

Analisis Kekuatan Struktur Pallet Menggunakan Metode Elemen Hingga

Tria Mariz Arief^{1)*}, Sugianto²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung,
Bandung-Indonesia
tria@me.polban.ac.id

Abstrak

Pallet sebagai suatu alat bantu untuk mempermudah proses bongkar-muat logistik. Pallet digunakan hampir dalam berbagai lingkungan transportasi logistik. Pada bahasan berikut dikhususkan dalam lingkup transportasi di dalam pesawat udara khususnya pada pesawat angkut militer. Di lingkungan militer pallet digunakan untuk transport logistik baik secara normal muat (loading) dan bongkar (unloading) maupun kondisi bongkar dengan diterjunkan dari pesawat udara. Untuk pemenuhan penggunaan tersebut dilakukan perancangan ulang (reverse engineering) struktur pallet yang dapat dimanufaktur secara lokal. Hipotesis awal menunjukkan bahwa berdasarkan kondisi pembebanan pada pallet dapat diperkirakan bahwa kondisi tegangan dan regangan maksimum akan terjadi pada posisi sudut struktur pallet yang ditransfer bebannya ke komponen plat besi penahan siku-siku dan baut. Material yang digunakan pada struktur pallet adalah Alluminium Alloy 7075-T6 dengan kekuatan tarik sebesar 503 MPa. Analisis dilakukan dengan menggunakan simulasi numerik dengan metoda elemen hingga (FEM). Proses simulasi numerik kekuatan struktur pallet difokuskan pada pembebanan statis (termasuk pengaruh factor G) dalam interval beban statis 4 ton sampai 7 ton. Analisis dilakukan pada perubahan variabel tegangan dan regangan terhadap variasi beban yang diberikan untuk mendapatkan tingkat keamanan struktur (margin safety). Pemodelan dilakukan dengan idealisasi model $\frac{1}{4}$ bagian menggunakan elemen terstruktur dengan jenis elemen hexahedral (brick) dengan jumlah 73803 elemen dan 360323 node. Hasil analisis menunjukkan tegangan ekuivalen maksimum struktur Pallet adalah 94 MPa yang terjadi di penguat sudut (angle bracket). Sedangkan pada struktur penguat lapis (sandwich structure) berbahan thick block yang mempunyai kekuatan sebesar 20 MPa adalah sebesar 0.84 MPa. Tingkat keamanan secara keseluruhan struktur dengan mempertimbangkan factor G hingga 2 adalah 5.3.

Kata kunci: Analisis struktur, pallet, logistik, reverse engineering, FEM

Abstract

Pallet as a tool is used to simplify the process of loading and unloading logistics. The scope of the use of pallets is almost used in various environments logistic transportation. In the following discussion is more specifically in the sphere of transport by aircraft, especially military transport aircraft. Pallet in the military environment is used for both normal logistics transport and unloading and unloading as well as the unloading condition parachuted from an aircraft. To fulfill such use redesign (reverse engineering) pallet structure that can be manufactured locally. The design and analysis is done to ensure the strength of the pallet structure. Initial hypothesis indicates that based on the pallet loading conditions can be estimated that the condition of maximum stress and strain will occur in the structure of the angular position pallet load transferred to the iron plate component retaining bracket and bolt. The material used in the structure of the pallet is Alluminium Alloy 7075-T6 with a tensile strength of 503 MPa. Analyses were performed using numerical simulation with finite element method (FEM). Numerical simulation process force structure focused on static loading pallet (including the effect of factor G) in the interval static load 4 tons to 7 tons. Analysis was performed on variable changes the stress and strain of the load variations to obtain security level structure (margin of safety). Modeling is done with the idealization of the $\frac{1}{4}$ part model. Modeling is carried out by elements of structured hexahedral element type (brick) by the number 73803 elements and nodes. The analysis showed maximum voltage Equivalent Pallet structure is 94 MPa which occur in amplifier angle (angle bracket). While the structure reinforcement layer (sandwich structure) made of thick block that has strength of 20 MPa is equal to 0.84 Mpa. The overall level of security structure taking into account the G factor of up to 2 is 5.3.

Keywords: Structural analysis, pallet, logistics, reverse engineering, FEM

* Penulis korespondensi, HP: (022)2013789
Email tria@me.polban.ac.id

PENDAHULUAN

Selain container sebagai alat angkut logistic, dikenal adanya pallet yang biasa digunakan untuk alat angkut logistic yang lebih fleksible. Dalam standar militer sebagai mana disebutkan pada standar MIL-STD-1791 yang kemudian menjadi Handbook yaitu MIL-HDBK-1791, beberapa pesawat angkut dilengkapi dengan system logistic ini dengan istilah pengangkut udara internal untuk pesawat sayap tetap seperti C-130 Hercules, C-141 Star lifter dan C-5 Galaxy. Walaupun demikian beberapa pesawat angkut komersial juga menggunakan standar ini [1]. Kegunaan alat ini sangat luas, dari cargo udara biasa maupun untuk diterjunkan. Negara amerika yang merupakan pembuat standar ini telah menggunakan untuk berbagai keperluan, dari angkutan persenjataan perang dan bom di Afganistan, Irak, Vietnam serta misi kemanusiaan di berbagai Negara [2]. Di Indonesia hanya pesawat C130 Hercules saja yang digunakan sebagai alat angkut, populasinya hingga saat ini mencapai 36 pesawat [3] dari total produksi pesawat tersebut sebanyak 2041 pesawat sejak dikembangkan pada tahun 1950an [4]. Pengembangan pallet sebagai bagian utama system angkutan tersebut sangatlah penting.

Analisis kegagalan logam dapat didefinisikan sebagai pemeriksaan atas komponen yang mengalami kegagalan dan keadaan keagalannya untuk dicari penyebabnya. Penyebab kegagalan dapat dikategorikan sebagai berikut [5]:

- *Misused* (salah penggunaan): komponen tidak sesuai dengan disain (merupakan penyebab kegagalan yang paling umum).
- *Assembling errors or improper maintenance* (kesalahan perakitan/perawatan), misalnya terlepasnya baut atau penggunaan pelumas yang salah.
- *Design errors* (kesalahan disain), kesalahan yang paling banyak terjadi, antara lain: ukuran dan bentuk komponen (ditentukan oleh analisis tegangan atau terbatasnya geometri). Material, berkaitan dengan komposisi kimia dan perlakuan (misal perlakuan panas) untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan. Sifat-sifat, berkaitan dengan analisis tegangan, tetapi sifat-sifat lain seperti ketahanan korosi juga dipertimbangkan.

Persentase penyebab-penyebab kegagalan hasil investigasi pada beberapa industri: *Improper material selection, fabrication defects, faulty heat treatments, mechanical design fault, unforeseen operating conditions, inadequate environment control, Improper or lack of inspection and quality control, material mix-up Improper maintenance* merupakan masalah utama sebagai penyebab kegagalan komponen pesawat terbang: desain, manufaktur, assembly, inspeksi, operasi dan maintenance [6].

Berdasarkan alasan-alasan tersebut di atas, maka perlu dilakukan analisis kekuatan struktur pada komponen pendukung pesawat Hercules yaitu Pallet yang mengalami pembebanan statis.

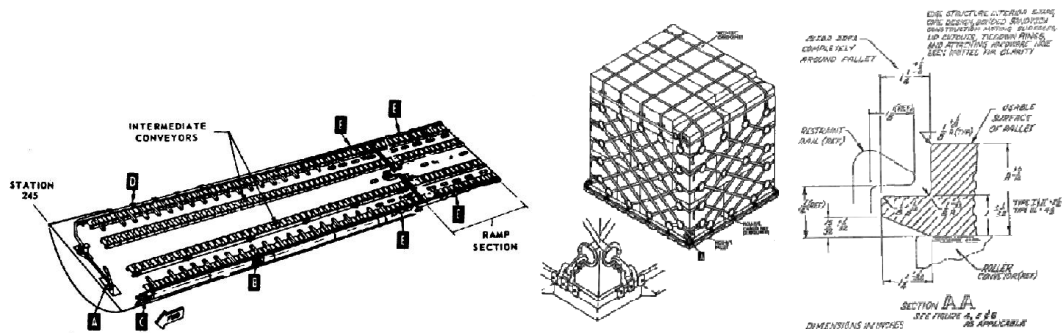
1.1. Sistem Cargo Pallet

Pallet sebagai suatu alat bantu untuk mempermudah proses bongkar-muat logistic di dalam pesawat Hercules yang mayoritas digunakan di kalangan militer, seperti tampak pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1, maka kondisi pembebanan yang diterima struktur Pallet adalah beban statis dengan pengaruh gravitasi (factor G) dari 2,5 sampai 3,0 akibat pesawat melakukan manuever.



Gambar 1 Kondisi pembebanan pada Pallet (a) yang akan dimasukkan ke dalam pesawat Hercules menggunakan transporter (b) yang akan dimasukkan ke dalam pesawat Hercules menggunakan forklift (c) yang akan diterjunkan keluar pesawat Hercules menggunakan parasut [2, 4].

Beberapa persyaratan untuk melakukan perencanaan pembuatan pallet tertuang pada standar umum MIL-HDBK-1791 dan secara khusus mengenai pallet 643L (HCU-6/E) merujuk pada MIL-P-27443E mengenai *pallet cargo aircraft* [7]. Ketentuan ukuran, bahan umum telah dipersyaratkan dengan panjang untuk HCU-6/E adalah 108 in (274 cm) x 88 in (224 cm) [1, 7].



Gambar 2 Sistem angkut, railing, pallet dan pallet profile.

1.2. Model Kekakuan Struktur

Suatu struktur mempunyai nilai kekakuan (stiffness), k yang merupakan nilai karakteristik mekanik bahan pembuatan struktur yang dapat dimodelkan sebagai suatu pegas yang menerima beban F seperti tampak pada Gambar 3.



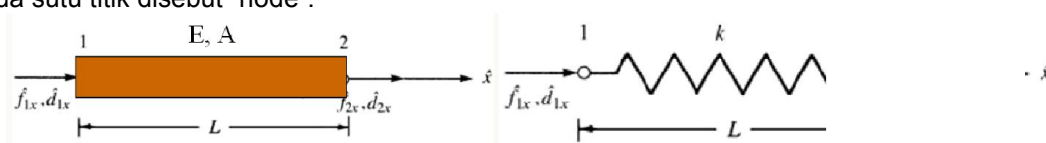
Gambar 3 Bentuk kurva kekakuan pegas akibat beban F dan yang menyebabkan terjadinya regangan pada pegas [8].

Akibat beban (force) F yang bekerja pada pegas akan menyebabkan pegas mengalami simpangan (displacement) d , yang berdasarkan hukum Hook dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = k \cdot d \quad (1)$$

1.3. Model Elemen Struktur 1D

Untuk dapat menganalisis tegangan dan regangan yang terjadi pada seluruh bagian struktur akibat kerja beban luar dilakukan proses pembagian struktur menjadi bagian-bagian kecil disebut "element" yang berhingga dimensi dan jumlahnya (elemen hingga). Pertemuan dua atau lebih elemen pada satu titik disebut "node".



Gambar 4 Elemen hingga pada struktur dimodel sebagai pegas yang menerima beban pada node 1 dan 2 [9].

Berdasarkan Gambar 4, akibat beban f yang bekerja pada struktur pada posisi node 1 dan 2 yang dinotasikan f_{1x} dan f_{2x} maka struktur akan mengalami simpangan d pada node 1 dan 2 yang dinotasikan d_{1x} dan d_{2x} . Jika elemen struktur mempunyai karakteristik material hasil pengujian mekanik yaitu modulus Young konstan E dan luas penampang konstan A , panjang elemen L serta simpangan u bervariasi terhadap posisi x , $u(x)$, maka dapat didefinisikan kekakuan elemen struktur k , regangan $\epsilon(x)$ dan tegangan $\sigma(x)$ sebagai berikut:

$$k = \frac{E \cdot A}{L} \quad (2)$$

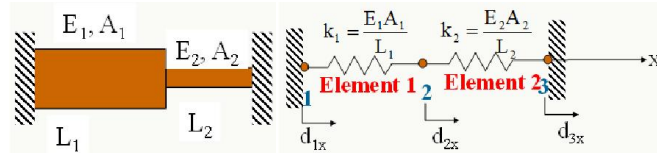
$$\epsilon(x) = \frac{du}{dx} \quad (3)$$

$$\sigma(x) = E \cdot \epsilon(x) \quad (4)$$

Berdasarkan hukum Hook (persamaan 3) dapat dituliskan ulang dalam bentuk matrik sebagai:

$$\begin{bmatrix} f_{1x} \\ f_{2x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Analisis kekuatan struktur yang lebih dari satu elemen, seperti tampak pada Gambar 5 yang merupakan model dua struktur yang memiliki geometri yang berbeda dan material yang sama:



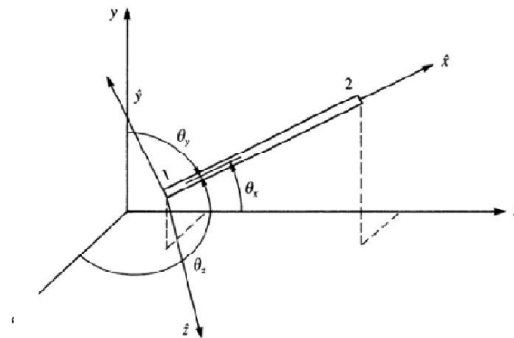
Gambar 5 Elemen hingga pada dua struktur dimodel sebagai dua pegas yang menerima beban pada node 1, 2 dan 3.

Berdasarkan Gambar 5, Hukum Hook untuk dua struktur yang menerima beban dapat dituliskan ulang sebagai:

$$\begin{bmatrix} f_{1x} \\ f_{2x} \\ f_{3x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \\ d_{3x} \end{bmatrix} \quad (6)$$

1.4. Model Elemen Struktur 3D

Elemen struktur yang bervariasi terhadap sudut orientasi di dalam ruang 3 dimensi (3D) akan mempunyai elemen struktur yang mengalami beban tarik (tension) dan beban tekan (compression) seperti tampak pada Gambar 6. Analisis elemen struktur yang bervariasi terhadap sudut orientasi di dalam ruang sama seperti halnya dalam 2 dimensi hanya disisipkan sumbu z pada Gambar 6.



Gambar 6 Elemen hingga struktur yang bervariasi pada sudut orientasi di dalam ruang [10].

Berdasarkan Gambar 6, maka hukum Hook untuk elemen struktur yang bervariasi terhadap sudut orientasi dalam system koordinat local dapat ditulis ulang sebagai:

$$\begin{bmatrix} \hat{f}_{1x} \\ \hat{f}_{1y} \\ \hat{f}_{1z} \\ \hat{f}_{2x} \\ \hat{f}_{2y} \\ \hat{f}_{2z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 & -k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k & 0 & 0 & k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{1y} \\ \hat{d}_{1z} \\ \hat{d}_{2x} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{d}_{2z} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dengan mendefinisikan parameter sudut orientasi yaitu yang dikenal dengan nama "kosinus arah" yang dituliskan sebagai:

$$\begin{aligned}
l &= \cos \theta_x \\
m &= \cos \theta_y \\
n &= \cos \theta_z
\end{aligned}
\tag{8}$$

Maka dapat dituliskan matrik transformasi yang menghubungkan simpangan dan gaya dalam sistem koordinat local dengan simpangan dan gaya dalam sistem koordinat global sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{1y} \\ \hat{d}_{1z} \\ \hat{d}_{2x} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{d}_{2z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 & -k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k & 0 & 0 & k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ d_{1z} \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ d_{2z} \end{bmatrix}
\tag{9}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{f}_{1x} \\ \hat{f}_{1y} \\ \hat{f}_{1z} \\ \hat{f}_{2x} \\ \hat{f}_{2y} \\ \hat{f}_{2z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 & -k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k & 0 & 0 & k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ f_{1z} \\ f_{2x} \\ f_{2y} \\ f_{2z} \end{bmatrix}
\tag{10}$$

Matrik kekakuan dapat dituliskan dalam bentuk matrik terkait parameter kosinus arah sebagai berikut:

$$k = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} l^2 & lm & ln & -l^2 & -lm & -ln \\ lm & m^2 & mn & lm & -m^2 & -mn \\ ln & mn & n^2 & ln & mn & -n^2 \\ -l^2 & -lm & ln & l^2 & lm & ln \\ -lm & -m^2 & -mn & lm & m^2 & mn \\ -ln & -mn & -n^2 & ln & mn & n^2 \end{bmatrix}
\tag{11}$$

2. METODE

Kondisi pallet pada saat menerima beban statis, seperti tampak pada Gambar 7. Berdasarkan kondisi pembebanan pada pallet, maka dapat diperkirakan bahwa kondisi tegangan dan regangan akan terjadi pada posisi sudut struktur Pallet yang ditransfer bebannya ke komponen plat besi penahan siku-siku dan baut.

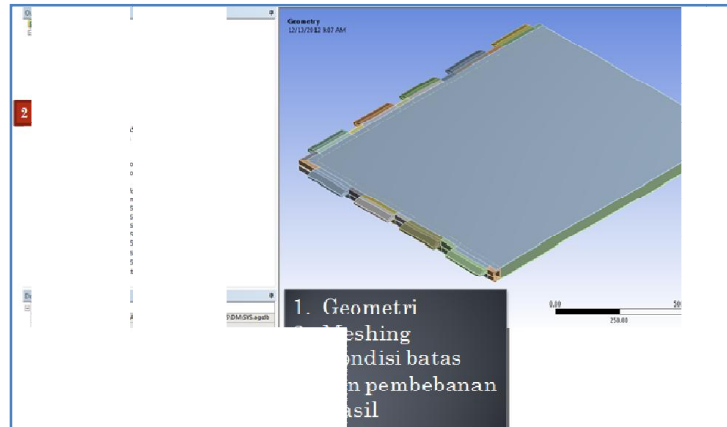


Gambar 7 Kondisi pembebanan pada pallet yang akan dimasukkan ke dalam pesawat hercules.

Proses simulasi numerik kekuatan struktur pallet akibat pembebanan statis (termasuk pengaruh factor G) dalam interval beban statis 4 ton sampai 7 ton. Fokus pembahasan analisis ada pada perubahan variabel tegangan dan regangan terhadap variasi beban yang diberikan untuk mendapatkan tingkat keamanan struktur (margin safety).

2.1. Tahapan Metode Elemen Hingga

Tahapan penyelesaian masalah untuk mendapatkan distribusi tegangan dan regangan pada seluruh bagian pallet akibat beban statis menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method, FEM). Model pallet dianggap simetri secara bentuk maupun pembebanan sehingga pemodelan dibuat $\frac{1}{4}$ bagian, seperti tampak pada Gambar 8 [11].



Gambar 8 Tahapan untuk mendapatkan tegangan dan regangan pada pallet menggunakan metode elemen hingga.

2.2. Geometri Pallet

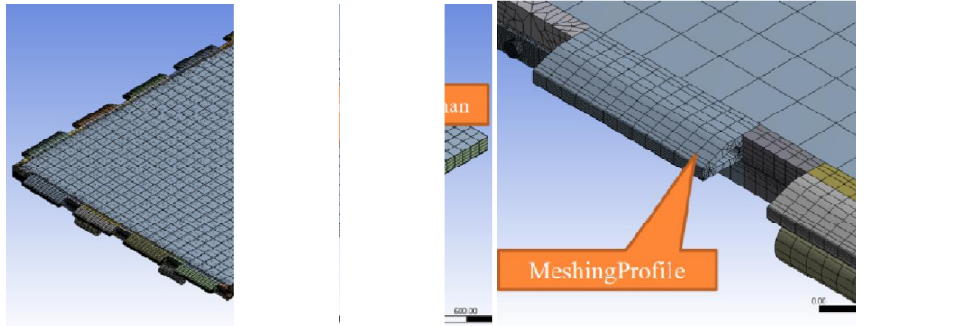
Sebelum dilakukan simulasi numerik, maka geometri pallet dibangun terlebih dahulu secara detail menggunakan software Ansys, seperti tampak pada Gambar 9.



Gambar 9 Geometri nama bagian-bagian pallet.

2.3. Meshing Pallet

Geometri pallet yang telah dibentuk pada Gambar 9, dilakukan proses meshing untuk mendapatkan jumlah elemen dan node yang akan dicari fenomena mekaniknya, seperti tampak pada Gambar 10. Elemen yang digunakan adalah elemen brick (bentuk balok) pada seluruh bagian pallet.



Gambar 10 Meshing pada seluruh geometri pallet.

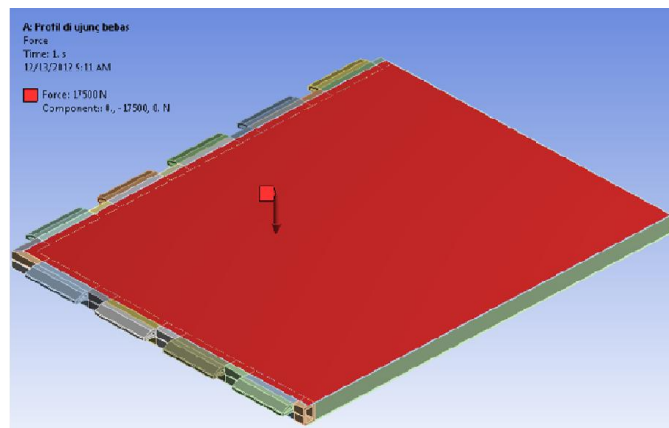
2.4. Kondisi Batas: Pembebanan dan Material Struktur Pallet

Kondisi batas pada proses simulasi didasarkan pada kondisi-kondisi yang diasumsikan sebagai berikut:

- Beban merata pada permukaan top-sheet. Model dianggap simetri secara bentuk maupun pembebanan sehingga pemodelan dibuat $\frac{1}{4}$ bagian (tampak pada Gambar 11)
- Hubungan antar komponen di-bonding (contact bonding) kecuali pada: ujung short-profile, long-profile dan angle-bracket dan profile

Sifat mekanik material diasumsikan linier dan homogeny. Material yang digunakan untuk membangun konstruksi pallet terdiri pada bagian-bagian Pallet yaitu:

- Material core Pallet (thick block) adalah plywood (Tabel 1)
- Material rangka dan penutup Pallet (long-short profil dan top-bottom sheet) adalah Aluminium 7075-T6 serta material plat penguat pada siku-siku Pallet dan beserta baut-nya (angle bracket and bolt) diasumsikan menggunakan Aluminium 7075-T6 (Tabel 1)



Gambar 11. Model pembebanan pada $\frac{1}{4}$ bagian Pallet menjadi $\frac{7}{4}$ ton.

Tabel 1 Sifat mekanik Material aluminium 7075-T6 dan plywood

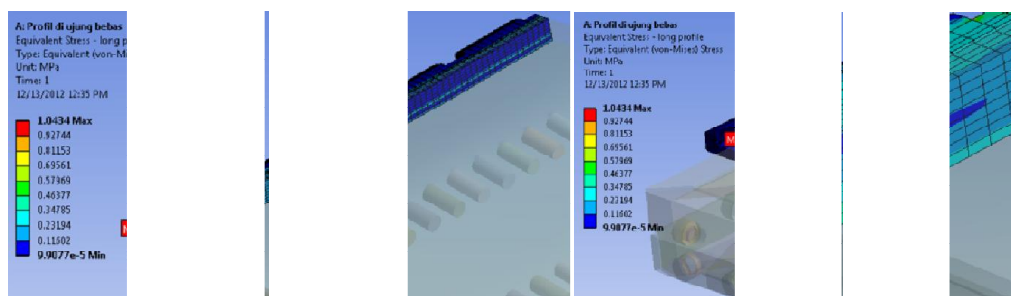
| Properties of Outline Row 5: Plywood | | | Properties of Outline Row 3: AL-7075 T6 | | | |
|--------------------------------------|---|--------------------|---|----------|---|-----------------|
| | A | B | | A | C | |
| 1 | Property | Value | Unit | Property | Unit | |
| 2 | Density | 790 | kg m ⁻³ | 2 | Density | m ⁻³ |
| 3 | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | | | 3 | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | |
| 6 | Isotropic Elasticity | | | 6 | Isotropic Elasticity | |
| 7 | Derive from | Young's Modulus... | | 7 | Derive from | |
| 8 | Young's Modulus | 1.034E+10 | Pa | 8 | Young's Modulus | |
| 9 | Poisson's Ratio | 0.3 | | 9 | Poisson's Ratio | |
| 10 | Bulk Modulus | 8.6157E+09 | Pa | 10 | Bulk Modulus | |
| 11 | Shear Modulus | 3.9759E+09 | Pa | 11 | Shear Modulus | |
| 12 | Tensile Yield Strength | 2.76E+07 | Pa | 12 | Alternating Stress R | |
| 13 | Compressive Yield Strength | 2.07E+07 | Pa | 13 | Interpolation | |
| 14 | Tensile Ultimate Strength | 2.76E+07 | Pa | 14 | Scale | |
| 15 | Compressive Ultimate Strength | 2.07E+07 | Pa | 15 | Offset | |
| | | | | 16 | Tensile Yield Strength | |
| | | | | 17 | Compressive Yield Strength | |
| | | | | 18 | Tensile Ultimate Strength | |
| | | | | 19 | Compressive Ultimate Strength | |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

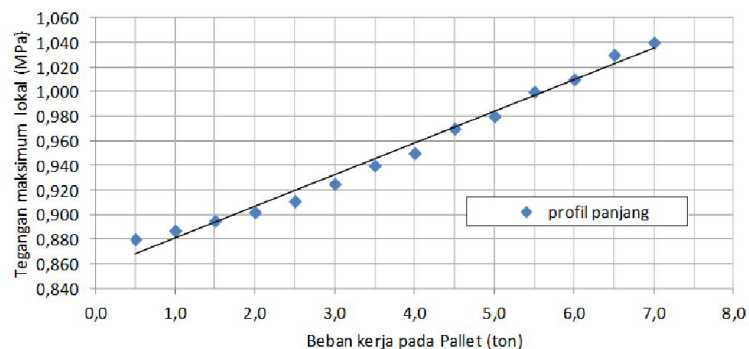
Proses simulasi numerik yang dilakukan pada beban mulai 2 ton sampai 7 ton dengan kenaikan kondisi pembebanan 0,5 ton, sehingga simulasi terdiri dari 11 kondisi variasi pembebanan. Hasil dari proses simulasi yang ditampilkan distribusi tegangan dan regangan (deformasi) hanya pada kondisi pembebanan maksimum 7 ton. Tegangan yang ditampilkan hanya tegangan maksimum local yaitu tegangan terbesar pada bagian-bagian struktur pallet yaitu kerangka profil panjang dan profil pendek (long dan short profil), plat atas dan plat (*top and bottom sheet*), plat siku (*angle bracket*), baut (*bolt*) dan struktur kayu (*plywood*).

3.1. Tegangan Maksimum pada Struktur Pallet

Tegangan maksimum local hasil simulasi yang ditampilkan pada pembebanan 7 ton pada profil panjang, seperti tampak pada Gambar 12. Berdasarkan Gambar 12, tampak terlihat nilai tegangan maksimum local pada profil panjang $\sigma = 1,04$ MPa, terjadi pada posisi di ujung profil panjang pada daerah siku kerangka Pallet. Sedangkan Kurva tegangan maksimum local hasil simulasi yang ditampilkan pada pembebanan 0,5 ton sampai 7 ton pada profil panjang, seperti tampak pada Gambar 12.



Gambar 12 Tegangan maksimum local pada profil panjang (atas) dan posisi nilai maksimum (bawah).



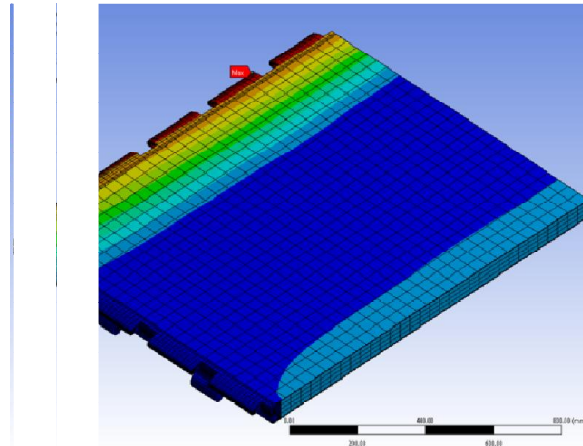
Gambar 13 Kurva tegangan maksimum local pada profil panjang.

Berdasarkan Gambar 13, tampak terlihat pada interval beban $0,5 \leq \text{beban} \leq 7$ ton mempunyai nilai tegangan maksimum local pada interval $0,88 \leq \text{tegangan} \leq 1,04$ MPa pada profil panjang terjadi pada posisi di ujung profil panjang pada daerah siku kerangka Pallet.

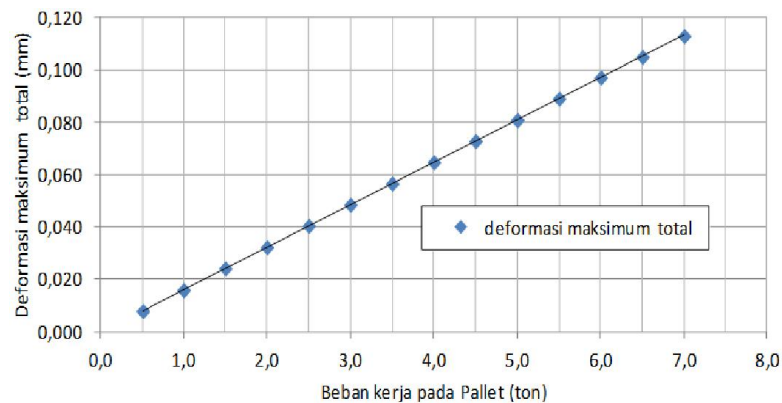
3.2. Deformasi Maksimum pada Struktur Pallet

Deformasi maksimum hasil simulasi yang ditampilkan pada pembebanan 7 ton terjadi pada profil panjang, seperti tampak pada Gambar 14. Berdasarkan Gambar 14, tampak terlihat nilai tegangan maksimum local pada kayu bagian bawah $d = 0,113$ mm, terjadi pada bagian di atas ujung bebas profil panjang. Kurva deformasi maksimum total hasil simulasi yang ditampilkan pada pembebanan 0,5 ton sampai 7 ton terjadi pada profil panjang, seperti tampak pada Gambar 15.

Berdasarkan Gambar 15, tampak terlihat pada interval beban $0,5 \leq \text{beban} \leq 7$ ton mempunyai nilai tegangan maksimum local pada interval $0,008 \leq \text{tegangan} \leq 0,113$ mm pada seluruh struktur Pallet terjadi pada profil panjang.



Gambar 14 Deformasi maksimum terjadi pada ujung bebas profil panjang



Gambar 15 Kurva deformasi maksimum total struktur pallet terjadi pada profil panjang

4. SIMPULAN

Kesimpulan hasil simulasi numeric dibandingkan dengan kekuatan luluh material pembentuk struktur pallet akibat beban dalam rentang 2 ton sampai 7 ton adalah sebagai berikut.

- Tegangan ekuivalen maksimum struktur pallet adalah 94 Mpa terjadi di penguat sudut (angle bracket). Dengan didasarkan material Alumunium 7075-T6 dengan kekuatan luluh 503 MPa, maka masih mempunyai safety factor sebesar 5.3.
- Tegangan ekuivalen maksimum pada kayu adalah 0.84 MPa, maka dengan didasarkan kekuatan luluh kayu maksimum sebesar 20 MPa, maka masih mempunyai safety factor 23.
- Deformasi maksimum struktur pallet adalah 0,11 mm terjadi pada ujung bebas bagian atas profil panjang.

DAFTARPUSTAKA

- [1] Anonim, *Designing for Internal Aerial Delivery in Fixed Wing Aircraft*, ed: MIL-HDBK-1791 (USAF), 1997.
- [2] Anonim, *Airdrop*. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Airdrop>. (diakses tanggal 1 juni 2013).
- [3] Anonim, *Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara*. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Tentara_Nasional_Indonesia_Angkatan_Udara (diakses tanggal 1 juni 2013).
- [4] ASN. *Lockheed C-130 Hercules specs*. Available: <http://aviation-safety.net/database/type/type-general.php?type=335-C>. (diakses tanggal 1 juni 2013).
- [5] R. J. B. Shipley, W.T., *Failure Analysis and Prevention* vol. Volume 11: : ASM International, 2002.
- [6] S. K. Bhaumik, M. Sujata, and M. A. Venkataswamy, *Fatigue failure of aircraft components, Engineering Failure Analysis*, vol. 15, pp. 675-694, 9// 2008.
- [7] "Military Specification Pallets, Cargo Aircraft.," vol. MIL-P-27443E, ed: USAF, 1967.

- [8] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method*: Cengage Learning, 2010.
- [9] J. Fish and T. Belytschko, *A First Course in Finite Elements*, Wiley, 2007.
- [10] K. J. Bathe, *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, 2006.
- [11] H.-H. Lee, *Ansys Workbench 14*, SDC Publication, 2012.