

Analisis Reverse Engineering L-Bracket dan Cross Member Pada Perisai Kolong

R.F. Al Ihsan¹, W.B. Pratama², Handoko¹, W. Kurniawan³, B. Basuki^{1,*}, S.B. Wibowo¹

¹Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta¹

²Institut Teknologi Al Muhajirin, Jawa Barat²

³Akademi Komunitas Toyota Indonesia, Jawa Barat³

*E-mail: budi.basuki@ugm.ac.id

Abstrak

Komponen perisai kolong (*side guard*) pada truk komersial, merupakan komponen baru yang wajib harus dimiliki oleh truk yang beroperasi di Indonesia. Kewajiban ini harus dipenuhi oleh truk komersial, dan tercantum pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor 74 Tahun 2021 tentang perlengkapan keselamatan kendaraan bermotor. Peraturan tersebut dilatarbelakangi oleh banyaknya kecelakaan tabrak kolong (*Underride*) yang terjadi. *Side guard* wajib dimiliki oleh seluruh kendaraan komersial dan terpasang dari perusahaan pembuat sampai dengan karoseri sebagai *safety* dan regulasi. *Side guard* dari perusahaan pembuat nantinya tidak digunakan kembali setelah kendaraan sampai karoseri. Perusahaan terkait mengeluarkan biaya yang tinggi untuk membuat *side guard* untuk komponen *bracket* dan *crossmember*. Maka dalam penelitian ini akan dilakukan optimalisasi desain *bracket* dan *cross member* sebagai komponen utama penyusun rangkaian komponen *side guard* untuk mengurangi biaya produksi. Optimasi desain akan dilakukan menggunakan metode analisis *reverse engineering*, metode analisis CAE (*Computer Aided Engineering*) dengan bantuan *software* CATIA, dan analisis *cost reduction* untuk melihat *cost down* yang terjadi. Pada penelitian ini akan menggunakan metode penelitian kualitatif dan kuantitatif pada pembahasan analisis CAE. Hasil penelitian dari aktual *cases* ini didapatkan desain baru hasil optimasi pada *L-bracket*, pengurangan *thickness* pada *L-bracket* dan *cross member*, hasil analisis CAE pada *single part* (*L-bracket* dan *cross member*) dan *assembly part* (ROH (*Rear Overhang*) dan *Wheelbase Assy*), dan *cost down* yang didapatkan dari hasil optimasi desain. Setelah dilakukan penelitian dan pembahasan maka disimpulkan bahwa optimasi desain yang dilakukan dapat memangkas biaya produksi perisai kolong sebesar 54,7% pada *cross member*. Pada *L-bracket* nomor 1 mengalami *cost down* sebesar 52,7%. Kemudian, pada *L-bracket* nomor 2 mengalami *cost down* sebesar 48,3%. Secara keseluruhan dari hasil penelitian ini dapat diimplementasikan atau referensi implementasi pada rangkaian *side guard*.

Kata kunci: perisai kolong, *CATIA*, *CAE*, pengurangan biaya

Abstract

The *side guard* component on commercial trucks is a new component that trucks operating in Indonesia must have. This obligation must be fulfilled by commercial trucks, and is stated in the Regulation of the Minister of Transportation of the Republic of Indonesia Number 74 of 2021 concerning motor vehicle safety equipment. This regulation is motivated by the many *underride* accidents that have occurred. Side guards must be owned by all commercial vehicles and are installed from the manufacturing company to the bodywork as safety and regulation. The side guard from the manufacturing company will not be reused after the vehicle reaches the bodywork. The related company spends a lot of money to make side guards for bracket and crossmember components. Therefore, in this study, the design optimization of brackets and cross members will be carried out as the main components of the side guard component series to reduce production costs. Design optimization will be carried out using the reverse engineering analysis method, the CAE (*Computer Aided Engineering*) analysis method with the help of *CATIA* software, and cost reduction analysis to see the cost down that occurs. This study will use qualitative and quantitative research methods in the discussion of CAE analysis. The results of the research from the actual cases obtained a new design from the optimization of the *L-bracket*, thickness reduction on the *L-bracket* and *cross member*, the results of CAE analysis on single parts (*L-bracket* and *cross member*) and assembly parts (ROH (*Rear Overhang*) and *Wheelbase Assy*), and cost down obtained from the results of design optimization. After conducting research and discussion, it was concluded that the design optimization carried out could cut the production cost of the undercarriage shield by 54.7% on the *cross member*. On *L-bracket* number 1, the cost down was 52.7%. Then, on *L-bracket* number 2, the cost down was 48.3%. Overall, the results of this study can be implemented or used as a reference for implementation on the *side guard* circuit.

Keywords: *side guard*, *CATIA*, *CAE*, *Cost Reduction*

1. PENDAHULUAN

Komponen perisai kolong (*side guard*) pada truk komersial, merupakan komponen baru yang wajib harus dimiliki oleh truk yang beroperasi di Indonesia. Kewajiban ini harus dipenuhi oleh truk komersial, dan tercantum pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor 74 Tahun 2021 tentang perlengkapan keselamatan kendaraan bermotor. Peraturan tersebut dilatarbelakangi oleh banyaknya kecelakaan tabrak kolong (*Underride*) yang terjadi.

Pada tahun 2019 hingga Juli 2020 melalui data Kepolisian Satlantas POLDA Jawa Barat dan *Astra Infra Toll Cipali* (PT Lintas Marga Sedaya) selaku operator jalan tol, terdapat 1.075 kejadian kecelakaan lalu lintas di jalan Tol Cikopo-Palimanan. Dalam kurun waktu 1 tahun sejak Juni 2018 sampai dengan Juni 2019 tercatat telah terjadi rata-rata 36 kecelakaan tabrak belakang perbulan (Purwanto dkk., 2021). *Side guard* wajib dimiliki seluruh kendaraan komersial dan terpasang dari perusahaan pembuat sampai dengan karoseri sebagai *safety* dan regulasi.

Endang kosasih, melakukan penelitian Simulasi Numerik Pengujian Perlengkapan Perisai Kolong Bagian Belakang Menggunakan Metode Elemen Hingga. Penelitian ini dilakukan untuk menguji kekuatan perisai kolong bagian belakang dengan melakukan pengujian menggunakan software CAD dengan menempatkan pembebanan gaya di beberapa posisi. Hasil dari penelitian tersebut adalah didapatkannya displacement masing-masing titik pembebanan (Kosasih, 2022). Butkewitsch & Steffen Jr, melakukan penelitian *Shape Optimization, Model Updating And Empirical Modeling Applied To The Design Synthesis Of A Heavy Truck Side Guard*. Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan desain *side guard* agar lebih ringan dan mudah ketika dilakukan assembly serta bertujuan untuk membandingkan hasil penyederhanaan desain dengan desain prototype sebelumnya (Butkewitsch dan Steffen 2002).

Side guard merupakan komponen yang harus dimiliki oleh truk namun tidak menambah nilai jual dari unit tersebut, karena kewajiban pematuhan perusahaan pembuat terhadap regulasi pemerintah. *Side guard* dari perusahaan pembuat nantinya tidak digunakan kembali setelah kendaraan sampai karoseri. Perusahaan terkait mengeluarkan biaya yang tinggi untuk membuat *side guard* untuk komponen *bracket* dan *crossmember*.

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan, maka dilakukan analisis *reverse engineering* untuk menekan biaya produksi khususnya pada *L-Bracket* dan *cross member*. Analisis *reverse engineering* yang dimaksud yaitu melakukan analisis terkait dengan optimalisasi desain dengan mengacu pada desain yang efektif dan efisien. Analisis material yang digunakan adalah metode *compare* atau membandingkan material berdasarkan kekuatan dan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan, dan metode analisis CAE (*Computer Aided Engineering*) hasil *reverse engineering*. Analisis desain dilakukan dengan batasan maksimum *stress analysis* menggunakan *software catia*.

Penelitian ini dilakukan untuk optimalisasi (ergonomis desain, *low cost, good quality and function*) desain *bracket* dan *crossmember* serta mengurangi biaya produksi melalui analisis *reverse engineering* yang dilakukan dengan pengoptimalan desain. Optimalisasi (ergonomis desain, *low cost, good quality and function*) yang dilakukan pada desain *bracket* dan *crossmember* dilakukan pada kendaraan komersial truck dengan muatan kecil (5,4 Ton). Optimalisasi desain pada *bracket* dan *crossmember* akan meliputi *stress analysis* dengan bantuan *software CATIA* dan data analisis pada unit kendaraan muatan besar (13,5 Ton). Hasil data optimasi (analisis CAE dan desain baru) akan dihitung *cost reduction* yang didapat dengan membandingkan biaya produksi hasil optimasi dengan data biaya produksi *side guard* pada tahun 2021.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Perisai Kolong

Berdasarkan Peraturan Menteri nomor 74 Tahun 2021, perisai kolong merupakan pelindung pada bagian sisi luar kendaraan komersial yang berbahan besi atau sejenisnya, berbentuk pipa atau persegi yang menutup penuh bagian belakang setidaknya 80% dan dipasang dengan ketinggian 100 mm dari ujung terluar bagian dinding kendaraan. Perisai kolong harus terpasang kokoh pada *chassis* atau *subframe* pada kendaraan bermotor dengan sambung mur atau baut (Perhubungan, 2021).

2.2. Reverse Engineering

Reverse engineering merupakan suatu proses menemukan prinsip-prinsip teknologi suatu produk dengan cara menganalisis struktur, fungsi dan cara pada produk tersebut. *Reverse engineering* pada intinya adalah melakukan rekayasa balik agar produk yang dihasilkan lebih baik dan murah dari produk sebelumnya dengan kualitas yang baik. Materi *reverse engineering* untuk optimalisasi desain dibagi menjadi beberapa hal yaitu, *material properties, design and analytical in engineering, quality control dan cost reduction* (Redo, 2016).

2.3. CAE (*Computer Aided Engineering*)

CAE atau *Computer Aided Engineering* merupakan teknologi penghitungan karakteristik dari suatu produk atau bagian dari suatu produk dengan bantuan komputer (Sukarno dkk., 2014).

2.4. Generative Structural Analysis

Generative structural analysis adalah salah satu fitur *add on* dalam *software catia* yang memungkinkan pengguna mendapatkan informasi perilaku mekanis dengan interaksi yang sangat sedikit atau aplikasi yang dapat menganalisis tegangan yang terjadi pada model secara presisi dengan berbagai macam keadaan pembebatan (Putra dan Misbah, 2022).

2.5. Finite Elements Method

Finite Element Method adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk mendapatkan solusi untuk kelas besar masalah teknik yang melibatkan analisis tegangan, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (Thompson dan Thompson, 2017). Pada penelitian jurnalana ini *finite elements method* yang digunakan berkonsentrasi khusus pada analisis tegangan yang terjadi. Ada beberapa perhitungan yang digunakan dalam analisis tegangan dan disederhanakan dengan sistem komputasi *finite elements method*.

1. Tegangan *Von Mises*

Tegangan *von Mises* adalah resultan dari semua tegangan yang terjadi diturunkan dari *principal axes* dan berhubungan dengan *principal stress*. Tegangan *von mises* mendefinisikan *yield* sebagai kegagalan, sehingga hasil yang didapatkan merupakan nilai tegangan tarik (Jokowiyono dan Mulyadi, 2022). Besar nilai tegangan *von mises* dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\sigma_{vm} &= \sqrt{I_1 - \sqrt{3I_2}} \\ I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \\ I_2 &= \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xy}^2\end{aligned}$$

Dimana:

I_2	= Stress Invariant 1.	σ_x = Tegangan normal sumbu x.
I_2	= Stress Invariant 2.	σ_y = Tegangan normal sumbu y.
σ_z	= Tegangan normal sumbu z.	τ_{xz} = Tegangan geser bidang x searah sumbu z.
τ_{xy}	= Tegangan geser bidang x searah sumbu y.	
τ_{yz}	= Tegangan geser bidang y searah sumbu z.	

2. Safety Factor

Faktor keamanan merupakan faktor yang digunakan untuk mengevaluasi keamanan dari suatu elemen mesin dalam melakukan perancangan (Nurdin dkk., 2010). Analisis FEM yang dilakukan akan divalidasi menggunakan perhitungan *Factor of Safety* (FOS). Perhitungan tersebut didasarkan atas analisis perilaku dan ketahanan struktur dari benda kerja akibat beban yang bekerja. Berikut cara perhitungan rumus mengenai faktor keamanan (FOS):

$$FOS = \frac{F_{fail}}{F_{allow}}$$

$$FOS = \frac{\sigma_{allow}}{\sigma_{fail}}$$

$$FOS = \frac{\tau_{fail}}{\tau_{allow}}$$

F_{fail}	: gaya maksimum/gaya kegagalan maksimum (N).
F_{allow}	: gaya yang diijinkan (N).
σ_{fail}	: kegagalan maksimum (N)
σ_{allow}	: tegangan normal yang diijinkan (N/m ² , psi).
τ_{fail}	: kegagalan maksimum tegangan geser (N/m ² , psi).
τ_{allow}	: tegangan geser yang diijinkan (N/m ² , psi).

3. Cost Reduction

Cost reduction merupakan berbagai metode atau alat yang digunakan untuk mengurangi dan mengeliminasi biaya yang tidak diperlukan tanpa mengurangi kapabilitas perusahaan tersebut (Cleverley, 2010)

3. METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

1. 1 unit kendaraan kecil yang akan dilakukan *cost reduction* pada bagian *side guard*.
2. *Side guard euro 4* sebagai referensi penelitian.
3. Data CAE unit kendaraan besar.

3.2. Metode Pengumpulan Data

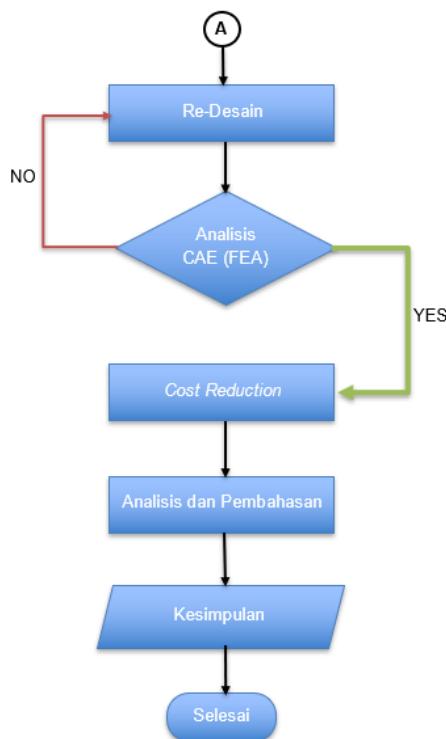
Metode yang digunakan untuk pengumpulan data dan penyusunan jurnal ini sebagai berikut :

1. Metode Wawancara
2. Metode Studi Literatur
3. Metode Observasi
4. Metode FEA (*Finite Element Method*)

3.3. Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian pada penulisan jurnal dilakukan dengan metode PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). Metode ini telah diterapkan di Perusahaan terkait sejak lama dan menjadi dasar untuk bekerja serta metode ini cocok untuk dijadikan dasar untuk sistematika penelitian yang dilakukan.





Gambar 1. Flowchart Penelitian

Metode penilitian ini menggunakan metode analisis *reverse engineering* meliputi:

1. Penggunaan software CATIA untuk re-desain dan Analisis CAE.

Penggunaan perangkat lunak CATIA untuk redesain dilakukan berdasarkan review desain sebelumnya dengan membandingkan kualitas dan kekuatan desain. Hasil redesain kemudian disimulasikan menggunakan CATIA CAE analisis dan dibandingkan hasil antara desain *current* dan *new*. Hal tersebut dilakukan berulang hingga menghasilkan karakteristik desain ergonomis.

2. Penggunaan matrik Purchase data base untuk analisis biaya (sumber mengadopsi data supplier Perusahaan). Perhitungan analisis biaya untuk cost reduction dilakukan dengan mengadopsi data sheet matrik purchase data base yang ada di perusahaan yang meliputi harga material, *delivery cost*, dan *tooling cost*. Tetapi pada paper ini hanya ditampilkan *final cost* nya saja dikarenakan perhitungan detail merupakan data *confidential* perusahaan objek penilitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis *Reverse Engineering*

Analisis *reverse engineering* yang dilakukan adalah menentukan material beserta ketebalan material untuk *L-bracket* dan *cross member*. Ada beberapa faktor pertimbangan dalam menentukan material *L-bracket* dan *cross member* ini diantaranya, *material properties*, kualitas *material*, dan *cost material*.

1. *Material Properties*

Material Properties menjadi dasar pemilihan material yang akan diterapkan pada desain *L-bracket* yang baru dan *cross member*. Setelah beberapa data material dilakukan perbandingan maka dikerucutkan dipilih dua material untuk dilakukan perbandingan lebih lanjut yaitu, SPHC 270 dan SPCC 270 untuk *L-bracket* dan *aluminium zin calume* ($t = 0.75$ mm) dan *L-shape PT40* ($t = 4$ mm).

2. Kualitas

Jika ditinjau dari segi kualitas, SPHC 270 dan SPCC 270 memiliki kualitas yang mirip. SPHC 270 dan SPCC 270 memiliki kualitas yang mirip. SPHC 270 digunakan untuk konstruksi sambungan, sedangkan SPCC 270 cocok untuk pembuatan badan mobil dengan metode stamping. Untuk konstruksi *L-bracket* pada side guard, disarankan menggunakan SPHC 270 karena kualitasnya sesuai kegunaan. Untuk *cross member*, kedua material tersebut memenuhi syarat secara kualitas, tetapi perlu mempertimbangkan *work ability* dan kekuatan. *L-shape SS400* lebih kuat tetapi sulit dipasang karena berat dan membutuhkan banyak tenaga kerja, sementara *aluminium zin calum* lebih ringan dan efisien dalam penggerjaan *assembly*.

3. *Cost*

Faktor utama dalam pemilihan material suatu *part* oleh perusahaan adalah kualitas dan *material properties*, namun biaya juga menjadi pertimbangan penting. Perbedaan harga bahan dapat berdampak signifikan dalam proses produksi perusahaan, karena tujuannya adalah menekan biaya bahan dan biaya produksi untuk meningkatkan profitabilitas. Setelah ditentukan bahan maka dilakukan perbandingan *mother sheet* material seperti tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan harga material *L-bracket* dan *cross member*.

Item	Ukuran	Harga (Rp)
SPHC 270	1.2 m x 2,4 m x 2,3 mm	879.737
SPCC 270	1.2 m x 2,4 m x 2,3 mm	893.687
Aluminium Zincalum	6 meter, t=0,75 mm	101,000
L-Shape SS400	6 meter, t=4 mm	130,400

Berdasarkan tabel 1, terlihat bahwa dalam perbandingan *cost*, SPHC 270 lebih murah dibandingkan dengan SPCC 270 untuk ketebalan yang sama yaitu 2,3 mm. Selain itu, dalam perbandingan *cost* antara *aluminium zincalum* dan *L-shape SS400* dengan ketebalan yang sama yaitu 0,75 mm untuk *aluminium zincalum* dan 4 mm untuk *L-shape SS400*, *aluminium zincalum* memiliki harga lebih rendah. Oleh karena itu, secara *cost*, material yang direkomendasikan untuk pembuatan *cross member* adalah *aluminium zincalum*.

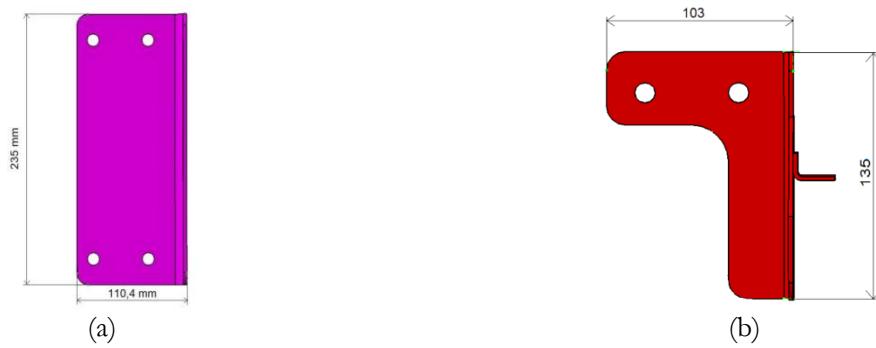
4.2. Hasil Redesain *L-Bracket*

Dalam rangka optimasi penggunaan biaya, dilakukan redesain *L-bracket* setelah dengan memperhatikan jenis material, dimensi, dan referensi yang digunakan. Redesain *L-bracket* didasarkan pada analisis *reverse engineering* dengan referensi data dan kemungkinan implementasi yang diberikan oleh desainer. Pendesainan ini juga mempertimbangkan *work ability* pemasangan agar konsep desain efisien dan efektif. Redesain dilakukan pada *L-bracket* nomor 1 dan *L-bracket* nomor 2 berdasarkan analisis *reverse engineering*. Perbandingan dimensi umum *L-bracket* nomor 1 sebelum dan setelah dilakukan *reverse engineering* ditunjukkan dalam Gambar 1, dengan optimasi material dan desain yang dilakukan gambar sebelum (a) dan setelah (b) dilakukan *reverse engineering* serta berupa optimalisasi material dan optimalisasi desain.



Gambar 2. Perbandingan dimensi umum *L-bracket* No.1

Perbandingan dimensi pada gambar 2 memperlihatkan hasil optimasi yang telah dilakukan pada *L-bracket*. Penyusutan material yang signifikan terjadi pada *L-bracket* nomor 1. Sama halnya dengan *L-bracket* nomor 1, pada *L-bracket* nomor 2 juga dilakukan optimasi dan perbandingan sebelum (a) dan sesudah (a) optimasi dapat dilihat seperti gambar 2.kal



Gambar 3. Perbandingan dimensi umum *L-bracket* No.2

Perbandingan dimensi pada *L-bracket* nomor 2 juga terlihat signifikan terbukti dengan pengurangan panjang sebesar 100 mm. Hasil optimasi pada kedua bracket akan berpengaruh pada konsumsi material yang semakin sedikit dan proses yang lebih cepat. Sedangkan untuk part *cross member* tidak dilakukan optimalisasi secara desain karena

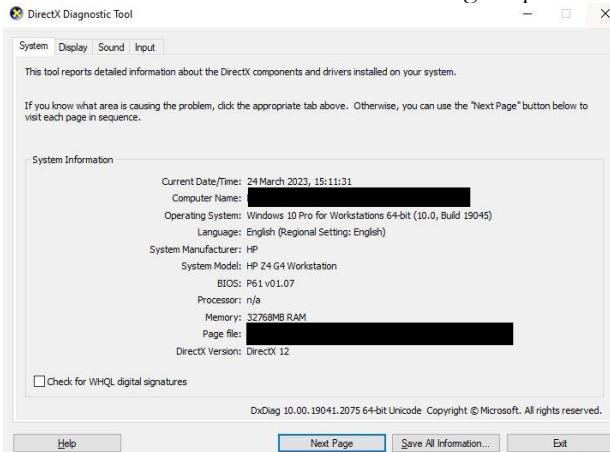
menggunakan baja ringan dengan bentuk standar pasaran. Baja ringan yang digunakan untuk proses analisis adalah ketebalan material hasil optimasi yaitu dengan tebal 0,75 mm. Masing *single part* akan dilakukan analisis dengan metode FEM menggunakan bantuan *software* CATIA terkait kekuatan pada masing-masing *bracket* dan analisis *assembly*.

4.3. Hasil Analisis CAE Menggunakan CATIA *Generative Structural Analysis*

Pada analisis CAE menggunakan CATIA dilakukan dua proses yaitu,

1. Analisis *Single Part* (*L-bracket* dan *cross member*).
2. Analisis *Assembly* (*Sub-Assy Rear Over Heang* dan *Sub-Assy Wheel Base*).

Pada Analisis CAE digunakan devices *HP Z4 G4 Workstation* dengan spesifikasi umum seperti gambar 4.



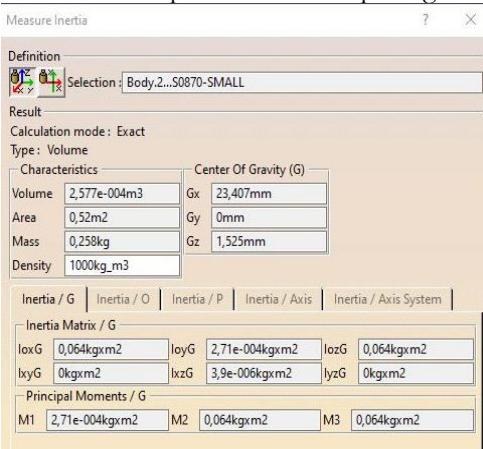
Gambar 4. Spesifikasi *HP Z4 G4 Workstation*.

HP Z4 G4 Workstation sangat mumpuni untuk melakukan running dan setting mesh dengan ukuran terkecil seperti lokal mesh. Lokal *mesh* digunakan untuk daerah yang akan diberikan berikan beban yaitu bagian *bolt flange*. Selain untuk daerah yang akan dibebani, lokal *mesh* digunakan pada daerah yang akan di *encastre*. Dimensi dan jenis mesh digunakan serta tertampil spesifik seperti Tabel 2.

Tabel 2. Mesh Properties

Item	Ukuran
Global Mesh	1 mm
Local mesh	0,1 mm
Jenis Mesh	Tetrahedron

Penentuan *global mesh* dilakukan berdasarkan dimensi *L-bracket* yang akan di analisis dan kemampuan komputer yang dipakai dalam melakukan proses analisis. Variabel selanjutnya adalah penentuan beban atau *loads* pada *bracket*. Penentuan beban diukur melalui berat beberapa *part* yang membebani *bracket*. Secara rinci berat dari masing-masing *part* dapat diukur secara *software* melalui contoh tampilan gambar 5.



Gambar 5. Fitur *measure inertia* pada CATIA

Penentuan beban pengujian dilakukan dengan menghitung *part-part* yang membebani *L-bracket* diantaranya adalah *cross member*, *upper stay*, dan *side bumper*. Secara keseluruhan *L-bracket* dibebani beberapa *part* tersebut dan diakumulasi dan mendapatkan total beban keseluruhan 9,3 kg.

4.4. Hasil Analisis CAE L-Bracket

Pada analisis CAE pada *part L-bracket* disesuaikan kondisi beban dan encastre dengan pendekatan kondisi aktual. Pada *L-bracket* nomor 1 dan nomor 2 diberikan pembebanan 9,3 kg sesuai dengan kalkulasi berat *part* yang terhubung langsung pada *L-bracket*. Sedangkan untuk jenis pembebanan yang diberikan adalah *distributif force*. *Distributif force* pada analisis CAE adalah metode penerapan gaya atau beban yang didistribusikan secara merata di sepanjang permukaan atau area tertentu dari suatu komponen atau struktur, dengan tujuan mensimulasikan beban yang diterima secara merata oleh komponen atau struktur tersebut [12]. Berikut hasil analisis *L-bracket* nomor 1 (a) dan nomor 2 (b) seperti gambar 3 berupa analisis kegagalan *Von Mises* dan *displacement* yang terjadi.



Gambar 6. Hasil analisis kegagalan *Von Mises L-bracket* nomor 1 dan nomor 2.

Pada gambar 6 menunjukkan hasil analisis kegagalan menurut *Von Mises*. Untuk *L-bracket* nomor 1 (a) tegangan maksimum yang terjadi sebesar 124 MPa dan untuk *L-bracket* nomor 2 (b) tegangan maksimum yang terjadi sebesar 160 MPa. Untuk *safety factor* dari kedua bracket tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

1. *L-bracket* nomor 1.

Diket:

$$\sigma_{fail} = 124 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{allow} = 270 \text{ Mpa}$$

$$\text{FOS} = \frac{\sigma_{allow}}{\sigma_{fail}}$$

$$\text{FoS} = \frac{270 \text{ MPa}}{124 \text{ Mpa}}$$

$$\text{FoS} = 2,18$$

2. *L-bracket* nomor 2.

Diket:

$$\sigma_{fail} = 160 \text{ MPa}$$

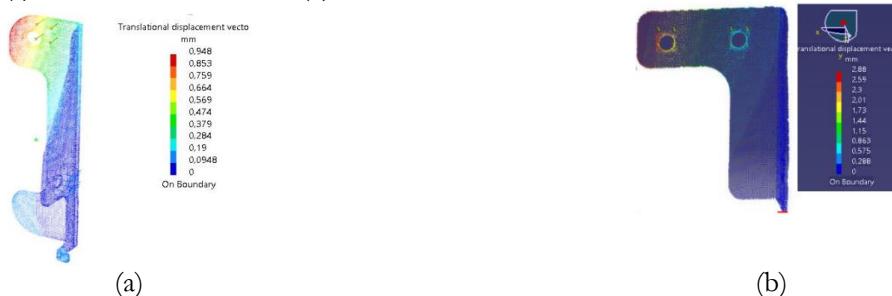
$$\sigma_{allow} = 270 \text{ Mpa}$$

$$\text{FOS} = \frac{\sigma_{allow}}{\sigma_{fail}}$$

$$\text{FoS} = \frac{270 \text{ MPa}}{160 \text{ Mpa}}$$

$$\text{FoS} = 1,68$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan *safety* faktor tersebut konstruksi kedua *L-bracket* tersebut aman karena, dalam praktek rekayasa, *safety* faktor yang digunakan lebih besar dari 1 untuk memberikan *margin* keamanan. *Safety* faktor yang umum digunakan berkisar antara 1.5 hingga 4, tergantung pada kompleksitas struktur, risiko kegagalan, dan standar keselamatan yang diterapkan [13]. Kemudian, hasil analisis didapat juga data *displacement* yang terjadi seperti gambar 7 (a) *L-bracket* nomor 1 dan (b) *L-bracket* nomor 2.

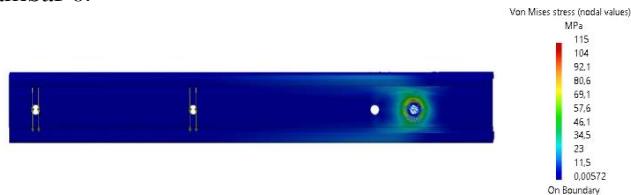


Gambar 7. Hasil analisis *displacement* pada *cross member*.

Berdasarkan hasil analisis, *displacement* yang terjadi pada *L-bracket* nomor 1 sebesar 0,948 mm dan 2,88 mm pada *L-bracket* nomor 2. Hasil tersebut tergolong dalam kategori aman karena dibawah 10% berdasarkan standar perusahaan.

4.5. Hasil Analisis CAE *Cross Member*

Pada bagian *cross member* dilakukan juga analisis *single part* untuk mengetahui besarnya faktor kegagalan menurut *Von Mises* berupa tegangan dan *displacement* yang terjadi. Analisis pada *cross member* dilakukan karena perubahan ketebalan yang terjadi sehingga hasil analisis ini menjadi penting. Berikut hasil analisis CAE menggunakan *software* CATIA dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil analisis faktor kegagalan *Von Mises* pada *cross member*

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* CATIA didapatkan tegangan maksimum yang terjadi pada *cross member* sebesar 115 MPa. Maka *safety* faktor dapat dihitung sebagai berikut;

1. *Cross Member*.

Diket:

$$\sigma_{fail} = 115 \text{ MPa}$$

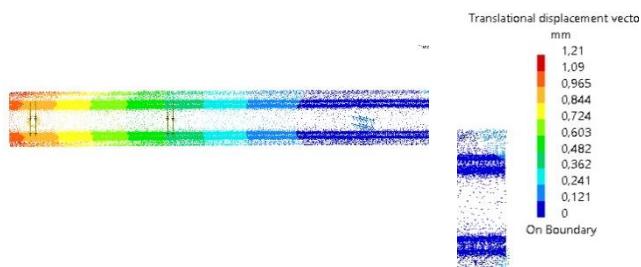
$$\sigma_{allow} = 600 \text{ Mpa}$$

$$\text{FOS} = \frac{\sigma_{allow}}{\sigma_{fail}}$$

$$\text{FoS} = \frac{600 \text{ MPa}}{115 \text{ MPa}}$$

$$\text{FoS} = 4,8$$

Berdasarkan hasil perhitungan *safety factor* pada *cross member*, maka *part* tersebut tergolong sangat aman. Kemudian, hasil analisis didapat juga data *displacement* yang terjadi seperti gambar 8.

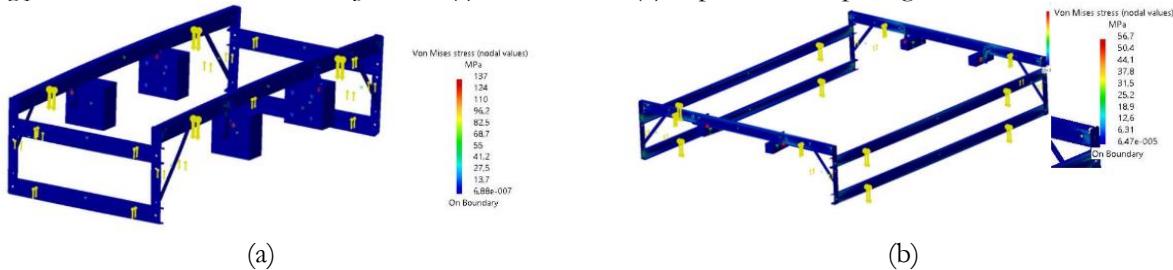


Gambar 8. Hasil analisis *displacement* pada *cross member*.

Displacement yang terjadi pada *cross member* sebesar 1,21 mm atau sekitar 0,2% dari panjang keseluruhan *cross member*.

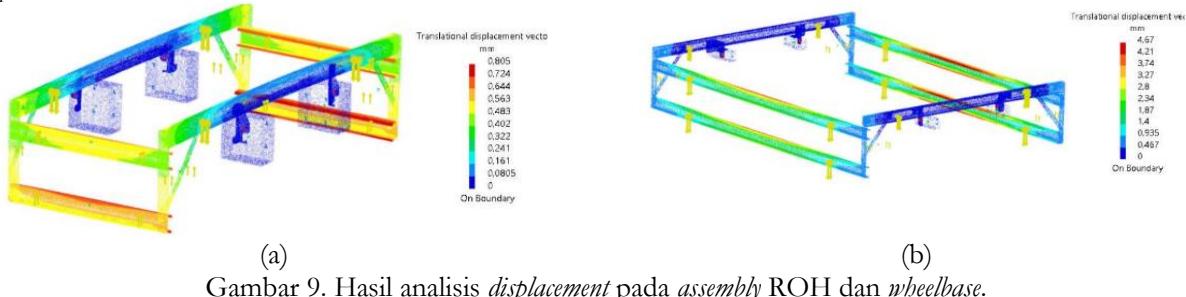
4.6. Hasil Analisis *Assembly* Menggunakan CAE

Setelah masing-masing *part* dilakukan analisis, selanjutnya adalah melakukan analisis pada *assembly part* dengan menggunakan metode FEM pada CATIA *generative structural analysis*. Pada analisis *assembly part* akan dibedakan menjadi dua *sub-assembly* berdasarkan posisinya yaitu, *sub-assembly Rear Overhang* (ROH) dan *sub-assembly Wheelbase*. Pada analisis CAE kedua rangkaian ini menggunakan parameter yang sedikit berbeda yaitu pada jenis pembebanannya yaitu akselerasi. Jenis pembebanan ini diterapkan karena asumsi yang pembebanan pada analisis *assembly* adalah gravitasi, mengingat komponen *side guard* tidak dibebani muatan diatasnya. Pembebanan pada bagian ROH dan *wheelbase* diasumsikan berbeda karena bagian ROH dianggap pada kondisi aktual mengalami getaran yang lebih besar dari bagian *wheelbase*. Untuk bagian ROH diasumsikan beban akselerasi sebesar 5G atau 49 m/s^2 dan *wheelbase* 3G atau sebesar $29,4 \text{ m/s}^2$. Untuk ukuran *mesh* ditentukan proporsional berdasarkan volume dari masing-masing *part*. Hasil analisis dari *assembly* ROH (a) dan *wheelbase* (b) dapat dilihat seperti gambar 9.



Gambar 9. Hasil analisis tegangan *Von Mises* bagian ROH dan *wheelbase*

Berdasarkan hasil analisis CAE didapatkan angka tegangan maksimum yang terjadi pada ROH sebesar 137 MPa dan *wheelbase* sebesar 56,7 MPa berdasarkan faktor kegagalan Berdasarkan hasil tersebut tegangan maksimum *Von Mises* yang terjadi masih dibawah *tensile stress* maksimum dari *part* penyusun rangkaian. Selain hasil tegangan maksimum, pada analisis ini juga didapatkan hasil dari *displacement* yang terjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 *displacement* ROH dan *wheelbase*.



Gambar 9. Hasil analisis *displacement* pada *assembly* ROH dan *wheelbase*.

Berdasarkan hasil dari *displacement* yang terjadi pada *assembly* ROH (a) sebesar 0,805 mm dan *assembly* *wheelbase* sebesar 4,67 mm dapat disimpulkan *displacement* yang terjadi pada kedua rangkaian tersebut sangat minimum dan tentu dengan asumsi beban akselerasi 5G dan 3G tergolong aman dan mampu.

4.7. Hasil Analisis Perbedaan *Cost* yang Terjadi

Optimalisasi yang dilakukan pada komponen *part bracket* dan *cross member* tentu berpengaruh pada *cost* yang turun per pcs nya. Analisis perbandingan *cost* dilakukan untuk mengetahui berapa *cost down* yang didapatkan. Perbandingan *cost* sebelum dan sesudah pada bagian yang dioptimalisasi dapat dilihat seperti tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan harga setelah optimasi pada *L-bracket* dan *cross member*

Nama Part	Qty	Harga Sebelum (Rp) [A]	Qty (Sesudah)	Harga Sesudah (Rp) [B]	Cost Reduction (Rp)/piece [A]-[B]	Hasil CR/piece (%)
Upper Stay	8	35.500	8	35.500	0	0
Edge Protector	16	3.830	16	3.830	0	0
Side Bumper	8	42.500	8	42.500	0	0
Cross Member	4	150.000	4	67.900	82.100	54,73 %
L-Bracket 1	4	59.230	4	28.000	31.230	52,72 %
L-Bracket 2	2	46.440	2	24.000	22.440	48,32%
F-Bracket	2	42.300	2	42.300	0	0
Bolt M10	63	1.200	53	1.200	0	0
Nut M10	63	900	53	900	0	0

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat pada komponen *cross member* mengalami *cost down* sebesar 54,7% atau sebesar Rp 82.100. Pada *L-bracket* nomor 1 mengalami *cost down* sebesar 52,7% atau sebesar Rp 31.230. Kemudian, pada *L-bracket* nomor 2 mengalami *cost down* sebesar 48,3% atau sebesar Rp 22.440. Sedangkan, pada *bolt* dan *nut* mengalami pengurangan kuantitas yang diakibatkan berkurangnya lubang pada *L-bracket*. Kalkulasi biaya dilakukan berdasarkan hasil studi yang meliputi, biaya material, biaya proses, dan biaya *packaging*. Berkurangnya biaya per *part* berpengaruh besar pada biaya produksi *side guard* setiap unitnya, karena *L-bracket* dan *cross member* hasil optimasi bersifat *commonness* sehingga produksinya bisa sampai dengan 5000 pcs/tahun. Pada prinsipnya sekecil apapun *cost down* yang dihasilkan akan sangat berpengaruh pada perusahaan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *reverse engineering* secara keseluruhan dan sistematis yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan analisis *reverse engineering* terkait dengan material, desain, analisis CAE, sampai dengan studi *cost* yang dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya;

1. Analisis *reverse engineering* dapat dilakukan pada komponen utama *side guard* yaitu *L-bracket* dan *crossmember* dengan meninjau kembali material properties dari masing-masing komponen.
2. Optimalisasi desain pada *L-bracket* dan *crossmember* berhasil dilakukan terbukti dengan terjadinya pengurangan dimensi pada masing-masing komponen dan memenuhi standar yang diterapkan.
3. Setelah dilakukan analisis CAE menggunakan metode FEM dengan bantuan software CATIA, desain hasil optimasi di judgement aman sesuai dengan standar *design policy* yang ada dan perhitungan *safety factor* yang dilakukan untuk masing-masing *part* serta untuk konstruksi rangkaian *part assembly*.
4. Berdasarkan hasil studi *cost* yang dilakukan mengalami *cost down* yang signifikan yaitu berkisar 40-50% pada komponen *L-bracket* dan *cross member* sebelumnya.

6. SARAN

1. Hasil analisis CAE pada komponen *side guard* perlu ditingkatkan dengan berbagai kondisi pembebahan.
2. Hasil analisis pada penelitian ini harapannya bisa dijadikan sumber referensi untuk pengujian saat R&D (*Riset and Developments*) secara aktual.
3. *Cost reduction* pada komponen *side guard* dapat ditingkatkan dikaji kembali, karena penulis melihat potensi *cost down* pada komponen lain.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Antartika, M.P. dkk., "Perbandingan hasil analisis Metode elemen hingga berbasis *software* dengan *simple supported calculation* pada kapal 50 pax *crane barge*," *Jurnal Integrasi*, 12(1), pp. 72–78, 2020. <https://doi.org/10.30871/ji.v12i1.1451>.
- Butkewitsch, S., & Steffen Jr, V., "Shape optimization, model updating and empirical modeling applied to the design synthesis of a heavy truck side guard," *International Journal of Solids and Structures*, 39(18), 4747-4771, 2002.
- Cleverley, W. O. Dan Cleverley, J. O., "Cost Reduction Identifying the Opportunities," *Healthcare Financial Management*, Vol. 64, No. 3, pp. 52-59, 2010.

- Jokowiyono, S., & Mulyadi, S., "Analisis Tegangan Von Mises Pada Alat Bantu Jalan (Walker)". ROTOR, 5(2), 34-41, 2022. (viewed 17 November 2022)
- Kosasih, E., "Simulasi Numerik Pengujian Perlengkapan Perisai Kolong Bagian Belakang Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Journal of Syntax Literate*, 7(6), 2022.
- Nurdin, H dkk., "Perancangan Elemen mesin," Padang: UNP Press, 2010.
- Perhubungan, K., "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 74 Tahun 2021 Tentang Perlengkapan Keselamatan Kendaraan Bermotor," Available at:bsn.go.id, 2021. (Accessed: November 07, 2022)
- Purwanto, E., Maulana, I., & Anggriat, A., "Analisis Komparasi Kecelakaan Lalu Lintas Di Jalan Tol Cikopo-Palimanan Sebelum dan Pada Saat Pandemi Covid-19," *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 23(2), 184-192, 2021.
- Putra, J.A. and Misbah, M.N., "Studi Pengaruh ukuran bracket Pondasi Mesin terhadap Tegangan Dengan Menggunakan finite element method," *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), 2022. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i1.82025>.
- Redo, M. R., "Pendekatan Reverse Engineering Untuk Pengujian Keamanan Guna Meningkatkan Kualitas Perangkat Lunak". *Jurnal Informatika*, 16(1) pp. 24-35, 2016.
- Sukarno, R., Sugita, I.W. and Syaefudin, E.A., "Pelatihan Dasar-Dasar CAD/CAM/CAE Dan Software AutoCAD untuk guru-guru SMK Bidang Keahlian teknik mesin di Wilayah Kabupaten bekasi," *Sarwahita*, 11(2), p. 122, 2014. <https://doi.org/10.21009/sarwahita.112.10>.
- Thompson, M.K. and Thompson, J.M., "Introduction to Ansys and Finite Element Modeling," *ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis*, pp. 1–9, 2017. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812981-4.00001-0>.