

Analisa Kekuatan Material AISI 1018 Dan 1020 Pada Sasis *Semi Ladder Frame* Menggunakan Metode *Finite Element Analysis*

Galih Rakasiwy¹, Bambang Dwi Haripriadi^{2,*}

^{1,2} Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Bengkalis, Riau 28711, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 4 Agustus 2026

Diterima setelah direvisi 31 Agustus 2026

Disetujui 1 September 2026

Kata kunci:

Semi-Ladder Frame
Finite Element Analysis (FEA)
AISI 1018
AISI 1020
Factor of Safety
Von Mises Stress
SolidWorks Simulation

Abstract- This study evaluates the structural strength and rigidity of a passenger vehicle semi-ladder frame chassis by comparing low-carbon steel grades AISI 1018 and AISI 1020 using Finite Element Analysis (FEA) in SolidWorks Simulation. A 3D CAD model based on real chassis geometry (wheelbase 2,655 mm) was subjected to incremental static loading ranging from 1,000 to 5,000 kgf, with fixed fixtures configured at the front and rear suspension mounting points. At peak operational load (2,000 kgf), both materials exhibited identical stress distributions, resulting in peak equivalent Von Mises stresses of 149.00 MPa (AISI 1018) and 148.80 MPa (AISI 1020) localized at the rear kick-up section due to geometric notch effects ($K_t = 1.38$). The maximum vertical displacement occurred at the Side Body Support Rail, measuring 0.8474 mm for AISI 1018 and 0.8475 mm for AISI 1020, well below the maximum allowable industrial limit ($\delta_{izin} = 2.655$ mm). The chassis structure maintains a safe operational regime at 1,000–2,000 kgf (Factor of Safety / $FoS \geq 1.50$), enters a critical transition state at 3,000 kgf ($FoS \approx 1.25$ – 1.30), and undergoes plastic deformation at $\geq 4,000$ kgf ($FoS < 1.0$). AISI 1018 is confirmed as the superior material choice due to its higher intrinsic yield strength (370.0 MPa vs. 351.6 MPa), providing a higher minimum FoS (2.48 vs. 2.36) and an additional 5.17% elastic safety margin critical for absorbing dynamic shock loads during vehicle operation.

Intisari- Penelitian ini mengevaluasi kekuatan struktural dan kekakuan sasis semi-ladder frame kendaraan penumpang dengan membandingkan baja karbon rendah AISI 1018 dan AISI 1020 menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) pada SolidWorks Simulation. Model 3D CAD berbasis dimensi riil (wheelbase 2.655 mm) diuji melalui pembebanan statis bertahap (incremental loading) mulai dari 1.000 hingga 5.000 kgf dengan tumpuan jepit pada kedudukan suspensi depan dan belakang. Pada beban operasional puncak (2.000 kgf), tegangan Von Mises maksimum terkonsentrasi pada kelengkungan lekukan belakang (rear kick-up section) akibat faktor konsentrasi tegangan geometris ($K_t = 1,38$), dengan nilai masing-masing sebesar 149,00 MPa (AISI 1018) dan 148,80 MPa (AISI 1020). Deformasi vertikal maksimum terjadi pada komponen Side Body Support Rail sebesar 0,8474 mm (AISI 1018) dan 0,8475 mm (AISI 1020), berada jauh di bawah batas izin defleksi industri otomotif ($\delta_{izin} = 2,655$ mm). Sasis berada dalam batas aman operasional pada rentang 1.000–2.000 kgf (Factor of Safety / $FoS \geq 1,50$), memasuki batas kritis pada 3.000 kgf ($FoS \approx 1,20$ – $1,30$), dan mengalami deformasi plastis mulai 4.000 kgf ($FoS < 1,0$). Baja AISI 1018 ditetapkan sebagai material yang lebih unggul karena memiliki yield strength lebih tinggi (370,0 MPa vs 351,6 MPa), menghasilkan FoS minimum 2,48 (dibandingkan 2,36 pada AISI 1020), serta menyediakan margin elastisitas ekstra sebesar 5,17% untuk mengantisipasi lonjakan beban kejut dinamis di jalan raya.

1. Pendahuluan

Sasis merupakan komponen struktural utama pada kendaraan yang berfungsi sebagai penopang beban seluruh komponen mekanis, sistem penggerak (powertrain), bodi, penumpang, serta muatan kargo operasional [1]. Pada kendaraan tipe Multi-Purpose Vehicle (MPV), arsitektur sasis semi-ladder frame (sering disebut sebagai built-in ladder frame atau integrated frame) banyak diaplikasikan karena mampu menggabungkan keunggulan titik gravitasi rendah dan kenyamanan lantai kabin monokok dengan ketangguhan penahan torsi dan lentur dari sepasang rel tangga longitudinal [2], [3]. Kombinasi hybrid ini sangat ideal bagi kendaraan multi-fungsi yang dituntut memiliki daya angkut

fleksibel namun tetap mempertahankan integritas struktural di berbagai kontur jalan [3].

Perkembangan teknologi komputasi melalui metode elemen hingga atau Finite Element Analysis (FEA) memfasilitasi evaluasi kekuatan struktur tanpa perlu melakukan pengujian destruktif fisik berskala penuh. Perangkat lunak CAE seperti SolidWorks Simulation memungkinkan pemetaan komprehensif terhadap konsentrasi tegangan ekuivalen (Von Mises stress) dan lendutan (displacement) pada geometri sasis yang kompleks secara akurat [4]. Menurut penelitian Wahyudi dkk. [5], perancangan rangka kendaraan harus dioptimalkan melalui studi komparasi berbagai tingkatan baja karbon struktural guna memilih material dengan karakteristik mekanik terbaik. Analisis rasio tegangan

* Corresponding Author:

E-mail: bambang@polbeng.ac.id (Bambang Dwi Haripriadi)

kerja terhadap batas luluh (yield strength) menjadi parameter penentu utama dalam mengevaluasi batas keamanan struktur kendaraan [5], [6].

Pemilihan material baja karbon rendah seperti AISI 1018 dan AISI 1020 menjadi fokus penting dalam penelitian ini karena ketersediaannya yang luas, sifat mampu las (weldability) yang sangat baik, serta rasio kekuatan terhadap biaya yang kompetitif di industri manufaktur otomotif [7], [8]. Baja AISI 1018 memiliki batas luluh sebesar 370 MPa dengan keuletan tinggi, menjadikannya standar acuan untuk konstruksi sasis yang menuntut ketahanan beban kejut [5]. Sementara itu, AISI 1020 dengan batas luluh 351,6 MPa umum diaplikasikan sebagai alternatif komparatif guna mengevaluasi efisiensi mekanis struktur [7], [8].

Untuk mengidentifikasi batas ketahanan elastis sasis dari kondisi statis normal hingga ambang batas kegagalan struktural, pengujian dilakukan dengan metode pembebanan bertahap (incremental loading) mulai dari 1.000 kgf hingga 5.000 kgf [9], [10]. Melalui analisis ini, transisi tegangan elastis, titik konsentrasi tegangan kritis, serta kapasitas batas aman (safe limit) sasis semi-ladder frame dapat diidentifikasi secara kuantitatif.

2. Metodologi

Penelitian ini merupakan studi kasus teknis komparatif berbasis simulasi numerik FEA. Geometri 3D sasis dimodelkan menggunakan perangkat lunak SolidWorks berdasarkan pengukuran dimensi riil sasis kendaraan MPV berjarak sumbu roda (wheelbase) 2.655 mm.



Gambar 1. Geometri 3D model sasis semi-ladder frame hasil pengukuran langsung di lapangan

2.1 Karakteristik Material dan Data Masukan

Parameter sifat mekanis material isotropik linier yang diinputkan ke dalam library simulasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Masukan Simulasi (Input Data) Sasis

Parameter Spesifikasi	AISI 1018	AISI 1020	Satuan
Yield Strength (MPa)	370	351.6	MPa
Tensile Strength (MPa)	440	420	MPa
Modulus Young (GPa)	205	186	GPa
Poisson's Ratio (-)	0.29	0.29	-
Massa Jenis (kg/m ³)	7,870	7,870	Kg/m ³
Wheelbase (mm)	2,655	2,655	mm

2.2 Kondisi Batas (Boundary Conditions) dan Pembebanan

Kondisi batas tumpuan (fixtures) ditetapkan sebagai Fixed Support pada areaudukan suspensi depan (front suspension mount) dan dudukan suspensi belakang (rear suspension mount) untuk menahan translasi dan rotasi struktural. Pembebanan vertikal statis diterapkan secara bertahap (incremental loading) terdistribusi merata pada crossmember dan side member pendukung bodi:

Beban 1.000 kgf (9.810 N): Kondisi muatan ringan / kosong.

Beban 1.500 kgf (14.715 N): Kondisi muatan standar penumpang.

Beban 2.000 kgf (19.620 N): Kondisi beban operasional puncak (Gross Vehicle Weight / GVW).

Beban 3.000 kgf (29.430 N): Kondisi kelebihan beban (overload) 150%.

Beban 4.000 kgf (39.240 N): Kondisi kelebihan beban ekstrem (overload) 200%.

Beban 5.000 kgf (49.050 N): Kondisi uji batas destruktif struktural (overload) 250%.

2.3 Perhitungan Analitis dan Kriteria Keamanan

Tegangan lentur nominal mumi pada balok sasis didekati menggunakan persamaan balok Euler-Bernoulli:

$$\sigma_{Nominal} = \frac{M_{max} \cdot c}{I_x} \quad (1)$$

Dimana M_{max} adalah adalah momen lentur maksimum, c adalah jarak sumbu netral ke serat terluar penampang (44,5 mm), dan I_x adalah momen inersia penampang kotak berongga (1.337.609,33 mm⁴).

Faktor konsentrasi tegangan aktual (K_t) dihitung dengan membandingkan tegangan Von Mises puncak hasil FEA terhadap tegangan nominal analitis:

$$K_t = \frac{\sigma_{FEA Maks}}{\sigma_{nominal}} \quad (2)$$

Kriteria Factor of Safety (FoS) minimum dihitung berdasarkan rasio batas luluh material terhadap tegangan ekuivalen Von Mises:

$$FOS = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{Von Mises Maks}} \quad (3)$$

Batas defleksi vertikal yang diizinkan (δ_{izin}) untuk sasis kendaraan mengacu pada standar kekakuan industri otomotif:

$$\delta_{izin} = \frac{L}{1000} = \frac{2655}{1000} = 2,655 \text{ mm} \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Rekapitulasi Respon Mekanis Pembebanan Bertahap

Hasil komputasi simulasi numerik FEA pembebanan bertahap dari 1.000 kgf hingga 5.000 kgf untuk kedua material disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi Parameter Kritis Simulasi Sasis AISI 1018

Beban (kgf)	Tegangan Von Mises (MPa)	Lendutan/ Displacement (mm)	Factor of Safety (FOS)	Status Struktur
1.000	74,50	0,4237	4,97	Sangat Aman (Elastis)
1.500	111,75	0,6356	3,31	Sangat Aman (Elastis)
2.000 (Puncak)	149,00	0,8474	2,48	Aman (Desain Operasional)
3.000	295,80	1,2990	1,25	Kritis (Mendekati Luluh)
4.000	392,80	1,7260	0,94	Gagal / Deformasi Plastis
5.000	487,40	2,1560	0,76	Gagal Permanen

Tabel 3. Rekapitulasi Parameter Kritis Simulasi Sasis AISI 1020

Beban (kgf)	Tegangan Von Mises (MPa)	Lendutan/ Displacement (mm)	Factor of Safety (FoS)	Status Struktur
1.000	74,40	0,4237	4,73	Sangat Aman (Elastis)
1.500	111,70	0,6356	3,15	Sangat Aman (Elastis)
2.000 (Puncak)	148,80	0,8475	2,36	Aman (Desain Operasional)
3.000	294,60	1,2940	1,19	Kritis (Mendekati Luluh)
4.000	392,90	1,7260	0,89	Gagal / Deformasi Plastis
5.000	487,50	2,1570	0,72	Gagal Permanen

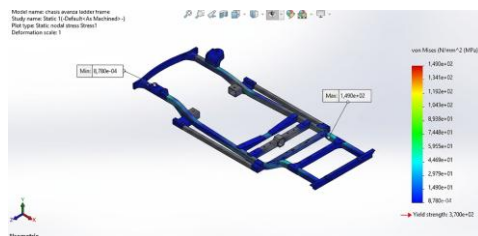
3.2 Analisis Distribusi Tegangan Von Mises dan Konsentrasi Tegangan (Notch Effect)

Pada kondisi beban operasional puncak 2.000 kgf, tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada material AISI 1018 adalah sebesar 149,00 MPa, sedangkan pada AISI 1020 bernilai 148,80 MPa. Perbedaan tegangan kerja kedua material hanya sebesar 0,13%, menegaskan bahwa distribusi tegangan dalam rentang linier-elastis dikendalikan sepenuhnya oleh geometri struktur dan letak titik tumpuan sasis.

Konsentrasi tegangan tertinggi teridentifikasi terlokalisasi pada area lekukan kelengkungan belakang (rear kick-up section). Fenomena ini terjadi akibat perubahan geometri penampang yang memicu timbulnya geometric notch effect. Perhitungan teoritis balok lentur lurus pada penampang yang sama menghasilkan tegangan nominal sebesar 108,25 MPa. Dengan demikian, faktor konsentrasi tegangan aktual (K_t) yang terjadi pada kontur kick-up sasis adalah:

$$K_t = \frac{149,00 \text{ MPa}}{108,25 \text{ MPa}} = 1,38 \quad (5)$$

Nilai $K_t = 1,38$ berada dalam batas wajar kurva konsentrasi tegangan standar otomotif untuk lekukan bergradient lengkung [2]. Tegangan aktual 149,00 MPa dan 148,80 MPa tersebut berada jauh di bawah batas luluh masing-masing material (370,0 MPa untuk AISI 1018 dan 351,6 MPa untuk AISI 1020), membuktikan bahwa integritas sasis berada dalam kondisi elasto-statik yang stabil dan aman.



Gambar 2. Kontur Sebaran Tegangan Von Mises pada Beban 2.000 kgf dengan Konsentrasi pada Rear Kick-Up Section

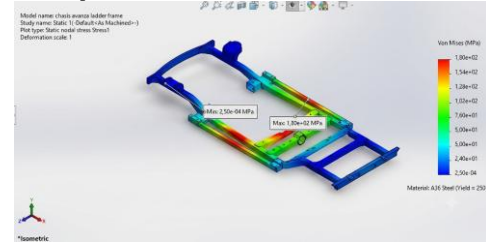
3.3 Analisis Kekakuan Struktur dan Lendutan (Displacement)

Deformasi vertikal terbesar pada beban operasional 2.000 kgf terlokalisasi pada batang penopang bodi samping (Side Body Support Rail). Lendutan maksimum tercatat sebesar 0,8474 mm untuk AISI 1018 dan 0,8475 mm untuk AISI 1020. Nilai ini dievaluasi terhadap ambang batas defleksi izin standar industri otomotif ($\delta_{izin} = 2,655 \text{ mm}$):

$$\delta_{Aktual} (0,8475 \text{ mm}) < \delta_{izin} (2,655 \text{ mm}) \quad (6)$$

Lendutan aktual sasis hanya mengonsumsi 31,92% dari batas lendutan maksimal yang diizinkan. Tingkat kekakuan struktural (rigidity) yang sangat tinggi ini menjamin sasis tidak mengalami puntiran berlebih,

menjaga kelurusan poros propeller shaft, dan mencegah misalignment engsel pintu maupun bodi kendaraan [6].



Gambar 3. Kontur Lendutan (Displacement) Maksimum 0,8475 mm pada Side Body Support Rail Beban 2.000 kgf

3.4 Penentuan Material Unggul Berdasarkan Margin Keamanan Dinamis

Perbandingan performa menyeluruh antara AISI 1018 dan AISI 1020 pada beban puncak operasional (2.000 kgf) dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Matriks Perbandingan Riil Parameter Mekanis Beban 2.000 kg

Parameter Uji Kritis	AISI 1018	AISI 1020	Diferensial/keunggulan
Batas Luluh Material (Yield Strength)	370,0 MPa	351,6 MPa	+ 5,23% (AISI 1018)
Tegangan Kerja Maksimum (Von Mises Stress)	149,0 MPa	148,8 MPa	0,13% (Ekuivalen)
Lendutan Maksimum (Displacement)	0,8474 mm	0,8475 mm	0,01% (Ekuivalen)
Faktor Keamanan (Factor of Safety Minimum)	2,48	2,36	+5,17% (AISI 1018)
Rasio Konsumsi Kapasitas Tegangan	40,27%	42,32%	-2,05% (AISI 1018 Lebih Lega)
Cadangan Margin Elastisitas	59,73%	57,68%	+ 2,05% (AISI 1018)

Berdasarkan matriks evaluasi di atas, baja AISI 1018 ditetapkan sebagai material terbaik untuk konstruksi sasis semi-ladder frame. Meskipun lendutan dan tegangan kerja kedua material relatif identik akibat kekakuan geometri yang sama, keunggulan batas luluh intrinsik AISI 1018 (370,0 MPa vs 351,6 MPa) menghasilkan Factor of Safety yang lebih tinggi (2,48 vs 2,36). Cadangan elastisitas ekstra sebesar 5,17% ini sangat krusial dalam meredam lonjakan beban kejut dinamis (shock loads), getaran frekuensi jalan, serta memperpanjang umur lelah (fatigue life) komponen sasis kendaraan [5], [9].

4. Simpulan

Berdasarkan simulasi numerik berbasis Finite Element Analysis (FEA) dan verifikasi analitis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi Tegangan: Pada beban operasional puncak 2.000 kgf, tegangan ekuivalen Von Mises maksimum terkonsentrasi pada area lekukan kelengkungan belakang (rear kick-up section) akibat faktor konsentrasi tegangan ($K_t = 1,38$), dengan nilai tegangan sebesar 149,00 MPa (AISI 1018) dan 148,80 MPa (AISI 1020).
2. Kekakuan Struktur: Lendutan maksimum struktur sasis bernilai 0,8474 mm (AISI 1018) dan 0,8475 mm (AISI 1020) pada Side Body Support Rail. Nilai ini sangat aman dan memenuhi standar kekakuan otomotif karena jauh di bawah batas defleksi izin ($\delta_{izin} = 2,655 \text{ mm}$).
3. Batas Keamanan dan Pemilihan Material: Sasis berada dalam kategori aman pada rentang beban 1.000–2.000 kgf ($FoS \geq 1,50$), kritis pada 3.000 kgf ($FoS \approx 1,20 - 1,25$), dan mengalami kegagalan plastis permanen pada beban $\geq 4.000 \text{ kgf}$ ($FoS < 1,0$). Baja AISI 1018 diputuskan sebagai material optimal karena memiliki FoS 2,48 yang lebih superior 5,17% dibandingkan AISI 1020 (FoS 2,36), memberikan margin cadangan kapasitas elastis 59,73% untuk keandalan sasis terhadap beban dampak dinamis di jalan raya.

Referensi

- [1] M. Majid dkk., "Analysis of vehicle chassis dynamic behavior," J. Mech. Eng., vol. 12, no. 2, pp. 45–52, 2021.
- [2] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2015.
- [3] A. Chittaliya, K. Khare, and P. Patel, "A methodological study to analyze and design the car chassis," IJRASET, vol. 9, no. 6, pp. 112–119, 2021.
- [4] Dassault Systèmes, *SolidWorks Simulation Student Guide*. Concord: SolidWorks Corp., 2010.
- [5] A. Wahyudi dkk., "Desain dan analisis kekuatan model ladder frame dengan bahan baja AISI 1015, 1018, dan 1020," Jurnal Riset Elemen Mesin (REM), vol. 11, no. 1, pp. 15–24, 2024.
- [6] M. Sholeh, I. G. N. B. Catrawedarma, E. N. Sari, M. A. Wahid, dan A. Fiveriati, "Numerical analysis of static structure on the floor frame of the medium bus," Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan, vol. 11, no. 1, pp. 71–82, 2024.
- [7] I. Muhlisin and N. Feblidiyanti, "Comparison of strength and stability of bicycle frames made from 6061-T6 Aluminum and CP-Ti Grade 4 materials," Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi, vol. 20, no. 1, pp. 132–140, 2024.
- [8] I. Purnawan dkk., "Desain dan analisis pengujian statik pada chassis mobil golf menggunakan software SolidWorks 2020," JAMERE, vol. 6, no. 1, pp. 30–38, 2025.
- [9] Ellianto dan S. Nurcahyo, "Rancang bangun dan simulasi pembebanan statik pada sasis mobil hemat energi kategori prototype," Jurnal ENGINE, vol. 4, no. 1, pp. 22–29, 2020.
- [10] S. A. P. Ledi, F. Y. Utama, Y. S. Widoretno, dan D. Wulandari, "Analisis pembebanan statis chassis ladder frame pada mobil hemat energi tipe urban GARNESA," Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 9, no. 1, pp. 277–283, 2024.