

RANCANG BANGUN PROTOTYPE BARU PADA LORI INSPEKSI GENERASI DUA DI POLITEKNIK PERKERETAAPIAN INDONESIA MADIUN

Dadang Sanjaya Atmaja¹, dadang@ppi.ac.id
Moch. Aziz Kurniawan², aziz@ppi.ac.id

Program Studi Teknik Mekanika Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia

ABSTRAK

Lori inspeksi jalan rel merupakan re-desain dari lori kereta api yang sudah pernah dibuat di lingkungan Politeknik Perkeretaapian Indonesia. Perbaikan lori inspeksi dilakukan pada roda, chassis, penggerak, dan bodi. Roda lori terbuat dari besi structural untuk mengurangi berat total dari 148 kg menjadi 119 kg. Ukuran conus roda dengan ukuran selisih diameter luar dan dalam 30 mm untuk meminimalkan gesekan roda dengan rel pada daerah lengkungan. Chassis menggunakan model *ladder frame* dengan kekuatan 44,29 Mpa dan defleksi 0,095 Mpa untuk mendapatkan hasil yang optimal dan handal pada track 1067. Material chassis menggunakan besi *hollow* jenis galvanis dengan berat hanya 125 kg. Penggerak sebelumnya motor bakar menjadi motor listrik BLDC (brushless direct current) dengan kapasitas daya 2680 watt, arus 35A dan kecepatan putar 4250 Rpm yang ramah lingkungan. Bodi lori terbuat dari *fiber reinforced polymers of plastics* (FRP) 3 lapisan menggunakan metode *hand lay-up* yang memiliki nilai tegangan tarik sebesar 40,18 MPa dan nilai regangan sebesar 0.89 %. Bodi Lori inspeksi menitik beratkan aspek estetika dan ergonomi berupa penampilan yang lebih menarik, nyaman dikendarai, dan aman sehingga memiliki nilai jual yang tinggi.

Kata Kunci: Lori inspeksi, roda, chassis, motor listrik BLDC, bodi lori inspeksi.

ABSTRACT

Inspection railway are a re-design of railway that have been made in the Indonesian Railway Polytechnic. Inspection lorry improvement are carried out on the wheels, chassis, drive and body. The new lorry wheels are made of structural iron to reduce the total weight from 148 kg to 119 kg. The size of the wheel conus is the difference between the outer and inner diameter of 30 mm to minimize wheel friction with rails in the curved region. The chassis uses the ladder frame model with emphasis on the strength of 44.29 MPa and 0.095 MPa deflection to get optimal and reliable results on the 1067 track. The material uses galvanized hollow type iron weighing 125 kg. The environmentally friendly drive used in the railway inspection is a BLDC electric motor (brushless direct current) with a capacity of 2000 watts of power, a current of 35A and a rotational speed of 4250 Rpm. The railway inspection body is made of 3 layers fiber reinforced polymers of plastics (FRP) using a hand lay-up method that has a tensile stress value of 40.18 MPa and a strain value of 0.89%. The inspection body focuses on the aesthetics and ergonomics aspects in the form of a more attractive appearance, smoothness of design, passenger comfort and color harmony so that they have high selling.

Keywords: Inspection lorry, wheels, chassis, BLDC electrical motor, body of railway inspection.

1. PENDAHULUAN

Inspeksi dan pemeriksaan jalan rel merupakan faktor yang penting dalam menjamin keselamatan perjalanan kereta api tetap terjaga. Secara umum pemeriksaan jalan rel dilakukan oleh petugas kereta api atau juru periksa jalan rel (JPJ). Metode yang dipergunakan JPJ masih menggunakan peralatan manual dan dilakukan dengan jalan kaki, cara ini membutuhkan waktu yang lama dan wilayah pemeriksaan sangat terbatas karena kemampuan fisik dari masing-masing JPJ berbeda-beda dan medan yang akan dilalui juga bervariasi dari perkotaan, pedesaan, sampai pegunungan sehingga mempengaruhi jarak pemeriksaan.

Dalam perancangan prototipe lori inspeksi ini mengacu pada dasar-dasar penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam Penelitian badan roda lori inspeksi dilakukan dengan metode proses tarik dalam [1]. Pada literatur buku [2], [3] telah dibahas secara lengkap dan detail tentang perhitungan poros dan roda kereta lori inspeksi. literatur buku [4] telah dibahas secara lengkap dan detail tentang pembuatan dan desain chassis lori inspeksi. Penggerak lori inspeksi menggunakan motor listrik dengan pengendalian kecepatan dan penambahan performa motor *brushless DC* (BLDC) dengan berbagai metode, diantaranya adalah dengan berbagai metode pengontrol kecepatan motor listrik BLDC [5]-[8], dan upaya peningkatan performa motor listrik BLDC [9].

Pembuatan bodi lori inspeksi menggunakan berbagai metode pembuatan bodi kendaraan [10], [11] serta berbagai penelitian serat dan komposit pembuatan bodi kendaraan [12]-[14]. Aplikasi serat dan komposit pada rangka atas kereta lori inspeksi [15]. Beberapa dasar penelitian tentang pembuatan dan perancangan roda, chassis, penggerak motor listrik, dan bodi kendaraan sebagai pengetahuan dasar pembuatan kereta lori inspeksi yang lebih baik.

2. KONSEP DAN PRINSIP KERJA

Dalam Peraturan Dinas Nomor 19 Jilid II dari PT. Kereta Api Indonesia, Lori adalah kendaraan angkut dengan atau tanpa penggerak sendiri yang dapat diangkat dari rel di jalan bebas oleh tenaga yang ada pada kendaraan tersebut lebih dari 2 menit dan digunakan untuk memeriksa prasarana serta membawa petugas dan atau material kerja. Kecepatan lori tidak boleh lebih dari 25 km/jam. Pembatasan kecepatan menyangkut aspek keselamatan yang harus diperhatikan dan diutamakan.

Dalam pembuatan poros memperhatikan aspek perhitungan poros roda lori inspeksi. Diameter poros dan tegangan yang timbul pada poros sangat berpengaruh terhadap kekuatan poros. Perhitungan diameter poros dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$d_p = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot M_p \right]^{1/3} \tag{1}$$

$$\tau_g = \frac{16 \cdot M_p}{\pi \cdot d^3} \tag{2}$$

Keterangan :

- Dp = diameter poros (mm)
- τa = tegangan geser izin (N/mm²)
- Kt = faktor koreksi tumbukan, harganya berkisar 1,5 – 3,0n
- Cb = faktor koreksi untuk terjadinya kemungkinan terjadinya beban lentur, dalam perencanaan ini diambil 1,2-2,2 karena diperkirakan tidak akan terjadi beban lentur
- Mp = momen puntir yang ditransmisikan (Nm).
- a = Jarak titik ke kawat (m)
- μ₀ = 4π x 10⁻⁷ (Wb/A.m)
- τg = tegangan geser momen puntir (N/mm²)
- Mp = momen puntir (Nm)
- dp = diameter poros (mm)

Dalam perancangan penggerak motor listrik lori inspeksi perlu diperhitungkan daya yang dihasilkan motor listrik dengan perhitungan sebagai berikut :

$$N = (f \times 120) : p \tag{3}$$

$$P = (T \times N) : 5252 \tag{4}$$

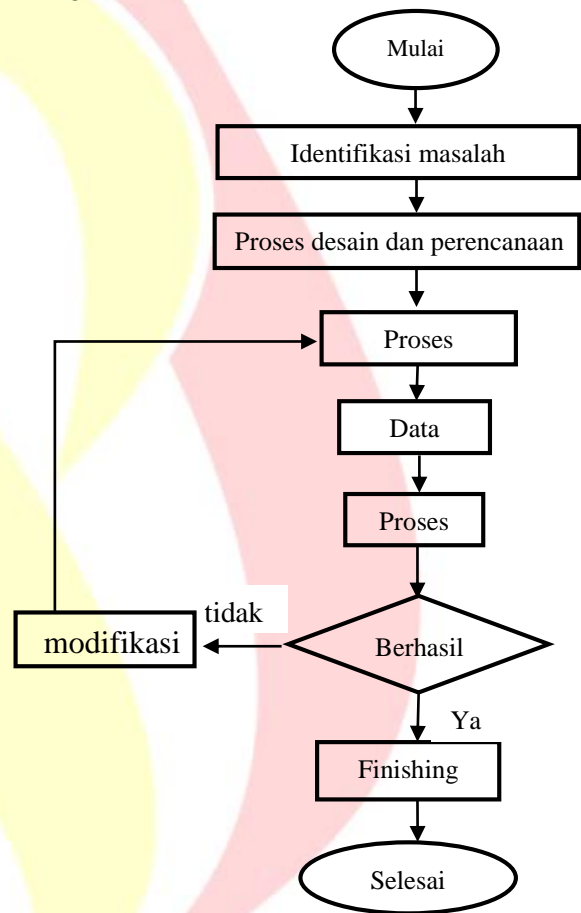
Keterangan :

- N : Jumlah putaran permenit (RPM)
- f : Frekuensi (Hz)
- p : Jumlah kutub gulungan (pole)
- P : Daya (HP)
- T : Torsi (Nm)
- 5252 : nilai konstanta daya motor dalam satuan HP

3. METODE PENELITIAN

3.1 Alur Pikir

Alur pikir penelitian prototipe lori inspeksi jalan rel akademi perkeretaapian indonesia Api-02 adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Metode penelitian

3.2. Metode Pengumpulan Data

3.2.1 Data primer

Data primer yang diambil meliputi:

- a. Desain Lori Inspeksi Jalan Rel;
- b. Kontruksi Lori Inspeksi Jalan Rel;
- c. Assembling Lori Inspeksi Jalan Rel;
- d. Finishing Lori Inspeksi Jalan Rel.

3.2.2 Data Sekunder:

Data sekunder yang diambil meliputi:

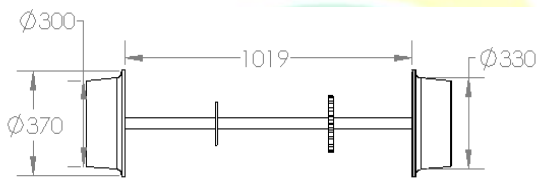
- a. Gambar – gambar Lori Inspeksi Jalan Rel.
- b. Keandalan material alat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

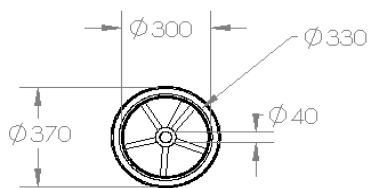
4.1 Roda Lori Inspeksi Inspeksi Jalan Rel.

Tahap awal adalah disain roda lori inspeksi inspeksi jalan rel. Untuk meminimalkan gesekan roda dengan rel pada daerah lengkungan diperlukan perhitungan roda pada roda dan poros roda. Hasil perhitungan roda dan poros roda adalah sebagai berikut :

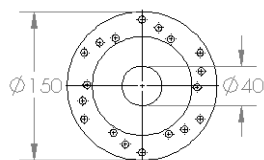
- Conus roda : 30 mm
- Panjang flens : 20 mm
- Tinggi flens : 20 mm
- Panjang tapak roda : 80 mm
- Panjang poros : 1019 mm
- Diameter poros : 38 mm



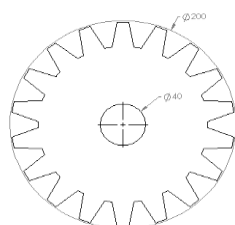
Gambar 2. Dimensi Poros dan Roda Lori Inspeksi Jalur Rel Pandangan Tampak Depan



Gambar 3. Roda Lori Inspeksi Jalur Rel



Gambar 4. Piringan Rem Lori Inspeksi Jalan Rel



Gambar 5. Roda Gigi Lori Inspeksi Jalan Rel

Selanjutnya dilakukan pembuatan roda dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Pembentukan tapak roda dan flens

Pipa berdiameter 300mm dan 340mm dipotong dengan panjang 80mm dan 20mm, lalu potongan pipa tersebut digabungkan dengan menggunakan pengelasan las listrik.

- b. Penguatan roda

Penguatan dilakukan pada bagian dalam roda. Besi hollow dengan ukuran 4x4 yang telah disiapkan dipotong dengan ukuran sesuai jari-jari roda, lalu dilakukan proses pengelasan yang bertujuan untuk menggabungkan dengan keping roda.

- c. Penghalusan sudut flens roda

Proses penghalusan keping roda pada sudut roda antara flens dengan tapak roda yang dihasilkan masih sangat kasar. Penghalusan pada sudut dilakukan dengan penambahan bahan logam dengan metode pengelasan. Penghalusan ini bertujuan untuk menambah faktor kenyamanan pada pengguna lori inspeksi.

- d. Penghalusan keping roda

Bagian permukaan keping roda yang masih kasar lalu dihaluskan dengan gerinda untuk membuang bagian-bagian yang menonjol bekas hasil pengelasan. Setelah digerinda lalu dilakukan penambahan meterial logam pada permukaan tapak roda dengan las. Untuk menghaluskan hasil penambahan material ini dilakukanlah proses pembubutan untuk menciptakan hasil yang baik.

- e. Penggabungan keping roda dengan as roda

Keping roda yang telah dilakukan proses pembubutan dan memiliki permukaan yang halus selanjutnya dapat digabungkan dengan as roda. As roda menggunakan pipa besi tertutup. Dalam pemasangan ini ditambahkan juga bagian gear dan cakram sebagai alat bantu transmisi dan sebagai alat bantu pengereman.

- f. Pemasangan Pengunci

Keping roda yang telah digabungkan dengan as roda selanjutnya dipasangkan pengunci dengan menggunakan baut ukuran 12. Penguncian ini dilakukan dengan tujuan posisi poros roda dengan kepingan roda tidak geser.

g. Pengecatan

Pengecatan tahap pertama dilakukan dengan menggunakan kuas yang bertujuan untuk menambah nilai estetika roda serta untuk menutupi bagian hitam bagian sisa dari proses pengelasan.



Gambar 6. Roda yang telah di cat

h. Modifikasi

Rangkaian roda yang telah diproduksi dan telah dilakukan uji dinamis di track yang berada dikampus PPI Madiun ternyata masih mengalami kendala yaitu pada bagian permukaan tapak roda yang kurang memiliki ketirusan / conus sehingga dilakukan pembubutan



Gambar 7. Modifikasi Roda Lori Inspeksi

Selanjutnya dilakukan pengujian roda di track dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Roda berjalan di lengkung

Panjang poros + lebar flens + lebar tapak roda < kurang dari lebar lengkung terpanjang + lebar rel
 $1019 \text{ mm} + 20 \text{ mm} + 80 \text{ mm} < 1090 \text{ mm} + 70 \text{ mm}$
 $1119 \text{ mm} < 1160 \text{ mm}$ (syarat terpenuhi).

Dengan hasil ini dipastikan tapak roda mampu menopang saat melewati lengkung terlebar.

b. Roda berjalan di wesel

Pengujian pada wesel dilakukan dengan memastikan apakah flens roda menyentuh bagian permukaan jarum wesel atau tidak.

$$1019 \text{ mm} + 40 \text{ mm} < 1065 \text{ mm}$$

$$1059 \text{ mm} < 1065 \text{ mm}$$

Dengan lebar set roda kurang dari lebar wesel maka dipastikan roda dapat melewati wesel.

c. Roda berjalan di perlintasan sebidang

Dengan jarak antara rel dengan jalan adalah 40 mm dan ukuran lebar flens adalah 20 mm maka telah dipastikan roda mampu berjalan di perlintasan sebidang tanpa flens menggesek permukaan jalan.

d. Roda berjalan di track lurus.

Lebar sepur tenpanjang adalah 1080 mm dan terpendek adalah 1065 mm saat melewati sepur terpendek maka harus dipastikan lebar roda mampu melewatinya dengan perhitungan.

Panjang antar keping roda + lebar flens < lebar sepur terpendek

$$1019 \text{ mm} + 40 \text{ mm} < 1065 \text{ mm}$$

$$1059 \text{ mm} < 1065 \text{ mm}$$



Gambar 8. Pengujian Roda di Track Lurus

4.2 Chassis Lori Inspeksi Inspeksi Jalan Rel.

Chassis dilakukan simulasi uji kekuatan menggunakan software solidwork untuk mendapatkan model chassis yang paling kuat menahan beban. Dari hasil simulasi dihasilkan data bahwa model *Ladder frame* memiliki ketahanan uji beban lebih kuat dimana terdapat dua batang memanjang yang menyokong beban kendaraan.

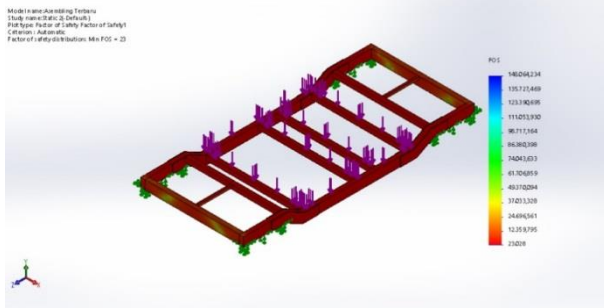


Gambar 9. Desain Chassis Lori Inspeksi

a. Simulasi Uji Keamanan

Desain chassis memenuhi syarat dan ketentuan untuk lulus uji simulasi mulai dari nilai dan indikasi warna, untuk nilai dari titik aman sampai titik kritis, yaitu antara 23,028 – 148.064,234 dan untuk warna dari titik aman berwarna merah sampai titik kritis berwarna biru, gambar 14 simulasi uji keamanan menunjukkan bahwa desain chassis lori inspeksi

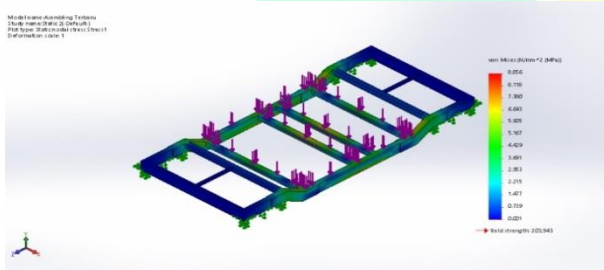
berada pada titik aman, untuk indikasi angka berada pada 23 dan untuk indikasi warna berwarna merah.



Gambar 10. Simulasi Uji Keamanan

b. Simulasi Uji Kekuatan

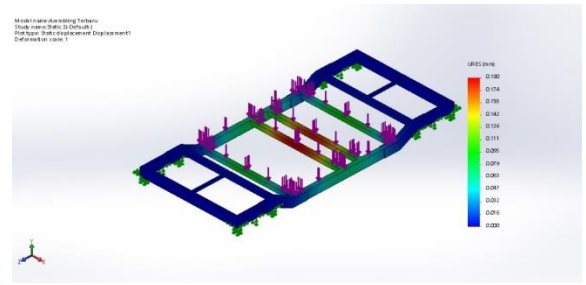
Desain chassis memenuhi syarat dan ketentuan lulus uji simulasi mulai dari nilai dan indikasi warna, untuk nilai dari titik aman sampai titik kritis: 0,001 – 8,856 Mpa dan untuk warna dari titik aman berwarna biru sampai titik kritis berwarna merah. Gambar 15 menunjukkan bahwa desain chassis lori inspeksi berada pada titik aman, untuk indikasi angka berada pada 44,29 Mpa dan untuk indikasi warna berwarna hijau dan biru jadi untuk simulasi uji kekuatan berada pada titik aman karena tidak melebihi tegangan ijin sebesar 8,856 Mpa.



Gambar 11. Simulasi Uji Kekuatan

c. Simulasi Uji Defleksi

Desain chassis memenuhi syarat dan ketentuan lulus uji simulasi mulai dari nilai dan indikasi warna, untuk nilai dari titik aman sampai titik kritis : 0,000 – 0,190 Mpa dan untuk warna dari titik aman berwarna biru sampai titik kritis berwarna merah. Gambar 16 menunjukkan bahwa desain chassis lori inspeksi berada pada titik aman, untuk indikasi angka berada pada 0,095 Mpa dan untuk indikasi warna berwarna hijau, biru dan orange jadi untuk simulasi uji defleksi berada pada titik aman.



Gambar 12. Simulasi Uji Defleksi

Setelah proses pengujian simulasi selesai dilanjutkan dengan pembuatan chassis dengan bahan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi dan ukuran Bahan Chassis Lori Inspeksi jalan rel.

No	Material	Ukuran	Tebal
1	Besi hollow	P : 4 cm L : 4 cm	5 mm
2	Besi hollow	P : 4 cm L : 2 cm	5 mm
3	Besi hollow	P : 4 cm L : 8 cm	5 mm
4	Besi plat	P : 32 cm L : 8 cm	5 mm
5	Besi plat berlubang	P : 210 cm L : 95 cm	1 mm

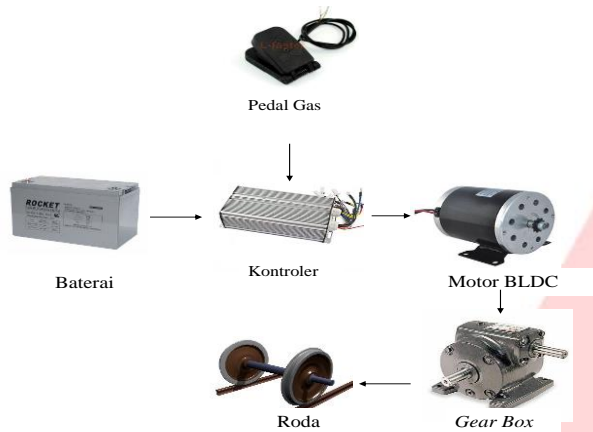
Bahan pada tabel 1 dilakukan penyambungan menggunakan proses pengelasan. Selanjutnya pemasangan poros dan roda pada chassis seperti yang ditampilkan pada gambar 13.



Gambar 13 Chassis Lori Inspeksi

4.3 Penggerak Lori Inspeksi Inspeksi Jalan Rel.

Penggerak lori inspeksi jalan rel menggunakan motor listrik BLDC (brushless direct current) dengan daya 2680 watt, arus 35A dan kecepatan putar 4250 Rpm. Selain itu, juga dilengkapi dengan baterai 12 V 60 AH sebanyak 5 buah sebagai sumber energi listrik, controller untuk mengatur putaran dari pedal, pedal untuk mengatur kecepatan motor listrik sesuai dari pengguna, dan transmisi untuk meningkatkan tenaga motor listrik.



Gambar 14. Sistem Penggerak Lori Inspeksi

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap penggerak lori inspeksi jalan rel dengan hasil sebagai berikut :

- a. Gaya Hambatan guling (F_{rr}) = 9.8 N
- b. Gaya Hambatan Udara (F_{ad}) = 23.275 N
- c. Gaya Daki Bukit/Kelandaian (F_{hc}) = 0 N
- d. Gaya Percepatan (F_{ia}) = 100 N
- e. Gaya Total (F_{te}) = 133,075 N
- f. Total daya yang dibutuhkan = 1933,05 Watt
- g. Torsi motor = 3,31 N.m
- h. Kecepatan putaran motor = 4250 rpm.
- h. Kecepatan Maksimal = 26 km / jam

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya maksimal yang dibutuhkan adalah 1933,05 W sedangkan daya motor listrik yang digunakan adalah 2680 W, sehingga daya motor listrik yang digunakan mampu untuk menggerakkan lori inspeksi jalan rel.



Gambar 15. Baterai dan pengontrol kecepatan putar motor listrik BLDC

Sebelum pembuatan bodi lori inspeksi jalan rel dilakukan desain menggunakan aplikasi solidwork. Hasil desain ditunjukkan pada gambar 16, 17, dan gambar 18.

4.2 Bodi Lori Inspeksi Inspeksi Jalan Rel

Pembuatan bodi lori inspeksi menggunakan konsep metode *hand lay up* dimana resin dituangkan kedalam serat berbentuk anyaman. Kemudian lapisan ditekan secara berulang-ulang menggunakan alat bantu berupa rol. Proses ini akan berkenaan langsung dengan udara sekitar.



Gambar 16. Desain Bodi 3D

Selanjutnya adalah pembuatan menggunakan bahan komposit. Pengujian dilakukan pada bahan komposit dengan hasil sebagai berikut :



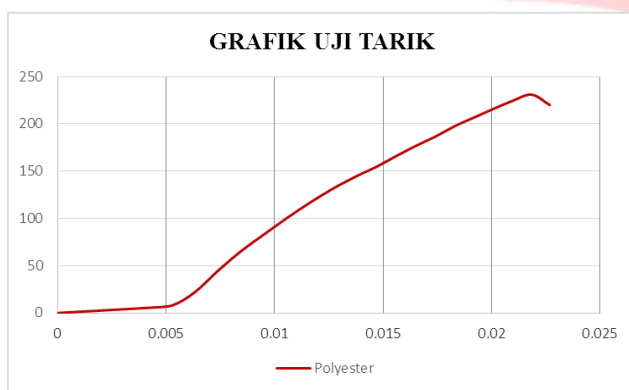
Gambar 17. Desain Bodi Tampak Depan



Gambar 18. Desain Bodi Tampak Samping

Tabel 2. Hasil uji Tarik Dan Regangan Komposit

No	Lapisan serat	Kekuatan tarik (MPa)	Regangan (%)
1	Matrik	44,56	2,15
2	2 Lapisan	31,79	1,02
3	3 Lapisan	40,18	0,89
4	4 Lapisan	56,42	1,4
5	5 Lapisan	51,34	1,21



Gambar 19. Hasil Pengujian Uji Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui karakteristik material terhadap kekuatan dan ketahanan beban tarik berupa data tegangan tarik dan pertambahan panjang atau regangan. Rumus tegangan adalah $\sigma = F/A$, dimana F adalah gaya tarik dan A adalah luas penampang. Sedangkan rumus regangan adalah $\epsilon = \Delta L/L$, dimana ΔL merupakan pertambahan panjang dan L merupakan panjang awal. Pengujian dilakukan pada spesimen komposit dengan panjang 100mm dan lebar 20mm. Berdasarkan penelitian uji tarik pada komposit matriks polyester dengan metode hand lay-up, dapat diketahui bahwa komposit tersebut memiliki tegangan maksimum sebesar 231 MPa dan regangan 0,02184% dengan pertambahan panjang 5,46mm.

Jenis komposit yang penulis pilih adalah komposit jenis fibre reinforced polymers of plastics (FRP). Komposit ini menggunakan polimer berbahan resin polyester sebagai matriks (pengikat) dengan penguatan serat gelas jenis fibrous, atau biasa disebut fiberglass. Pemilihan resin polyester karena jenis ini memiliki viskositas (kekentalan cairan) yang relatif rendah serta mampu mengeras pada suhu kamar tanpa menghasilkan gas saat direaksikan dengan katalis, sehingga tidak perlu diberi tekanan pada proses pencetakan. Penggunaan

serat gelas sebagai penguat karena memiliki sifat yang tahan panas, anti korosi, memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

Selanjutnya adalah proses pelapisan serat pada komposit. Ketebalan lapisan dengan penambahan serat komposit dalam membuat bodi lori inspeksi akan menentukan kekuatan tarik dan regangan dari komposit tersebut.

Setelah semua persiapan sudah diselesaikan maka dilanjutkan pada proses finishing dengan menggabung semua komponen dari roda, chasis motor dan body didapat hasil lori yang direncanakan sesuai dengan gambar 20.



Gambar 20. Tampilan Lori Inspeksi Jalan Rel

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian mengenai prototipe lori inspeksi jalan rel Akademi Perkeretaapian Indonesia API-02 menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Perancangan roda lori terbuat dari besi struktural dengan mengutamakan faktor keringanan dan efisiensi dengan berat total dari 148 kg menjadi 119 kg. Desain roda lori disesuaikan dengan hasil data di lapangan dan mengutamakan faktor conus pada roda dengan ukuran selisih diameter luar dan dalam 30 mm.
- b. Desain chassis lori inspeksi tenaga listrik menggunakan model ladder frame / kuda kroya dengan menitik beratkan pada kekuatan 44,29 Mpa dan defleksi 0,095 Mpa untuk mendapatkan hasil yang optimal dan handal pada track 1067. Material menggunakan besi hollow jenis galvanis dengan berat 125 kg.

- c. Penggerak ramah lingkungan yang digunakan pada lori inspeksi adalah motor listrik jenis BLDC motor atau (brushless direct current) dengan kapasitas daya 2000 watt, arus 35A dan kecepatan putar 4250 Rpm.
- d. Desain bodi lori terbuat dari fibre reinforced polymers of plastics (FRP) 3 lapisan menggunakan metode hand lay-up yang memiliki nilai tegangan tarik sebesar 40,18 MPa dan nilai regangan sebesar 0.89 %. Bodi lori inspeksi menitik beratkan aspek estetika dan ergonomi berupa penampilan yang lebih menarik, kehalusan desain , kenyamanan penumpang serta keserasian warna sehingga memiliki nilai jual.

REFERENSI

- [1] Abdullah, K. d. (2005). "Penelitian Pembuatan Badan Roda Lori Dari Pelat Baja Hasil Rol Panas Dengan Metode Proses Tarik Dalam". Bandung: Metal Indonesia.
- [2] Munawar, A. (2007). "*Perhitungan Pada Poros Penggerak*". Jakarta: Academia Education.
- [3] Khurni, R.S, Gupta,J.K,(2005) "*A Text Book of Machine Design*", Eurasia Publishing House (PVT.) LTD, India.
- [4] Gunadi, Herminarto.(2004). "*Perancangan Bodi Kendaraan*". Yogyakarta.
- [5] Agung D.Y., Sasongko (2015). P.H., Suharyanto. "*Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Metode Logika Fuzzy*". Jurnal Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [6] Al-Mashakbel, Atef Saleh Othman. (2009). "*Proportional Integral and Derivative Control of Brushless DC Motor*". Europe Journal of Scientific Research Vol.35 No.02, PP : 198-203.
- [7] Kumar, Brajesh dkk. (2017). "*Controller Design for Closed Loop Speed Control of BLDC Motor*". International Journal of Electrical Engineering and Informatics Vol. 09, No. 01, PP: 146-160.
- [8] Roedy K., Wahyunggoro O. Nugraha P. (2015). "Sistem Kendali Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Algoritma Hybrid PID_FUZZY. Jurusan teknik elektro –ATW Surakarta. Uiversity Research Colloquium".
- [9] Nanang M. (2015). "Desain Controller Motor Bldc Untuk Meningkatkan Performa Output (Daya) Pada Sepeda Motor Listrik". Thesis. Institut Sepuluh Nopember.
- [10] Demollic. (2010). "Pembuatan Bodi Mobil dan Modifikasi Chasis". Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Otomotif. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- [11] Dimas T. (2016).Pembuatan Produk dan Moulding Bumper Belakang Mobil Kijang Innova (V-2005) Berbahan Serat Glass Acak. Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin. Yogyakarta: Politeknik Muhammadiyah Yogyakarta.
- [12] Ermawan, Agustinus Adi. (2018). "Penambahan Persentase Serat dan Jumlah Lapisan (1-3) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass-Polyester (Yukalac C-108 B Justus)". Skripsi Jurusan Teknik Yogyakarta: Mesin Universitas Sanata Dharma.
- [13] Nugroho, Yosep Dwi. (2016). "Karakteristik Komposit Serat Glass Dengan Variasi Jumlah Lapisan Serat". Skripsi Jurusan Teknik Mesin. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- [14] Ocky S. P. (2015). "Proses Pembuatan Bodi pada Mobil Listrik Menggunakan Bahan Komposit". Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- [15] Sujatmika, Hanif. (2018) Perancangan Dan Pembuatan Rangka Atas Kereta Lori Inspeksi Di Lingkungan Kampus Akademi Perkeretaapian Indonesia. Tugas Akhir Jurusan Teknik Mekanika Perkeretaapian.Madiun : Akademi Perkeretaapian Indonesia.