. Macam-macam poros (Achmad, 1999)

Secara garis besarnya poros dibedakan menjadi ;

1. Poros Transmisi: mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur.
2. Spindel: poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran.
3. Gandar: poros yang dipasang diantara roda-roda kereta barang dimana tidak mendapat beban puntir.

2.2.2. Tegangan lentur pada poros (Mott. R. L. 2009)

Poros membawa beban-beban yang tegak lurus terhadap sumbunya. Beban-beban demikian ini menghasilkan momen lentur di dalam poros yang akan membangkitkan tegangan geser. Di titik tersebut, rumus kelenturan memberikan tegangan :

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Dimana :

M = besarnya momen lentur pada penampang.

I = momen kelembaman penampang lintang terhadap sumbu netralnya.

c = jarak dari sumbu netral ke serat penampang poros paling luar.

2.2.3. Defleksi pada poros (Ferdinand, Russel, Jhon, dan David F. 2012)

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi peformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastic dari balok.

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

1. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil.

2. Besar kecilnya gaya yang diberikan

Besar kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin kecil.

3. Jenis tumpuan yang diberikan
Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda akan menghasilkan defleksi yang berbeda-beda pula.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja.

2.2 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan permasalahan dalam bidang teknik, fisika dan matematika. Dengan permasalahan yang khas, menarik di bidang teknik dan matematika fisika

yang dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi struktur analisis, perpindahan panas, aliran fluida, laju aliran massa, dan elektromagnetik potensial.

Untuk permasalahan yang melibatkan geometri, beban, dan material, umumnya tidak mungkin menggunakan solusi matematika analitis.

2.3 Notasi Matrix

Metode Matrix adalah yang digunakan dalam metode elemen hingga untuk keperluan menyederhanakan rumus persamaan kekakuan elemen, untuk tujuan perhitungan manual, solusi dari berbagai masalah dan yang paling penting untuk digunakan di dalam pemrograman. Oleh karena itu notasi matriks mewakili notasi yang sederhana dan mudah digunakan untuk memecahkan masalah melalui persamaan aljabar.

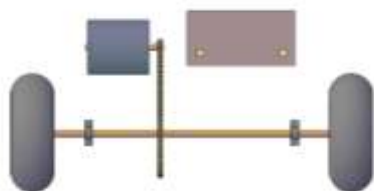
2.4 Solidworks

Solidworks adalah perangkat lunak untuk membantu proses desain suatu benda atau elemen mesin dengan mudah. Berbagai keunggulan solidworks salah satunya adalah

mampu menyediakan sketsa 2D yang dapat dikembangkan menjadi bentuk 3D. selain itu pemakaiannya pun *friendly* karena memang dirancang khusus untuk mendesain benda sederhana maupun yang rumit sekalipun. Solidworks juga bisa melakukan simulasi pada desain yang akan kita buat sehingga bisa ditampilkan hasil desain dalam bentuk animasi. Analisa kekuatan desain juga dapat dilakukan dengan sederhana kemudian bisa dibuat dalam bentuk desain animasi dengan fitur-fitur yang telah disediakan solidworks.



Gambar 2.1 Sketsa gokar listrik



Gambar 2.2 Sketsa poros belakang gokar listrik

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi Manado dan dimulai pada bulan Januari sampai Juli 2015.

3.1.1 Bahan dan Peralatan

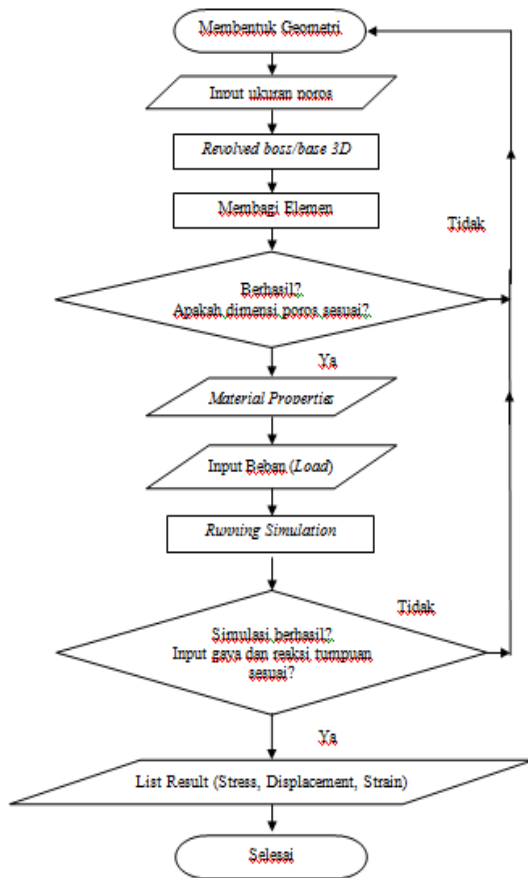
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsep rancangan gokar listrik dengan meneliti bagian dari poros belakang kendaraan dengan menerapkan metode elemen hingga baik secara hitung manual ataupun melalui perangkat lunak Solidworks *Premium 2010*.

Penelitian ini menggunakan beberapa macam peralatan pendukung, yaitu *laptop* yang telah dilengkapi dengan perangkat lunak Solidworks *Premium 2010*. Kemudian mesin cetak, *mouse*, alat tulis menulis dan juga kalkulator.

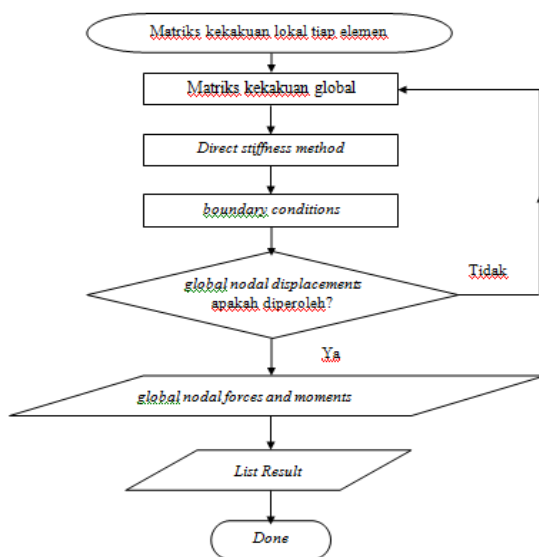
3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis, yang dapat diuraikan dengan prosedur penelitian

sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 3.1.



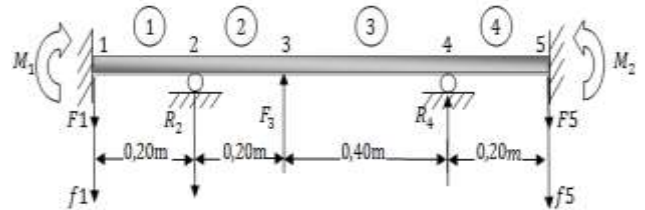
Gambar 3.1 Prosedur penelitian menggunakan Solidworks



Gambar 3.2 Prosedur penelitian menggunakan metode elemen hingga

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengamatan



Gambar 4.1 Diagram benda bebas poros belakang gokar listrik (tampak atas)

Dalam perancangan poros maupun transmisi dari gokar listrik harus mengetahui berapa berat total kendaraan yang akan dirancang. Dibawah ini

Komponen kendaraan/Pengemudi	Berat
Berat pengemudi	80 kg
Berat rangka & sistem kemudi	5 kg
Berat poros, sproket rantai & bearing	5 kg
Berat baterai/accu	20 kg
Berat motor	30 kg
Total	140 kg

tabel 4.1 perkiraan berat komponen-komponen gokar listrik.

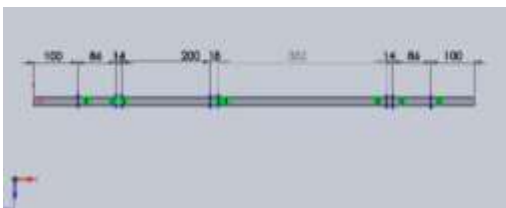
Sedangkan untuk menjalankan gokar listrik ini perlu mempertimbangkan adanya hambatan antara roda gokar dengan permukaan jalan. Untuk hambatan antara roda gokar dengan permukaan jenis aspal koefisien geseknya adalah $\mu = 0,67$ sehingga besar gaya gesek adalah:

$$f = 0,67 \times 140\text{kg}$$

$$= 93,8 \text{ kg}$$

4.2 Simulasi Dengan Solidworks

Setelah memberi input ukuran dimensi poros, maka melalui perintah solidworks akan menghasilkan gambar poros 3D seperti dibawah ini.



Gambar 4.2 Poros 3D yang telah diberi ukuran (Satuan mm)

Sampai disini sudah mendapatkan hasil desain poros yang sudah lengkap dengan beberapa bagian untuk menempatkan elemen-elemen pendukung poros tersebut.

Selanjutnya akan masuk pada tahap simulasi, yaitu akan memberi input gaya pada *sproket* dan roda sehingga akan mendapatkan nilai tegangan, regangan dan defleksi pada poros dilengkapi dengan gambar konsentrasi tegangan maksimum, regangan maksimum dan juga defleksi maksimum pada poros.

Pada tahap ini harus mengaktifkan fitur simulasi pada program

SolidWork 2010 yaitu dengan cara Klik *Option* dan pilih *Add-Ins*. Pada jendela *Add-Ins* centang bagian *Solidworks Simulation* dan klik Ok.

Pada *CommandManager* pilih tab *Simulation_Study Advisor_New Study*.

Kemudian simulasi ini ganti nama *Study 1* dengan nama Poros, klik centang warna hijau.

Kemudian klik kanan pada *External Load* klik *Force*.

Klik *Selected direction* pada *Force/Torque* kemudian klik *Top Plane* pada Part2 (Default)

Kemudian klik lokasi dari sproket berada, yaitu pada bagian tengah poros.

Pada jendela *Force* klik *Normal to Plane* kemudian masukkan nilai gaya sproket sebesar 920,178 Newton kemudian klik Ok.

pada *Fixtures* klik kanan dan pilih *Bearing Fixtures*, klik *Allow self-alignment* dan arahkan pointer pada lokasi *bearing* seperti pada gambar dan klik Ok.

Klik kanan *Bearing Support-1* dan klik Copy, kemudian klik kanan pada *Fixtures* dan klik paste dan akan

muncul tampilan setingan pada *bearing 1* dirubah dengan menempatkan lokasi *bearing* pada lokasi *bearing 2*

Selanjutnya ulangi cara diatas untuk memberi gaya pada roda kiri dan kanan sehingga pada *External Loads* akan terdapat tiga gaya *Force 1* dengan besaran 920,178 N, *Force 2* sebesar 460,089 N dan *Force 3* sebesar 460,089 N.

Roda kiri dan roda kanan juga berperan sebagai tumpuan jepit oleh karena itu harus memasang tumpuan jepit pada posisi roda kiri dan kanan. Caranya adalah

Klik *Fixtures_Fixed Hinge* pada *Type* klik *Fixed Geometry* kemudian tentukan lokasinya yaitu dengan cara mengarahkan pointer mouse kearah ujung sebelah kiri poros untuk roda kiri gokar listrik.

Begitu juga untuk roda kanan caranya sama seperti pada roda kiri. Setelah itu akan mendapatkan pada titik roda kiri ada reaksi tumpuan dan juga *force* atau gaya roda

Kemudian lakukan pemilihan jenis material dari poros, dengan cara klik

kanan pada *Part2_Apply/Edit Material*

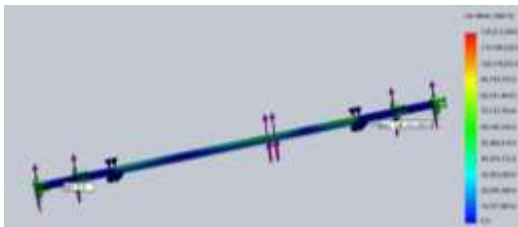
Pada Material pilih jenis material *Steel* pilih *Plain Carbon Steel* karena jenis material ini cocok/mendekati jenis material yang ada di pasaran yaitu Baja ST40 yang memiliki tegangan tarik $\leq 40 \text{ kg/mm}^2$ atau sama dengan $4 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Setelah selesai memilih jenis material yang ada maka hasil simulasi ini sudah bisa jalankan dengan cara klik kanan pada *poros default* simulasi Poros dan klik *Run*.

Sehingga selesai maka Solidwork dengan kemampuannya menganalisa metode elemen hingga dengan pemrograman yang dimilikinya, maka akan memperoleh tiga hasil dari simulasi poros roda belakang gokar listrik yaitu *stress* atau tegangan, *displacement* atau defleksi dan *strain* atau regangan.

Setelah memilih jenis material yang akan digunakan dan memberi *input* beban pada titik-titik poros maka Setelah selesai memilih jenis material yang ada maka hasil simulasi ini sudah bisa jalankan .

Solidwork dengan kemampuannya menganalisa metode elemen hingga dengan pemrograman yang dimilikinya, maka akan memperoleh tiga hasil dari simulasi poros roda belakang gokar listrik yaitu *stress* atau tegangan, *displacement* atau defleksi dan *strain* atau regangan.



Gambar 4.3 Hasil simulasi untuk tegangan



Gambar 4.4 Hasil simulasi untuk displacement



Gambar 4.5 Hasil simulasi untuk regangan

4.3 Perhitungan Manual

Untuk perhitungan manual menggunakan persamaan untuk elemen batang,

$$k^{\square} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Dimana :

k = kekakuan dari suatu elemen batang

E = Modulus elastisitas N/m^2

I = Momen inersia m^4

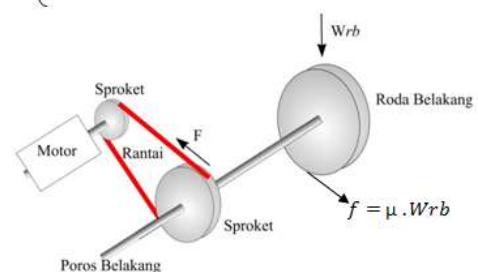
L^3 = Panjang material

Setelah didapat matriks kekakuan lokal tiap elemen, kita akan menggabungkan matriks kekakuan lokal tiap elemen menjadi matriks kekakuan global,

$$\underline{K} = \underline{k}^{(1)} + \underline{k}^{(2)} + \underline{k}^{(3)} + \underline{k}^{(4)}$$

kemudian persamaan matriks menjadi:

$$\begin{Bmatrix} M_1 \\ F_{1y} \\ M_2 \\ M_4 \end{Bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 4L_1^{-1} + 4L_2^{-1} & -6L_2^{-2} & 2L_2^{-1} & 0 \\ -6L_2^{-2} & 12L_2^{-1} + 12L_2^{-2} & -6L_2^{-1} + 6L_2^{-2} & 6L_2^{-2} \\ 2L_2^{-1} & -6L_2^{-2} + 6L_2^{-1} & 4L_2^{-1} + 4L_2^{-2} & 2L_2^{-1} \\ 0 & 6L_2^{-2} & 2L_2^{-1} & 4L_2^{-1} + 4L_4^{-1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{1y} \\ \delta_{2y} \\ \delta_3 \\ \delta_4 \end{Bmatrix}$$



Gambar 4.6 Koefisien gesek pada roda belakang

pada titik 2, 3 dan 4 tidak ada momen luar yang dapat mengakibatkan poros tersebut terpuntir sehingga $M_2 = M_3 = M_4 = 0$

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ 957,906 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = EI \begin{bmatrix} \theta_2 & & & & & \\ 4L_1^{-1} + 4L_2^{-1} & -6L_2^{-1} & & & & \\ -6L_2^{-1} & 12L_2^{-3} + 12L_1^{-3} & -6L_2^{-1} + 6L_3^{-1} & & & \\ 2L_2^{-1} & -6L_2^{-3} + 6L_3^{-1} & 4L_2^{-1} + 4L_3^{-1} & 2L_3^{-1} & & \\ 0 & 6L_2^{-1} & 2L_3^{-1} & 4L_3^{-1} + 4L_4^{-1} & & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_2 \\ d_{3y} \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{Bmatrix}$$

Kemudian persamaan diatas menjadi,

$$\{957,906\} = EI \left[12L_3^{-3} + 12L_2^{-3} \right] \{d_{3y}\}$$

Dengan persamaan momen inersia pada poros $I = 1/4 \pi r^4$ maka diperoleh $d_{3y} = 0,33m$

Berikut hasil perhitungan metode elemen hingga hitung manual dan melalui program solidworks

No	Gaya	Displacement	Momen	θ
1	$F_{1y} = -865,357N$	$d_{1y} = 0m$	$M_1 = -27,017 Nm$	$\theta_1 = 0 rad$
2	$F_{2y} = 2969,235 N$	$d_{2y} = 0m$	$M_2 = 0 Nm$	$\theta_2 = -0,00215 rad$
3	$F_{3y} = -957,906 N$	$d_{3y} = 0,000453m$	$M_3 = 469,128Nm$	$\theta_3 = 0,0154 rad$
4	$F_{4y} = -826,289 N$	$d_{4y} = 0m$	$M_4 = 114,752 Nm$	$\theta_4 = -0,00314 rad$
5	$F_{5y} = 129,392 N$	$d_{5y} = 0m$	$M_5 = -39,298 Nm$	$\theta_5 = 0 rad$

Tabel 4.2 Hasil perhitungan metode elemen hingga hitung manual

Stress Tegangan Maksimum	Displacement Maksimum	Strain Regangan Maksimum
$120,212 \times 10^6 Nm^2$	$0,00051 mm$	$3,82 \times 10^{-4} Nm^2$

Tabel 4.3 Hasil simulasi software Solidworks

Dari hasil perhitungan manual dan program solidworks bisa dilihat bahwa nilai-nilai maksimum berlokasi di bagian titik tiga. Dimana pada titik tersebut terjadi momen, displacement dan regangan dengan nilai terbesar hal ini disebabkan karena bekerja gaya yang berasal dari sproket dan rantai yang berhubungan dengan transmisi.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Simulasi metode elemen hingga dengan perangkat lunak solidworks telah berhasil dibuat, dengan hasil tegangan maksimum adalah $120,212 \times 10^6 Pa.$, dan defleksi maksimum adalah $0,00051 mm$.
2. Simulasi dengan perangkat lunak solidworks telah divalidasi dengan hasil perhitungan secara manual.
3. Dimensi poros hasil rancangan adalah diameter 20 mm dan panjang 1000 mm.

5.2 Saran

1. Untuk mahasiswa selanjutnya yang ingin menggunakan perangkat lunak sejenis, sebaiknya perlu dilakukan pengenalan lebih lanjut untuk mempermudah dalam penelitian.
2. Perlu adanya penguasaan materi tentang metode elemen hingga

secara khusus pada penelitian ini tentang elemen batang dan juga materi tentang perancangan mesin.

3. Untuk peneliti yang ingin melanjutkan penelitian tentang perancangan gokar listrik bisa menggunakan data penelitian ini untuk kelanjutan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Ferdinand, Russel, Jhon, dan David F. 2012. *Mechanic of Materials*.

New York : the McGraw-Hill companies

Kumara, Nyoman. dan Sukerayasa, I., *Tinjauan Perkembangan Kendaraan Listrik Dunia Hingga Sekarang*.

<http://download.portalgaruda.org/article.php?article=15312&volume=985&title=>

12 Februari 2015 pada jam 23:00 WITA.

Logan. D. L. 2007. *A First Course in the Finite Element Method*

Mott. R. L. 2009. *Elemen- Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis*.

Yogyakarta : ANDI

Tangkuman. S. 2015. *Mekanika Kekuatan Material*. Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi.