

ANALISIS KEKUATAN *UNDER FRAME* KERETA BARANG MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Djoeli Satrijo¹⁾, Tony Prahasto²⁾

Abstrak

Kereta merupakan salah satu modal transportasi massal untuk barang dan penumpang yang penting. Transportasi barang yang menggunakan kereta semakin meningkat. Guna mendukung fungsinya, maka diperlukan suatu analisis terhadap *under frame* kereta.

Under frame barang dianalisis kekuatannya menggunakan metode elemen hingga (MEH). Beban yang dibekerja pada rangka, disimulasikan mendekati pembebanan yang sebenarnya. Beban utama yang dikenakan adalah beban kontainer seberat 30 ton. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak MEH, menunjukkan bahwa *under frame* kereta masih aman.

Kata kunci: metode elemen hingga, rangka kereta barang

PENDAHULUAN

Kereta api sebagai transportasi darat memiliki potensi dan peluang besar untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di bidang pengangkutan barang. Kelebihan kereta api jika dibandingkan dengan transportasi darat lainnya ialah : selama perjalanan tidak dipengaruhi oleh transportasi lainnya, kereta api memiliki daya angkut yang besar, murah dan dampak terhadap lingkungan kecil.

Under frame kereta api merupakan bagian dari kereta api, yang ditempati oleh badan kereta api sehingga *under frame* tersebut harus cukup kuat menanggung beban yang terjadi. Penelitian ini dilakukan pada *under frame* kereta api barang gerbong datar. Analisis kekuatan *under frame* kereta api, yang dilakukan dibatasi hanya analisis statik saja yaitu yang menyangkut kekuatan dan keamanan *underframe* kereta api barang gerbong datar.

Analisis kekuatan *under frame* kereta barang dapat disimulasikan dengan menggunakan metode elemen hingga. Guna keperluan tersebut, digunakan perangkat lunak berbasis MEH yaitu MSC/NASTRAN V. 4.5. Perangkat lunak ini memiliki kemampuan *pre* dan *post processing*. Dengan demikian hasil simulasi dapat ditampilkan dan memudahkan interpretasi hasilnya.

Tinjauan Pustaka

Rancangan kereta api gerbong datar khusus untuk angkutan peti kemas dibuat se-ringan mungkin, agar diperoleh berat kosong yang kecil dan berat muat yang maksimal. Rangka dasar dan badan kereta dirakit dengan lengkung positif agar ketika dimuati, badan kereta tidak melengkung kebawah. Rangka kereta dirancang berupa konstruksi baja yang dilas, memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi terhadap pembebanan tanpa terjadi deformasi tetap.

Pada gerbong-gerbong barang yang pendek, konstruksinya dapat dibuat bergandar dua. Disain jarak gandar yang paling panjang untuk gerbong barang bergandar dua adalah sebesar $a = 4$ meter. Apabila badan gerbong itu terlalu panjang, terutama pada kereta-kereta penumpang, maka dibuat konstruksi bogi.

Kereta api gerbong datar PPCW yang berfungsi membawa peti kemas ditunjukkan pada gambar 1. Guna memperoleh berat kosong yang rendah, gerbong PPCW ini dibuat tanpa lantai. Rangka dasar gerbong terdiri dari baja – baja profil memanjang dan melintang yang dibuat dengan konstruksi las. Kemudian pada batang memanjang tepi diletakkan pengunci peti kemas. Oleh karena gerbong PPCW ini dibuat tanpa lantai, maka hanya dioperasikan khusus untuk angkutan peti kemas. Gerbong PPCW ini memiliki sistem pengereman dengan menggunakan rem tangan dan rem angin. Gerbong ini juga memiliki jumlah gandar yang berbeda tergantung berat muat dari beban yang dibawanya. Alat perangkai gerbong PPCW ini menggunakan “ *Automatic Coupler* “ dengan *draft gear* dari karet, dan dilengkapi dengan rantai pengaman.

Guna menganalisis kekuatan *under frame* kereta barang, dapat digunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga seperti MSC/Nastran V 4.5. Pemodelan *under frame* kereta barang PPCW dilakukan dengan menggunakan paket program MSC/Nastran V 4.5. Beberapa keuntungan penggunaan paket program Msc/Nastran adalah pemodelan elemen hingga dapat dilakukan secara grafis sehingga memberikan hasil yang lebih baik dan mempercepat proses. Program MSC/Nastran V 4.5 untuk window merupakan suatu program elemen hingga yang dikembangkan oleh *National Aeronautics and Sapce administration / NASA* untuk pemecahan dalam analisa struktur atau komponen mesin.

MSC/Nastran V 4.5 ini mempunyai kemampuan dalam pembuatan model dan analisa perhitungannya. Di samping itu, MSC/Nastran V 4.5 dilengkapi oleh berbagai alat hitung yang akan mengevaluasi model yang telah dirancang dan mampu mengidentifikasi

^{1) dan 2)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

kesalahan yang terjadi karena ada kesalahan input atau pembentukan elemen dengan geometri yang buruk.

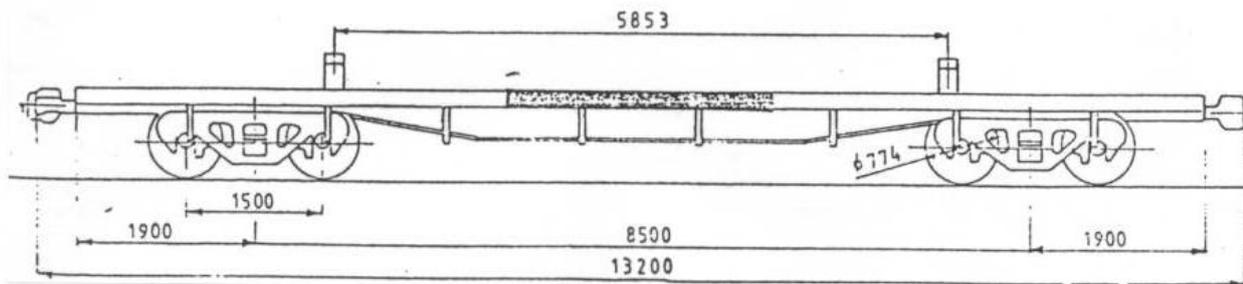
Dalam program MSC/Nastran V 4.5 ini, pembuatan geometri benda dapat dilakukan langsung dalam program. Di samping itu dapat pula dilakukan *translating* geometri benda dari CAD dalam bentuk format DXF, IGES atau dari program analisa elemen hingga lainnya, seperti ALGOR, ANSYS, COSMOS.

Rangka kereta merupakan satu kesatuan konstruksi baja yang dilas, salah satunya ialah rangka dasar yang terdiri dari bagian penyangga badan kereta (*bolster*), balok ujung (*end sill*), balok samping (*side sill*), balok melintang (*cross beam*) dan penyangga peralatan bawah lantai. Lantai memanjang dilas terhadap balok melintang. Rangka kereta terbuat dari baja rol SS 50 dengan kekuatan tarik minimum 409 N/mm² dan kandungan komposisi kimia untuk pospor dan belerang kurang dari 0,04 %. Sedangkan jenis material yang digunakan adalah baja dengan E = 210000 N/mm², G = 80000 N/mm², *Poisson Ratio* = 0,32, tegangan luluh = 320 N/mm² dan kerapatan

massa = 7,83 . 10⁻⁴ N/mm². Adapun spesifikasi teknis *under frame* kereta barang yang dianalisis ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi model *under frame* kereta PPCW

	Spesifikasi Teknis	Besaran
1	Panjang Underframe kereta api	12.496 mm
2	Lebar Underframe	2438 mm
3	Jarak antar pusat bogi	8687 mm
4	Tinggi dari rel ke underframe	930 mm
5	Diameter roda	774 mm
6	Berat kosong	12,9 ton
7	Berat muat	30 ton
8	Kecepatan operasional	80 km/jam



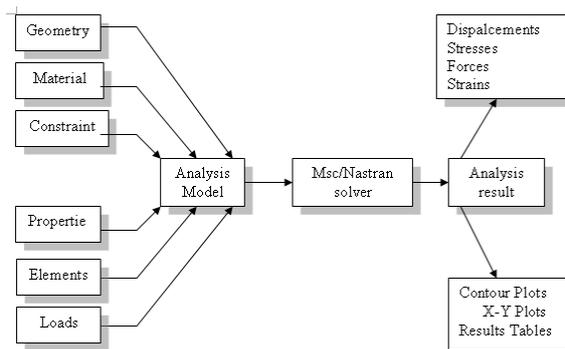
Gambar 1. Gerbang kereta barang

Beban yang diperhitungkan adalah badan kereta api dalam kondisi statik yang mana dapat menyebabkan terjadinya suatu deformasi pada rangka kereta api dari kedudukannya semula bila berada di bawah pengaruh gaya terpakai. Besarnya beban yang terpakai yaitu 30 ton dengan ukuran beban sepanjang *under frame* dan masing-masing 15 ton yang terdiri dari dua buah peti kemas sepanjang *under frame*. Beban-beban ini didistribusikan pada penumpu batang penyangga dan gaya pada batang penyangga didistribusikan pada rangka yang arahnya -y.

METODE PENELITIAN

Tahapan analisis diawali dengan menggambar model *under frame* kereta barang PPCW. Penggambaran model dapat dilakukan dengan memanfaatkan paket program CAD yang tersedia di MSC/Nastran V4.5 atau dengan paket CAD lainnya seperti AutoCAD. Dalam melakukan analisa elemen hingga, model perancangan dibagi menjadi elemen – elemen yang dihubungkan nodal – nodal. Adapun sifat material dan elemen ditentukan untuk menyatakan sifat fisik model. Paket program Msc/Nastran secara garis besar menyediakan tiga jenis elemen yang sering digunakan yaitu elemen 1 D, 2 D dan 3D. Alur

penggunaan perangkat lunak tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur penggunaan MSC/Nastran

Model yang dibuat mengabaikan sambungan las, baut/keling, komponen-komponen yang dimensinya kecil dan bagian-bagian yang secara dimensi dapat diabaikan dibandingkan dengan ukuran profil baja yang digunakan.

Besarnya beban yang terpakai yaitu 30 ton dengan ukuran beban sepanjang *under frame*. Beban-beban ini didistribusikan pada penumpu batang

penyangga dan gaya pada batang penyangga didistribusikan pada rangka. Besarnya beban 15 ton yang terdiri dari dua buah peti kemas sepanjang underframe. Beban-belan ini didistribusikan pada penumpu batang penyangga dan gaya pada batang penyangga. Gambar 3 menunjukkan pembebanan pada *under frame* kereta.

Selain menerima beban arah vertikal berupa muatan, *under frame* kereta juga menerima beban horisontal akibat gaya traksi, perlawanan rangkaian kereta, perlawanan tanjakan, pembebanan tumbukan dan perlawanan percepatan. Besarnya beban horisontal diperhitungkan dengan estimasi yang mendekati harga sebenarnya. Gambar 4 menunjukkan pembebanan gabungan yang terjadi pada *under frame* kereta PPCW yang dianalisis.

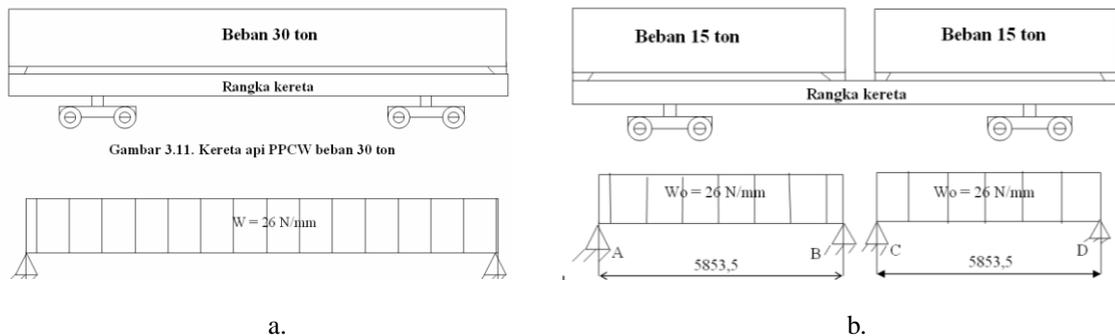
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontur tegangan hasil pembebanan kontainer 30 ton diperlihatkan pada Gambar 5. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian

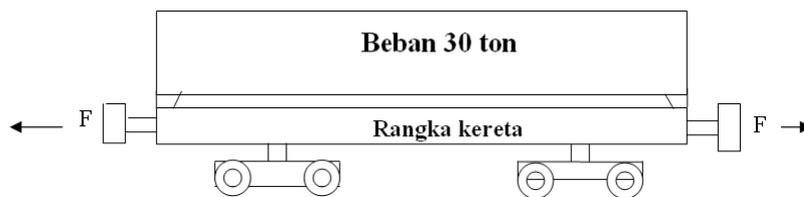
A. Tegangan maksimum yang timbul sebesar 185 MPa. Besarnya tegangan tersebut masih di bawah tegangan luluh bahan.

Kontur tegangan hasil pembebanan kontainer 2 x 15 ton diperlihatkan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian A. Tegangan maksimum yang timbul sebesar 95 MPa. Besarnya tegangan tersebut masih di bawah tegangan luluh bahan.

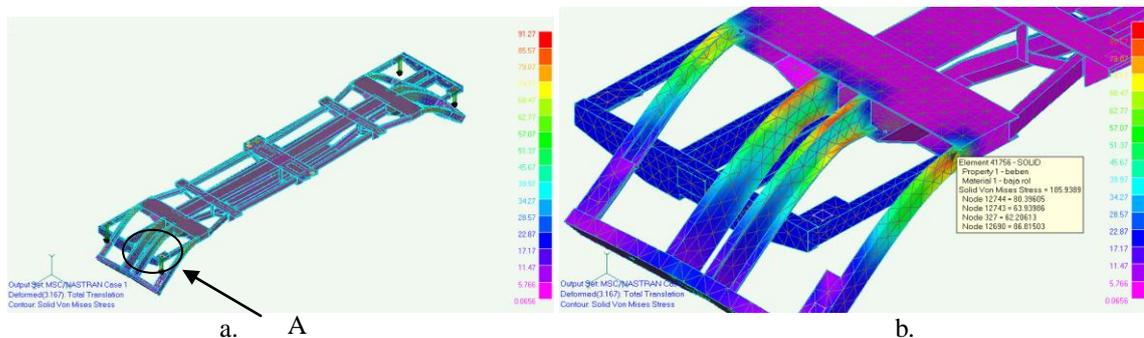
Kontur tegangan hasil pembebanan gabungan beban vertikal berat kontainer 30 ton dan beban horisontal diperlihatkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian A. Tegangan maksimum yang timbul sebesar 188 MPa. Besarnya tegangan tersebut masih dibawah tegangan luluh bahan.



Gambar 3. Model pembebanan pada *under frame*. a). kontainer 30 ton, b) kontainer 2x 15 ton



Gambar 4. Pembebanan gabungan pada *under frame*



Gambar 5. Kontur tegangan ekuivalen Von-Mises pembebanan vertikal 30ton. a). keseluruhan *under frame*, b) perbesaran pada daerah tegangan terbesar 185Mpa dititik A

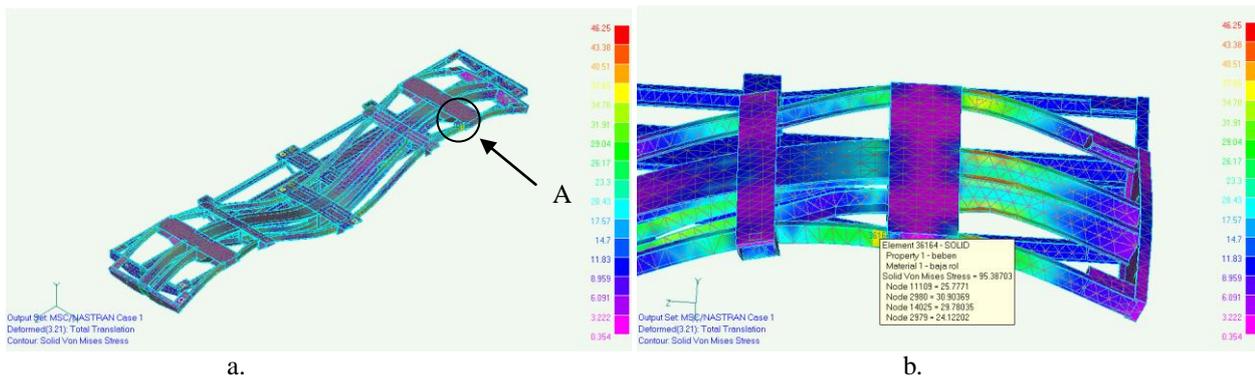
Kontur tegangan hasil pembebanan gabungan beban vertikal berat kontainer 2 x 15 ton dan beban horisontal diperlihatkan pada Gambar 8. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian A. Tegangan maksimum yang timbul sebesar 96 MPa. Besarnya tegangan tersebut masih di bawah tegangan luluh bahan.

KESIMPULAN DAN SARAN

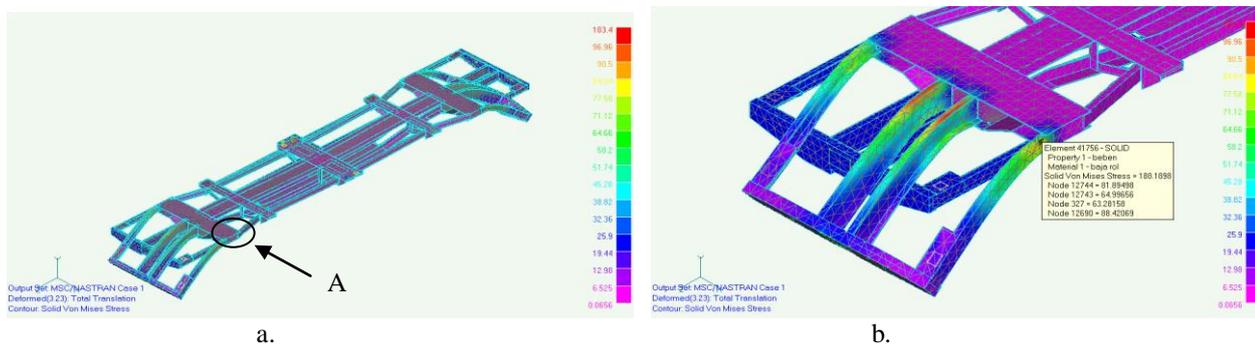
Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan terbesar pada umumnya terletak pada balok samping. Hal ini disebabkan profil balok samping

dimensinya lebih kecil di banding balok tengah. Meskipun demikian nilai tegangan tersebut masih berada di bawah tegangan luluh bahan dari material baja rol yaitu sebesar 320 N/mm². Dengan demikian struktur *under frame* kereta barang PPCW masih mampu untuk mendukung semua beban yang ada.

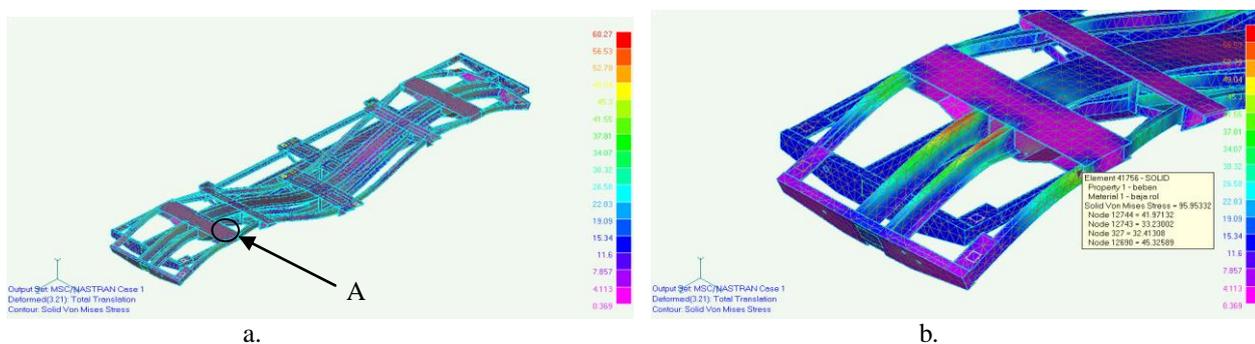
Hasil penelitian diatas perlu dikaji lebih lanjut dengan memperhatikan beban-beban dinamis. Penentuan jenis dan besaran beban pada simulasi *under frame* tersebut haruslah didefinisikan secara tepat. Guna mengetahui kevalidan model yang dibuat diperlukan pengukuran tegangan lewat pengujian.



Gambar 6. Kontur tegangan ekuivalen Von-Mises pembebanan vertikal 2x 15ton.
a). keseluruhan *under frame*, b) perbesaran pada daerah tegangan terbesar 95Mpa dititik A



Gambar 7. Kontur tegangan ekuivalen Von-Mises pembebanan gabungan : beban vertikal 30 ton dan beban horisontal.
a). keseluruhan *under frame*, b) perbesaran pada daerah kritis 188Mpa dititik A



Gambar 8. Kontur tegangan ekuivalen Von-Mises pembebanan gabungan : beban vertikal 2x 15ton dan beban horisontal.
a). keseluruhan *under frame*, b) perbesaran pada daerah kritis 96 Mpa dititik A

DAFTAR PUSTAKA

1. Daryl. Logan ; *A First Course in the Finite Element Method 2nd ed* ; PWS- KENT Publishing Company ; Boston ; 1992.
2. Joseph E. Shigley, Larry D. Mitchell ; *Perencanaan Teknik Mesin Edisi IV Jilid 1* ; Erlangga ; Jakarta ; 1991.
3. MacNeal – Schwendler Corporation ; *MSC/NASTRAN for Windows Reference Manual Version 1* ; MacNeal – Schwendler Corporation ; USA.
4. MacNeal – Schwendler Corporation ; *MSC/NASTRAN for Windows v40 Help* ; MacNeal – Schwendler Corporation ; USA.
5. R.C Hibbeler ; *Mechanics of Materials 3rd ed* ; Prentice Hall International ; New Jersey ; 1997
6. Drs. M. Subyanto, 1977 ; *Diktat Kuliah Dinamika Kendaraan Rel* ; ITB.
7. John H. Armstrong ; *The Railroad What It Is, What It Does* ; Simmons-Boardman Publishing Corporation ; Capitol Avenue Omaha ; NE 68102.
8. Wahyu hargono, 2002, *Analisa Kekuatan Rangka Sepeda Mini Yang Dimodifikasi Menjadi Sepeda Motor Dengan Penggerak Mesin SACHS Menggunakan Program MSC/Nastran.*
9. Perumka, 1997, *Spesifikasi Teknis Untuk Kereta Api Barang PPCW.*