



PAPER – OPEN ACCESS

Pengembangan Desain Lampu Emergency Menggunakan Metode Design for Assembly (DFA) dengan Penerapan Snap-Fit

Author : Owen Sebastian, dkk
DOI : 10.32734/ee.v8i1.2670
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 8 Issue 1 – 2025 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pengembangan Desain Lampu Emergency Menggunakan Metode Design for Assembly (DFA) dengan Penerapan Snap-Fit

Owen Sebastian^a, Rosnani Ginting^b, Victor Frans^c, Widya R. Utami^d, Niken Silitonga^{e*},

aProgram Studi Sarjana Teknik Industri, Universitas Sumatera Utara, Jl. Dr. Mansyur No. 9, Kota Medan 20222, Indonesia

bSecond affiliation, Address, City and Postcode, Country

Owensebastian28945@gmail.com, rosnani@usu.ac.id, victor_frans@students.usu.ac.id, widyarahmadani@students.usu.ac.id, nikensilitonga07@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas perbaikan desain lampu emergency untuk meningkatkan efisiensi proses perakitan. Desain awal menggunakan mekanisme penguncian tradisional berupa mur dan baut, yang menyebabkan waktu perakitan panjang, jumlah komponen lebih banyak, dan peningkatan biaya produksi. Identifikasi komponen kritis menunjukkan bahwa kerangka bawah, kerangka atas, dan baut merupakan area utama untuk perbaikan. Solusi yang diusulkan adalah mengganti mekanisme mur dengan mekanisme snap-fit jenis lugs, yang memungkinkan penguncian lebih cepat tanpa alat tambahan. Implementasi snap-fit mengurangi waktu perakitan dari 325 detik per unit menjadi 245 detik per unit, menurunkan biaya produksi sebesar Rp 1.744/unit serta mengurangi jumlah komponen dari 25 part menjadi 21 part. Analisis efisiensi menunjukkan peningkatan rasio efisiensi perakitan dari 23,07% pada desain awal menjadi 25,71% pada desain usulan. Desain akhir yang diusulkan dengan mekanisme snap-fit berhasil menyederhanakan proses perakitan, mengurangi jumlah komponen, mempercepat waktu perakitan, serta menurunkan biaya produksi secara signifikan.

Kata Kunci: Design for Assembly; Snap-Fit; Lampu Emergency

Abstract

This study discusses the improvement of emergency lamp design to enhance assembly process efficiency. The initial design used a traditional locking mechanism involving nuts and bolts, which resulted in longer assembly time, a higher number of components, and increased production costs. Critical component identification revealed that the lower frame, upper frame, and bolts were the main areas for improvement. The proposed solution was to replace the nut-and-bolt mechanism with a snap-fit mechanism using lugs, allowing for faster locking without the need for additional tools. The implementation of the snap-fit design reduced assembly time from 325 seconds per unit to 245 seconds per unit, lowered production costs by Rp 1,744 per unit, and decreased the number of components from 25 parts to 21 parts. Efficiency analysis showed an increase in assembly efficiency ratio from 23.07% in the initial design to 25.71% in the proposed design. The final proposed design with the snap-fit mechanism successfully simplified the assembly process, reduced the number of components, accelerated assembly time, and significantly lowered production costs.

Keywords: Design for Assembly; Snap-Fit; Emergency Lamp

1. Introduction

Perkembangan teknologi dan meningkatnya kebutuhan konsumen terhadap produk elektronik portable mendorong industri manufaktur untuk menghasilkan produk yang lebih ringan, praktis, dan efisien [1]. Permintaan terhadap lampu emergency yang portabel dan mudah digunakan semakin tinggi, seiring dengan kebutuhan akan mobilitas dan ketersediaan sumber cahaya darurat di berbagai situasi [2]. Dalam menghadapi persaingan pasar yang ketat, produsen perlu mengoptimalkan desain produk tidak hanya dari sisi fungsi, tetapi juga dari sisi efisiensi produksi.

Namun, pada praktiknya, banyak desain lampu emergency masih menggunakan metode perakitan konvensional yang mengandalkan sistem penguncian dengan banyak mur dan baut [3]. Penggunaan mur secara berlebihan ini menjadi sumber permasalahan dalam proses produksi, karena setiap mur membutuhkan waktu untuk dipasang, dikencangkan, dan diperiksa, sehingga memperpanjang waktu perakitan secara keseluruhan [4]. Selain itu, semakin banyak jumlah sambungan mur-baut, semakin besar kemungkinan terjadinya kesalahan perakitan, seperti pengencangan yang tidak seragam, kelonggaran, atau bahkan kelalaian dalam pemasangan [5]. Masalah ini berdampak langsung pada menurunnya kualitas produk akhir dan meningkatkan tingkat produk cacat (defect rate).

Kompleksitas perakitan akibat penggunaan mur berlebih juga berdampak pada aspek biaya. Proses yang lebih lama membutuhkan lebih banyak tenaga kerja, memperbesar kebutuhan pelatihan teknis, meningkatkan kebutuhan alat bantu, serta memperpanjang lead time produksi [6]. Secara keseluruhan, hal ini mengakibatkan bertambahnya biaya produksi dan berkurangnya kecepatan waktu pemasaran (time-to-market), yang akhirnya melemahkan daya saing produk di pasar.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, pendekatan Design for Assembly (DFA) menjadi solusi strategis yang sangat penting diterapkan. DFA adalah metodologi desain yang bertujuan untuk menyederhanakan struktur produk agar lebih mudah, cepat, dan hemat biaya dalam proses perakitannya [7]. Fungsi utama DFA mencakup pengurangan jumlah komponen, penyederhanaan langkah-langkah perakitan, minimalisasi penggunaan alat bantu tambahan, integrasi fungsi antar komponen, serta optimalisasi tata letak dan urutan perakitan [8]. Melalui prinsip ini, berbagai masalah dalam manufaktur seperti tingginya biaya produksi, lamanya waktu perakitan, tingginya risiko kesalahan manusia, kebutuhan tenaga kerja spesialis, serta keterlambatan pengiriman produk dapat diatasi secara sistematis [9].

Salah satu teknik utama dalam penerapan DFA untuk mengurangi kompleksitas perakitan adalah penggunaan mekanisme snap-fit sebagai pengganti mur dan baut [10]. Mekanisme snap-fit memungkinkan komponen disatukan melalui penguncian langsung tanpa alat bantu tambahan, yang secara signifikan mempercepat proses perakitan, mengurangi jumlah total komponen, serta menurunkan kebutuhan inspeksi dan kontrol kualitas terkait penguncian [11]. Selain itu, penggunaan snap-fit juga berpotensi meningkatkan kekuatan sambungan dan mengurangi bobot produk secara keseluruhan, yang sangat sesuai dengan karakteristik yang dibutuhkan pada lampu emergency portabel.

Dengan mempertimbangkan semua faktor tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan prinsip DFA melalui desain snap-fit pada produk lampu emergency. Fokus utama penelitian adalah mengurangi penggunaan mur dan baut secara signifikan, mempercepat proses perakitan, menurunkan biaya produksi, serta meningkatkan kualitas dan keandalan produk. Diharapkan, implementasi perubahan desain ini tidak hanya memperkuat daya saing produk di pasar, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi manufaktur di industri elektronik secara umum.

2. Tinjauan Pustaka

Penerapan Design for Assembly (DFA) merupakan pendekatan sistematis dalam penyederhanaan desain produk dengan mengurangi jumlah komponen, menyederhanakan langkah perakitan, dan meminimalkan potensi kesalahan

produksi . DFA terbukti dapat mengurangi biaya produksi serta mempercepat waktu perakitan tanpa mengorbankan fungsi atau kualitas produk . Penerapan metode DFA pada desain oven rumah tangga mampu meningkatkan efisiensi dengan pengurangan jumlah komponen dan penyederhanaan langkah perakitan [12].

Penelitian lain pada desain alat pencuci pakaian manual menunjukkan hasil serupa dalam peningkatan kecepatan produksi melalui prinsip DFA [13]. Prinsip-prinsip dasar DFA mencakup penyederhanaan desain, integrasi fungsi ke dalam komponen standar, penerapan desain modular, serta optimalisasi gerakan dan urutan perakitan . Melalui prinsip-prinsip ini, waktu dan biaya produksi dapat dikurangi secara signifikan tanpa mengurangi kinerja produk [14]. Selain itu, integrasi perencanaan urutan perakitan dalam desain juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi keseluruhan proses produksi [15].

Dalam penerapan DFA, Bill of Materials (BOM) yang mencantumkan seluruh komponen produk beserta fungsinya dan Assembly Process Chart (APC) yang menggambarkan urutan perakitan digunakan untuk mengidentifikasi komponen yang tidak esensial . Analisis terhadap BOM dan APC ini memungkinkan pengurangan jumlah komponen serta penyederhanaan proses produksi [16]. Salah satu solusi dalam implementasi DFA adalah penggunaan mekanisme snap-fit yang menggantikan sistem penguncian tradisional seperti mur dan baut [17].

Mekanisme snap-fit memungkinkan penyatuan komponen tanpa alat bantu tambahan, mempercepat proses perakitan, dan mengurangi biaya produksi. Selain itu, penggunaan snap-fit juga mengurangi potensi kesalahan pemasangan dan meningkatkan keandalan produk [18]. Dalam desain produk lampu emergency, penerapan mekanisme snap-fit menyederhanakan struktur produk secara signifikan. Dengan mengurangi jumlah komponen seperti mur dan baut, proses perakitan menjadi lebih cepat, mengurangi biaya tenaga kerja, serta meningkatkan efisiensi produksi. Selain itu, mekanisme snap-fit dapat mengurangi berat produk, meningkatkan portabilitas lampu emergency tanpa mengurangi kekuatan dan stabilitas struktural . Penerapan prinsip-prinsip DFA dan snap-fit dalam desain produk terbukti mampu menurunkan waktu produksi, biaya produksi, serta meningkatkan kualitas dan keandalan produk secara keseluruhan [19], [20].

3. Metodologi Penelitian

Pendekatan Design for Assembly (DFA) bertujuan untuk menyederhanakan desain produk dengan mengurangi kompleksitas manufaktur dan perakitan melalui penerapan prinsip-prinsip perakitan sejak tahap awal perancangan. Dengan menerapkan DFA, perusahaan dapat mengurangi jumlah komponen yang tidak esensial dan mengoptimalkan tata letak produk untuk mempercepat proses perakitan . Prinsip utama DFA adalah meminimalkan jumlah komponen, menyederhanakan proses perakitan, serta memastikan bahwa desain tetap mempertahankan fungsi dan kualitas produk [21].

Penelitian Prakoso et al. menekankan bahwa penggunaan metode DFMA dapat mengurangi biaya dan menghemat waktu karena pendekatan ini mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah manufaktur sebelum produk dibuat, mencegah kesalahan dan meningkatkan efisiensi total proses produksi. [22] Selain itu, evaluasi komprehensif pada tahap awal desain diperlukan untuk memastikan bahwa penyederhanaan tidak mengurangi keandalan produk [23]. Langkah-langkah DFA dapat dirangkum sebagai berikut: pembuatan struktur produk, evaluasi komponen penyusun, identifikasi part yang dapat dikembangkan, perbaikan assembly process chart, menghitung efisiensi desain dan biaya perakitan, dan rancangan akhir DFMA .[24].

Dalam penerapan DFA, efisiensi perakitan dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Ema = \frac{3 \times N_{min}}{T_{ma}} \times 100\% \quad (1)$$

Ema adalah Assembly Efficiency berfungsi untuk mengukur efisiensi proses perakitan produk berdasarkan desain. Nilai ini menunjukkan seberapa optimal desain produk dalam meminimalkan jumlah komponen dan waktu perakitan, Nmin adalah jumlah minimum part teoritis, dan Tma adalah total waktu aktual perakitan. Penggunaan mekanisme snap-fit sebagai solusi perakitan tanpa mur dan baut tradisional merupakan salah satu metode efektif dalam konsep DFA [25]. Snap-fit memungkinkan penyatuan komponen secara langsung tanpa alat bantu tambahan, sehingga mempercepat perakitan dan mengurangi jumlah komponen [26]. Implementasi snap-fit juga mengurangi waktu perakitan secara signifikan, sebagaimana terlihat pada studi perbaikan proses perakitan produk rumah tangga. Selain mempercepat produksi, penggunaan snap-fit terbukti menurunkan biaya produksi serta meningkatkan kualitas dan konsistensi produk jadi [27].

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pembuatan Struktur Produk

Hasil pembuatan struktur produk lampu emergency dapat dilihat pada Gambar 1.

4.2. Evaluasi Komponen

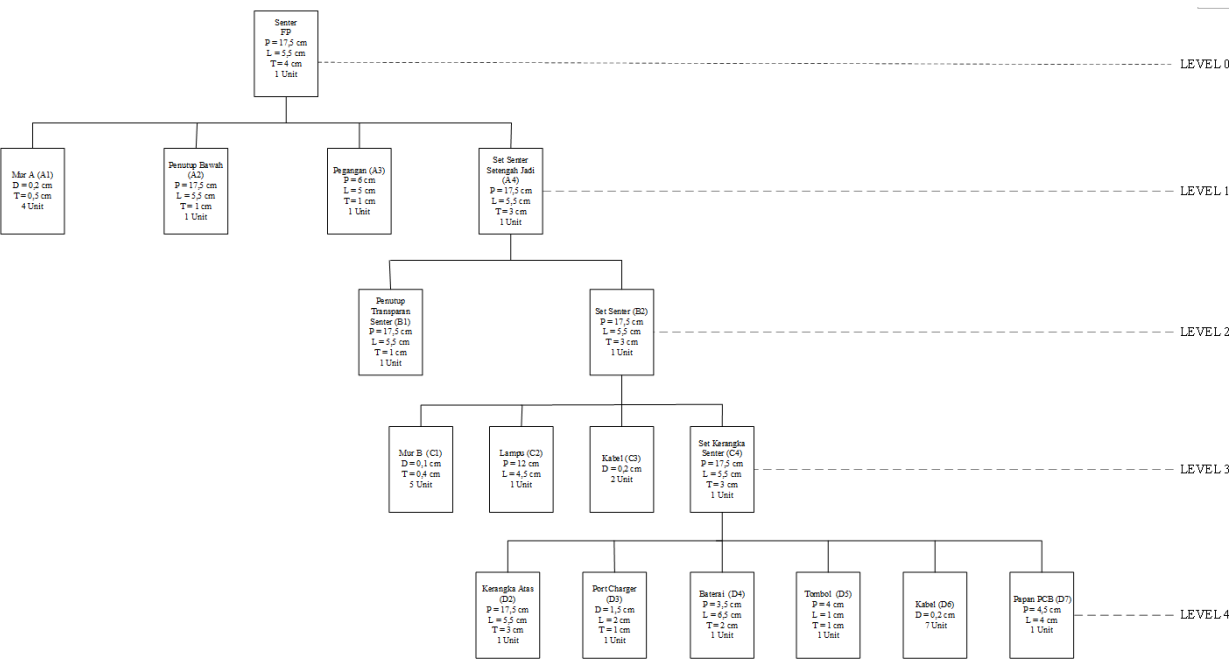
Produk lampu emergency terdiri dari 11 komponen yaitu Papan PCB, Kabel, Tombol, Baterai, Port Charger, Kerangka Atas, Lampu, Penutup Transparan, Pegangan, Penutup Bawah, dan Mur. Jumlah komponen dapat dilihat pada Bill of Material pada Tabel 1.

4.3. Desain Awal

Desain awal dari lampu emergency menggunakan mekanisme penguncian tradisional seperti mur dan baut yang menyebabkan proses perakitan yang lebih lama yaitu pada operasi penguncian mur dan baut sebesar 80 detik dengan total waktu perakitan 325 detik. Jumlah operasi pada diagram proses perakitan (APC) adalah 8 operasi dengan waktu perakitan 325 detik. Penggunaan mekanisme penguncian yang berlebihan di area yang tidak memerlukan penguncian dengan gaya penjepit tinggi yaitu pada part kerangka bawah dan kerangka atas mengakibatkan waktu perakitan yang lebih lama, jumlah komponen yang lebih banyak dan meningkatkan resiko kualitas hasil produk akhir akibat kesalahan perakitan. Masalah ini juga menyebabkan biaya produksi yang lebih tinggi akibat dibutuhkan waktu dan tenaga kerja lebih banyak untuk mengencangkan mur sehingga terjadi penurunan efisiensi dan biaya manufaktur yang lebih tinggi.

4.4. Identifikasi Komponen Kritis

Identifikasi komponen kritis dilakukan untuk menentukan komponen yang berdampak signifikan pada proses perakitan untuk dilakukan perbaikan yang potensial. Komponen pada lampu emergency yaitu kerangka bawah, kerangka atas, dan baut telah diidentifikasi sebagai area utama untuk perbaikan perancangan. Identifikasi komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Struktur Produk Lampu Emergency

Tabel 1. Bill of Material Produk Lampu Emergency

SINGLE BILL OF MATERIALS					
Product Code : FP					
Product Name : Lampu					
Item No.	Description	Qty	Unit	Source	Stock No.
FP	Lampu	1	pcs	Assembled	
A-1	Mur A	4	pcs	Purchased	
A-2	Penutup Bawah	1	pcs	Purchased	
A-3	Pegangan	1	pcs	Purchased	
A-4	Set Senter	1	pcs	Assembled	
B-1	Penutup Transparan Senter	1	Pcs	Purchased	
B-2	Set Senter	1	pcs	Asssembled	
C-1	Mur B	6	pcs	Purchased	
C-2	Lampu	1	pcs	Purchased	
C-3	Kabel	1	pcs	Purchased	
C-4	Set Kerangka Senter	1	pcs	Assembled	
D-1	Kerangka Atas	1	pcs	Purchased	
D-2	Port Charger	1	pcs	Purchased	
D-3	Baterai	1	pcs	Purchased	
D-4	Tombol	1	pcs	Purchased	
D-5	Kabel	1	pcs	Purchased	
D-6	Papan PCB	1	pcs	Purchased	

Tabel 1. Komponen Kritis

Nama Part	Part	Fungsi Komponen	Permasalahan
Kerangka Bawah			
Kerangka Atas		Sebagai Tempat dudukan untuk set papan PCB dan komponen elektronik lainnya	Menggunakan 4 baut untuk menyatukan kedua part yang membutuhkan 80 detik untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut
Baut			

Kerangka bawah dan kerangka atas berfungsi sebagai penutup untuk melindungi papan PCB dan part elektronik lainnya dengan menggunakan mekanisme penguncian berupa baut. Proses penguncian mur memerlukan waktu sekitar 80 detik per unit untuk diselesaikan. Penggunaan baut untuk penguncian kedua part ini dianggap tidak efisien karena kerangka bawah dan atas tidak mengalami gaya tekanan yang tinggi yang memerlukan mekanisme penguncian baut.

Penggunaan mekanisme ini menambah kompleksitas dan waktu perakitan sehingga perlu dilakukan perbaikan rancangan. Perbaikan rancangan yang diusulkan yaitu dengan mengganti mekanisme penguncian menggunakan mur menjadi mekanisme snap-fit yang dapat berdampak pada pengurangan waktu perakitan, penyederhanaan proses dan penurunan biaya produksi.

4.5. Implementasi Snap-Fit

Mekanisme Snap-Fit diimplementasikan sebagai solusi pada permasalahan ketidakefisienan mekanisme penguncian menggunakan mur pada proses perakitan lampu emergency. Part yang akan dilakukan implementasi snap fit yaitu pada part kerangka bawah. Pada part kerangka bawah akan diimplementasikan snap fit dengan jenis Lugs. Mekanisme Lugs dikenal dengan bentuk huruf L dengan sejumlah variasi pada bentuk umum, dimana lug akan berhubungan dengan ujung-ujung dari penambat dan dasar.

4.6. Efisiensi Desain

Untuk meningkatkan efisiensi desain, dilakukan perbaikan perancangan pada masalah proses perakitan yaitu penggantian empat baut dengan mekanisme snap-fit. Perubahan ini mengurangi kebutuhan baut dan alat tambahan berupa obeng, memungkinkan kedua part dapat disambungkan dengan cepat dan mudah sehingga mengurangi waktu perakitan. Pada tahap ini akan dilakukan perbandingan efisiensi pada aspek waktu perakitan, pengurangan biaya dan nilai efisiensi pada rancangan awal dan rancangan usulan.

4.6.1. Pengurangan Waktu

Perubahan mekanisme pengunci menjadi mekanisme snap-fit secara signifikan mengurangi waktu perakitan. Pada desain awal diperlukan waktu 80 detik per unit bagi pekerja untuk melakukan penguncian 4 baut dengan total waktu perakitan 325 detik. Dengan menggunakan mekanisme snap-fit, waktu perakitan produk ini akan berkurang secara drastis. Mekanisme snap-fit menghilangkan kebutuhan alat tambahan berupa kunci atau obeng berfungsi mengunci baut. Mekanisme ini hanya perlu disambungkan dengan mengunci snap-fit pada lubang yang telah dibuat. Pengurangan waktu yang didapatkan setelah menggunakan mekanisme snap-fit ini adalah 80 detik, dengan penggunaan mekanisme snap-fit tidak perlu dilakukan proses penguncian sehingga tidak memakan waktu dalam mengunci part kerangka atas dan kerangka bawah.

4.6.2. Pengurangan Biaya

Penerapan snap-fit menghasilkan pengurangan biaya berupa pengurangan komponen yang diperlukan yaitu 4 baut dan alat tambahan berupa obeng dan kunci yang digunakan untuk mengunci mur. Biaya komponen ini ditambah dengan alat tambahan dan biaya tenaga kerja untuk perakitan menghasilkan biaya produksi yang lebih rendah.

Berikut merupakan perkiraan biaya yang dapat dilakukan penghematan dengan mengganti mekanisme penguncian mur.

- 4 Mur : Rp. 350 x 4 = Rp. 1.400/unit
- Obeng : Rp 20.000
- Pengurangan biaya perakitan : Rp 344/unit

Berdasarkan data diatas, pengurangan biaya dengan penggunaan mekanisme snap-fit yaitu Rp. 1.744/unit dan pengurangan biaya alat tambahan berupa obeng.

4.6.3. Analisis Efisiensi

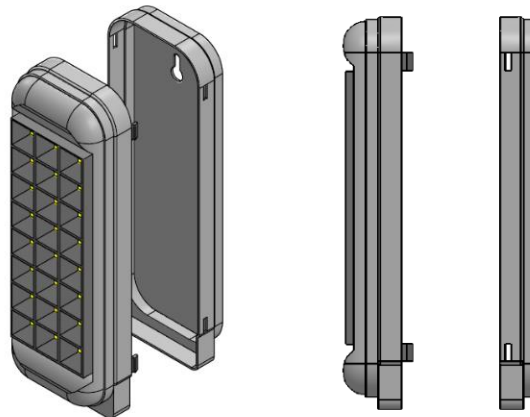
Analisis efisiensi dilakukan dengan melakukan perbandingan nilai rasio efisiensi perakitan (Ema) antara produk awal dan produk usulan. Rasio efisiensi perakitan (Ema) dihitung menggunakan persamaan (1).

- Desain Awal : Jumlah komponen 25 unit, waktu perakitan total 325 detik, rasio perbaikan efisiensi (Ema) 23,07%
- Desain Usulan : Jumlah komponen 21 unit, waktu perakitan total 245 detik, rasio perbaikan efisiensi (Ema) 25,71%

Berdasarkan hasil analisis efisiensi, menunjukkan bahwa desain usulan memiliki proses perakitan yang lebih efisien, jumlah komponen yang lebih sedikit, dan rasio efisiensi perakitan yang lebih baik.

4.7. Desain Akhir DFA

Penerapan snap-fit pada kerangka atas dan kerangka bawah produk lampu emergency secara efisien mengurangi jumlah komponen, waktu perakitan, dan meningkatkan rasio perbaikan efisiensi. Pada desain yang dimodifikasi, akan digunakan snap-fit dengan mekanisme lugs dengan bentuk L pada kerangka bawah dan akan dibuat lubang tempat penguncian snap-fit pada kerangka atas. Desain usulan produk lampu emergency dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Usulan Produk Lampu Emergency

5. Kesimpulan

Penerapan snap-fit dengan menggunakan DFA efektif dalam meningkatkan efisiensi dalam proses produksi dan perakitan. Penerapan mekanisme snap-fit sebagai pengganti mekanisme baut membuat perakitan yang lebih sederhana dan singkat serta mengurangi penggunaan alat tambahan berupa obeng sebagai pengunci baut. Hasil penerapan snap-fit mengurangi waktu total perakitan dari 325 detik menjadi 245 detik yaitu pengurangan 80 detik per unit waktu perakitan produk. Pengganti mekanisme ini juga membantu meningkatkan quality control pada produk karena kemungkinan kelalaian operator dalam melakukan penguncian baut. Pada segi biaya, juga terjadi pengurangan biaya produksi dan perakitan produk diakibatkan pengurangan komponen dan biaya perakitan produk. Total biaya yang dapat dihemat setelah penerapan ini adalah Rp 1.744/unit dan pengurangan biaya alat bantu yaitu obeng sebesar Rp. 20.000/buah. Berdasarkan hasil perhitungan rasio efisiensi perakitan, didapatkan hasil rasio efisiensi perakitan pada desain awal dan desain usulan yaitu 23,07% dan 25,71%, terjadi peningkatan rasio efisiensi perakitan sebesar 2,64%.

References

- [1] Saharia. "Evaluasi tingkat kepuasan pengguna aplikasi smart library menggunakan metode system usability scale(sus)", JUKTISI, vol. 1, no. 3, p. 192-198, 2023. <https://doi.org/10.62712/juktisi.v1i3.62>.
- [2] S. Wiwaha, M. Hakim, R. Ananto, A. Hermawan, & Y. Sakinah, "Pemasangan instalasi penerangan dan lampu emergency di musholla nurul fattah desa jago", Jurnal Pengabdian Polinema Kepada Masyarakat, vol. 11, no. 1, p. 6-10, 2024. <https://doi.org/10.33795/jpkm.v11i1.3052>
- [3] L. Utami and R. Hudhajanto, "Alat uji data tahan mekanik dan elektrik untuk "mobiya" menggunakan plc", JATRA, vol. 4, no. 2, p. 58-63, 2022. <https://doi.org/10.30871/jatra.v4i2.4345>
- [4] M. Stoppa and A. Chiolerio, "Wearable electronics and smart textiles: a critical review", Sensors, vol. 14, no. 7, p. 11957-11992, 2014.

<https://doi.org/10.3390/s140711957>

- [5] P. Zhao, J. Liu, H. Gong, & F. Xue, "Study on tightening, anti-loosening, and fatigue resistance performances of bolted joints with different anti-loosening washers and nuts", *Applied Sciences*, vol. 13, no. 24, p. 13253, 2023. <https://doi.org/10.3390/app132413253>
- [6] A. Tjaja and R. Astomo, "Usulan perbaikan perancangan produk smart light menggunakan metode design for assembly boothroyd-dewhurst", *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 1, no. 3, 2018. <https://doi.org/10.26760/jrh.v1i3.1773>
- [7] K. Annamalai, C. Naiju, S. Karthik, & M. Prashanth, "Early cost estimate of product during design stage using design for manufacturing and assembly (dfma) principles", *Advanced Materials Research*, vol. 622-623, p. 540-544, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.622-623.540>
- [8] D. Shetty and A. Ali, "A new design tool for dfa/dfd based on rating factors", *Assembly Automation*, vol. 35, no. 4, p. 348-357, 2015. <https://doi.org/10.1108/aa-11-2014-088>
- [9] K. Annamalai, C. Naiju, S. Karthik, & M. Prashanth, "Early cost estimate of product during design stage using design for manufacturing and assembly (dfma) principles", *Advanced Materials Research*, vol. 622-623, p. 540-544, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.622-623.540>
- [10] X. Guo and B. Sun, "Assembly and disassembly mechanics of a cylindrical snap fit", 2022. <https://doi.org/10.20944/preprints202201.0076.v1>
- [11] N. Ștefănoaea, D. Rusu, & A. Pascu, "A simulation method for the one-time snap-fit assembly process of pa6 gf60 - components", *Engineering Technology & Applied Science Research*, vol. 14, no. 1, p. 12988-12992, 2024. <https://doi.org/10.48084/etasr.6715>
- [12] C. Favi, M. Germani, & M. Mandolini, "Design for manufacturing and assembly vs. design to cost: toward a multi-objective approach for decision-making strategies during conceptual design of complex products", *Procedia Cirp*, vol. 50, p. 275-280, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.190>
- [13] E. Nainggolan, A. Suryadi, & T. Tranggono, "Pengembangan produk alat pencuci pakaian secara manual dengan metode design for assembly (dfa)", *Juminten*, vol. 1, no. 5, p. 156-167, 2020. <https://doi.org/10.33005/juminten.v1i5.169>
- [14] S. Gao, R. Jin, & W. Lu, "Design for manufacture and assembly in construction: a review", *Building Research & Information*, vol. 48, no. 5, p. 538-550, 2019. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1660608>
- [15] S. Gao, R. Jin, & W. Lu, "Design for manufacture and assembly in construction: a review", *Building Research & Information*, vol. 48, no. 5, p. 538-550, 2019. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1660608>
- [16] K. Annamalai, C. Naiju, S. Karthik, & M. Prashanth, "Early cost estimate of product during design stage using design for manufacturing and assembly (dfma) principles", *Advanced Materials Research*, vol. 622-623, p. 540-544, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.622-623.540>
- [17] L. Rónai and T. Szabó, "Snap-fit assembly process with industrial robot including force feedback", *Robotica*, vol. 38, no. 2, p. 317-336, 2019. <https://doi.org/10.1017/s0263574719000614>
- [18] B. Mose, I. Son, J. Bae, H. Ann, C. Lee, & D. Shin, "Modified analytical method to calculate the assembly and separation forces of cantilever hook-type snap-fit", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 233, no. 14, p. 5074-5084, 2019. <https://doi.org/10.1177/0954406219839757>
- [19] N. Ștefănoaea, D. Rusu, & A. Pascu, "A simulation method for the one-time snap-fit assembly process of pa6 gf60 - components", *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 14, no. 1, p. 12988-12992, 2024. <https://doi.org/10.48084/etasr.6715>
- [20] R. Wang and H. Chen, "On the reasons for the ventilator bearing noise and its control", *Advanced Materials Research*, vol. 479-481, p. 1341-1344, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.479-481.1341>
- [21] L. Ng, Z. Wang, S. Ong, & A. Nee, "Integrated product design and assembly planning in an augmented reality environment", *Assembly Automation*, vol. 33, no. 4, p. 345-359, 2013. <https://doi.org/10.1108/aa-10-2012-058>
- [22] Prakoso, I., Putra, A., Krisnawati, M., & Waluyo, S. (2024). Design for manufacturing and assembly for holzweig-based dining chairs and table., 6, 291-301. <https://doi.org/10.4028/p-2egadr> [23] P. Haryanto, "Optimasi Proses Perakitan Produk Menggunakan Design for Assembly," *Jurnal Manufaktur dan Teknologi*, vol. 9, no. 4, pp. 88–99, 2021.
- [23] I. Saputri, V. Randyantini, & B. Nurcahyo, "Peran citra merek pada pengalaman menggunakan uang elektronik", *Jurnal Perspektif Manajerial Dan Kewirausahaan (JPMK)*, vol. 2, no. 2, p. 82-93, 2022. <https://doi.org/10.59832/jpmk.v2i2.167>
- [24] G. Boothroyd, "Design for Manufacture and Assembly: The Boothroyd-Dewhurst Experience," pp. 19–40, 1996, doi: 10.1007/978-94-011-

3985-4_2.

- [25] H. Setiawan, "Analisis Penerapan Snap-Fit dalam Produk Elektronik," *Jurnal Manufaktur Teknik*, vol. 16, no. 2, pp. 112–124, 2021.
- [26] W. Surya, "Optimasi Snap-Fit dalam Perakitan Produk Elektronik Rumah Tangga," *Jurnal Perancangan Teknik*, vol. 17, no. 4, pp. 63–74, 2020.
- [27] D. Rafiq, "Perancangan dan Pengaruh Snap-Fit pada Proses Perakitan," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi*, vol. 13, no. 5, pp. 98–112, 2021.