JTT JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN
POLITEKNIK NEGERI INDRAMAYU

DOI 10.31884/jtt.v11i1.680
p-ISSN 2477-3506
e-ISSN 2549-1938

Volume 11, Nomor 1, Maret 2025

RANCANG BANGUN ALAT KHUSUS UNTUK MEMBUKA *NUT* YANG TERKOROSI

Citra Asti Rosalia[1*], Irfan Budiansyah[1], Khaerani Tiara Putri[1], Adi Kurnia Muktabar[2], Moch. Luthfi[1]

[1]Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia, 40559
[2]PT Kilang Pertamina Internasional, Kota Jakarta Pusat, Indonesia, 10110
*Correspondence: citra.asti@polban.ac.id

Abstrak

Pesawat merupakan moda transportasi dengan kompleksitas tinggi karena dirakit dari berbagai komponen untuk memastikan keselamatan dan kehandalan optimal. Salah satu komponen kecil yang banyak digunakan adalah nut, yang umumnya memiliki sifat anti-korosi karena berbahan stainless steel tipe 304. Namun, nut tetap bisa mengalami korosi, terutama di area galley, landing gear, lavatory, dan konstruksi mesin. Pada penelitian ini untuk mendukung perawatan pesawat, dikembangkan alat khusus untuk membuka nut yang terkorosi. Desain alat ini dibuat menggunakan CAD SolidWorks dan diproduksi melalui proses bubut, gerinda, milling, serta pengelasan. Alat ini bekerja dengan menjepit nut dan memberikan gaya impak hingga nut patah, menggunakan pisau tajam untuk menghancurkan nut tanpa merusak komponen pesawat di sekitarnya. Pengujian dilakukan dengan uji torsi untuk mengukur kapasitas gaya putar pada berbagai ukuran nut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini mampu membuka nut yang terkorosi secara efektif, aman, dan efisien, sehingga dapat mempermudah pekerjaan perawatan pesawat dan mengurangi risiko kerusakan komponen lainnya.

Kata Kunci: Desain; Manufaktur; Korosi; Nut; Alat

Abstract

Aircraft are highly complex transportation modes, assembled from various components to ensure optimal safety and reliability. One of the small yet essential components frequently used in aircraft is the nut, which generally exhibits corrosion resistance due to its stainless steel 304 material. However, corrosion can still occur, particularly in areas such as the galley, landing gear, lavatory, and engine construction. This study aims to develop a specialized tool to facilitate aircraft maintenance by effectively removing corroded nuts. The tool was designed using CAD SolidWorks and manufactured through turning, grinding, milling, and welding processes. It operates by clamping the nut and applying impact force until the nut breaks, utilizing a sharp blade to destroy the nut without damaging surrounding aircraft components. Torque testing was conducted to measure the rotational force capacity for various nut sizes. The test results demonstrate that the developed tool can efficiently, safely, and effectively remove corroded nuts, thereby simplifying aircraft maintenance and reducing the risk of damage to other components.

Keywords: *Design; Manufacturing; Corrossion; Nut; Tools*

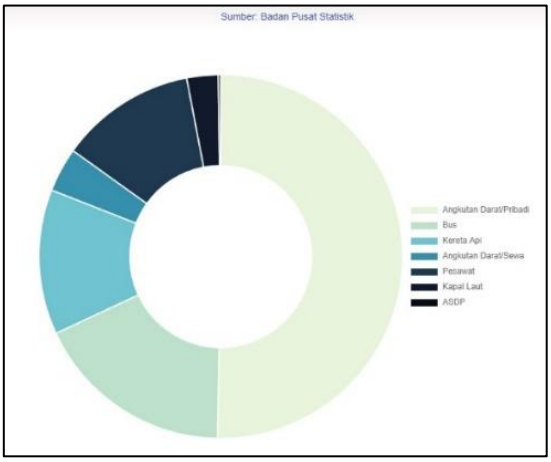
Received: 30 July 2024
Revised: 04 February 2025
Accepted: 07 February 2025
Published: 26 March 2025

DOI: 10.31884/jtt.v11i1.680

Copyright: © 2025 by JTT

1. PENDAHULUAN

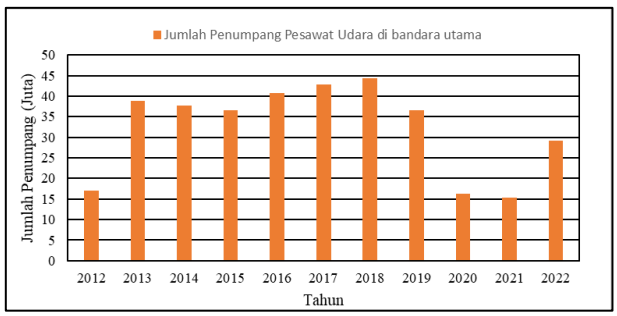
Pesawat terbang merupakan salah satu moda transportasi yang sangat efektif dan efisien, terutama di Indonesia yang merupakan negara kepulauan. Hal ini dikarenakan pesawat terbang dapat mengatasi keterbatasan transportasi darat dan laut dalam menghubungkan pulau-pulau di Indonesia melalui jalur udara. Menurut Badan Pusat Statistik (2013), jumlah penumpang angkutan udara domestik dan internasional mengalami peningkatan pada Oktober 2023. Penumpang penerbangan domestik tercatat sebanyak 5,28 juta orang pada Oktober 2023, tumbuh 5,38% (month-to-month/mtm) dari September 2023 yang mencapai 5,01 juta penumpang.



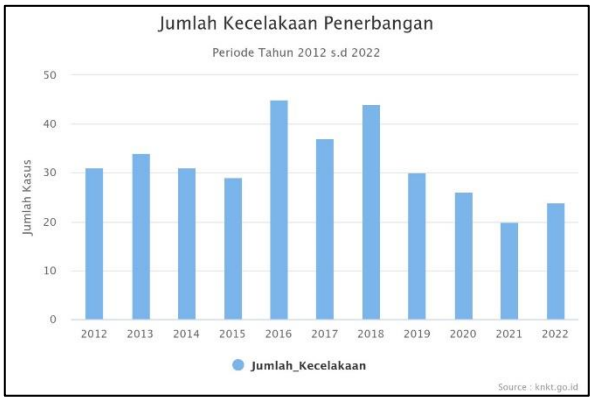
Gambar 1. Moda Transportasi yang digunakan pada 2022.

Jenis moda transportasi yang paling sering digunakan oleh masyarakat ditunjukkan pada Gambar 1 dimana Sekitar 50% masyarakat memilih untuk menggunakan transportasi darat, bus 17%, kereta api 12,9%, pesawat terbang 12,1%, dan kapal laut 2,8%. Pesawat terbang dan kereta api memiliki persentase yang hampir sama. Sementara statistik dalam Gambar 2 menunjukkan bahwa secara tren terjadi peningkatan jumlah penumpang dimana jumlah tertinggi penumpang pesawat udara di bandara utama terjadi pada tahun 2018 yang mencapai angka hampir 45 juta penumpang. Sementara pada periode 2020 s.d. 2022 terjadi Covid-19 sehingga jumlah penumpang mengalami penurunan dibandingkan lima tahun sebelumnya.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2003) menyatakan terjadinya peningkatan frekuensi penggunaan pesawat terbang sehingga menambah peluang terjadinya kecelakaan. Dalam Gambar 3 ditunjukkan bahwa sesuai data KNKT selama periode 2012 s.d. 2022 telah terjadi 351 insiden kecelakaan penerbangan.

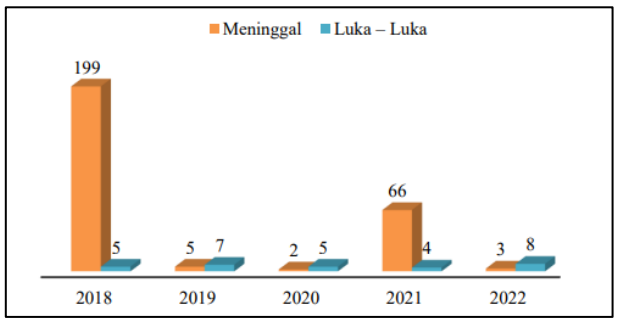


Gambar 2. Data jumlah penumpang pesawat pada Bandara Utama periode 2012 s.d. 2022.



Gambar 3. Jumlah Kecelakaan Penerbangan periode 2012 s.d. 2022.

Telah dilakukan investigasi terhadap 140 insiden kecelakaan penerbangan yang terjadi selama periode 2018-2022 sebagaimana ditunjukkan data dalam Gambar 4 Dimana tahun 2022, jumlah kecelakaan yang diinvestigasi oleh Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) sebanyak 20 kejadian. Sementara , jumlah korban jiwa terbanyak akibat kecelakaan penerbangan terjadi pada tahun 2018, yaitu sebanyak 204 orang, dengan 199 orang di antaranya meninggal dunia.

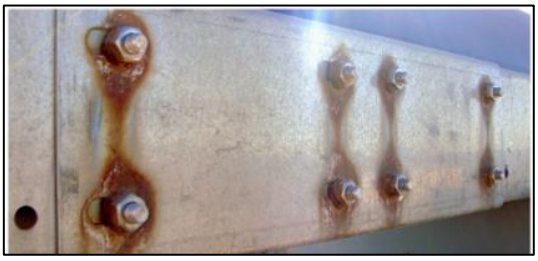


Gambar 4. Korban Jiwa Kecelakaan Penerbangan periode 2018 s.d. 2022.

Dalam kajian terkait transportasi udara, penting untuk memahami tantangan operasional dan keselamatan, terutama terkait komponen struktural pesawat. Studi Kobayashi dan Shockey (2006) menyoroti analisis kegagalan pada roda pesawat, yang menunjukkan bagaimana keausan dan korosi dapat menyebabkan malfungsi serius pada komponen vital pesawat. Temuan ini relevan dengan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia (2023), yang mencatat peningkatan jumlah penumpang pesawat di bandara utama di Indonesia, mengindikasikan pentingnya pengawasan dan pemeliharaan keselamatan yang ketat dalam industri ini. Selain itu, inspeksi dan perbaikan berkala untuk mencegah kegagalan struktural telah ditekankan oleh Federal Aviation Administration (2002) dalam kasus analisis kecelakaan Boeing 747-200, serta oleh Jansen (2013) dalam laporan tentang inspeksi kerangka pesawat Boeing 737 untuk mengatasi kerusakan pada fuselage akibat kelelahan material. Dari perspektif lokal, Komite Nasional Keselamatan Transportasi (2003) juga telah merilis laporan statistik kecelakaan transportasi di Indonesia yang menekankan pentingnya evaluasi teknis yang terus-menerus untuk meminimalkan risiko operasional. Pesawat terbang memiliki beberapa komponen penting, seperti badan pesawat, sayap, dan mesin dimana untuk menyambungkan bagian-bagian tersebut dibutuhkan sistem pengikat yang sangat kompleks. Beberapa sistem pengikat yang digunakan dalam pesawat terbuat dari

material logam. Setiap material logam memiliki potensi kerusakan yang diakibatkan oleh korosi.

Korosi adalah kerusakan material logam akibat reaksi kimia dengan lingkungannya. Korosi dapat menyebabkan kerusakan serius pada struktur dan komponen pesawat, terutama yang terbuat dari logam maupun paduan aluminium. Sistem pengikat yang umum digunakan adalah jenis *screw* dan/atau *bolt* & *nut.* Pada beberapa kasus, saat proses perawatan untuk melepas komponen tertentu, *nut* mengalami korosi sehingga menghambat proses perawatan dan dapat berpotensi menyebabkan kerusakan lebih lanjut. Contoh korosi pada *nut* pesawat sebagaimana ditunjukkan Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Korosi pada *nut* pesawat.

Untuk mengatasi *nut* baja tahan karat yang terkunci atau tidak dapat dibuka karena korosi, maka alat khusus perlu dikembangkan untuk membuka dan/atau melepas *nut* yang terkorosi tersebut. Penelitian ini melibatkan proses perancangan, manufaktur, dan uji coba alat tersebut. Proses desain meliputi perancangan sesuai dengan DR&O, kemudian menggambar alat khusus pembukan *nut* yang terkorosi tersebut dengan menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design (CAD) SolidWorks*, dilanjutkan dengan proses pembuatan (fabrikasi) alat. Terakhir, alat tersebut diuji coba untuk menghancurkan *nut* yang terkorosi.

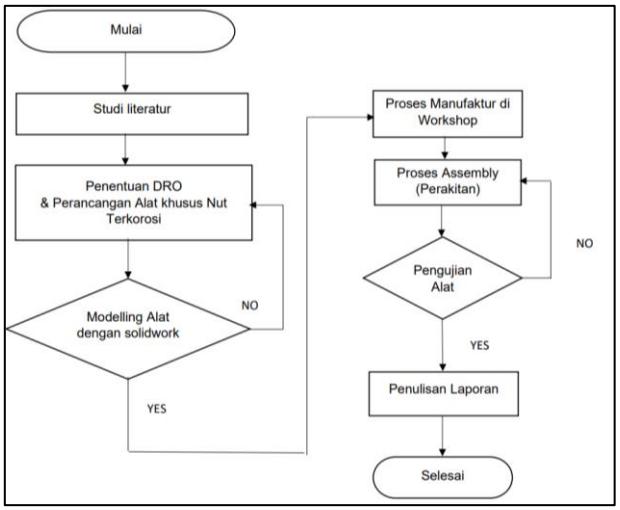
Korosi pada mur (nut) dalam struktur pesawat merupakan salah satu tantangan signifikan yang dapat memengaruhi keselamatan dan umur layanan komponen. Lee dkk. (2007) menjelaskan bahwa retak akibat korosi tegangan *(stress corrosion cracking)* pada baut dan mur pesawat disebabkan oleh kombinasi tegangan mekanis dan lingkungan korosif, yang sering kali mempercepat kegagalan material. Penelitian Chen dkk. (2021) memfokuskan pada analisis kegagalan fraktur mur berbahan baja 30CrMnSiA, di mana eksposur jangka panjang terhadap lingkungan korosif berkontribusi pada degradasi material dan kerusakan prematur. Strategi mitigasi korosi telah banyak dieksplorasi, termasuk penerapan pelapisan pelindung dan teknik pemrosesan material yang lebih tahan terhadap korosi. Penelitian oleh Agarwala (2011) berfokus pada penghilangan korosi pada *nut* dengan menggunakan metode pengelupasan dan intergranular. Selain itu, pentingnya inspeksi rutin untuk mendeteksi dan menangani potensi korosi sejak dini ditekankan oleh Knisley Welding (2021). Dengan pendekatan holistik yang mencakup desain material yang optimal, perlindungan lingkungan, dan pemeliharaan proaktif, risiko kegagalan mur akibat korosi dapat diminimalkan secara signifikan.Penelitian mengenai cara mengatasi *nut* berkarat yang sulit dihilangkan telah banyak dilakukan. Salah satu penelitian telah dilakukan dengan mengoptimalkan arus listrik dan frekuensi pemanas induksi untuk memanaskan *nut stainless steel* yang tidak bisa dibuka atau diulir. Iryani (2023) melakukan penelitian tentang menghilangkan korosi menggunakan metode kumparan heliks dengan metode

numerik. Namun pada praktiknya, diperlukan alat khusus untuk membuka *nut* yang terkorosi agar pelaksanan perawatan pesawat dapat berjalan secara efisien dan optimal.

Serta belum ada penelitian sebelumnya yang berfokus pada desain dan pengembangan alat khusus untuk membuka *nut* yang terkorosi dengan menggunakan pengujian destruktif pada pesawat terbang. Sehingga dilakukan penelitian untuk pembuatan Alat ini dengan tujuan memiliki banyak keunggulan seperti kuat, praktis, efisien, terjangkau, dan siap pakai untuk digunakan pada aktual.

2. METODE

Untuk mengembangkan alat khusus dengan akurasi tinggi dan harga yang terjangkau, desain serta proses fabrikasi harus dilakukan dengan baik. Diagram alir proses pengembangan peralatan khusus yang terjangkau yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Pembuatan Alat.

Sebelum menentukan persyaratan dan tujuan desain atau *Design, Requirements and Objectives* (DR&O) dari alat khusus ini, dilakukan studi literatur untuk mengetahui karakteristik dan kekuatan mekanik material *nut* yang akan digunakan spesimen uji coba. *Nut* sendiri merupakan komponen yang memiliki ulir internal yang disekrup di atas baut untuk memberikan aksi penjepitan yang menahan semua komponen dalam sambungan baut dengan erat. Pada pesawat udara sendiri menggunakan ukuran *nut* yang berbeda beda, seperti pada *galley* menggunakan *nut* dengan ukuran M8, pada *landing gear* menggunakan *nut* dengan ukuran M12, pada *lavatory* menggunakan *nut* dengan ukuran M8, pada sambungan sayap menggunakan *nut* dengan ukuran M6, dan pada konstruksi mesin menggunakan *nut* dengan ukuran M10. Dalam penelitian ini telah ditentukan variasi *Nut* yang akan digunakan sebagai spesimen uji coba alat tersebut.

Untuk melakukan proses perancangan perlu diketahui kapasitas torsi serta gaya impak pada setiap ukuran *nut* tersebut dengan cara perhitungan gaya impak berikut:

$$T = r \; x \; F \qquad (1)$$

Dimana nilai r merupakan nilai jari-jari baut M16 (baut pendorong) yaitu sebesar 0.8 cm, dan sebelum mencari torsi dari masing-masing ukuran *nut*, kita harus mencari nilai F terlebih dahulu dengan rumus sebagai berikut,

$$F \geq 1{,}2 \; x \; T_{min} \; x \; A \qquad (2)$$

Dimana nilai *Tmin* merupakan nilai *shear strength stainless steel* 304 yaitu sebesar 597 Mpa, dan karena nilai A berbeda-beda tergantung ukuran nut yang akan dihancurkan, maka perlu untuk mencari nilai A menggunakana rumus sebagai berikut,

$$A = h \; x \; b \qquad (3)$$

Selain itu diperlukan juga perhitungan Energi impak dengan rumus sebagai berikut

$$E = \frac{1}{2} x \; M \; x \; V^2 \qquad (4)$$

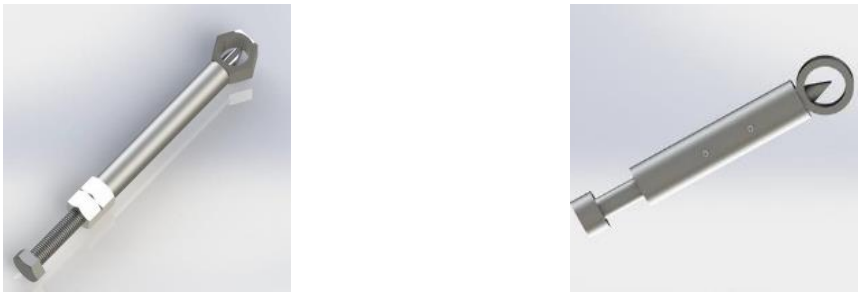
Hasil perhitungan gaya kapasitas torsi dan energi impak sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 tersebut, maka alat yang dibuat harus memiliki minimal torsi 220,65 Nm dan menghasilkan gaya impak yang memiliki kekuatan lebih 337,5 J agar alat tersebut dapat berfungsi secara maksimal untuk membongkar berbagai jenis *nut* tersebut.

Tabel 1. Kapasitas Torsi dan Gaya Impak *Nut* dengan ukuran M6-M14.

Ukuran Nominal	Kapasitas Torsi		Gaya Impak	
Nut	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
M6	26,6	Nm		
M8	93,13	Nm		
M10	160,47	Nm	337,5	Joule
M12	200,59	Nm		
M14	220,65	Nm		

Tahapan selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan identifikasi dan penyusunan sebagaimana dijabarkan dalam Tabel 2.

Sesuai dengan DR&O yang telah ditentukan, dalam penelitian ini dilakukan desain dan manufaktur alat dengan dua desain yang berbeda sesuai ditunjukkan dalam Tabel 3. Setelah DR&O ditentukan, selanjutnya dilakukan proses desain menggunakan CAD dengan hasil sebagaimana ditunjukkan Gambar 7 (a) & (b), Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11. Dimensi dari alat tersebut telah mempertimbangkan ukuran nut serta persyaratan yang ditentukan dalam DR&O.



(a) (b)

Gambar 7. (a) Model 3 Dimensi Desain 1; (b) Model 3 Dimensi Desain 2.

Tabel 2. Hasil identifikasi dan penyusunan DR&O.

Kategori	Aspek Persyaratan Desain
	Fungsional
Wajib	Body, penahan pisau, dan pisau harus cukup kuat untuk menahan gaya torsi yang diberikan oleh putaran ulir dan impak
Wajib	Pisau, minimal berdiameter 10mm dan harus dikeraskan dengan kekerasan tidak kurang dari 34 HRC
Wajib	Arah beban tegak lurus terhadap *nut* yang korosi
Wajib	Torsi dengan kapasitas minimal 220,65 N
Wajib	Impak dengan kapasitas minimal 330 J
Wajib	Pemegang pisau harus berulir untuk metode torsi dan tidak berulir untuk metode impak
	Bahan
Wajib	Pemegang dan Pisau harus menggunakan material baja ST 41 dan K110 untuk desain 1. Sedangkan ST 60 dan VCN 150 untuk desain 2
Wajib	Tempat penahan terbuat dari baja ST 41 dan ST 60
Wajib	Pisau dengan diameter 14 mm dan 20 mm haus dikeraskan dengan kekerasan tidak kurang dari 34 HRC
	Keamanan
Wajib	Mudah dan aman digunakan
Wajib	Struktur dan konstruksi yang kuat
Wajib	Kaku untuk menahan gaya yang diberikan oleh pukulan bola hidrolik
	Manufaktur
Wajib	Proses fabrikasi dapat dilakukan dengan menggunakan mesin dan peralatan standar
Wajib	Ergonomi
Wajib	Nyaman saat beroperasi
	Ekonomi
Wajib	Menggunakan bahan dan komponen yang tersedia di pasaran (terdapat vendor)
	Tujuan
Wajib	Objek *nut* yang menjadi tujuan alat ini adalah *nut* yang telah memiliki 37ingkat korosi yang sangat parah.

Tabel 3. Perbandingan Desain 1 dan Desain 2.

Parameter	Desain 1	Desain 2
Objek	Dibuat untuk 3 ukuran *nut* kecil yang akan dibelah, mulai dari ukuran M6 hingga M10.	Dibuat untuk 3 ukuran *nut* besar yang akn dibelah, mulai dari ukuran M10 hingga M14.
Prinsip Kerja	Ulir membutuhkan torsi	Pahat membutuhkan palu
Akses Pengoperasian	Bisa digunakan pada akses sempit	Membutuhkan akses yang luas untuk pengoperasian alat.

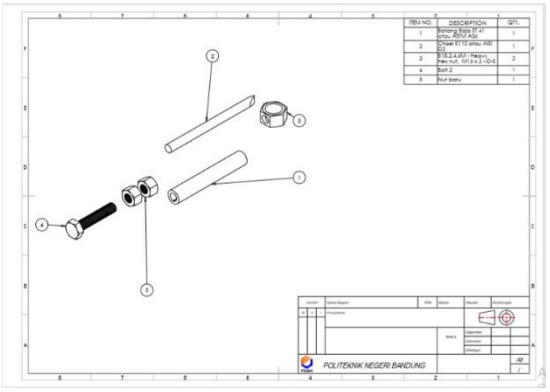
Material yang digunakan untuk kedua desain tersebut memiliki perbedaan tipe sesuai dengan ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Material Desain 1 dan Desain 2.

Parameter	Desain 1	Desain 2
Body Cover	Baja ST 41	Baja ST 60
Pisau/*chisel*	Baja K110	Baja VCN

Material dasar yang digunakan untuk Desain 1 adalah jenis Baja ST 41 untuk komponen Utama dan Baja K110 untuk bagian pisau atau *chisel*.

Baja ST 41 adalah sejenis logam dengan kandungan karbon *medium*. Logam ini terdiri dari campuran *ferrite* dan *pearlite* dengan kandungan yang sebanding dengan baja S 40 C (standar JIS G4051). Komposisi paduan baja ST 41 meliputi sekitar 0,37-0,43% Karbon, 0,5-0,35% Silikon, dan 0,60-0,90% Mangan. Baja K110 atau juga disebut baja D2 adalah bagian dari kategori baja perkakas yang disebut baja karbon tinggi, kromium tinggi serta kekerasan 64 Hrc.

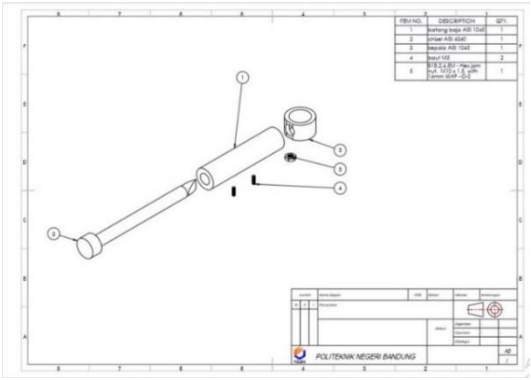


Gambar 8. *Exploded View* Desain 1.

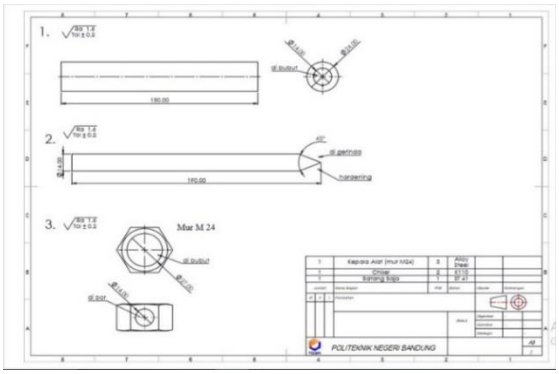
Material dasar yang digunakan untuk Desain 2 adalah jenis Baja ST60 untuk komponen Utama (*Body*) dan Baja VCN untuk bagian pisau atau *chisel*. Baja ST 60 secara umum adalah jenis baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon antara 0,3% hingga 0,59% dalam komposisi besinya. Baja ini memiliki titik didih sekitar 1550°C dan titik lebur sekitar 2900°C. Baja ST 60 juga dikenal sebagai baja yang keras dan sering digunakan dalam aplikasi seperti tangki, perkapalan, jembatan, dan mesin-mesin industri.

Baja VCN adalah jenis baja paduan rendah dengan kode AISI 4340 yang telah mengalami proses *pre-hardening*, sehingga menghasilkan baja VCN 150 yang memiliki kekerasan homogen, kekuatan tinggi, dan sifat hardenabilitas yang baik. Baja VCN mengandung kromium (Cr) sebesar 0,6% dan termasuk dalam kategori baja paduan yang tahan terhadap panas.

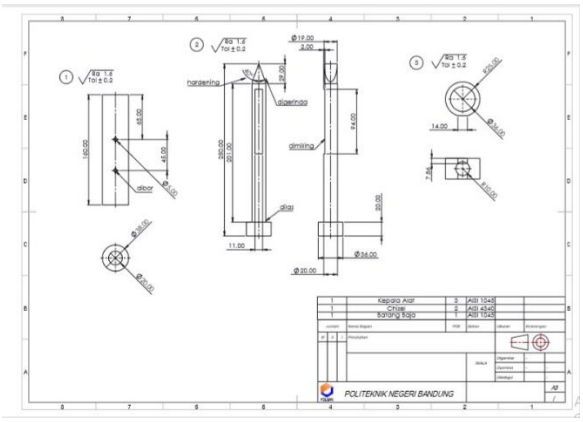
Baja ini memiliki kombinasi ketangguhan dan kekuatan yang tinggi, terutama dalam kondisi panas, sehingga sering digunakan untuk aplikasi seperti poros engkol, gear, dan lain sebagainya. Selain kromium (Cr) dengan kandungan 0,6%, baja ini juga mengandung paduan lainnya seperti karbon (C) sebesar 0,36%, mangan (Mn) sebesar 0,6%, silikon (Si) sebesar 0,15%, fosforus (P) sebesar 1,6%, dan molibdenum (Mo) sebesar 0,15%. Baja VCN memiliki kekerasan maksimum sebesar 255 HB.



Gambar 9. *Exploded View* Desain 2.



Gambar 10. Gambar Teknik Desain 1.



Gambar 11. Gambar Teknik Desain 2.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan gambar teknik yang telah dirancang, termasuk *Bill of Quantity* (BOQ) yang telah ditentukan, maka dilakukan fabrikasi alat melalui tahapan-tahapan fabrikasi diantaranya:

1. Proses pemotongan dan pengikisan benda kerja menggunakan alat Gerinda.
2. Proses pengeboran untuk menghasilkan lubang pada benda kerja dengan menggunakan Alat Bor dengan mata bor berukuran 14 mm dan 30 mm.
3. Proses pemakanan benda kerja menggunakan mesin *miling* untuk menghasilkan bentuk benda kerja yang rata pada sisi permukaan datar *Milling.*

4. Proses pemakanan benda kerja menggunakan mesin bubut untuk menghasilkan bentuk dan ukuran sesuai desain.
5. Proses pengelasan benda kerja menggunakan metode las SMAW untuk menyambung masing-masing bagian agar terbentuk alat sesuai desain.
6. Proses pengerasan (*hardening*) benda kerja, melalui metode perlakuan panas menggunakan oven untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang diinginkan pada baja (benda kerja) tersebut. Proses perlakuan panas ini dilakukan pada suhu hingga 900˚ selama kurang lebih 30 menit, yang dilanjutkan proses pendinginan (*quenching*) dengan mencelupkan benda kerja tersebut ke media oli.

Dari proses fabrikasi tersebut dihasilkan alat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12.

(a) (b)

Gambar 12. (a) Hasil Manufaktur Desain 1; (b) Hasil Manufaktur Desain 2.

(a) (b)

Gambar 13. (a) Uji Coba Desain 1;(b) Uji Coba Desain 2.

Setelah proses manufaktur selesai, dilakukan uji coba terhadap spesimen *nut* M10 sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar13. Sesuai dengan hasil uji coba, alat dapat berfungsi sesuai dengan persyaratan dan tujuan desain yang telah ditetapkan.

Desain 1 menggunakan baja K110 sebagai *chisel*, serta mengusung sistem ulir sebagai prinsip kerjanya dimana Desain 1 menggunakan tegangan torsi yang berbeda-beda pada setiap *nut* yang akan dibelah. Secara teori maupun praktiknya, nilai yang didapat tersebut mampu membelah *nut* dengan bahan *stainless steel* dengan ukuran M6 hingga M10.

Dari hasil uji coba yang dilakukan, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 14 bahwa Alat tersebut dapat memecah *nut* M10 yang digunakan sebagai salah satu *sample* dalam uji coba.

(a)

(b)

Gambar 14. (a) Hasil Uji Coba Desain 1; (b) Hasil Uji Coba Desain 2.

Perbandingan antara torsi hasil perhitungan dengan torsi yang diberikan pada saat pengujian sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5.

Desain 2 menggunakan baja VCN sebagai chisel, dan diketahui nilai *charpy impact* dari *stainless steel* 304 adalah 325 J. Dengan menggunakan sistem kerja pahat, dimana dibutuhkan dorongan dari palu 3 kg serta ketajaman dari *chisel* sebesar 40˚, secara teori maupun praktiknya mampu membelah *nut* dengan bahan *stainless steel* dengan ukuran M10 hingga M14.

Berdasarkan hasil perhitungan bahwa Energi Impak yang dibutuhkan adalah 337,5 J dimana nilainya lebih besar dari *charpy impact* stainless steel 304, yang artinya bahan baja VCN mampu membelah *nut* dengan bahan stainless steel. Selanjutnya dari perhitungan didapatkan bahwa gaya yang timbul adalah sebesar 1687,5 N untuk membelah *nut* dengan ukuran M12 dan M14.

Tabel 5. Perbandingan Torsi sesuai perhitungan dan Torsi saat pengujian.

Ukuran Nut	Torsi sesuai perhitungan	Torsi saat pengujian
M6	57,3 Nm	50 Nm
M8	93,1 Nm	90 Nm
M10	160,5 Nm	148 Nm

Setelah alat tersebut digunakan, kelebihan dan kekurangan masing-masing desain tersebut sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perbandingan kelebihan dan kekurangan antara Desain 1 dengan Desain 2.

Jenis	Kelebihan	Kekurangan
Desain 1	a. Lebih aman daripada desain 2. b. Cukup efisien dan mudah dalam penggunaan alat.	a. Membutuhkan torsi yang besar untuk dapat membelah nut dengan bahan stainless steel. b. Membutuhkan ruang yang cukup luas untuk memutar torsi c. Dikhususkan untuk *nut* ukuran M6 s.d M10
Desain 2	a. Pengerjaan terbilang cukup cepat dibandingkan desain 1, jika menggunakan palu 3 kg b. Tidak membutuhkan ruang yang luas untuk penggunaan alat	a. Kurang safety, karena ketika melakukan pemukulan chisel menggunakan palu, palu bisa saja mengenai tangan operator b. Dikhususkan untuk *nut* dengan ukuran M10 hingga M14

4. PENUTUP

Kesimpulan

Proses desain dan manufaktur telah berhasil dilakukan. dimulai dari proses perancangan penentuan DR&O, klasifikasi ukuran nut yang digunakan dalam pesawat udara dan pemilihan material. Alat yang dihasilkan dapat berfungsi dengan baik dimana sebagai parameternya adalah alat dapat digunakan untuk memecahkan nut dengan berbahan dasar *stainless steel*. Alat pembuka nut yang terkorosi pada Desain 1, yang menggunakan bahan dasar material baja ST 41 sebagai *body* dan pisau menggunakan material baja K110 yang telah dilakukan proses *hardening,* dengan sistem ulir sebagai prinsip kerjanya mampu membelah *nut* mulai dari ukuran M6 dengan torsi 57.3 Nm, M8 dengan torsi 93.1 Nm, dan M10 dengan torsi 160,5 Nm. Sedangkan alat pembuka nut yang terkorosi pada Desain 2, yang menggunakan bahan dasar material baja ST 60 sebagai *body* dan pisau menggunakan material baja VCN 150 yang telah dilakukan proses *hardening*, dengan sistem pahat sebagai prinsip kerjanya mampu membelah *nut* M12 dan M14 menggunakan energi impak sebesar 1687,5 N.

Saran

Dalam penelitian ini, masih terdapat beberapa aspek yang perlu diperbaiki dan disempurnakan agar alat dapat berfungsi lebih optimal. Salah satu aspek utama adalah ukuran dan berat alat yang masih cukup besar, sehingga diperlukan perhitungan dan perancangan ulang agar lebih ringan tanpa mengurangi kemampuannya dalam membelah nut dengan bahan stainless steel. Selain itu, desain ulir pada Alat Desain 1 dapat dikembangkan dengan metode rachet tools untuk meningkatkan efisiensi dorongan pisau. Penahan objek juga perlu disesuaikan dengan memperbesar diameter agar dapat digunakan untuk berbagai varian nut serta dibuat dengan mekanisme lepas pasang agar lebih fleksibel dalam menyesuaikan objek dan tempat. Terakhir, alat ini dapat dikembangkan lebih lanjut agar mampu memecahkan nut dengan bahan lain, tidak terbatas pada stainless steel saja, sehingga meningkatkan keberagaman penggunaannya.

DAFTAR PUSTAKA

Kobayashi, T., & Shockey, D. A. (2006). Analysis of failed aircraft wheel assembly. Engineering Failure Analysis, 13(1), 65–74. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2004.12.046

Badan Pusat Statistik Indonesia. (2023). Jumlah penumpang pesawat di bandara utama - Tabel statistik. Retrieved March 4, 2024, from https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjYjMg==/jumlah-penumpang-pesawat-di-bandara-utama.html

Jansen, B. (2013). FAA orders 737 inspections to prevent fuselage holes. USA Today. Retrieved March 4, 2024, from https://www.usatoday.com/story/travel/flights/2012/12/31/boeing-fuselage-repairs/1800809/

Federal Aviation Administration. (2002). Boeing 747-200. Retrieved March 4, 2024, from https://www.faa.gov/lessons_learned/transport_airplane/accidents/B-18255

Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2003). Buku Statistik Investigasi Kecelakaan Transportasi KNKT. Jakarta: KNKT.

GoodStats Data. (2023). Angkutan darat jadi moda transportasi favorit Wisnus pada 2022. Retrieved March 5, 2024, from https://data.goodstats.id/statistic/angkutan-darat-jadi-moda-transportasi-favorit-wisnus-pada-2022-3Alwx

Civil Aviation Authority. (2017). CAP 1570 - Corrosion and inspection of general aviation aircraft. West Sussex: Civil Aviation Authority.

Aldof, S. (2020). Simulasi pemanas induksi dengan metode helical coil menggunakan metode elemen hingga. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Iryani, L., & S, A. (2023). Finite element method analysis in simulation of induction heater using helical coil method. METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal, 7(1), 23–26. https://doi.org/10.25077/metal.7.1.23-26.2023

Lee, H.-C., Wu, T.-M., Su, H.-T., & Wang, C.-H. (2007). Failure analysis of stress corrosion cracking in aircraft bolts. Engineering Failure Analysis, 14(1), 209–217. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2005.10.021

Chen, C., Xue, L., Zhang, J., & Yan, S. (2021). Fracture failure analysis on swivel nut of 30CrMnSiA steel in aircraft. Journal of Physics: Conference Series, 1786(1), 012025. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1786/1/012025

Findlay, S. J., & Harrison, N. D. (2002). Why aircraft fail. Materials Today, 5(11), 18–25. https://doi.org/10.1016/s1369-7021(02)01138-0

Agarwala, V. S. (2011). Aircraft corrosion control and maintenance. London: NATO.

Knisley Welding. (2021). Corrosion inspection and maintenance for your aircraft. Retrieved September 5, 2024, from https://knisleyexhaust.com/blog/corrosion-inspection-and-maintenance-for-your-aircraft/