



PAPER – OPEN ACCESS

## Optimasi Desain Struktur Rangka Train Nose dengan Metode Finite Element Analysis

Author : Surya I, dan Heru S B R  
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1877  
Electronic ISSN : 2654-7031  
Print ISSN : 2654-7031

*Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



# Optimasi Desain Struktur Rangka *Train Nose* dengan Metode Finite Element Analysis

Surya I<sup>a</sup>, Heru S B R<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

suryainsano@mail.ugm.ac.id, heru-sbr@ugm.ac.id

## Abstrak

Elemen penting dalam rekayasa kendaraan rel adalah desain struktur hidung kereta api. Sebagai bagian utama dari kereta, yang sering disebut sebagai hidung kereta berfungsi sebagai pelindung pengemudi dan penumpang jika terjadi tabrakan. Untuk mengurangi luka dan korban jiwa apabila terdapat kecelakaan, sangat penting untuk membangun *train nose* yang kokoh, ringan, dan mampu menyerap energi tumbukan. Struktur hidung kereta terbuat dari paduan aluminium 6005A. Penumpang tidak termasuk dalam pengukuran pembebanan dengan uji kompresi yang ditentukan, hanya kompresi dan pemuatan vertikal yang digunakan sebagai gantinya. Kompresi penumpang dan muatan vertikal total adalah dua analisis lainnya. Sedangkan simulasi metode beban puntir dengan pengangkatan salah satu bantalan dongkrak dengan cara vertikal menggunakan beban empat ton. Dari hasil yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukan optimasi pada *train nose frame*, kekuatannya semakin meningkat. Pada optimasi yang dilakukan, *frame* dari *train nose* tidak perlu dirubah. Karena perubahan atau optimasi yang dilakukan tidak mempengaruhi *frame* dari *train nose*.

**Kata Kunci:** hidung kereta; uji struktur statis; optimasi; *safety factor*

## Abstract

An important element in rail vehicle engineering is the design of the train nose structure. The train nose, also called the front of the train, serves as a safeguard for the driver and passengers in case of a crash. In order to reduce injuries and fatalities in the event of an accident, it is very important to build a train nose that is sturdy, light and able to absorb impact energy. The nose structure of the carriage is made of 6005A aluminum alloy. Passengers are not included in the loading measurements with the specified compression test, only compression and vertical loading are used instead. Passenger contraction and total perpendicular cargo are the other two analyses. While the simulation of the torsion cargo system by lifting one of the jack compartments vertically using a cargo of four tons. From the results, it can be concluded that after optimizing the train nose frame, its strength has increased. In the optimization carried out, the frame of the train nose does not need to be changed. Because the changes or optimizations made do not affect the frame of the train nose.

**Keywords:** train nose; static structural test; optimization; *safety factor*

## 1. Pendahuluan

Penelitian ini memiliki fokus pada bagian depan kereta cepat yaitu hidung kereta atau disebut dengan train nose. Dalam konteks kereta cepat, istilah train nose mengacu pada desain bagian depan kereta yang membentuk hidung atau snout yang khas. Train nose ialah bagian awal dari kereta api yang memiliki fungsi untuk melindungi masinis serta penumpang kereta api ketika terjadi kecelakaan. Latar belakang penelitian ini bermula dari kebutuhan untuk meningkatkan desain dan performa frame kereta. Dalam era transportasi modern, kereta cepat telah menjadi pilihan utama sebagai sarana transportasi yang efisien dan cepat. Namun, dengan peningkatan kecepatan dan beban yang dihadapi oleh kereta cepat, perlu adanya perhatian yang lebih dalam terhadap desain frame agar dapat memastikan keamanan, kekokohan, dan kenyamanan penumpang.

Salah satu tahapan terpenting dalam rekayasa kendaraan rel adalah perancangan struktur train nose. Train nose merupakan area di depan kereta yang berfungsi sebagai pelindung bagi penumpang dan masinis jika terjadi tabrakan. Untuk mengurangi luka dan korban jiwa apabila terdapat kecelakaan, sangat penting dalam membuat train nose yang kokoh, ringan, dan bisa menyerap energi benturan. Insinyur harus benar-benar memeriksa dan mengoptimalkan desain struktur train nose untuk melakukan ini, dengan menggunakan banyak aspek seperti berat, benturan, kekuatan, ketahanan dan perilaku struktural [1]. Insinyur bisa memberi kepastian bahwa train nose menawarkan tingkat perlindungan tertinggi yang layak dengan mengevaluasi komponen desain ini secara hati-hati.

Finite Element Analysis (FEA) merupakan metode numerik yang dimanfaatkan untuk menganalisis struktur kompleks secara virtual. Dengan menggunakan FEA, peneliti dapat memodelkan dan menganalisis respons struktural train nose frame dalam berbagai kondisi operasional. Hal ini membantu dalam Pemilihan dan penentuan desain yang optimal.

Dalam proses desain dan teknik kereta api, frame hidung kereta perlu diperbaiki. Insinyur memiliki kemampuan untuk merencanakan dan meningkatkan desain kerangka hidung kereta yang memberikan perlindungan maksimal kepada penumpang dengan tetap ringan, ekonomis, dan tahan terhadap kesalahan. Mereka menggunakan alat-alat analitik dan simulasi komputer terkini dalam proses tersebut. Jika ada insiden kecelakaan, dapat meningkatkan keselamatan perjalanan kereta api dan mengurangi risiko bahaya serta korban jiwa. Standar JIS E 7105 digunakan untuk menghitung berbagai parameter menggunakan kombinasi hukum dalam Metode Uji Statis Badan Kereta Api. Pendekatan desain bentuk parametrik dapat secara akurat menggambarkan bentuk tiga dimensi dari 'nose' kereta api dengan kecepatan tinggi, yang juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan ide desain bentuk train nose [2].

Penelitian ini memiliki tujuan untuk memperoleh performa train nose yang baik dari segi struktur, bentuk dan ukuran dengan nilai keamanan sesuai standar dengan menggunakan material aluminium alloy 6005A.



Gambar 1. Aplikasi *aluminum alloy* pada *car-body shinkansen 300 series high speed train* [3]

**2. Metodologi Penelitian**

Pembuatan alat dan bahan penelitian adalah salah satu proses yang dikerjakan pada penelitian ini. Mengidentifikasi tujuan dan standar desain yang harus dipenuhi harus didahulukan. Hal ini terdiri dari kriteria seperti integritas struktural, keselamatan, dan elemen terkait lainnya. Landasan untuk meningkatkan strategi pengoptimalan akan menjadi tujuan penelitian ini.

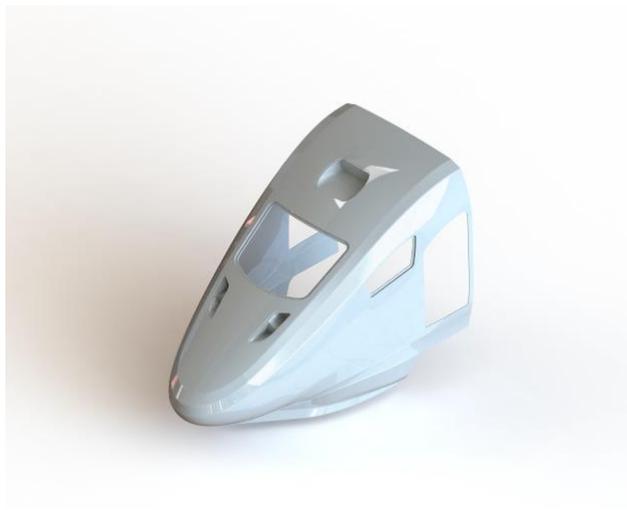
Aluminium alloy 6005A dipakai untuk bahan guna struktur train nose. Bahan itu mempunyai beragam sifat yang kekuatan yang tinggi, ringan, tahan korosi dan keuletan yang baik.

Properties of Outline Row 3: Aluminium Alloy 6005A				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2.7	g cm <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and...		
6	Young's Modulus	7.25E+10	Pa	
7	Poisson's Ratio	0.33		
8	Bulk Modulus	7.1078E+10	Pa	
9	Shear Modulus	2.7256E+10	Pa	
10	Tensile Yield Strength	240	MPa	
11	Tensile Ultimate Strength	260	MPa	

Gambar 2. Material Properties Aluminum Alloy 6005A

Pembebanan vertikal, kompresi, punter dan tumpuan tiga titik ialah bermacam variasi yang digunakan pada metode uji pembebanan. Pembebanan vertikal terdapat pemberat mascara, panel dan dua masinis. Rumus pengukuran pembebanan vertikal Persamaan 1 berdasarkan pada persyaratan aturan JIS E 7105. JIS E 7105 menyatakan bahwa rangkaian 400 kN harus mempertahankan gaya tekan longitudinal, baik tanpa beban vertikal maupun tanpa beban vertikal. Penumpang tidak termasuk dalam pengukuran pembebanan dengan uji kompresi yang ditentukan, hanya kompresi dan pemuatan vertikal yang dipertimbangkan. Pemadatan jumlah penumpang dan beban vertikal keseluruhan adalah dua analisis lainnya. Sedangkan simulasi metode beban puntir dengan pengangkatan salah satu bantalan dongkrak dengan cara vertikal dengan beban empat ton. Diketahui :  $P_v$ = Beban vertikal (kg),  $P_1$  = Beban kereta api (kg),  $P_2$ = Beban penumpang (kg), dan konstanta dinamis  $K= 1,3$ .

$$P_v = K(P_1 + P_1) \tag{1}$$

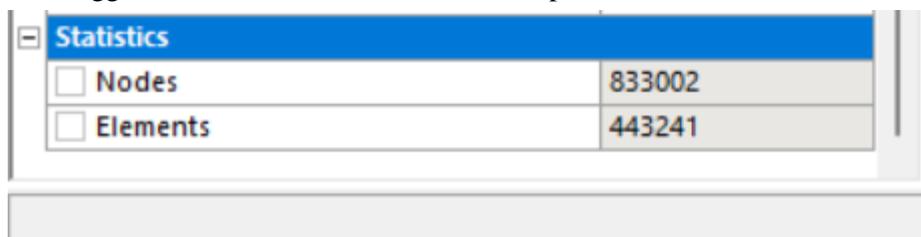


Gambar 2. Geometri Hidung Kereta Api Sebelum Optimasi

Tujuan optimalisasi struktural adalah untuk memastikan bahwa sekumpulan material menanggung beban dengan cara yang paling efektif [4]. Sejumlah penelitian yang dilaksanakan para peneliti [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13] dalam upaya peningkatan efisiensi desain bentuk hidung dan menurunkan anggaran desain. Optimasi struktural bisa dihubungkan dengan desain struktural. Pemanfaatan material ringan dengan perlakuan terbaik pada struktur awal merupakan pilihan terbaik untuk struktur. Tulisan ini bertujuan dalam peningkatan kekerasan struktur, dan pengurangan berat. Kategori umum optimasi struktural termasuk optimasi bentuk, optimasi topologi, dan optimasi ukuran.

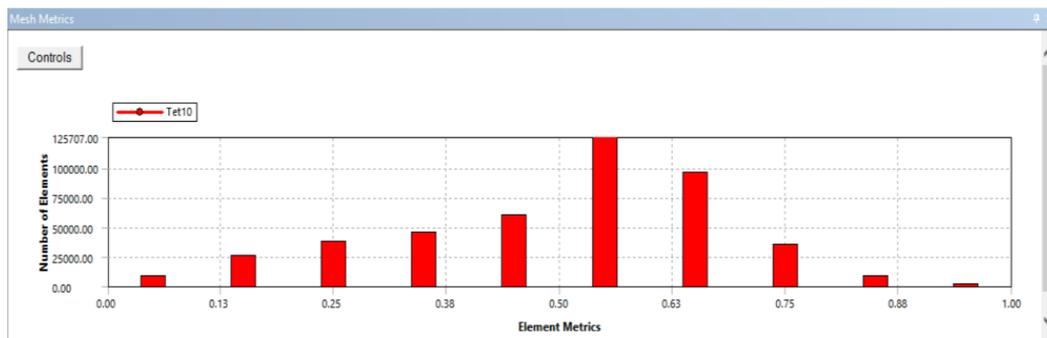
### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan *meshing setup* didapatkan hasil dengan nilai 833002 dan nilai element sebesar 443241. Untuk kualitas hasil *meshing* diukur menggunakan metode *skewness* dan mendapatkan hasil dinilai rata-rata sebesar 0.57169



Statistics	
Nodes	833002
Elements	443241

Gambar 4. Nilai *Nodes* dan *Elements*



Gambar 5. Nilai Rata-Rata *Meshing* Metode *Skewness*

Menurut *sewness mesh metric spectrum* bahwa nilai mesh sebesar 0.57169 menggambarkan kualitas mesh yang baik

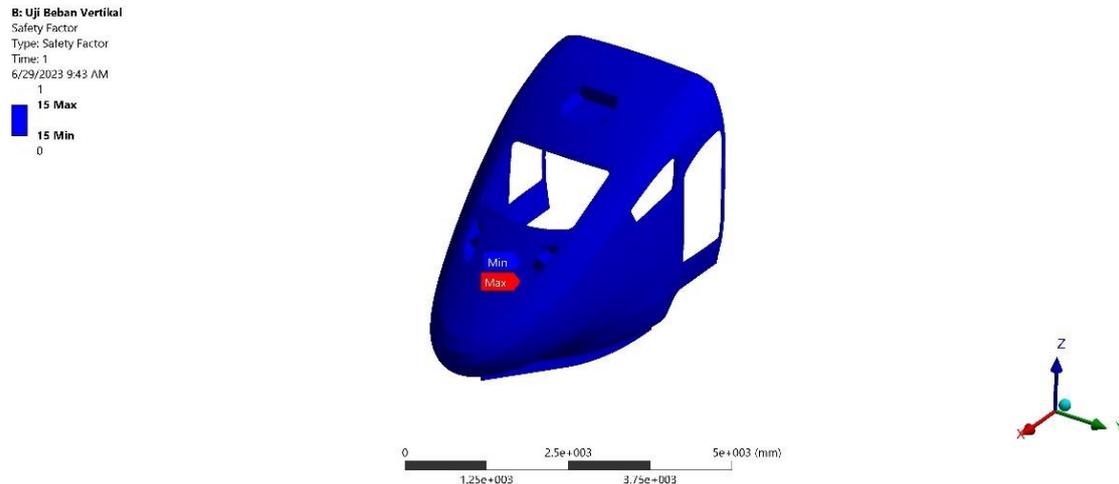
Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

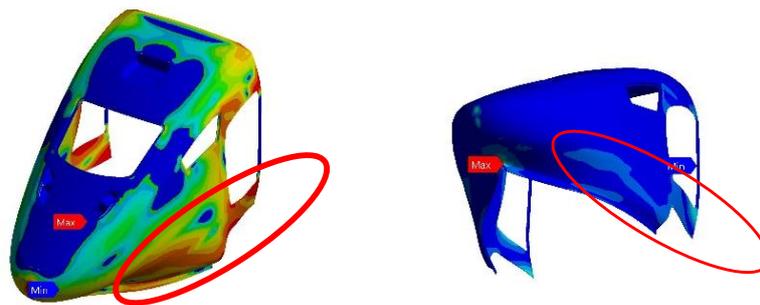
Gambar 6. *Skewness and orthogonal quality mesh metrics spectrum* [14]

Hasil simulasi dari uji pembebanan vertikal *train nose* sebelum dioptimasi didapatkan nilai maksimal *equivalent stress* sebesar 7.7804 MPa diarea sekitar jendela depan dengan total deformasinta sebesar 0.9892 mm diarea sekitar jendela depan dan nilai *safety factor* 15. Dapat disimpulkan bahwa desain sudah sangat aman menahan beban dengan kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya.



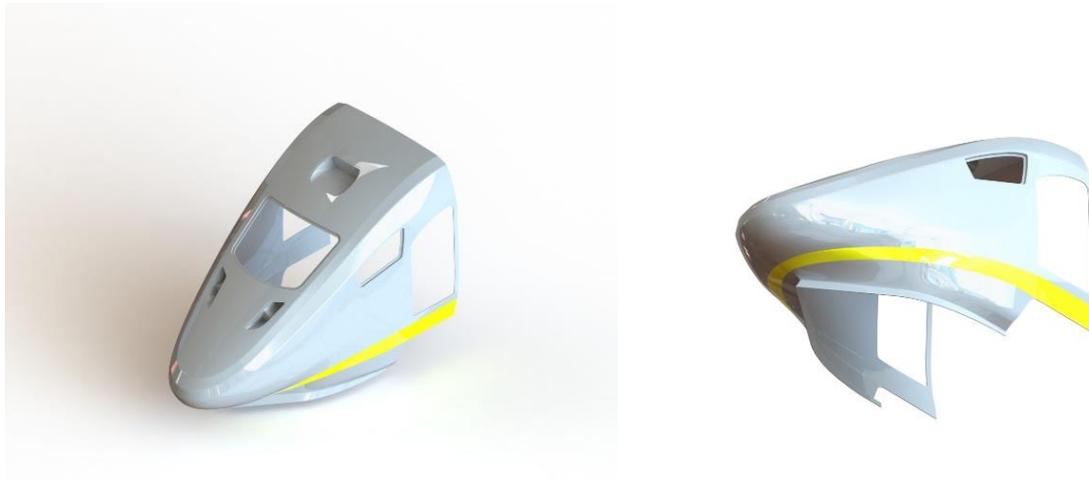
Gambar 7. Hasil *Safety Factor* Uji Pembebanan Vertikal

Hasil uji *pressure* didapatkan nilai maksimal *equivalent stress* sebesar 2134.5 MPa diarea depan bawah kereta, total deformasi sebesar 300.3 mm dan *safety factor* maksimal sebesar 15 dan minimal sebesar 0.011244 pada bagian bawah *train nose frame*. Dari hasil uji *pressure* untuk *train nose frame* sebelum optimasi dapat disimpulkan bahwa desain aman di beberapa area tapi ada beberapa area lain yang kritis khususnya pada bagian bawah berbentuk memanjang dari depan hingga belakang.



Gambar 8. Area Kritis

Proses optimasi dilakukan pada bagian bawah dari *train nose*. Proses optimasi dilakukan dengan cara melakukan optimasi bentuk. Bentuk bagian bawah *train nose* (bagian warna kuning pada gambar 9) yang tadinya berbentuk parabola normal, lalu dioptimasi dengan ditambahkan bending sebesar  $3^\circ$  pada bentuk parabolanya sehingga membentuk huruf S. Kontur S ini diberikan pada desain dengan tujuan untuk Menambah momen inersia luasan dibagian bawah *train nose* agar lebih kuat



Gambar 9. Bagian Yang Dioptomasi (Arsir Kuning)

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil yang dilakukan, Analisator dapat menyimpulkan bahwa setelah dilakukan optimasi pada *train nose frame*, kekuatan *train nose frame* semakin meningkat. Pada optimasi yang telah dilakukan, frame dari kereta tidak perlu dirubah. Karena perubahan atau optimasi yang dilakukan tidak mempengaruhi Bentuk *frame* dari kereta.

#### Ucapan Terima Kasih

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan, Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada, yang telah memberikan komputer pribadi agar dapat digunakan dalam melakukan simulasi FEA dalam penelitian ini.

#### Referensi

- [1] T. Miyachi, M. Iida, T. Fukuda, and T. Arai, "Nondimensional maximum pressure gradient of tunnel compression waves generated by offset running axisymmetric trains," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 157, 2016.
- [2] S. B. Yao, D. L. Guo, Z. X. Sun, D. W. Chen, and G. W. Yang, "Parametric design and optimization of high speed train nose," *Optimization and Engineering*, vol. 17, no. 3, 2016.
- [3] X. Sun, X. Han, C. Dong, and X. Li, "Applications of Aluminum Alloys in Rail Transportation." [Online]. Available: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com).
- [4] "An Introduction to Structural Optimization."
- [5] Y. C. Ku *et al.*, "Optimal cross-sectional area distribution of a high-speed train nose to minimize the tunnel micro-pressure wave," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 42, no. 6, 2010.
- [6] J. Lee and J. Kim, "Approximate optimization of high-speed train nose shape for reducing micropressure wave," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 35, no. 1, 2008.
- [7] S. Krajnović, "Shape optimization of high-speed trains for improved aerodynamic performance," *Proc Inst Mech Eng F J Rail Rapid Transit*, vol. 223, no. 5, 2009.
- [8] S. Krajnović, "Shape optimization of high-speed trains for improved aerodynamic performance," *Proc Inst Mech Eng F J Rail Rapid Transit*, vol. 223, no. 5, 2009.
- [9] K. Cui, X. P. Wang, S. C. Hu, T. Y. Gao, and G. Yang, "LNEE 148 - Shape Optimization of High-Speed Train with the Speed of 500kph."
- [10] S. Yao, D. Guo, and G. Yang, "Three-dimensional aerodynamic optimization design of high-speed train nose based on GA-GRNN," *Sci China Technol Sci*, vol. 55, no. 11, 2012.
- [11] Y.-C. Ku, M.-H. Kwak, H.-I. Park, and D.-H. Lee, "Multi-Objective Optimization of High-Speed Train Nose Shape Using the Vehicle Modeling Function," 2010.
- [12] V. V. Vytla, P. G. Huang, and R. C. Penmetsa, "Multi Objective Aerodynamic Shape Optimization of High Speed Train Nose Using Adaptive Surrogate Model," 2010.

- [13] S. B. Yao, D. L. Guo, Z. X. Sun, G. W. Yang, and D. W. Chen, "Multi-objective optimization of the streamlined head of high-speed trains based on the Kriging model," *Sci China Technol Sci*, vol. 55, no. 12, 2012.
- [14] "ANSYS Workbench Documentation."