

ANALISIS TEGANGAN PADA HOLLOW AXLE KERETA CEPAT CR 400 AF DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Rusdi Dahlan

Prograrm Studi Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta,
rusdidahlan73@gmail.com

Abstrak

Poros merupakan bagian penting pada sebuah kereta api. Poros akan menyalurkan tenaga putaran dari motor traksi ke roda. Kereta kecepatan tinggi CR 400 AF menggunakan as roda yang berlubang. Beban kerja pada poros adalah beban dinamis dan beban statis. Untuk mengetahui kekuatan poros maka perlu dilakukan analisa kekuatan poros ketika menerima pembebanan statis. Dalam tulisan ini, kekuatan statis poros dianalisis menggunakan Analisis Elemen Hingga oleh Solidwork 2017® dan dibandingkan dengan perhitungan manual. Simulasi Elemen Hingga menggunakan material EA4T dengan kekuatan luluh sebesar 530 MPa. Total beban yang diberikan pada poros adalah 159.544 Newton. Pada awalnya, data Axle tiga dimensi harus dibuat.. Kemudian memberikan material pada objek. Untuk langkah selanjutnya, berikan geometri tetap (kendala) dan beban pada benda. Setelah itu dilakukan proses meshing, dan dilanjutkan dengan proses penyelesaian. Hasil simulasi berupa tegangan maksimum, faktor keamanan, dan perpindahan. Nilai stres maksimum yang dihasilkan poros akibat beban sebesar 159.544 Newton adalah 65,64 MPa. Hasil perpindahan yang ditunjukkan adalah 0,085 mm. Nilai faktor keamanannya adalah 8,1. Dari perhitungan manual diperoleh hasil tegangan maksimum sebesar 68,65 MPa dan faktor keamanan sebesar 7,72. Perbedaan hasil simulasi Elemen Hingga dengan perhitungan manual, sebagai berikut : perhitungan manual tegangan maksimum mendapat nilai lebih tinggi yaitu 4,5% dari simulasi, sedangkan faktor keamanan perhitungan manual lebih kecil 4,6% dibandingkan hasil simulasi. Walaupun kedua cara tersebut mempunyai hasil yang sedikit berbeda, namun terlihat bahwa poros berongga berada dalam kondisi aman karena faktor keamanannya lebih besar dari 3,0.

Kata kunci : kereta api, tegangan, poros berongga, solidwork 2017®

1. PENDAHULUAN

Perkeretaapian dunia saat ini memasuki era kereta api berkecepatan tinggi. Pada tahun 2021, kereta api tercepat di dunia yaitu kereta Japan LO Seri Maglev dengan kecepatan 603 km/jam. Kereta api berkecepatan tinggi sudah mulai memasuki negara Indonesia. PT KCIC merupakan perusahaan kereta api di Indonesia dengan menggunakan teknologi kereta api berkecepatan tinggi.

Transportasi kereta api kecepatan tinggi yang akan menghubungkan kota Jakarta menuju Bandung mengadopsi kereta cepat buatan Tiongkok dengan seri CR 400 AF. Kecepatan desain yang dimiliki oleh seri CR 400 AF yaitu 400 km/jam. Kereta ini memiliki 8 rangkaian dalam 1 train set dan memiliki 3 kelas meliputi VIP class, first class, dan second class. Kapasitas maksimal penumpang

yang dapat diangkut sejumlah 601 penumpang.

Kereta CR 400 AF menggunakan Listrik Aliran Atas (LAA) yang digunakan sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan kereta. Listrik dari LAA akan dialirkan menuju ke traksi motor, kemudian putaran dari traksi motor tersebut akan ditransmisikan putarannya dengan poros yang akan menggerakkan roda. Poros yang digunakan oleh kereta CR 400 AF yaitu jenis poros berongga (hollow axle).

Poros memiliki fungsi yang sangat penting dalam mentransmisikan gerakan traksi motor ke roda. Beban yang dapat diterima oleh poros meliputi beban statis dan beban dinamis. Pengertian dari beban statis merupakan beban pada struktur yang bekerja secara perlahan, sehingga mengakibatkan munculnya tegangan dan deformasi pada struktur. Beban statis

timbul secara perlahan dan bersifat steady-state. Sedangkan pembebanan dinamis merupakan beban yang bersifat tidak steady-state dan besarnya akan berubah dalam suatu waktu.

Rangkaian CR 400 AF mengadopsi 4 motor car dan 4 trailer car. Pada motor car terdapat traksi motor untuk menggerakkan kereta di setiap poros. Dalam satu bogie motor car memiliki 2 traksi motor. Untuk menyalurkan sumber tegangan ke kereta dibutuhkan pantograf. Pantograf terletak di atap kereta nomor 3 dan nomor 6 dengan jenis pantograf single arm.



Gambar 1. Susunan Rangkaian Kereta CR 400 AF. ^[1]

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Wheelset merupakan komponen dari bogie kereta yang berfungsi untuk Bergeraknya kereta. Wheelset terdiri dari roda, hollow axle, disc brake, gearbox, dan lain-lain. Pada roda kereta cepat memiliki diameter 920 mm untuk kondisi baru, dan 850 mm diameter maksimal selama beroperasi. Untuk poros penghubung roda menggunakan poros dengan struktur hollow axle.

Hollow axle yang digunakan menggunakan material jenis baja. Material yang digunakan mengacu pada standar Eropa dan China. ^[2] Pembuatan hollow axle menggunakan material jenis baja EA4T(25CrMo4) yang merupakan salah satu material yang telah digunakan sebagai standar produksi dari axle. ^[3] Dimensi axle yang digunakan memiliki panjang 2180 mm dengan diameter lubang 30 mm. Susunan kimia yang terdapat di material baja EA4T(25CrMo4) dapat dilihat di table 1.

Tabel 1. Chemical Composition Material EA4T(25CrMo4) ^[4]

Grade	C	Si	Mn	Cr	Mo
EA4T(25CrMo4)	0.26	0.27	0.72	1.0	0.23

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Sifat mekanis yang dimiliki oleh material EA4T dapat dilihat pada table 2 berikut.

Tabel 2. Sifat Mekanis Material EA4T ^[5]

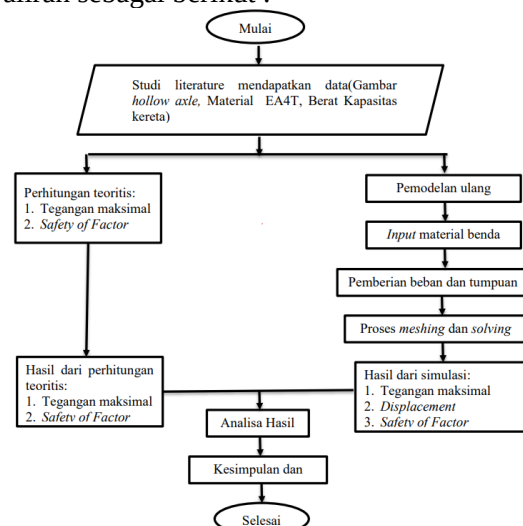
No.	Parameter	Satuan	Nilai Rujukan
1	Modulus Elastisitas	MPa	209.726
2	Yield tensile strength	MPa	530
3	Ultimate tensile strength	MPa	702
4	Elongasi	%	12,2
5	Poisson ratio	-	0,3

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Paper ini akan membahas simulasi perhitungan kekuatan poros berrongga akibat beban statik dengan menggunakan metoda element hingga. Dari simulasi tersebut akan ditampilkan hasil berupa tegangan maksimal, displacement, safety of factor, serta penyebaran tegangan pada poros yang digunakan oleh kereta CR 400 AF. Hasil simulasi juga akan dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual (pendekatan teoritis).

2.METODELOGI

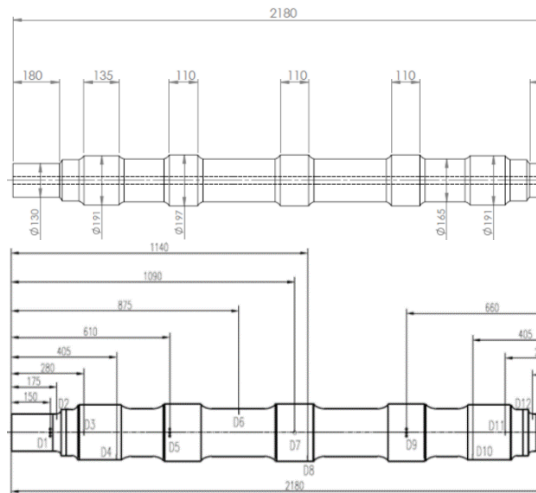
Metodologi simulasi menggunakan laju aliran sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram alir pengujian.

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Dimensi hollow axle yang disimulasikan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Dimensi Hollow Axle CR 400AF. ^[1]

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

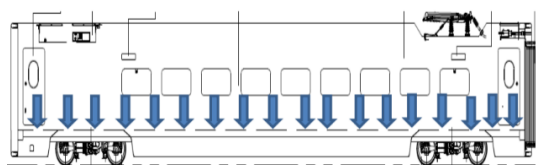
Pada saat melakukan perhitungan dengan teoritis dan simulasi, beban yang digunakan sebesar 65,12 ton pada kereta nomor tiga. Digunakan pembebanan dari berat maksimal kereta no tiga karena pada kereta nomor tiga merupakan trailer car.

Nilai beban dapat diketahui pada beban maksimal di tabel 3.

Tabel 3. Berat Kosong dan Berat Maksimum CR 400 AF Standar ChinaSifat Mekanis Material EA4T^[3]

No. Kereta	1	2	3	4	5	6	7
Berat kosong/ton	55,1	56,5	58,3	55,4	57,3	58,3	56,6
Berat maksimum/ton	7	9	2	4	2	2	1
	57,7	63,3	65,1	61,4	62,3	65,1	63,4

Dari beban maksimal pada kereta tersebut, kemudian didistribusikan ke 4 axle kereta sesuai dengan gambar 4.

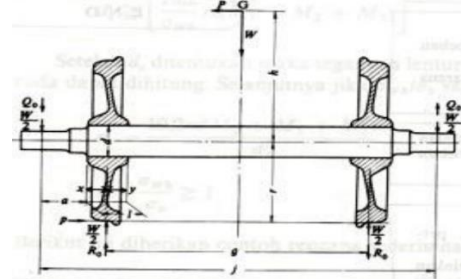


Gambar 4. Dimensi Hollow Axle CR 400AF. ^[1]

$$\text{Beban diterima Axle} = \frac{\text{beban maksimal}}{\text{jumlah axle}} \dots\dots (1)$$

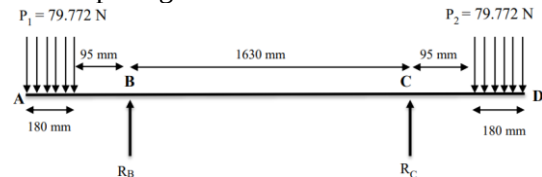
Jadi, setiap axle mendapatkan beban total sebesar 16280 kg atau 159,544 kN.

Pendistribusian beban di ujung axle diperlihatkan pada gambar 5. Masing-masing ujung akan menahan beban sebesar 79,772 kN.



Gambar 5. Pembebanan pada Axle. ^[1]
Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Diagram benda bebas untuk pembebanan pada Axle CR 400 AF dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram Benda Bebas Pembebanan pada Axle.
Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Pada free body diagram di atas, titik B dan titik C pada axle merupakan tempat peletakan roda yang diasumsikan sebagai tumpuan. Pada titik A dan titik B merupakan letak dari axle box yang mendapatkan beban langsung dari beban maksimal kereta.

Penampang yang digunakan berbentuk lingkaran berdiameter 130 mm dan memiliki rongga ditengah berdiameter 30 mm. ^[1]

Meshing yang digunakan pada simulasi hollow axle CR 400 AF ini ditampilkan di tabel 4.

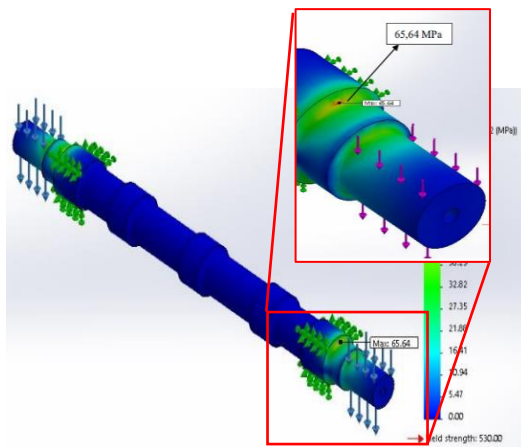
Tabel 4. Tabel Proses Meshing

Type Meshing	Solid Mesh
Meshes Used	Standard mesh
Ukuran Elemen	17,9375 mm
Tolerance	0,896874 mm
Mesh Quality Plot	High
Total Node	88815
Elemen total	59590
Komputer	Lenovo

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

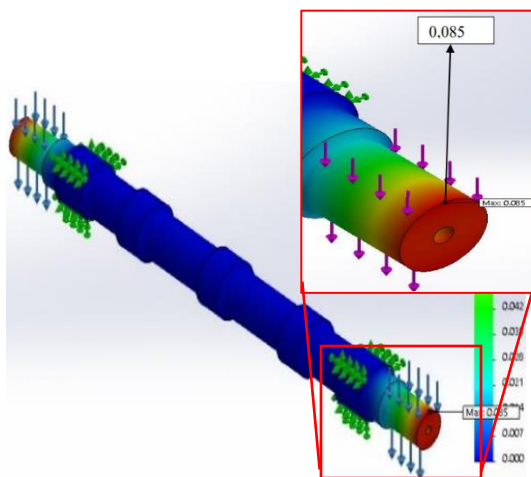
3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dibuatkan model 3D di Solidwork sesuai dengan dimensi Axle yang dianalisis, diberi property material yang sesuai kemudian ditetapkan posisi tumpuan (constraint) dan diberi beban 79,772 kN di masing-masing ujung axle, diperoleh hasil dari proses solving untuk kondisi mesh merujuk ke tabel 4 seperti ditunjukkan pada gambar 7 dan gambar 8 berikut ini.



Gambar 7. Tegangan Maksimal hasil simulasi Finite Element

Sumber : Penelitian Mandiri 2024



Gambar 8. Displacement Maksimal hasil simulasi Finite Element

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Tabel 5 berikut menampilkan komparasi hasil simulasi metoda Finite Element dengan perhitungan manual.

Tabel 5. Hasil simulasi Finite Element Method dan perhitungan manual

Parameter	Solidwork 2017	Perhitungan Manual	Presentase selisih	Keterangan
Tegangan maksimal	65,64 MPa	68,65 MPa	4,5 %	Aman
Safety of factor	8,1	7,72	4,6 %	

Sumber : Penelitian Mandiri 2024

Dari tabel 5 di atas diketahui bahwa tegangan maksimal yang dihasilkan dari

Simulasi menggunakan solidwork 2017 sebesar 65,64 MPa. Sedangkan pada perhitungan manual sebesar 68,65 MPa. Safety of factor dari kedua metoda ini menghasilkan nilai 8,1 dan 7,72.

Dari perbandingan hasil perhitungan secara teoritis dan dengan simulasi solidwork mendapatkan perbedaan tegangan maksimal sebesar 4,5 % lebih besar dari simulasi safety of factor pada perhitungan manual mendapatkan nilai safety of factor lebih kecil 4,6 % dari hasil simulasi.. Namun, dari hasil perhitungan secara teoritis dan simulasi menunjukkan bahwa kondisi hollow axle masih dalam batas aman karena nilai dari safety of factor melebihi 3,0

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dengan solidwork 2017 dan perhitungan teoritis untuk pembebanan statis pada hollow axle, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan tegangan secara teoritis didapatkan tegangan maksimal sebesar 68,65 MPa dan safety of factor sebesar 7,72.
2. Hasil simulasi finite element diperoleh tegangan maksimal tertinggi sebesar 65,64 MPa dengan posisi tegangan tertinggi terletak pada samping dudukan roda kereta. Safety of factor sebesar 8,1. Displacement sebesar 0,085 mm dengan posisi

- displacement tertinggi terletak pada ujung axle.
3. Safety of factor yang dihasilkan akibat pembebanan statis pada hollow axle adalah sebesar 8,1 dari simulasi finite element dan dari perhitungan secara teoritis sebesar 7,72. Tegangan maksimal yang terjadi pada perhitungan teoritis sebesar 68,65 MPa dan tegangan maksimal pada simulasi finite element sebesar 65,64 MPa. Dari perbandingan hasil perhitungan secara teoritis dan dengan simulasi mendapatkan perbedaan tegangan maksimal sebesar 4,5 % lebih besar dari simulasi. Namun, dinyatakan aman karena nilai dari safety of factor tidak kurang dari 3,0.
 6. Sularso and K. Suga, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Jakarta: Pradnya Paramita, 2004

DAFTAR PUSTAKA

1. CRRC Sifang, Technical Specification Jakarta Bandung High Speed EMU, Qingdao: CRRC, 2020.
2. EN 13261, Railway Application - Wheelsets and Bogies - Axles - Product Requirement, 2011.
3. Chinese Standard, 350 km/hour Chinese Standard EMU, 2015.
4. R. FAJKOŠ, B. STRNADEL and R. ZIMA, "Fatigue limit of induction hardened railway axles". *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, "Fatigue Fract Engng Mater Struct, vol. 38, no. 10, p. 1255– 1264, 2015.
5. S. M. Hassani-Gangaraj, M. Carboni and M. Guagliano, "Finite Element Approach Toward An Advanced Understanding of Deep Rolling Induced Residual Stresses, and An Application to Railway

