

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement.....	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page.....	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	8

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 27 No. 1 (2026): January

DOI: 10.21070/ijins.v27i1.1915

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

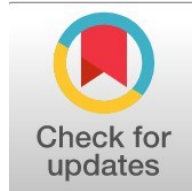
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

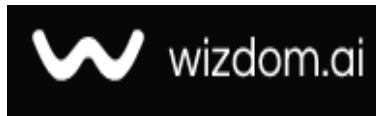
How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Redesigning Medical Devices with Design for Manufacturing and Assembly (DFMA): Redesain Alat Terapi Kesehatan dengan Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)

Andrew Andrew, andrewonlyy@gmail.com

Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Putu Dana Karningsih, dana@ie.its.ac.id

Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Dyah Santhi Dewi, dyah@ie.its.ac.id (*)

Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

I Made Londen Batan, dyah@ie.its.ac.id

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Arif Wahjudi, dyah@ie.its.ac.id

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General Background Product development in medical devices requires careful consideration of manufacturing and assembly to control cost, complexity, and safety. **Specific Background** An integrated cervical and lumbar traction device prototype exhibited excessive components and fasteners, resulting in low assembly efficiency, high manufacturing cost, and the absence of an emergency button. **Knowledge Gap** Previous traction device designs had not been systematically evaluated using Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) with explicit assessment against Design for Assembly guidelines. **Aims** This study aims to redesign the integrated cervical and lumbar traction device using DFMA to reduce manufacturing cost and assembly time while incorporating an emergency button. **Results** The redesign achieved a 77.06% reduction in reorientation operations and a 53.19% decrease in insertion difficulties, leading to a 16.90% increase in assembly efficiency, an 11.07% reduction in total assembly time, and a 9.12% decrease in manufacturing cost. The DFA Index increased from 7.1 to 8.3, indicating improved assembly performance. **Novelty** The novelty lies in evaluating redesign outcomes through systematic compliance with DFA Guidelines supported by Boothroyd Dewhurst DFMA software. **Implications** The findings demonstrate that DFMA provides a structured approach for developing medical therapy devices that are easier to assemble, more cost-efficient, and safer for users, offering a practical reference for similar healthcare equipment redesign initiatives.

Highlights:

- Structural simplification and fastener standardization substantially reduced assembly complexity.
- Quantitative DFA metrics confirmed notable reductions in reorientation and insertion difficulties.

- ♦ Manufacturing and assembly costs per unit decreased while safety functionality was incorporated.

Keywords: Assembly Efficiency, DFMA, Manufacturing Cost, Medical Therapy Device Redesign

Published date: 2026-01-31

Pendahuluan

Pengembangan produk merupakan serangkaian aktivitas yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dalam bentuk realisasi produk yang dapat memuaskan harapan pelanggan [1], [2]. Dalam pengembangan produk, Quality Function Deployment (QFD) merupakan satu-satunya metode yang secara khusus dapat menjelaskan penetapan design requirement dari kebutuhan pelanggan, yang bertujuan mempercepat product development lead time [3]. Untuk mencapai tujuan tersebut, produk yang dikembangkan harus mengoptimalkan proses manufaktur dan perakitan, sejalan dengan keluaran design requirements yang dihasilkan pada QFD fase 3 [4]. Selain itu, optimalisasi perlu dilakukan guna meminimalisir dampak biaya yang dihasilkan akibat kesalahan dalam desain produk. Kesalahan dalam desain produk berdampak hingga 70% dari total biaya produksi, meskipun biaya desain produk hanya sekitar 5% [5]. Pendekatan yang berfokus pada optimalisasi desain produk untuk proses perakitan dan manufaktur dijelaskan dalam Design for Manufacturing and Assembly (DFMA). Penerapan pendekatan ini berhasil mereduksi sedikitnya 20 komponen pada perakitan bejana tekan, rakitan reticle, struktur penyangga depan pada rangka depan Body in White kendaraan, dan adjustable welding table [6], [7], [8]. Hal ini berdampak pada pengurangan langkah dan percepatan durasi perakitan komponen. Di sisi lain, DFMA dengan segala fiturnya juga memungkinkan untuk merancang proses manufaktur yang mampu menurunkan biaya manufaktur, seperti pada workstation komputer dan pedestal fan [9], [10]. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan ini mampu mengurangi jumlah komponen, meminimalkan waktu perakitan, dan menurunkan biaya produksi [11].

Studi kasus yang digunakan merupakan alat terapi kesehatan (fisioterapi), yakni alat traksi servikal dan lumbal terintegrasi. Alat traksi ini berfungsi sebagai perangkat terapi untuk mengatasi keluhan nyeri leher (cervical) dan punggung bagian bawah (lumbal) [12]. Pengembangan alat traksi telah terealisasi hingga *prototype* alat traksi versi 1 (v1), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. *Prototype* alat traksi v1 tersusun atas 361 komponen dan operasi, 59,83% di antaranya merupakan *fasteners* yang berkontribusi dalam menyumbangkan tingginya biaya manufaktur dan waktu perakitan. Terlebih, terdapat satu keluaran QFD yang belum diterapkan pada *prototype* versi ini, yaitu kehadiran *emergency button* untuk menghentikan terapi traksi secara mandiri, yang memegang peranan penting dalam mendukung keamanan pasien selama terapi. Penerapan DFMA pada redesain alat kesehatan telah dibuktikan melalui penelitian Pranastya [13] pada redesain sepeda pascastroke yang berhasil menurunkan biaya produksi sebesar 57,64% dan mempercepat waktu perakitan sebesar 57,01%, serta penelitian Prasad [14] redesain *Electrocardiograph* (ECG) yang berhasil menurunkan biaya produksi sebesar 8% dan mempercepat waktu perakitan sebesar 75%. Keberhasilan tersebut memperkuat penerapan DFMA dalam redesain alat traksi (*prototype* v1). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan redesain alat traksi yang bertujuan untuk menurunkan biaya manufaktur dan mempercepat waktu perakitan dengan DFMA.

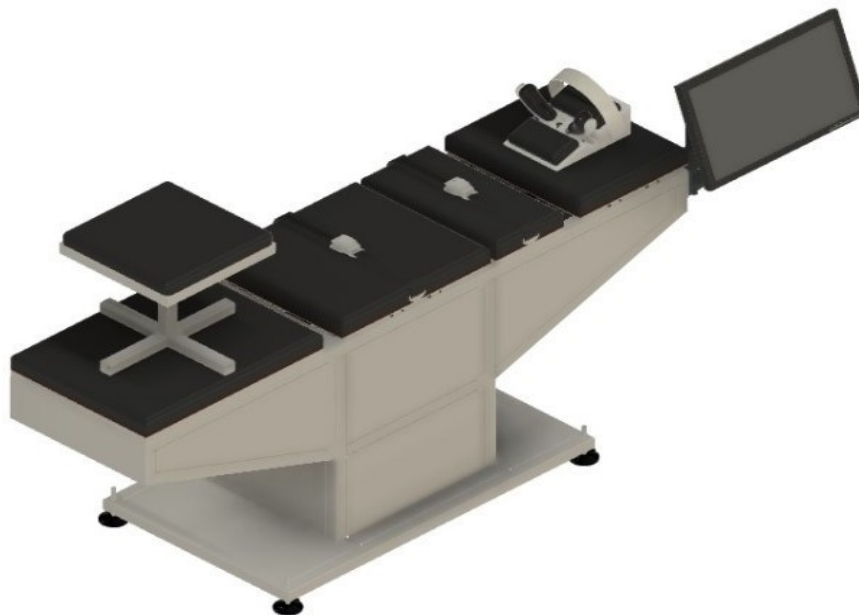


Figure 1. Desain *Prototype* Alat Traksi v1

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA), yang bertujuan untuk menyederhanakan desain produk dengan mempertimbangkan kemudahan manufaktur dan perakitan untuk mengurangi biaya, waktu, dan masalah kualitas [7]. Secara umum, pendekatan ini terbagi menjadi dua, yaitu Design for Assembly (DFA) dan Design for Manufacturing (DFM). Design for Assembly (DFA) adalah pendekatan desain yang menyederhanakan desain produk dengan meminimalkan jumlah komponen dan langkah perakitan untuk mengurangi biaya dan waktu perakitan [15], [16]. Dalam DFA, kemudahan perakitan dapat ditinjau melalui jumlah theoretical minimum part (Nmin), yang setidaknya memenuhi salah satu dari tiga kriteria berikut [5].

- a. Pergerakan relatif komponen terhadap komponen lainnya telah dirakit selama produk tersebut beroperasi.

b. Perbedaan jenis material antara komponen yang akan dirakit dengan komponen lainnya yang sudah dirakit.

c. Keperluan untuk pemisahan letak komponen dari komponen yang sudah dirakit.

Kecukupan jumlah *theoretical minimum part* (N_{min}) dalam proses perakitan dapat ditinjau melalui perhitungan nilai efisiensi perakitan (*DFA Index*). Untuk mencapai nilai efisiensi yang tinggi, Boothroyd dkk. memperkenalkan sebelas *DFA Guidelines* yang memberikan arahan praktis bagi perancang dalam menghasilkan desain produk yang lebih sederhana dan mudah dirakit, yang diuraikan sebagai berikut.

1. Mengurangi jumlah komponen.
2. Mengurangi variasi komponen melalui standarisasi (*standardize parts*).
3. Menyederhanakan proses perakitan.
4. Mengurangi jumlah langkah perakitan.
5. Meminimalkan penggunaan *fasteners*, terutama sekrup dan baut.
6. Meminimalkan potensi komponen saling mengait atau tersangkut (*reduce nesting or tangling*).
7. Memperhatikan orientasi komponen, baik yang pemasangannya terlihat dengan jelas (*critical orientation*) maupun yang dapat dipasang dari segala arah (*non-critical orientation*).
8. Memastikan aksesibilitas dan visibilitas selama proses perakitan.
9. Memudahkan *handling* komponen (*easy part handling*).
10. Melakukan perakitan dari arah atas (*assemble from top*).
11. Mengurangi operasi reorientasi (*reorientation of assembly*), termasuk penempatan dan penyesuaian komponen.

Design for Manufacturing (DFM) merupakan pendekatan untuk menyederhanakan proses manufaktur untuk mengurangi biaya komponen, dengan mempertimbangkan beberapa hal berikut [4].

- a. Pemilihan Jenis Bahan Baku
- b. Pemilihan Bentuk Geometri Bahan Baku
- c. Penetapan Toleransi Dimensi dan Geometris Bahan Baku
- d. Penetapan Kekerasan Permukaan
- e. Karakterisasi Bentuk Produk sebagai Batasan terhadap Proses Manufaktur
- f. Pemilihan dari Proses Sekunder (*finishing*)

Kedua pendekatan tersebut dipenuhi melalui perangkat lunak DFMA, di mana aspek manufaktur dianalisis menggunakan perangkat lunak *DFM Concurrent Costing 2.3* dan aspek perakitan dianalisis menggunakan perangkat lunak *Design for Assembly 9.4* buatan Boothroyd Dewhurst, Inc. Analisis aspek manufaktur (DFM) mencakup identifikasi *life volume*, *approximate envelope dimension* dan *envelope shape*, material, proses manufaktur, serta mesin yang digunakan untuk manufaktur komponen penyusun, dengan mempertimbangkan karakteristik yang digunakan pada kondisi eksisting dengan yang terdapat dalam *Operations*, *Machine*, dan *Materials Libraries*. Analisis tersebut dilakukan untuk setiap komponen yang dibuat (*make*), yang keluarannya disisipkan ke perangkat lunak *Design for Assembly 9.4* untuk analisis aspek perakitan.

Analisis aspek perakitan (DFA) melibatkan identifikasi parameter, seperti *life volume*, *repeat count*, jenis *part*, *securing method*, *minimum part criteria*, *envelope dimension*, *symmetry*, *handling difficulties*, serta *insertion difficulties*. Selain itu, perangkat lunak *Design for Assembly 9.4* dengan segala kelebihanannya juga memfasilitasi perancang untuk menyertakan operasi perakitan yang digunakan, sebagaimana dapat diakses melalui *Operations*, *Machine*, dan *Materials Libraries*. Keluaran dari hasil analisis ini dapat diakses melalui submenu *executive summary* dan *analysis totals* pada menu *Reports*. Selain itu, analisis ini juga menghasilkan *suggestions for redesign*, berupa usulan untuk melakukan redesain produk.

Pada studi kasus redesain alat traksi, penerapan DFMA diawali untuk menganalisis aspek manufaktur dan perakitan pada desain *prototype v1*. Keluaran dari hasil analisis tersebut akan dijadikan acuan target minimum yang hendak dicapai. Selanjutnya, redesain alat traksi dilakukan dengan memanfaatkan *suggestions for redesign* dan mengakomodasi *emergency button*, yang belum dipertimbangkan pada desain *prototype v1*.

Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan yang disertakan berfokus pada evaluasi efektivitas redesain *prototype* alat traksi yang dilakukan

untuk mengatasi permasalahan pada desain *prototype* v1, yang ditunjukkan melalui tingginya penggunaan *fasteners*. Oleh karena itu, dilakukan redesign alat traksi dengan DFMA untuk meningkatkan efisiensi biaya dan kemudahan perakitan. Pada bagian ini, pembahasan diawali dengan analisis DFMA pada kedua desain *prototype* alat traksi, yaitu *prototype* v1 dan v2, dan diakhiri dengan perbandingan keluarannya, guna menilai sejauh mana hasil redesign mampu menjawab permasalahan tersebut.

1. Analisis DFMA pada Desain Eksisting Alat Traksi (*Prototype* v1)

Analisis DFMA yang dilakukan pada desain eksisting alat traksi (*prototype* v1) mencakup *DFMA assessment* terhadap aspek manufaktur dan perakitan melalui perangkat lunak DFMA, dengan satuan ukuran *metric* (mm) dan satuan biaya rupiah (Rp) dengan kurs (*exchange rate*) Rp16.628,50 per satu dolar. Dengan menyisipkan seluruh data yang diperlukan pada perangkat lunak tersebut, *DFMA assessment* menghasilkan total biaya manufaktur sebesar Rp231.138.528,00, dengan sebagian besar biaya berasal dari rangka alat traksi, yaitu Rp184.894.176,00 atau 80%. Selain itu, hasil *assessment* untuk satu unit desain *prototype* v1 menunjukkan bahwa alat ini tersusun atas 361 entri. Dari jumlah tersebut, 96 di antaranya merupakan jumlah *part* yang memenuhi kriteria *theoretical minimum part count* (N_{min}) dan perlu dipertimbangkan dalam redesign alat menjadi desain *prototype* alat traksi v2. Selain itu, *assessment* ini juga menyertakan total waktu yang diperlukan untuk merakit satu unit alat traksi (t_{ma}), yaitu selama 3.973,43 detik, yang juga menghasilkan *DFA Index* sebesar 7,1. Nilai *DFA Index* sebesar 7,1 disebabkan oleh tingginya penggunaan *fasteners* dan aktivitas reorientasi. Perakitan satu unit desain eksisting alat traksi (*prototype* v1) memerlukan 19 variasi *fasteners* dengan total sebanyak 216 unit. Jumlah tersebut mencakup 59,83% dari total komponen penyusun dan operasi. Hal ini menjadi perhatian yang serius karena *fasteners* merupakan salah satu penyumbang utama jumlah *part* berlebih, sehingga pengurangannya pada redesign alat traksi penting untuk menyederhanakan perakitan. Informasi lengkap terkait hasil *DFMA assessment* pada desain *prototype* v1 ditunjukkan pada Gambar 2.

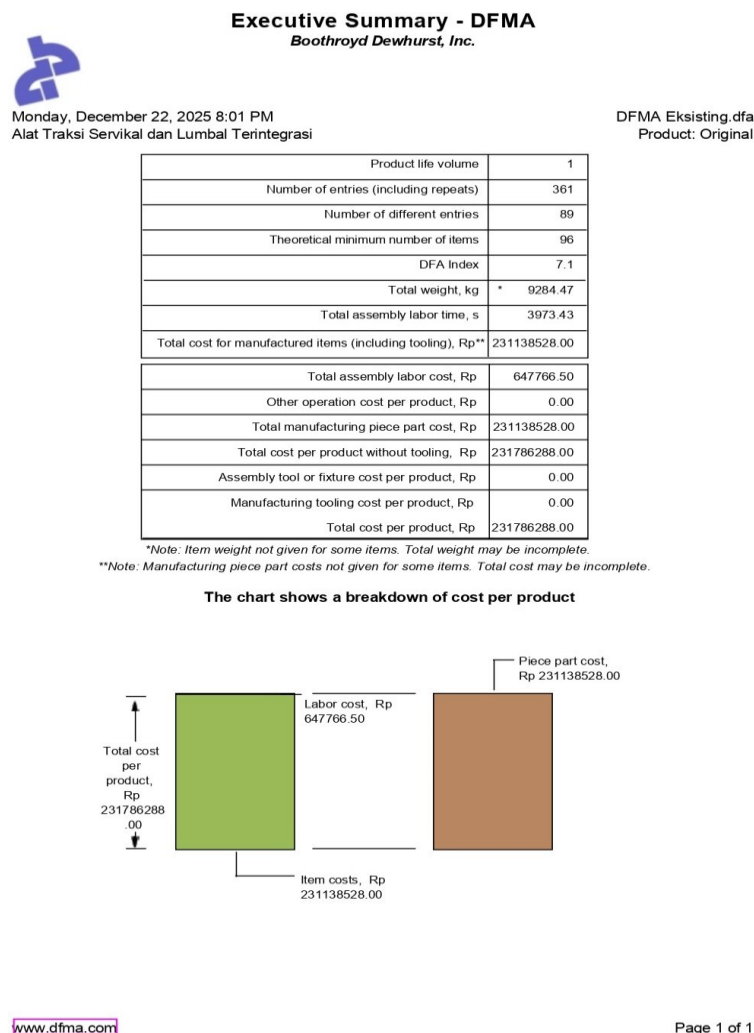


Figure 2. Hasil *DFMA Assessment* untuk Satu Unit Desain *Prototype* v1

2. Usulan Redesain *Prototype* Alat Traksi

Usulan redesign *prototype* v1 yang dihasilkan dari *DFMA assessment* dapat diakses melalui submenu *suggestions for redesign* pada menu *View* di *software Design for Assembly 9.4*. Usulan redesign yang direkomendasikan meliputi pengurangan jumlah dan penyeragaman variasi *fasteners* beserta penggabungan, pengurangan jumlah dan penyederhanaan

komponen. Redesain *prototype* v1 dilakukan dengan mengurangi 48 unit dan menyeragamkan 1 variasi *fasteners*, mengurangi 18 operasi reorientasi (*reorientation of assembly*), serta penyesuaian desain komponen, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penyesuaian Desain Komponen untuk Desain Usulan Alat Traksi (*Prototype* v2)

Desain Eksisting		Desain Usulan	
<i>Part Number</i>	Kelengkapan	<i>Part Number</i>	Kelengkapan
1.1.1.1	Struktur rangka alat traksi dengan 24 titik sambung serta tersusun atas rangka dasar, rangka atas, dan profil rangka diagonal	1.1.1.1'	Penyederhanaan struktur rangka alat traksi melalui konfigurasi titik sambung yang lebih sedikit (16 titik) dan menghilangkan profil rangka diagonal
1.1.3.1–1.1.3.8	Setiap plat baja pada <i>bedding set</i> (1.1.3.1–1.1.3.4) dilengkapi 4 lubang yang digunakan untuk menghubungkan plat kayu (1.1.3.5–1.1.3.8) menggunakan <i>fasteners</i>	1.1.3.1'–1.1.3.8'	Pengurangan jumlah lubang pada setiap plat baja dan plat kayu pada <i>bedding set</i> (1.1.3.1'–1.1.3.8') menjadi 2 lubang
1.1.4.2–1.1.4.10	Alat traksi dilengkapi dengan 4 komponen penyusun <i>bed cover frame</i> pada sisi kiri dan kanan (1.1.4.2, 1.1.4.3, 1.1.4.6, dan 1.1.4.7) serta 3 komponen pada sisi depan dan belakang (1.1.4.4 dan 1.1.4.8–1.1.4.10)	1.1.4.6', 1.1.4.5.1', 1.1.4.7.1'	Penggabungan 4 komponen penyusun <i>bed cover frame</i> pada sisi kiri menjadi 1 unit <i>cover</i> kiri yang baru (1.1.4.7.1') dan 3 komponen pada sisi depan dan belakang menjadi 1 unit <i>cover</i> depan dan belakang yang baru (1.1.4.5.1'/1.1.4.6')
1.4.1	Pegangan <i>monitor stand</i> yang dilengkapi dengan 10 lubang dengan 4 diantaranya sebagai pengikat dengan <i>cover</i> depan menggunakan <i>fasteners</i>	1.1.4.5.2'	Pegangan <i>monitor stand</i> yang terhubung dengan <i>cover</i> belakang melalui pengelasan dan dilengkapi 6 lubang untuk kebutuhan pengikatan dengan <i>monitor stand</i> menggunakan <i>fasteners</i>
1.3.1	Rangka <i>leg support</i> dengan konfigurasi kaki berbentuk silang (<i>cross-base</i>) yang terdiri dari 4 profil <i>hollow</i> simetris	1.3.1'	Penyesuaian bentuk kaki rangka <i>leg support</i> dengan konfigurasi kaki sejajar (<i>parallel-base</i>) yang terdiri dari 2 profil <i>hollow</i> yang sejajar dan terhubung oleh 1 profil <i>hollow</i> yang memanjang di tengah. Konfigurasi ini dipilih untuk mengurangi kesulitan <i>regrasping</i> sebelum proses pemasangan
Tidak tersedia	Alat traksi tidak dilengkapi dengan <i>emergency button</i>	1.5', 1.1.4.7.2', 1.1.4.7.3'	Alat traksi dilengkapi dengan <i>emergency button</i> yang ditempatkan pada plat dudukan dan penyangga, yang terintegrasi dengan <i>cover</i> kiri yang baru melalui pengelasan untuk membentuk <i>cover</i> kiri terintegrasi

Selain itu, penyesuaian juga dilakukan terhadap parameter proses manufaktur komponen, yang targetnya ditentukan berdasarkan hasil penelusuran data sekunder, sebagaimana terlampir pada Tabel 2.

Tabel 2. Penyesuaian Parameter Proses Manufaktur

No.	Parameter Proses Manufaktur	Target
1	<i>Cutting Speed</i> saat Pemotongan	4–10 m/min dengan <i>Laser Cutting</i>
2	<i>Cutting Speed</i> saat <i>Drilling</i>	30,48 m/min untuk Baja dan 40,84 m/min untuk Kayu
3	<i>Welding Speed</i>	75–150 mm/min
4	<i>Spindle Speed</i> untuk <i>Cervical Adjuster</i>	3.000–6.000 RPM

Dengan menerapkan usulan redesain dan penyesuaian tersebut, dihasilkan rancangan desain *prototype* alat traksi v2, yang ditampilkan melalui perbandingan dengan desain *prototype* v1 pada Gambar 3.



Figure 3. Perbandingan Rancangan Desain *Prototype* v1 (kiri) dan *Prototype* v2 (kanan)

3. Perbandingan Desain Eksisting dan Desain Usulan Alat Traksi (*Prototype v1 dan v2*)

Hasil analisis DFMA pada desain usulan alat traksi (*prototype v2*) menghasilkan total biaya manufaktur sebesar Rp210.057.248,00 untuk pembuatan satu unit alat traksi, total waktu perakitan (t_{ma}) selama 3.533,66 detik, serta *DFA Index* sebesar 8,3. Tingginya kontribusi biaya tersebut tidak terlepas dari peran rangka alat traksi sebagai *base part*, yakni komponen struktural utama yang berfungsi menopang seluruh beban operasional serta menjadi tempat pemasangan berbagai komponen penyusun alat traksi. Di sisi lain, total waktu perakitan (t_{ma}) alat traksi didominasi oleh penggunaan *fasteners*, dengan kontribusi waktu selama 2.432,47 detik atau 68,84%. Tingginya kontribusi waktu tersebut disebabkan oleh penggunaan 60 unit *fasteners* dengan 8 variasi pada perakitan komponen penyusun sistem kontrol *bed*, yang menyumbang waktu selama 959,28 detik atau 39,44%. Hal ini tidak terlepas dari karakteristik seluruh komponen penyusunnya yang diperoleh melalui pembelian (*buy*) dan dipertahankan dari desain *prototype v1* karena masih mampu memenuhi kebutuhan operasional terapi traksi [17]. Total waktu perakitan (t_{ma}) alat traksi memengaruhi tingkat efisiensi, sebagaimana tercermin pada nilai *DFA Index*, yang juga dipengaruhi oleh jumlah *part* yang memenuhi kriteria *theoretical minimum part count* (N_{min}). Desain usulan alat traksi (*prototype v2*) memiliki 100 *parts* yang telah memenuhi kriteria tersebut dan tersusun atas 297 entri. Dari total entri tersebut, 168 di antaranya merupakan *fasteners* dengan 18 variasi, yang menyumbang sebesar 56,57% dari total komponen penyusun dan operasi. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun jumlah dan variasi *fasteners* telah disesuaikan, keberadaannya tetap diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pengikatan komponen penyusun alat traksi.

Untuk memudahkan perbandingan kedua desain *prototype* alat traksi, disusun beberapa target parameter proses perakitan yang diadaptasi dari *DFA Guidelines*, sebagaimana diperkenalkan oleh Boothroyd dkk. , yang hasilnya dilampirkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Keterpenuhan Target Parameter Proses Perakitan antara Desain Eksisting dan Desain Usulan Alat Traksi (*Prototype v1 dan v2*)

No.	Target Parameter Proses Perakitan	Desain Eksisting	Desain Usulan	Perubahan
A1	Peningkatan Proporsi N_{min} terhadap Total Entri Komponen dan Operasi	0,266 (96/361)	0,337 (100/297)	+26,61%
A2	Peningkatan Proporsi Komponen yang Memiliki Lebih dari Satu Sumbu Simetri	0,591 (52/88)	0,596 (56/94)	+0,82%
A3	Penurunan Proporsi Frekuensi Operasi Reorientasi pada Proses Perakitan	0,270 (24/89)	0,062 (6/97)	-77,06%
A4	Penurunan Proporsi Jumlah dan Variasi Fasteners terhadap Total Entri Komponen dan Operasi	Jumlah: 0,598 (216/361); Variasi: 0,213 (19/89)	Jumlah: 0,566 (168/297); Variasi: 0,186 (18/97)	Jumlah: -5,46%; Variasi: -13,08%
A5	Penurunan Proporsi Komponen dengan <i>Securing Method</i> selain <i>Secured Later</i> , <i>Snap-fit</i> , <i>Push/Press</i> , dan <i>Self-stick</i>	0,227 (20/88)	0,202 (19/94)	-11,06%
A6	Penurunan Proporsi Komponen yang Memiliki <i>Handling Difficulties</i>	0,580 (51/88)	0,564 (53/94)	-2,71%
A7	Penurunan Proporsi Komponen yang Memiliki <i>Insertion Difficulties</i>	0,886 (78/88)	0,415 (39/94)	-53,19%

Perbandingan kedua desain *prototype* alat traksi menunjukkan bahwa frekuensi operasi reorientasi (*assembly*) mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan *DFA Guidelines* lainnya, yaitu hingga 77,06%. Proses perakitan pada desain *prototype v2* hanya melibatkan 6 operasi reorientasi dibandingkan 24 operasi pada desain *prototype v1* (A7). Hal ini dikarenakan penyederhanaan struktur rangka alat traksi dan penempatan komponen penyusun yang didasarkan pada desain *prototype v1*. Penyederhanaan tersebut dilakukan dengan mengurangi 8 titik sambung (33%) dan menghilangkan profil rangka diagonal untuk mengatasi keterbatasan akses dan pandangan (*access & vision*) saat *insertion* komponen penyusun sistem kontrol *bed* beserta plat dudukannya, yang secara langsung juga berdampak pada rendahnya tingkat kesulitan *insertion* (A5). Sebaliknya, perubahan struktur rangka alat traksi pada desain *prototype v1* bersifat masif dibandingkan dengan *prototype v2* sebelumnya, sehingga proses perakitannya memerlukan banyak penyesuaian posisi komponen penyusun, yang juga berdampak pada tingginya tingkat kesulitan *insertion*. Tingginya tingkat kesulitan tersebut tidak terlepas dari adanya kesulitan *regrasping* pada perakitan rangka *leg support*, yang menuntut penyesuaian posisi tangan untuk menyambungkan empat profil *hollow* pada bagian tengah struktur rangka. Selain itu, desain *prototype v2* memiliki proporsi komponen penyusun yang memenuhi kriteria *theoretical minimum part count* (N_{min}) dan memiliki lebih dari satu sumbu simetri lebih tinggi dibandingkan dengan desain *prototype v1* (A2 dan A1). Peningkatan proporsi tersebut disebabkan oleh kehadiran *emergency button* beserta plat dudukannya, yang merupakan salah satu komponen penyusun utama pada desain *prototype v2*. Selain itu, hal ini juga disebabkan oleh berkurangnya jumlah dan standardisasi variasi *fasteners* (A6), yang dicapai melalui penghilangan variasi *fastener* AS1420 - 1973 - M6 $\times$ 16 melalui standardisasi dengan AS1420 - 1973 - M6 $\times$ 12; serta redesain beberapa komponen penyusun yang sebelumnya dihubungkan menggunakan *fasteners* menjadi dilas untuk kebutuhan pengikatan, seperti *cover* belakang yang baru dengan pegangan *monitor stand* dan *cover* kiri yang baru dengan plat duduk *emergency button* beserta penyangganya. Tindakan-tindakan tersebut berkontribusi terhadap penurunan total entri komponen penyusun dan operasi. Penurunan total entri komponen penyusun juga dicapai melalui penggabungan 4 komponen penyusun *bed cover frame* pada sisi kiri menjadi 1 unit *cover* kiri yang baru. Di sisi lain, desain *prototype v2* juga menawarkan kemudahan *handling*, yang dibuktikan melalui adanya penurunan proporsi pada komponen penyusunnya (A4). Hal ini tidak terlepas dari kehadiran komponen penyusun

emergency button dengan desain yang memudahkan *handling* (tidak memenuhi salah satu *handling difficulties* yang tertera pada perangkat lunak *Design for Assembly 9.4*), seperti *push button switch* yang memiliki cekungan pada permukaannya. Dari segi kompleksitas *securing method*, desain *prototype v2* menunjukkan proporsi yang lebih rendah dibandingkan dengan desain *prototype v1*, yang disebabkan oleh penurunan jumlah *thread* yang diperlukan akibat pengurangan jumlah dan standarisasi variasi *fasteners*.

Selain itu, penyesuaian dengan memenuhi target parameter proses manufaktur juga berkontribusi dalam menurunkan total biaya manufaktur komponen. Hal ini terjadi karena penyesuaian parameter, termasuk kecepatan proses (*welding speed*, *cutting speed*, dan *spindle speed*), yang secara langsung memperpendek waktu siklus produksi tanpa meningkatkan risiko cacat [18].

Pemenuhan ketujuh target parameter proses perakitan pada desain *prototype v2* memengaruhi hasil perbandingan analisis DFMA terhadap desain *prototype v1*, yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perbandingan Analisis DFMA antara Desain *Prototype v1* dan *v2*

Parameter DFMA	Desain Eksisting	Desain Usulan	Perubahan
<i>DFA Index</i>	7,1	8,3	+16,90%
Total Waktu Perakitan	3.973,43 detik	3.533,66 detik	-11,07%
Total Biaya Perakitan	Rp 647.760,00	Rp 591.900,00	-8,62%
Total Biaya Manufaktur	Rp 231.138.528,00	Rp 210.057.248,00	-9,12%
Total Cost per Product	Rp 231.786.288,00	Rp 210.649.148,00	-9,12%

Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa desain *prototype v2* menghasilkan peningkatan *DFA Index* sebesar 16,90%, disertai penurunan total waktu dan biaya perakitan masing-masing sebesar 11,01% dan 8,62%, dibandingkan dengan desain *prototype v1*. Selain itu, penyesuaian pada beberapa komponen penyusun juga berkontribusi terhadap penurunan total biaya manufaktur, yang berdampak pada penurunan total biaya pembuatan satu unit alat traksi sebesar 9,12%. Capaian tersebut masih berada dalam rentang yang dihasilkan dalam penelitian redesain alat kesehatan yang dilakukan oleh Pranastya dan Prasad dkk. . Hal ini mengindikasikan bahwa desain usulan alat traksi (*prototype v2*) tidak hanya mendukung penurunan biaya manufaktur dan kemudahan perakitan, tetapi juga berpotensi mengurangi beban kerja pada proses perakitan serta menurunkan biaya pembuatan satu unit alat. Lebih lanjut, temuan ini menunjukkan bahwa penerapan *DFA Guidelines* pada redesain produk dengan DFMA juga memiliki implikasi strategis bagi redesain alat kesehatan sejenis, termasuk alat terapi kesehatan, di mana panduan ini dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam mencapai peningkatan efisiensi manufaktur dan perakitan tanpa mengorbankan fungsi utama alat. Dengan demikian, keseimbangan antara *design requirements*, kemudahan manufaktur dan perakitan, serta keterjangkauan biaya dapat tercapai.

Simpulan

Penerapan pendekatan *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) pada redesain alat traksi servikal dan lumbal terintegrasi berhasil mencapai tujuan pengembangan desain yang lebih efisien dari aspek manufaktur dan perakitan. Desain usulan alat traksi (*prototype v2*) menunjukkan peningkatan efisiensi perakitan yang tercermin dari kenaikan nilai *DFA Indeks*, serta penurunan waktu dan biaya perakitan maupun total biaya manufaktur dibandingkan dengan desain eksisting alat (*prototype v1*). Hal ini dicapai dengan penyederhanaan struktur rangka, pengurangan dan penyeragaman *fasteners*, pengurangan operasi reorientasi, serta penyesuaian parameter proses manufaktur. Selain itu, *prototype v2* juga dilengkapi dengan *emergency button* yang memberikan fleksibilitas bagi pasien untuk mengendalikan keamanan selama terapi. Secara keseluruhan, pendekatan DFMA terbukti efektif untuk menghasilkan desain alat terapi kesehatan yang lebih terjangkau dan mudah dirakit. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena perhitungan biaya yang dihasilkan melalui perangkat lunak DFMA belum sepenuhnya merepresentasikan biaya aktual dari pembuatan desain *prototype* alat traksi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat melibatkan elemen biaya yang bersifat statis, seperti biaya komponen penyusun yang dibeli (*buy*), *labor rate*, dan *tooling investment*. Lebih lanjut, alangkah baiknya apabila keluaran dari analisis DFMA dapat dimanfaatkan dalam perhitungan *Cost of Goods Manufactured* (COGM), agar hasil analisis dapat merepresentasikan biaya aktual dari realisasi desain usulan alat traksi (*prototype v2*).

Ucapan Terima Kasih

Para penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada program Higher Education Technology and Innovation (HETI) ADB-ITS atas dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Departemen Teknik dan Sistem Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, atas dukungan teknis yang diberikan selama seluruh rangkaian kegiatan penelitian berlangsung.

References

1. J. Sharma, "Product Development Process: A Comprehensive Literature Study," *International Journal of Economic Research*, vol. 16, no. 1, pp. 17–35, 2019. [Online]. Available: www.serialsjournal.com
2. P. Kotler, G. Armstrong, and M. O. Opresnik, *Principles of Marketing*, 17th ed. Hoboken, NJ, USA: Pearson Education Limited, 2018.
3. M. Suef, S. Suparno, and M. L. Singgih, "Categorizing Product Attributes Efficiently in QFD-Kano: A Case Analysis in Telecommunication," *The TQM Journal*, vol. 29, no. 3, pp. 512–526, 2017, doi: 10.1108/TQM-03-2015-0036.
4. G. Formentini, N. Boix Rodriguez, and C. Favi, "Design for Manufacturing and Assembly Methods in the Product

- Development Process of Mechanical Products: A Systematic Literature Review,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 120, no. 5–6, pp. 3185–3207, 2022, doi: 10.1007/s00170-022-08837-6.
5. G. Boothroyd, P. Dewhurst, and W. A. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2011.
 6. A. Noveldi, F. Ashari, R. C. Pratama, and U. Bojonegoro, “Design of Ergonomic Adjustable Welding Work Facilities Using the DFMA Method,” *Journal of Information System and Technology*, vol. 1, no. 3, pp. 60–80, 2023. [Online]. Available: <http://gemapublisher.com/index.php/jiste>
 7. W. Ni, *Re-Design of Vehicle Front Support Structure Using DFMA Technical Approach*. Beijing, China: Beijing Institute of Technology, 2017.
 8. K. M. Antony and S. Arunkumar, “DFMA and Sustainability Analysis in Product Design,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1455, no. 1, Art. no. 012028, Mar. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1455/1/012028.
 9. M. Gupta and S. Kumar, “Design Efficiency Analysis Towards Product Improvement Using DFMA,” in *Proceedings of the 8th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*, Abu Dhabi, UAE, Apr. 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICMSAO.2019.8880339.
 10. A. Sreerag, J. Jayadeep, A. H. Pereira, and S. Arunkumar, “Redesign of Computer Workstation Using Ergonomics,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1706, no. 1, Art. no. 012201, Dec. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1706/1/012201.
 11. S. G. Castro, M. Panarotto, O. Borgue, and O. Isaksson, “Analysing Increase of Functionality and Complexity in Integrated Product Architectures,” in *Proceedings of the NordDesign 2020 Conference*, Lyngby, Denmark, 2020, doi: 10.35199/norddesign2020.16.
 12. A. Qudah and M. Khalid, “Impact of Combined Lumbar Traction with Cervical Traction in Chronic Lumbar Disc Herniation,” *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, vol. 12, no. 6, pp. 1124–1131, Apr. 2021, doi: 10.17762/turcomat.v12i6.2430.
 13. A. L. Pranastya, *Redesign of Post-Stroke Bicycle Using Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) Approach*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
 14. S. Prasad, T. Zacharia, and J. Babu, “Design for Manufacturing (DFM) Approach for Productivity Improvement in Medical Equipment Manufacturing,” *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 1–6, 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/343859369>
 15. M. Makovac and P. Butala, “The Role of DFA in Product Development: An Industrial Case Study,” in *IFAC Proceedings Volumes – Intelligent Assembly and Disassembly*, vol. 31, no. 14, pp. 129–134, 1998, doi: 10.1016/S1474-6670(17)38166-5.
 16. C. Favi, M. Germani, and M. Mandolini, “Development of Complex Products and Production Strategies Using a Multi-Objective Conceptual Design Approach,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 95, no. 1–4, pp. 1281–1291, Mar. 2018, doi: 10.1007/s00170-017-1321-y.
 17. S. D. Elvira, *Development of Integrated Lumbar and Cervical Traction Device*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2025.
 18. I. W. R. Taifa and T. N. Vhora, “Cycle Time Reduction for Productivity Improvement in the Manufacturing Industry,” *Journal of Industrial Engineering and Management Studies (JIEMS)*, vol. 6, no. 2, pp. 147–164, 2019, doi: 10.22116/JIEMS.2019.93495.