

Simulasi Kekuatan Material Chassis Kendaraan MPV dengan Metode Elemen Hingga

Agus Sigit Pramono dan Alief Wikarta
Laboratorium Desain
Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS Surabaya
Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111
e-mail : wikarta@me.its.ac.id

Abstrak

Chassis merupakan komponen penting sebuah kendaraan karena merupakan tempat diletakkannya sebagian besar komponen kendaraan yang lain. Hasil penelusuran peneliti selama ini belum menemukan standart uji rusak chassis, baik untuk posisi, besar, dan frekuensi pembebanan yang harus diberikan pada chassis. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan chassis yang menerima beban tertentu saat berjalan pada kondisi jalan bergelombang. Hasil simulasi diharapkan dapat menjadi dasar untuk membuat konsep standart pengujian rusak..

Simulasi chassis menggunakan software yang berbasis metode elemen hingga. Model yang dipakai adalah chassis kendaraan MPV yang berbahan SAPH 45 (Hot rolled steel plates for automobile structural uses – JIS G3113). Pemodelan struktur chassis yang ditopang oleh sistem suspensi kendaraan dan ban didekati dengan model matematis kendaraan sebagai suatu sistem diskrit. Analisa kekuatan chassis terhadap beban dinamis dilakukan saat kendaraan berjalan lurus melalui profil permukaan jalan yang bergelombang dengan bentuk sinusoidal.

Hasil simulasi berupa distribusi tegangan dinamis diolah dengan persamaan Goodman & Basquin untuk mendapatkan umur chassis. Hasil analisa menunjukkan bahwa tegangan terbesar yang terjadi pada chassis terdapat di daerah sekitar suspensi. Chassis yang dianalisa juga tidak mengalami kegagalan. Hasil yang lain adalah konsep standart pengujian chassis untuk uji rusak yang dibangun berdasarkan simulasi tersebut.

Kata kunci: chassis, pembebanan, elemen hingga, umur material, standart pengujian

Pendahuluan

Mobil merupakan alat transportasi yang banyak digunakan oleh masyarakat. Tidak dapat dipungkiri kebutuhan masyarakat akan kendaraan bermotor roda empat ini semakin meningkat. Salah satu struktural komponen dari kendaraan yang memegang peranan utama adalah chassis. Hal ini dikarenakan chassis adalah tempat diletakkannya hampir semua komponen utama kendaraan, seperti body, mesin, dan lain-lain.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan chassis telah dilakukan. Rustiyanto (1998) dalam penelitiannya melakukan pengujian terhadap suatu desain struktur chassis pada konstruksi body integral sebuah kendaraan. Penelitian ini lebih mengarah kepada konstruksi dari chassis itu sendiri dan analisa hanya dilakukan dengan melibatkan keamanan saja. Sedangkan Sony (2002) melakukan penelitian tentang kekuatan chassis dengan metode tumbukan (collision), yaitu *frontal collision* yang terjadi antara semua bagian depan kendaraan dengan barrier. Penelitian ini dilakukan dengan analisa pembebanan secara longitudinal, dimana kendaraan mengalami impact dengan barrier, kemudian dianalisa kekuatannya setelah terjadinya *frontal collision*.

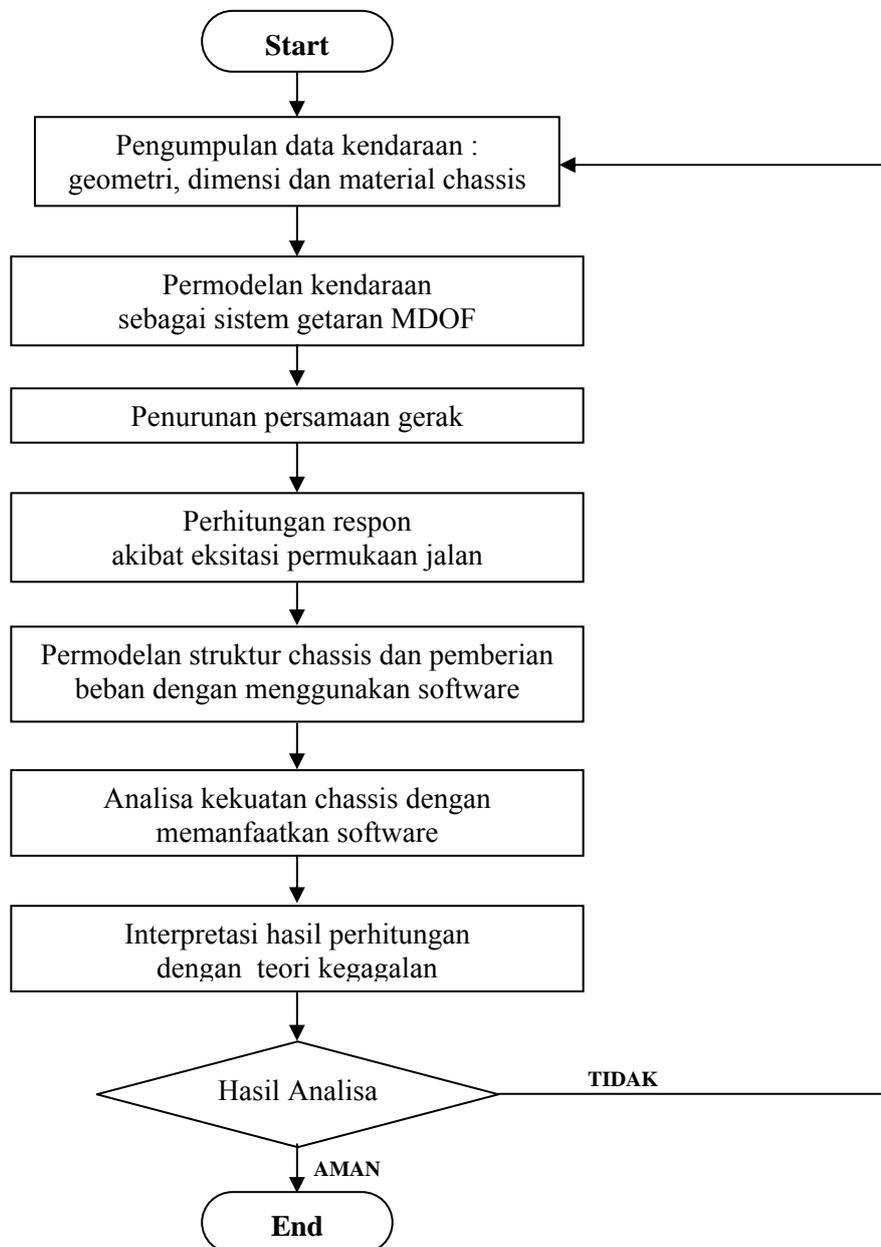
Dalam penelitian-penelitian terdahulu belum diberikan efek pembebanan pada chassis, padahal pembebanan merupakan faktor yang menentukan besar kekuatan chassis. Pembebanan yang lebih besar akan menyebabkan chassis mudah mengalami fatigue dan memperpendek umur chassis. Sejauh mana besar beban yang diterima oleh chassis tidak dapat diestimasi oleh pengguna kendaraan secara tepat. Hal ini disebabkan, selama ini belum ditemukan standart pengujian rusak chassis, baik untuk posisi, besar, dan frekuensi pembebanan yang harus diberikan khususnya untuk kendaraan pengangkut barang.

Komponen-komponen otomotif umumnya telah memiliki standarisasi pengujian. Pada komponen velg, standart pengujiannya ada 3 macam, yaitu dynamic radial fatigue (Pramono, 2003), dynamic cornering fatigue (Pramono, 2004) dan impact (Pramono, 2006). Komponen otomotif yang lain seperti lower arm juga memiliki standart pengujian berupa fatigue test (Pramono, 2006).

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan chassis yang menerima pembebanan tertentu sehingga diketahui dimana letak beban kritis yang diterima oleh chassis dan mengetahui umur material chassis. Hasil analisa simulasi itu digunakan untuk menyusun suatu konsep standart pengujian chassis melalui penentuan posisi, besar, dan frekuensi pembebanan sehingga memungkinkan untuk dilakukan perbaikan-perbaikan terhadap struktur chassis.

Metodologi

Untuk mempermudah proses analisa tegangan yang terjadi pada chassis frame maka dilakukan langkah-langkah pengerjaan sebagaimana ditunjukkan oleh flowcart pada gambar 1.



Gambar 1. Flowcart metodologi penelitian

Uraian dari flowcart gambar 1 adalah sebagai berikut :

Pengumpulan data kendaraan meliputi :

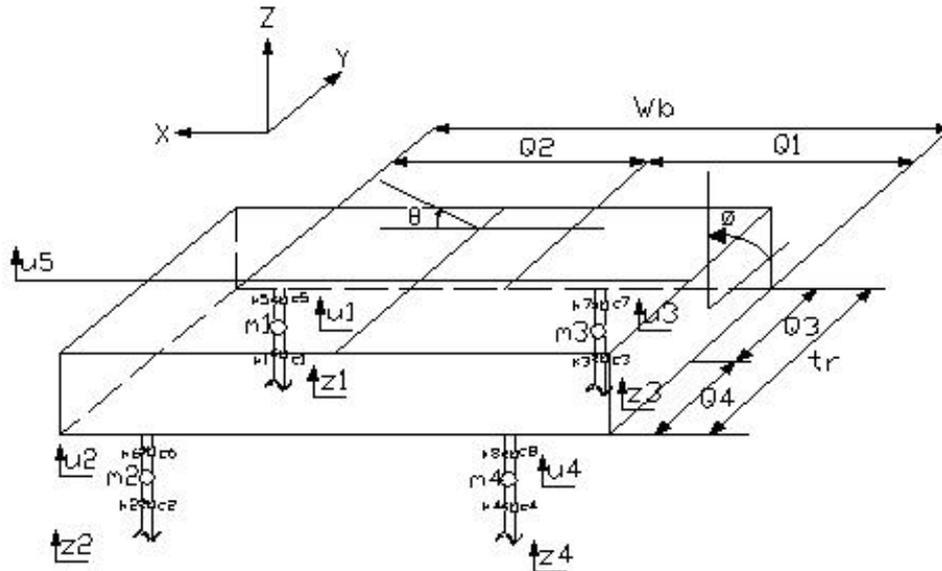
Dimensi kendaraan :

- Panjang keseluruhan = 4140 mm
- Lebar keseluruhan = 1620 mm
- Tinggi = 1765 mm
- Wheel Base (Wb) = 2500 mm
- Track (tr) = 1400 mm

Model chassis yang dipakai adalah chassis yang berada di pasaran, yaitu chassis kendaraan MPV yang berbahan SAPH 45 (Hot rolled steel plates for automobile structural uses – JIS G3113), dengan :

- Ultimate Strength, $S_u = 45 \text{ kg/mm}^2 = 63.96.10^3 \text{ psi}$
- Yield Strength, $S_y = 31 \text{ kg/mm}^2 = 44.09.10^3 \text{ psi}$
- Modulus Elastisitas, $E = 200.10^9 \text{ N/m}^2 = 29.10^6 \text{ psi}$
- Poisson's Ratio, $\nu = 0.33$
- Massa Jenis Chassis, $\rho = 7.85.103 \text{ kg/m}^3$

Pemodelan struktur chassis yang ditopang oleh sistem suspensi kendaraan dan ban perlu didekati dengan model matematis kendaraan sebagai suatu sistem diskrit. Ini dikarenakan struktur kendaraan dalam kenyataannya merupakan struktur yang berkesinambungan dengan jumlah derajat kebebasan tak berhingga. Melalui proses idealisasi, sebuah model matematis diajukan untuk mereduksi jumlah DOF menjadi sejumlah diskrit, yaitu sebanyak 7 DOF. Model matematis struktur kendaraan ditunjukkan pada gambar 2, sedangkan persamaan geraknya dalam bentuk matriks dapat dilihat pada gambar 3. Langkah selanjutnya adalah mencari respon pada masing-masing DOF dengan metode superposisi modus.



Gambar 2. Model matematis struktur kendaraan

Model matematis struktur kendaraan pada gambar 2 menunjukkan 7 derajat kebebasan (DOF) yaitu:

- Perpindahan translasi vertikal unsprungmass, yaitu : $u1, u2, u3, u4$
- Perpindahan translasi vertikal sprungmass, yaitu : $u5$
- Sudut rolling : θ
- Sudut pitching : ϕ

Sedangkan data koefisien pegas dan koefisien damping sebagai berikut :

- $K1 = K2 = K3 = K4 = 175000 \text{ N/m}$
- $C1 = C2 = C3 = C4 = 3440 \text{ Ns/m}$
- $C5 = C6 = C7 = C8 = 680 \text{ Ns/m}$

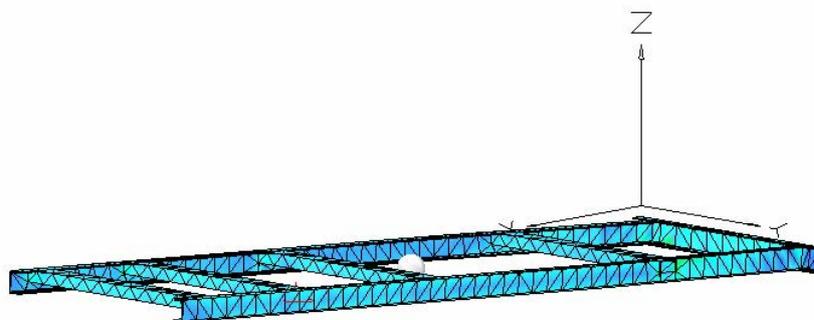
$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & m_4 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & m_5 & 0 & 0 \\ & & & & & I_x & 0 \\ & & & & & & I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \ddot{u}_4 \\ \ddot{u}_5 \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_5 & 0 & 0 & 0 & -c_5 & -q_3c_5 & -q_2c_5 \\ & c_2+c_6 & 0 & 0 & -c_6 & q_4c_6 & -q_2c_6 \\ & & c_3+c_7 & 0 & -c_7 & -q_5c_7 & q_1c_7 \\ & & & c_4+c_8 & -c_8 & q_6c_8 & q_1c_8 \\ & & & & c_5+c_6 & -q_4(c_6+c_8) & -q_1(c_7+c_8) \\ & & & & c_7+c_8 & +q_3(c_5+c_7) & +q_2(c_5+c_6) \\ & & & & & -q_4^2(c_6+c_8) & q_1(q_4c_8-q_3c_7) \\ & & & & & +q_3^2(c_5+c_7) & q_2(q_3c_3-q_4c_7) \\ & & & & & & -q_4^2(c_7+c_8) \\ & & & & & & +q_3^2(c_5+c_6) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \dot{u}_3 \\ \dot{u}_4 \\ \dot{u}_5 \\ \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_5 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & -q_3k_5 & -q_2k_5 \\ & k_2+k_6 & 0 & 0 & -k_6 & q_4k_6 & -q_2k_6 \\ & & k_3+k_7 & 0 & -k_7 & -q_5k_7 & q_1k_7 \\ & & & k_4+k_8 & -k_8 & q_6k_8 & q_1k_8 \\ & & & & k_5+k_6 & -q_4(k_6+k_8) & -q_1(k_7+k_8) \\ & & & & k_7+k_8 & +q_3(k_5+k_7) & +q_2(k_5+k_6) \\ & & & & & -q_4^2(k_6+k_8) & q_1(q_4k_8-q_3k_7) \\ & & & & & +q_3^2(k_5+k_7) & q_2(q_3k_8-q_4k_7) \\ & & & & & & -q_4^2(k_7+k_8) \\ & & & & & & +q_3^2(k_5+k_6) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ \phi \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1\dot{z}_1+k_1z_1 \\ c_2\dot{z}_2+k_2z_2 \\ c_3\dot{z}_3+k_3z_3 \\ c_4\dot{z}_4+k_4z_4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Gambar 3. Persamaan gerak dalam bentuk matriks

Pembebanan yang diberikan pada model struktur chassis meliputi beban statis dan beban dinamis. Beban statis berasal dari gaya berat total bodi kendaraan. Sedangkan kekuatan chassis terhadap beban dinamis diakibatkan oleh getaran kendaraan berupa gaya dari masing-masing titik suspensi dan dari sprung mass. Pada masing-masing suspensi terdapat gaya spring dan gaya damping, sedangkan pada sprung mass terdapat gaya dinamik vertikal, momen pitching dan momen rolling. Asumsi yang dipakai ialah kendaraan berjalan lurus melalui profil permukaan jalan yang bergelombang sebagai fungsi harmonik dengan bentuk sinusoidal.

Gaya-gaya dinamik yang diterima oleh struktur chassis memiliki harga yang bervariasi terhadap waktu. Sehingga untuk keperluan analisa selanjutnya cukup ditinjau harga kritis atau maksimum yang timbul dari gaya-gaya dinamik. Sebab yang memberikan kontribusi besar bagi analisa kekuatan struktur adalah saat struktur menerima gaya-gaya dinamik maksimum atau kritis.

Proses analisa pembebanan dan kekuatan chassis memanfaatkan software yang berbasis elemen hingga. Software itu digunakan untuk proses pemodelan chassis, pendefinisian material dan meshing, sampai dengan proses analisa tegangan, baik akibat beban statis maupun beban dinamis. Gambar 4 menunjukkan meshing pada chassis.



Gambar 4. Meshing pada chassis

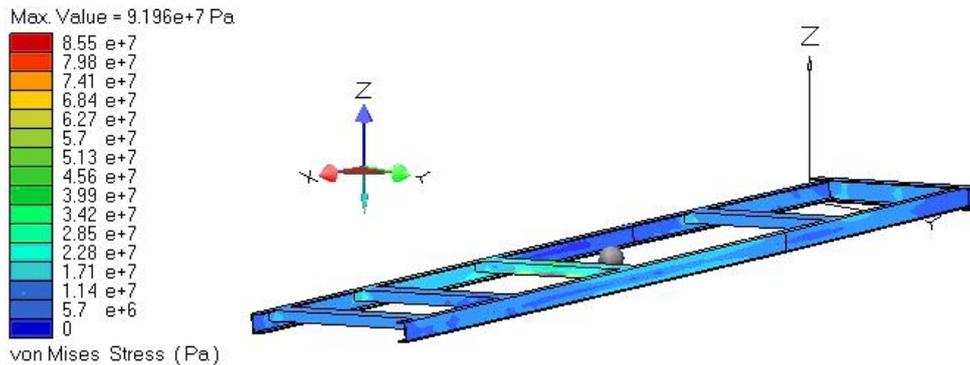
Hasil dan Pembahasan

Simulasi kekuatan material chassis terhadap beban statis menggunakan dua jenis tumpuan, yaitu tumpuan roll dan tumpuan elastis. Hasil dari simulasi ditunjukkan pada tabel 1, kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan harga yield point strength material menggunakan teori kegagalan MNST. Dari tabel 1 ditunjukkan bahwa jenis tumpuan elastis menghasilkan tegangan maksimal yang lebih rendah daripada tumpuan roll. Oleh karenanya pada simulasi akibat beban dinamis akan digunakan tumpuan elastis.

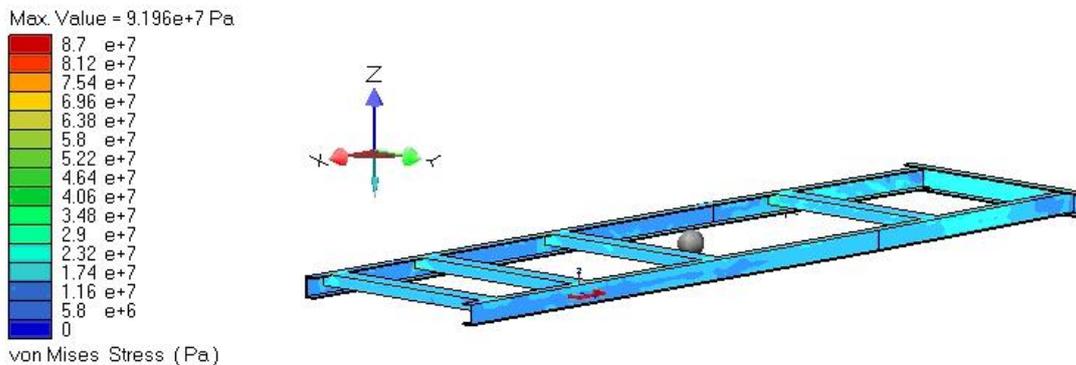
Tabel 1. Hasil simulasi kekuatan material chassis terhadap beban statis

Jenis Tumpuan	Hasil Simulasi	Yield Point Strength	Kesimpulan
Tumpuan Roll	$32.56 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$152 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	Aman
Tumpuan Elastis	$20.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$152 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	Aman

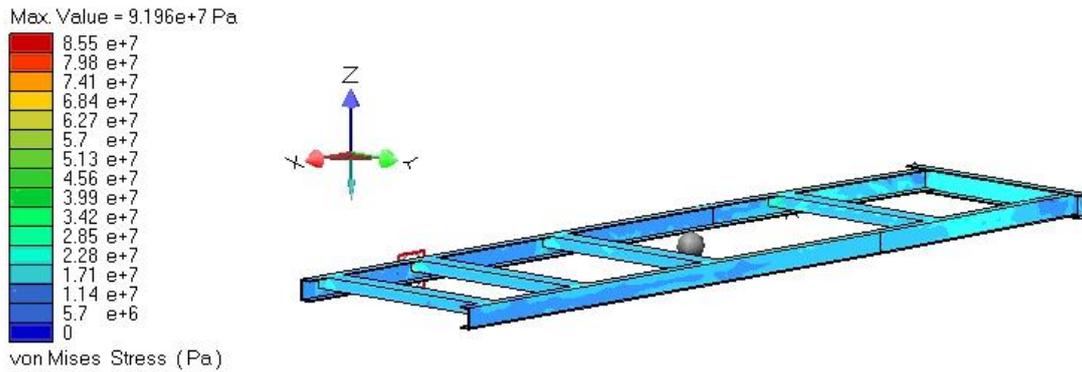
Analisa kekuatan material chassis terhadap beban dinamis dilakukan dengan cara mencari titik tempat terjadinya tegangan maksimum pada struktur chassis dalam beberapa siklus. Titik tersebut ada 4 buah, yaitu terletak di titik 1 pada suspensi kanan depan, titik 2 pada suspensi kanan belakang, titik 3 pada suspensi kiri belakang dan titik 4 pada suspensi kiri depan. Setelah itu dicari besar tegangan maksimum yang terjadi pada masing-masing titik, yang hasilnya ditunjukkan pada gambar 5 s/d gambar 8. Selanjutnya akan dicari letak dan besar tegangan minimum yang terjadi dalam satu siklus, dalam hal ini analisa akan dilakukan dalam range 0-120 frame.



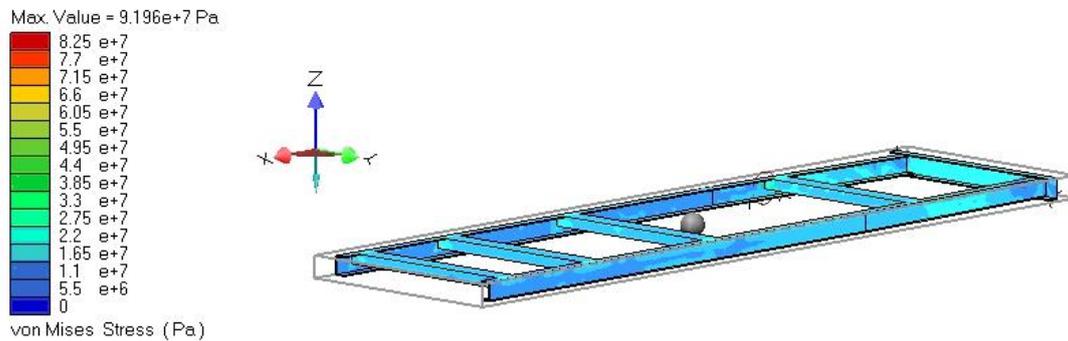
Gambar 5. Grafik tegangan maksimum pada titik 1 suspensi kanan depan



Gambar 6. Grafik tegangan maksimum pada titik 2 suspensi kanan belakang



Gambar 7. Grafik tegangan maksimum pada titik 3 suspensi kiri belakang



Gambar 8. Grafik tegangan maksimum pada titik 4 suspensi kiri depan

Standart uji komponen otomotif yang dibebani dengan beban dinamis berfrekuensi tertentu adalah dengan melihat gagal atau tidaknya komponen setelah mencapai suatu siklus tertentu. Hal yang sama juga dilakukan pada penelitian ini untuk melihat kekuatan material chassis. Untuk itu dari hasil simulasi yang berupa harga tegangan maksimum dan minimum perlu diolah dengan persamaan Goodman & Basquin untuk mendapatkan umur chassis. Besar estimasi umur chassis pada keempat titik yang dianalisa dapat dilihat pada tabel 2.

Persamaan Goodman
$$\frac{S_a}{S_f} + \frac{S_m}{S_u} = 1 \quad (1)$$

Persamaan Basquin
$$S_{N_f} = A(N_f)^B = S_u(N_f)^B \quad (2)$$

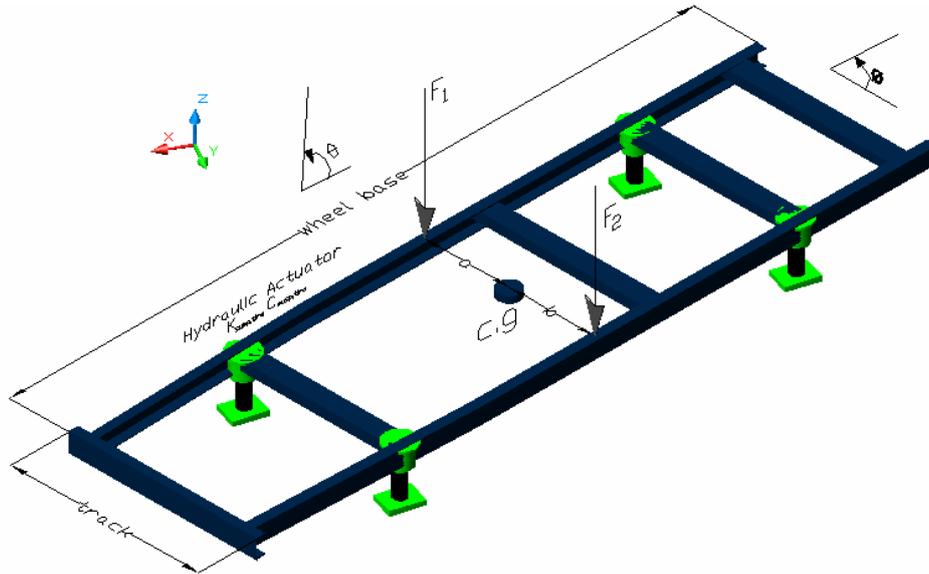
 dengan $B = \left(\frac{1}{6}\right) \log\left(\frac{S_f}{S_u}\right)$

Tabel 2. Estimasi umur chassis pada 4 titik analisa

Titik	1	2	3	4
S_{\max} (N/m ²)	91.96	87	85.5	71.5
S_{\min} (N/m ²)	87.45	84.05	82.31	66.34
S_{mean} (N/m ²)	89.705	85.525	83.905	68.92
S_{avg} (N/m ²)	2.255	1.475	1.595	2.58
Umur chassis	3.8239E+27	9.2472E+29	3.6606E+29	1.4482E+27

Harga umur chassis pada tabel 2 relatif besar, karena dalam pembebanan belum dimasukkan faktor kondisi ekstrim seperti saat belokan dan menerima beban impact akibat lubang. Estimasi umur material chassis pada tabel 2 kemudian diplotkan ke grafik Goodman dan menunjukkan bahwa material chassis tidak mengalami kegagalan. Kemudian dengan dasar analisa simulasi itu disusun

suatu konsep standart pengujian chassis melalui penentuan posisi, besar, dan frekuensi pembebanan. Gambar 9 menunjukkan konsep tersebut.



Gambar 9. Konsep standart pengujian chassis

Data-data struktur chassis di atas adalah sebagai berikut :

Jenis Tumpuan	=	Elastis dengan koefisien k dan c
$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$	=	Koefisien pegas suspensi dan ban
$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8$	=	Koefisien redaman suspensi dan ban
Sudut Rolling	=	\emptyset
Sudut Pitching	=	θ
Beban Statis	=	$F_1 = \frac{a}{a+b} F_{statis}$
	=	$F_2 = \frac{b}{a+b} F_{statis}$
Beban Dinamis	=	4 Actuator Hidrolik sebagai eksitasi profil permukaan jalan di tiap titik suspensi sebagai fungsi displacement / ampilitudo jalan.
Material Chassis	=	SAPH 45 (Hot-rolled steel plates for automobile structural uses – JIS G 3113)
Berat Kendaraan	=	2500 kg
Berat Chassis	=	159.7 kg

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Struktur chassis menerima beban kritis pada daerah sekitar suspensi yang ditunjukkan dengan harga tegangan yang maksimum.
2. Umur material chassis pada tegangan maksimum sekitar $1.4482E+27$ sampai dengan $9.2472E+29$ dan tidak mengalami kegagalan.
3. Telah dibangun suatu konsep standart pengujian chassis untuk mengetahui kekuatan material chassis.

Daftar Pustaka

- Pramono, A. S, 2003, “*Simulasi Pengujian Dynamic Radial Fatigue pada Velg Sedan dengan Metode Elemen Hingga*”, SNTTM II, Padang.
- Pramono, A. S, 2004, “*Simulasi Pengujian Dynamic Cornering Fatigue pada Velg Sedan dengan Metode Elemen Hingga*”, SNTTM III, Makassar.
- Pramono, A. S & Wikarta, Alief, 2006, “*Simulasi Pengujian Impact pada Velg Sedan dengan Metode Elemen Hingga*”, SNITM, Surabaya.
- Pramono, A. S & Wikarta, Alief, 2006, “*Simulasi Pengujian Lower Front Arm dengan Metode Elemen Hingga*”, SNTTM V, Jakarta.
- Rustiyanto, Hadi, 1998, “*Desain Struktur Chassis pada Kendaraan Body Integral untuk Kendaraan Toyota Kijang Diesel*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Sony, 2002, “*Analisa Collision dengan Software Ansys 6.0*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.