

Analisis Kekuatan Statis Mekanisme Pelepas Bom Helikopter Mi-35P

Static Strength Analysis of Bomb Rack Release Mechanism Structures of Mi-35P Helicopter

Andrian Permana^{1*}, Djarot Wahyu Santoso²

^{1*} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Janabadra

² Program Studi Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto

*Email Korespondensi : andrian@janabadra.ac.id

Email : djarot_wahyu84@yahoo.com

ABSTRAK

Mekanisme pelepas bom pada helikopter Mi-35P merupakan salah satu struktur kritis yang harus mampu menahan beban statis dari *bomb rack* atau *launcher* serta menjamin proses pelepasan berlangsung aman. Penelitian ini menganalisis kekuatan statis beberapa komponen kunci *bomb rack release mechanism* Helikopter Mi-35P menggunakan perangkat lunak CATIA V5 dalam *generative structural analysis*. Material yang digunakan adalah steel F1260-T110/LN668 dengan tegangan luluh 902,52 MPa dan tegangan tarik maksimum 1304,73 MPa. Pembebanan statis sebesar 2500 N diaplikasikan pada masing-masing *hook* sebagai representasi beban launcher 5000 N. Analisis tegangan Von Mises dilakukan pada tiga komponen utama, yaitu *long linkage*, *short linkage*, dan *hook*. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum berturut-turut sebesar 1150 MPa, 569 MPa, dan 56 MPa dengan nilai *margin of safety* (MS) 0,134; 2,293; dan 22,298. Nilai MS yang tetap positif pada ketiga komponen mengindikasikan bahwa struktur masih aman terhadap beban operasi, dengan *long linkage* sebagai bagian paling kritis yang memerlukan perhatian khusus pada proses desain dan kemungkinan *reinforcement* di tahap pengembangan berikutnya.

Kata kunci: helikopter Mi-35P, mekanisme pelepas bom, *margin of safety*

ABSTRACT

The bomb rack release mechanism of the Mi-35P helicopter is a critical structural subsystem that must withstand static loads from the bomb rack or launcher while ensuring a safe and reliable store release. This study investigated the static strength of selected components of the Mi-35P bomb rack release mechanism using CATIA V5 generative structural analysis. The mechanism was modeled using steel F1260-T110/LN668 with a yield strength of 902.52 MPa and an ultimate tensile strength of 1304.73 MPa. A static load of 2500 N was applied to each hook to represent the total launcher load of 5000 N. Von Mises stress analysis was carried out for three main components: the long linkage, short linkage, and hook. The results showed maximum stresses of 1150 MPa, 569 MPa, and 56 MPa, with corresponding margins of safety of 0.134, 2.293, and 22.298. Although all components satisfied the positive margin of safety requirement, the long linkage was identified as the most critical part, indicating that geometric refinement or local reinforcement should be considered in future design improvements.

Keyword : Mi-35P helicopter, bomb release mechanism, *margin of safety*

PENDAHULUAN

Helikopter Mi-35P merupakan salah satu helikopter serang multiguna yang digunakan untuk misi tempur udara ke darat, dengan kemampuan membawa dan melepaskan berbagai jenis senjata. Salah satu subsistem krusial yang memengaruhi keberhasilan misi dan keselamatan penerbangan adalah mekanisme pelepas bom (*bomb release mechanism*). Sistem ini berfungsi untuk menahan beban statis selama penerbangan, serta melepaskan muatan secara aman dan terkontrol ketika diperintahkan. Kegagalan sistem ini dapat menimbulkan ketidakseimbangan beban atau gangguan aerodinamis yang berpotensi menyebabkan kerusakan struktural bahkan kecelakaan fatal. Oleh karena itu, analisis kekuatan statis menjadi langkah penting dalam memastikan integritas dan keandalan sistem ini di bawah kondisi beban operasional.

Pendekatan *Finite Element Method* (FEM) telah banyak digunakan untuk mengevaluasi kekuatan struktur dengan kompleksitas geometri tinggi dan kondisi batas yang rumit. Pada penelitian mengenai sistem serupa, Thangadurai melakukan analisis desain dan kekuatan struktur mekanisme pelepas bom pesawat tempur menggunakan FEA. Studinya mengevaluasi komponen utama *Bomb Rack Unit* (BRU) dengan pembebanan aerodinamis dan inersial sesuai standar militer (MIL-STD-2088B), menunjukkan bahwa desain yang

dioptimasi dapat menurunkan deformasi hingga $8,8 \times 10^{-3}$ m dan mempertahankan faktor keamanan di atas 1,15 [1]. Hasil studi tersebut menjadi acuan penting dalam pengembangan sistem pelepas bom helikopter yang memiliki beban serupa namun karakteristik dinamis berbeda.

Penelitian oleh Dendy et al. mengenai analisis kekuatan struktur landing skid helikopter Synergy N9 juga menunjukkan relevansi penerapan metode elemen hingga dalam analisis beban vertikal. Menggunakan perangkat lunak MSC Patran/Nastran, penelitian tersebut menemukan bahwa variasi massa dan kecepatan turun berpengaruh signifikan terhadap tegangan maksimum dan deformasi [2]. Pendekatan serupa dapat diterapkan dalam menilai kekuatan komponen mekanisme pelepas bom yang menerima gaya akibat beban statis dan inersial selama operasi pelepasan.

Selain itu, pendekatan numerik berbasis ANSYS Workbench juga terbukti efektif untuk mengevaluasi kekuatan struktur pada beban statis. Ariyansah et al. melakukan analisis kekuatan rangka sepeda statis pembangkit listrik dengan variasi pembebanan vertikal. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa nilai deformasi total meningkat secara linier terhadap penambahan beban, dan area berwarna merah pada hasil kontur menandakan titik kritis tegangan maksimum [3]. Prinsip yang sama dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah konsentrasi tegangan pada lengan pengait atau sambungan sistem pelepas bom.

Penelitian Sofyan et al. menggunakan ANSYS APDL 15.0 untuk menganalisis kekuatan rangka mesin pengering bawang juga mendemonstrasikan efektivitas metode numerik berbasis *static structural simulation*. Dengan pendekatan teori Tresca dan energi distorsi, diperoleh bahwa tegangan maksimum simulasi jauh di bawah batas luluh material, sehingga struktur dinyatakan aman [4]. Hal ini menegaskan bahwa simulasi berbasis FEA mampu memprediksi dengan baik perilaku mekanik struktur terhadap variasi beban statis.

Analisis kekuatan statis juga diaplikasikan dalam bidang rekayasa pesawat oleh Han et al. menggunakan metode *Isogeometric Boundary Element Method* (IGABEM) untuk menentukan *stress intensity factor* pada struktur V-notch [5]. Pendekatan ini memperbaiki akurasi pada daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi. Sementara itu, Foster et al. mengembangkan sistem analisis tegangan interaktif 3D berbasis BEM untuk komponen pesawat, yang mampu memberikan hasil cepat dan akurat untuk struktur berdimensi kecil seperti sambungan dan *bracket* [6].

Kajian lain yang relevan dilakukan oleh Lee et al. mengenai kekuatan ultimate *steel bracket*, serta Doubrava yang meneliti pengaruh kekakuan pengikat pada struktur pesawat melalui analisis toleransi kerusakan. Kedua penelitian tersebut menegaskan pentingnya perhatian terhadap geometri sambungan dan karakteristik *fastener* dalam mendistribusikan tegangan secara merata, faktor yang juga berperan besar pada sistem pelepas bom helikopter yang menggunakan sambungan mekanis [7], [8].

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pendekatan berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) dan *Boundary Element Method* (BEM) merupakan metode yang efektif untuk memprediksi distribusi tegangan dan deformasi pada sistem dengan beban kompleks. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan statis mekanisme pelepas bom helikopter Mi-35P dengan menggunakan pendekatan numerik berbasis FEM, guna menentukan distribusi tegangan maksimum, deformasi total, dan faktor keamanan struktur. Hasilnya diharapkan menjadi dasar pengembangan desain sistem pelepas bom yang lebih ringan, kuat, dan aman terhadap beban operasional.

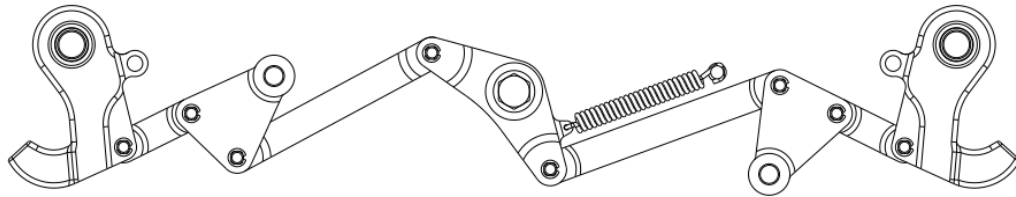
METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kekuatan statis mekanisme pelepas bom pada helikopter Mi-35P menggunakan pendekatan *Finite Element Analysis* (FEA) berbasis perangkat lunak CATIA V5. Metode ini dipilih karena mampu merepresentasikan kondisi beban statis yang kompleks, sekaligus mengidentifikasi daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi dan deformasi maksimum pada struktur [1], [4]. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari pemodelan geometri 3D, penentuan material, penerapan kondisi batas, pembebanan statis, hingga analisis hasil dalam bentuk tegangan ekuivalen (Von Mises) dan deformasi total.

2. Pemodelan Geometri

Pemodelan 3D mekanisme pelepas bom dilakukan menggunakan CATIA V5 dengan mengacu pada konfigurasi sistem *Bomb Rack Unit* (BRU) yang terdiri atas *central rocker*, *connecting rods*, *hooks*, *sway braces*, dan *outer dome* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme pelepas bom Helikopter Mi-35P

Setiap komponen dimodelkan sebagai elemen padat (*solid body*) dengan penyederhanaan pada detail non-struktural untuk mengoptimalkan jumlah elemen mesh tanpa mengurangi akurasi analisis. Komponen seperti pin, baut, dan pengunci diwakili oleh *cylindrical constraints* untuk menjaga kestabilan sistem.

3. Material dan Sifat Mekanik

Material yang digunakan pada mekanisme pelepas bom yaitu *steel* F1260-T110/LN 668. Sifat mekanik material disajikan pada Tabel 1 berikut:

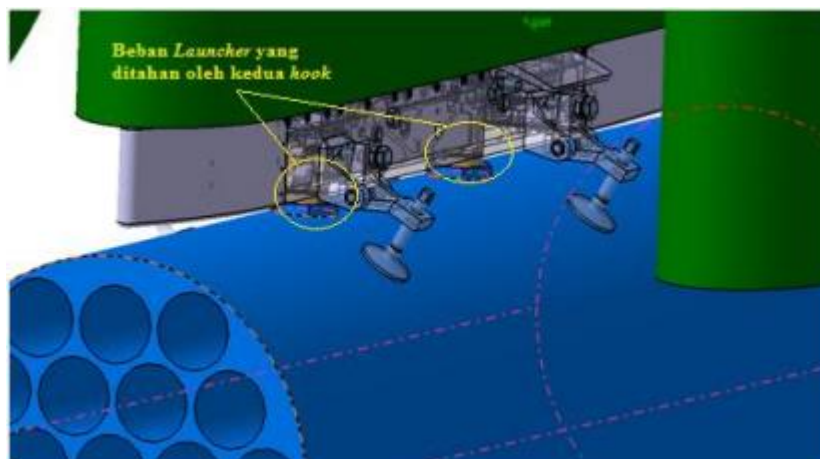
Tabel 1. Sifat mekanik material *steel* F1260-T110/LN668

<i>Yield Tensile Stress of Material</i> (σ_y)	<i>Ultimate Tensile Stress of Material</i> (σ_u)	<i>Elasticity Modulus (E)</i>
902,52 MPa	1304,73 MPa	167103,54 MPa

Sifat-sifat ini digunakan untuk mendefinisikan *material properties* guna memastikan hasil analisis memiliki dasar material yang sesuai dengan aplikasi industri kedirgantaraan.

4. Kondisi Batas dan Pembebanan

Simulasi pembebanan dilakukan dalam kondisi beban statis terpusat (*static structural loading*) untuk merepresentasikan gaya yang diterima pengait bom selama menahan muatan sebelum pelepasan. Pembebanan maksimum pada *hook* bagian depan dan belakang masing-masing sebesar 2500 N, yang diaplikasikan secara vertikal ke arah bawah dengan posisi beban *launcher* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peletakkan beban statis pada struktur mekanisme

Kondisi batas ditetapkan dengan mengunci gerakan translasi dan rotasi pada bagian *mounting holes* dan *frame connection* untuk mensimulasikan kondisi terikat pada struktur utama helikopter. Pendekatan ini juga digunakan oleh Dendy et al. dalam menganalisis beban impact pada landing skid helikopter Synergy N9, yang menunjukkan pentingnya penentuan tumpuan yang realistis terhadap hasil distribusi tegangan [2].

5. Analisis Tegangan

Analisis dilakukan menggunakan *static structural* pada CATIA V5 dengan teori Von Mises Stress untuk menentukan tegangan ekuivalen. Nilai hasil simulasi dibandingkan dengan tegangan luluh material untuk menghitung *Margin of Safety* (MS) berdasarkan persamaan 1 berikut:

$$MS = \frac{\sigma_{all}}{\sigma_{app}} - 1 \quad (1)$$

dengan:

MS = *Margin of Safety*

σ_{all} = Tegangan luluh material (MPa),

σ_{app} = Tegangan Von Mises hasil simulasi (MPa).

Kriteria desain dinyatakan aman apabila nilai $MS \geq 0$ sebagaimana ditetapkan dalam standar militer MIL-STD-8591.

HASIL DAN ANALISIS

Analisis struktur *bomb rack release mechanism* menggunakan *software* CATIA V5 dilakukan dalam *workbench generative structural analysis*, dalam kerja praktek ini hanya terbatas pada analisis statis beberapa *part* penyusun *bomb rack release mechanism* yang menjadi *representative* struktur secara keseluruhan. Pada analisis ini bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *bomb rack release mechanism* saat mendapatkan pembebanan dari *bomb rack* atau *launcher*. Dengan diketahuinya tegangan maksimum yang terjadi, maka dapat ditentukan nilai *margin of safety* untuk struktur tersebut. Suatu struktur dapat dikatakan aman jika nilai *margin of safety* struktur tersebut lebih dari nol (bernilai positif). Langkah-langkah pemodelan dan analisis menggunakan *software* CATIA:

- a. Membuat model *part*.
- b. Mendefinisian material.
- c. Membuat model elemen hingga (*meshing*).
- d. Mendefinisikan tumpuan dan beban.
- e. Analisis.

Berikut hasil analisis struktur *bomb rack release mechanism* dengan menggunakan *software* CATIA:

1. Long Linkage

Beban yang diaplikasikan terhadap *long linkage* didapat dari beban yang terjadi pada *hook* (2500 N) sehingga menghasilkan gaya/beban yang terjadi pada *long linkage* yaitu sebesar 1519 N pada arah vertikal (tegak lurus sumbu aksial) dan 2015 N pada sumbu horizontal (searah sumbu aksial) yang didistribusikan pada bidang yang berada pada salah satu ujung *linkage*, sedangkan ujung lainnya diberikan tumpuan jepit.



Gambar 3. Hasil analisis tegangan pada long linkage

Dari hasil analisis di atas ditunjukkan daerah yang mempunyai tegangan maksimum (daerah yang berwarna merah) dan tegangan minimum berdasarkan degradasi warnanya.

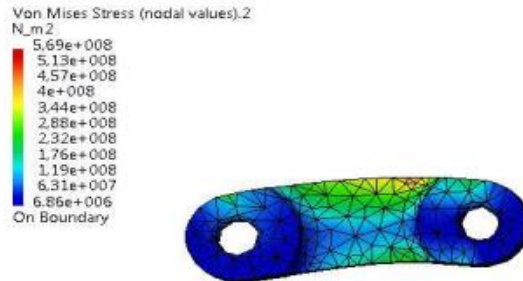
Tegangan maksimum = 1150 MPa

Tegangan minimum = 18,6 MPa

Margin of Safety (MS) struktur *long linkage* akibat pembebanan *bomb rack* atau *launcher* sebesar: $MS = 0,134 > 0 (+)$. Dengan demikian, *long linkage* tersebut aman ketika mendapatkan pembebanan *bomb rack* atau *launcher*.

2. *Short Linkage*

Beban yang diaplikasikan terhadap *short linkage* didapat dari beban yang terjadi pada *hook* (2500 N) sehingga menghasilkan gaya/beban yang terjadi pada *short linkage* yaitu sebesar 1737 N pada arah vertikal (tegak lurus sumbu aksial) dan 1798 N pada sumbu horizontal (searah sumbu aksial) yang didistribusikan pada bidang yang berada pada salah satu ujung *linkage*, sedangkan ujung lainnya diberikan tumpuan jepit.



Gambar 4. Hasil analisis tegangan pada *short linkage*

Dari hasil analisis di atas ditunjukkan daerah yang mempunyai tegangan maksimum (daerah yang berwarna merah) dan tegangan minimum berdasarkan degradasi warnanya.

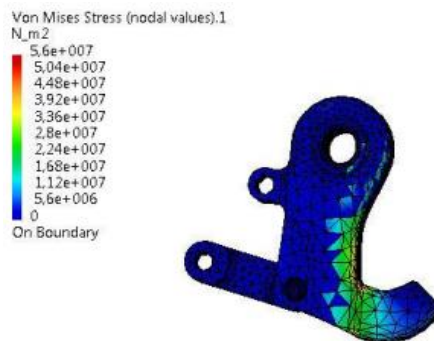
Tegangan maksimum = 569 MPa

Tegangan minimum = 6,86 MPa

Margin of Safety (MS) struktur *short linkage* akibat pembebanan *bomb rack* atau *launcher* sebesar: $MS = 2,293 > 0 (+)$. Dengan demikian, *short linkage* tersebut aman ketika mendapatkan pembebanan *bomb rack* atau *launcher*.

3. *Hook*

Beban yang diaplikasikan terhadap *hook* didapat dari beban *launcher* (5000 N), beban tersebut ditahan oleh kedua *hook* maka didapat beban yang ditahan oleh masing-masing *hook* adalah setengah dari beban *launcher* atau sebesar 2500 N pada arah vertikal yang didistribusikan pada bidang yang menerima langsung pembebanan.



Gambar 5. Hasil analisis tegangan pada *hook*

Dari hasil analisis di atas ditunjukkan daerah yang mempunyai tegangan maksimum (daerah yang berwarna merah) dan tegangan minimum berdasarkan degradasi warnanya.

Tegangan maksimum = 56 MPa

Tegangan minimum = 5,6 MPa

Margin of Safety (MS) struktur *hook* akibat pembebanan *bomb rack* atau *launcher* sebesar: $MS = 22,298 > 0 (+)$. Dengan demikian, *hook* tersebut aman ketika mendapatkan pembebanan *bomb rack* atau *launcher*.

Dalam analisis tegangan ini, penulis mengasumsikan semua *part* penyusun struktur *bomb rack release mechanism* yang dianalisis menggunakan *software* CATIA sebagai batang *cantilever* yang dijepit di salah satu ujungnya. Daerah *critical stress* maupun nilai maksimum *stress* yang ditunjukkan pada gambar hasil analisis menggunakan *software* CATIA tersebut bukan merupakan maksimum *stress* sebenarnya, karena analisis yang diambil hanya *part structural analysis* dan sebatas area yang menerima langsung pembebanan, sehingga hasil tegangan tersebut tidak dapat menjadi acuan tegangan maksimum pada *bomb rack release mechanism* secara global.

Dari hasil *Margin of Safety* (MS) yang didapat dari beberapa kasus, dari struktur *bomb rack release mechanism* lebih besar dari nol (bernilai positif) yang berarti struktur tersebut aman ketika mendapatkan beban *Bomb Rack* atau *Launcher*.

KESIMPULAN

Dalam analisis kekuatan statis struktur *Bomb Rack Release Mechanism* Helikopter Mi-35P dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tegangan kritis terjadi pada struktur *long linkage* karena penampang yang terkena beban lebih tipis dibanding dengan kasus lainnya. Pada kasus ini inersia penampang bernilai kecil, yang menyebabkan *displacement* struktur akibat pembebanan *bomb rack* atau *launcher* lebih besar dan tegangan akibat momen menjadi lebih besar pula. Ini disebabkan karena pada kasus ini beban diletakkan pada panjang lengan terpanjang dari struktur sehingga menimbulkan momen yang besar yang berakibat timbulnya tegangan yang besar pula. Maka kasus struktur *long linkage* inilah yang merupakan kasus yang paling kritis dengan *critical stress* sebesar 1150 MPa.
2. *Margin of safety* struktur *long linkage* (bagian kritis) akibat pembebanan *bomb rack* atau *launcher* adalah sebesar 0,134 (+), yang berarti struktur tersebut aman dalam menerima beban yang bekerja padanya.
3. Ketika didapati kasus bahwa struktur masih belum aman atau memiliki MS negatif, solusi yang diberikan yaitu disesuaikan dengan penyebabnya. Jika kegagalan tersebut disebabkan oleh pembebanan yang berlebih dan sudah dalam tahap *production support* (tahap pelayanan purna jual (*customer service support*)), maka solusinya bisa dengan memberikan penguat (*reinforcement*) yang dilakukan dengan penambahan ketebalan; atau dengan *redesign* jika masih dalam tahap desain *support* dan *support* customisasi (tahap *production support*).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada *Department of Sustained Product Design, Division of Design Center*, PT Dirgantara Indonesia atas dukungan data teknis, fasilitas, serta arahan profesional yang diberikan selama proses penelitian. Dukungan tersebut sangat membantu dalam pemodelan geometri, penentuan data pembebanan, dan validasi hasil analisis struktur mekanisme pelepas bom Helikopter Mi-35P.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. G. Singh Thangadurai, "Design and Structural Analysis of Fighter Aircraft's Bomb Release Mechanism subjected to Aerodynamic and Inertial Loads using FEA," 2020. [Online]. Available: www.sciencepubco.com/index.php/IJET
- [2] M. A. Dendy and H. Abu Bakar, "Analisis Kekuatan Struktur Landing Skid Akibat Impact Saat Landing dengan Variasi Beban pada Helikopter Synergy N9," 2015.
- [3] R. Ariyansah and A. Gamayel, "Analisis Kekuatan Struktur Rangka Pembangkit Listrik Sepeda Statis Menggunakan Perangkat Lunak Ansys Workbench."
- [4] A. Sofyan, J. Glusevic, A. J. Zulfikar, and B. Umroh, "R. Ariyansah and A. Gamayel, "Analisis Kekuatan Struktur Rangka Mesin Pengereng Bawang Menggunakan Perangkat Lunak Ansys APDL 15.0," *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, vol. 3, no. 1, p. 20, Jul. 2019, doi: 10.31289/jmemme.v3i1.2417.
- [5] Z. Han, C. Cheng, S. Yao, and Z. Niu, "Determination of stress intensity factors of V-notch structures by characteristic analysis coupled with isogeometric boundary element method," *Eng Fract Mech*, vol. 222, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.engfracmech.2019.106717.

-
- [6] T. M. Foster, M. S. Mohamed, J. Trevelyan, G. Coates, S. H. Spence, and S. K. Walker, "Interactive three-dimensional boundary element stress analysis of components in aircraft structures," *Eng Anal Bound Elem*, vol. 56, pp. 190–200, 2015, doi: 10.1016/j.enganabound.2015.01.017.
- [7] S. E. Lee, A. K. Thayamballi, and J. K. Paik, "Ultimate strength of steel brackets in ship structures," *Ocean Engineering*, vol. 101, pp. 182–200, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.030.
- [8] R. Doubrava, "Effect of mechanical properties of fasteners on stress state and fatigue behaviour of aircraft structures as determined by damage tolerance analyses," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2015, pp. 135–142. doi: 10.1016/j.proeng.2015.02.018.