



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (DM43300)

**ANALISIS DAN PERBAIKAN *FRAME* SESPAN MOTOR
MENGUNAKAN PENDEKATAN *DESIGN FOR MANUFACTURE
AND ASSEMBLY* (DFMA)**

Daniel Eka Tegar Prakoso
NRP. 0622040086

DOSEN PEMBIMBING:
TRI ANDI SETIAWAN, S.ST., M.T.
Dr. Ir. ANDA IVIANA JUNIANI, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK DESAIN DAN MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (DM43300)

**ANALISIS DAN PERBAIKAN *FRAME* SESPAN MOTOR
MENGUNAKAN PENDEKATAN *DESIGN FOR MANUFACTURE
AND ASSEMBLY (DFMA)***

Daniel Eka Tegar Prakoso
NRP. 0622040086

DOSEN PEMBIMBING:
TRI ANDI SETIAWAN, S.ST., M.T.
Dr. Ir. ANDA IVIANA JUNIANI, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK DESAIN DAN MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

“Halaman dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS DAN PERBAIKAN *FRAME* SESPAN MOTOR
MENGUNAKAN PENDEKATAN *DESIGN FOR MANUFACTURE AND
ASSEMBLY (DFMA)***

**Disusun Oleh:
Daniel Eka Tegar Prakoso
0622040086**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Desain dan Manufaktur
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

**Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 9 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026**

Menyetujui,

Dosen Penguji

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

1. Tri Andi Setiawan, S.ST., M.T.

(0028018902)

(.....)

2. Chezta Ahmad Muzakky, S.Tr.T., M.T.

(8260774675130213)

(.....)

3. Aditya Maharani, S.Si., M.T.

(0715098302)

(.....)

Dosen Pembimbing

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

1. Tri Andi Setiawan, S.ST., M.T.

(0028018902)

(.....)

2. Dr. Ir. Anda Iviana Junlani, S.T., M.T.

(0020067904)

(.....)

Menyetujui

Ketua Jurusan



Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T.

NIP. 197708192005011001

Mengetahui

Koordinator Program Studi,

(Signature)

Dhika Aditya Purnomo, S.ST., M.T.

NIP. 198910072019031008

“Halaman dikosongkan”



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I. 021

Date : 3 Nopember 2015

Rev. : 01

Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Daniel Eka Tegar Prakoso

NRP. : 0622040086

Jurusan/Prodi : D4 – Teknik Desain dan Manufaktur

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

"Analisis dan Perbaikan *Frame* Sespan Motor Menggunakan Pendekatan *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)*"

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 10 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



(Daniel Eka Tegar Prakoso)
NRP. 0622040086

“Halaman dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Analisis dan Perbaikan *Frame Sespun Motor* menggunakan Pendekatan *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)*”**.

Penyusunan Tugas Akhir ini untuk memenuhi persyaratan akademik pendidikan pada Program Studi Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Penulis menyadari dalam menyusun Tugas Akhir ini banyak mendapatkan dukungan, bimbingan, dan kemudahan dari berbagai pihak sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Dhika Aditya Purnomo, S.ST., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Desain dan Manufaktu, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Fipka Bisono, S.ST.,M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur.
5. Bapak Tri Andi Setiawan, S.ST.,M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan Tugas Akhir.
6. Ibu Dr. Anda Iviana Juniani, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan Tugas Akhir.

7. Ida Andayani yaitu mama saya, terimakasih selalu *support* selama menempuh pendidikan, perhatian dan banting tulang untuk membesarkan saya dari kecil hingga sekarang anakmu sudah wisuda.
8. Alm. Edy Purwanto dan Supriyatni selaku wali orangtua yang sudah saya anggap orang tua sendiri, terimakasih atas segala bimbingan, perhatian, dan *support* yang kalian berikan hingga saya sudah wisuda.
9. Rekan-rekan Lab Sistem Manufaktur ITS yang sudah bersedia meluangkan waktu ditengah kesibukan perkuliahan untuk membantu dan memberikan ilmu mengenai *software* DFMA.
10. Seluruh teman seperjuangan Teknik Desain dan Manufaktur Angkatan 2022 yang telah berbagi, membantu, mendukung dan berjuang bersama selama 4 tahun.
11. Seluruh teman terdekat yang tergabung dalam “Keluarga Darmo Permai Timur” yang senantiasa memberikan dukungan, dan informasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
12. Seluruh pihak yang telah membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Tugas Akhir.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas seluruh bantuan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi terciptanya penulisan Tugas Akhir yang lebih baik. Besar harapan dari penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi setiap orang yang membaca dan bisa menjadi refrensi untuk penelitian selanjutnya. Apabila terdapat kesalahan dalam penulisan, penulis memohon maaf secara tulus dari hati.

Surabaya, 10 juli 2026

Penulis

ANALISIS DAN PERBAIKAN *FRAME* SESPAN MOTOR MENGUNAKAN PENDEKATAN *DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY (DFMA)*

Daniel Eka Tegar Prakoso

ABSTRAK

Penelitian ini membahas analisis dan perbaikan *frame* sespan motor dengan pendekatan *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)* untuk meningkatkan efisiensi manufaktur, perakitan, dan keamanan struktur. Objek penelitian berupa *frame* sespan motor sistem knockdown yang dievaluasi pada desain existing, kemudian dikembangkan menjadi dua alternatif redesign. Hasil analisis DFMA menunjukkan bahwa *redesign 1* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan desain lainnya, ditinjau dari efisiensi manufaktur dan kemudahan perakitan. Pada desain terpilih, *redesign 1* diperoleh nilai DFMA yang lebih optimal dibandingkan desain existing, serta hasil analisis struktural menunjukkan nilai *safety factor* yang masih berada pada batas aman sehingga memenuhi aspek kekuatan struktur. Pemilihan desain terbaik dilakukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* dengan kriteria waktu perakitan, biaya manufaktur, *DFA Index*, *displacement*, dan *safety factor*. Berdasarkan hasil pembobotan dan evaluasi AHP, *redesign 1* terpilih sebagai desain terbaik karena memberikan keseimbangan paling baik antara efisiensi proses, biaya, dan keamanan struktur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan DFMA dan AHP dapat digunakan sebagai dasar dalam pengembangan desain *frame* sespan motor yang lebih efisien dan aman untuk diproduksi.

Kata Kunci: *Analytical Hierarchy Process, Design for Assembly Index, Design for Manufacture and Assembly, redesign, safety factor, frame sespan motor.*

“Halaman dikosongkan”

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF A MOTORCYCLE SIDECAR FRAMES USING THE DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY (DFMA) APPROACH

Daniel Eka Tegar Prakoso

ABSTRACT

This study presents an analysis and improvement of a motorcycle sidecar frame using the Design for Manufacture and Assembly (DFMA) approach to enhance manufacturing efficiency, ease of assembly, and structural safety. The object of the study is a knockdown-type motorcycle sidecar frame, which was evaluated as the existing design and then developed into two redesign alternatives. The DFMA analysis results show that redesign 1 provides better performance than the other design options in terms of manufacturing efficiency and assembly simplicity. For the selected design, redesign 1 achieved a more optimal DFMA value than the existing design. At the same time, the structural analysis indicates that the safety factor remains within a safe range and satisfies the required structural strength criteria. The best design was selected using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method with criteria including assembly time, manufacturing cost, DFA index, displacement, and safety factor. Based on the weighting and AHP evaluation, redesign 1 was chosen as the best design because it provides the best balance between process efficiency, cost, and structural safety. The findings indicate that the combined use of DFMA and AHP can serve as an effective basis for developing a more efficient and safe motorcycle sidecar frame design.

Keyword: *Analytical Hierarchy Process, Design for Assembly Index, Design for Manufacture and Assembly, Motorcycle Sidecar Frame, redesign, safety factor.*

“Halaman dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sespan	5
2.2 <i>Frame</i>	5
2.3 Sistem <i>Knockdown</i>	7
2.4 Penelitian Terdahulu	8
2.5 Metode DFMA	10
2.5.1 Konsep Dasar DFMA.....	10
2.5.2 Design for Assembly (DFA)	13
2.5.3 <i>Design for Manufacturing</i> (DFM)	14
2.5.4 Kriteria Keberhasilan Penerapan DFMA	15
2.6 DFMA Software.....	16
2.6.1 DFM <i>Software</i>	18
2.6.2 DFA <i>Software</i>	21
2.7 <i>Safety Factor</i>	32
2.8 <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).....	33

2.8.1	Prinsip Dasar AHP	33
2.8.2	Tahapan Analisis AHP	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		39
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2	Alur Penelitian.....	40
3.2.1	Identifikasi Masalah	40
3.2.2	Studi Literatur.....	40
3.2.3	Pengumpulan Data.....	40
3.2.4	Evaluasi Desain <i>Existing</i> dengan Metode <i>Design for Manufacture</i> (DFM).....	41
3.2.5	Evaluasi Desain <i>Existing</i> dengan Metode <i>Design for Assembly</i> (DFA)	41
3.2.6	Identifikasi <i>Part</i>	41
3.2.7	Pembuatan <i>Desain Baru</i> Berdasarkan Hasil Evaluasi Metode <i>Design for Manufacture and Assembly</i> (DFMA).....	41
3.2.8	Analisis Desain Baru dengan Metode <i>Design for Manufacture and Assembly</i> (DFMA).....	42
3.2.9	Perbandingan Desain <i>Existing</i> dan Desain Baru dengan Metode <i>Design for Manufacture and Assembly</i> (DFMA)	42
3.2.10	Perhitungan Nilai Beban dan <i>Safety Factor</i> Pada Desain Baru.....	42
3.2.11	Implementasi Metode AHP dalam Memilih Desain Terbaik	43
3.2.12	Kesimpulan dan Saran	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Pengumpulan Data.....	45
4.1.1	Data Komponen Penyusun	45
4.2	<i>Bill of Material</i> (BOM) <i>Existing Design</i>	46
4.2.1	BOM's <i>Tree Existing Design</i>	46
4.2.2	BOM'S <i>Tabel Existing Design</i>	48
4.3	Implementasi Metode DFMA pada <i>Existing Design</i>	56
4.3.1	<i>Design for Manufacturing</i> (DFM) <i>Existing Design</i>	56
4.3.2	<i>Design for Assembly</i> (DFA) <i>Existing Design</i>	65
4.4	<i>Redesign 1 Frame</i> Sespas Motor	72
4.5	<i>Bill of Material</i> (BOM) <i>Redesign 1</i>	74
4.6	<i>Redesign 2 Frame</i> Sespas Motor	81

4.7	<i>Bill of Material (BOM) Redesign 2</i>	83
4.8	Implementasi DFMA pada <i>Model Redesign</i>	90
4.8.1	<i>Design for Manufacturing (DFM) Redesign 1</i>	90
4.8.2	<i>Design for Manufacturing (DFM) Redesign 2</i>	93
4.8.3	<i>Design for Assembly (DFA) Redesign 1</i>	97
4.8.4	<i>Design for Assembly (DFA) Redesign 2</i>	98
4.9	Perhitungan Nilai Beban dan <i>Safety Factor</i> pada <i>Model Redesign</i>	100
4.9.1	Hasil Nilai Beban dan <i>Safety Factor Redesign 1</i>	100
4.9.2	Hasil Nilai Beban dan <i>Safety Factor Redesign 2</i>	102
4.10	Implementasi AHP dalam Pemilihan Desain Terbaik	103
4.10.1	<i>Decomposing the decision problem</i>	104
4.10.2	<i>AHP Pairwise Comparison</i>	105
4.10.3	<i>Matrix of Pairwise Comparisons</i>	105
4.10.4	<i>Calculate Eigenvectors and Eigenvalues (λ_{max})</i>	109
4.10.5	<i>Consistency Verification</i>	111
4.10.6	<i>Final Score Calculation for Alternatives</i>	112
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		117
5.1	Kesimpulan	117
5.2	Saran	117
DAFTAR PUSTAKA		119
LAMPIRAN		121

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	8
Tabel 2. 2 Detail Komponen Pada mesin <i>Bottle Leaktester</i>	12
Tabel 2. 3 Skala Nilai Intensitas Kepentingan	34
Tabel 2. 4 Tabel Random Index (RI)	37
Tabel 4. 1 Daftar Komponen <i>Existing Design</i>	46
Tabel 4. 2 BOM's <i>Table Existing Design</i>	49
Tabel 4. 3 Hasil DFM <i>Existing Design</i>	63
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Total DFA <i>Existing Design</i>	70
Tabel 4. 5 Daftar Modifikasi Komponen <i>Redesign 1</i>	73
Tabel 4. 6 BOM's <i>Tabel Redesign 1</i>	74
Tabel 4. 7 Daftar Modifikasi Komponen <i>Redesign 2</i>	82
Tabel 4. 8 Hasil DFM <i>Redesign 1</i>	90
Tabel 4. 9 Hasil DFM <i>Redesign 2</i>	94
Tabel 4. 10 Sifat fisik Material A53	100
Tabel 4. 11 Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Kriteria	105
Tabel 4. 12 Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria DFMA ...	105
Tabel 4. 13 Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria Struktural	105
Tabel 4. 14 Profil Pakar Penilaian.....	106
Tabel 4. 15 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Kriteria) - <i>Expert 1</i>	106
Tabel 4. 16 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) DFMA - <i>Expert 1</i>	106
Tabel 4. 17 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) Struktural - <i>Expert 1</i>	107
Tabel 4. 18 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Kriteria) - <i>Expert 2</i>	107
Tabel 4. 19 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) DFMA - <i>Expert 2</i>	107
Tabel 4. 20 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) Struktural - <i>Expert 2</i>	107
Tabel 4. 21 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Kriteria) - <i>Expert 3</i>	107
Tabel 4. 22 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) DFMA - <i>Expert 3</i>	108
Tabel 4. 23 <i>Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) Struktural - <i>Expert 3</i>	108
Tabel 4. 24 <i>Group Pairwise Comparisons Matrix</i> (Kriteria).....	108
Tabel 4. 25 <i>Group Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) DFMA.....	109
Tabel 4. 26 <i>Group Pairwise Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) Struktural	109

Tabel 4. 27 <i>Normalized Group Pairwised Comparisons Matrix</i> (Kriteria)	109
Tabel 4. 28 <i>Normalized Group Pairwised Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria)	
DFMA.....	110
Tabel 4. 29 <i>Normalized Pairwised Comparisons Matrix</i> (Sub-Kriteria) Struktural	
.....	110
Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan λ_{max}	110
Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan CI	111
Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan CR	112
Tabel 4. 33 <i>Unweighted Score Alternative</i>	112
Tabel 4. 34 Normalized Unweighted Score Alternative.....	113
Tabel 4. 35 <i>Global Weighted Score Alternative</i>	114
Tabel 4. 36 Daftar Komponen <i>Redesign</i> 1	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Existing Frame</i> Sespas Portabel (Muhammad Arif Abidin., 2025)...	6
Gambar 2. 2 Flowchart Tahap Penerapan Metode DFMA	11
Gambar 2. 3 <i>Design for Manufacture</i>	15
Gambar 2. 4 <i>Piston-Assembly Design</i> (Khoirul Amin., 2025).....	17
Gambar 2. 5 Tampilan Kotak Dialog DFM <i>Software</i> (Khoirul Amin., 2025).....	18
Gambar 2. 6 Dimensi <i>Box-shaped</i> (Kiri) dan <i>Cylinder-shape</i> (Kanan) (Khoirul Amin., 2025)	19
Gambar 2. 7 Tampilan Kotak Dialog <i>Selecting Process and Material</i> (Khoirul Amin., 2025)	19
Gambar 2. 8 Hasil Perhitungan Berdasarkan Proses dan Material yang dipilih (Khoirul Amin., 2025)	20
Gambar 2. 9 Hasil DFM <i>Software</i> Dalam Bentuk Grafik (Khoirul Amin., 2025)	21
Gambar 2. 10 Tampilan Kotak Dialog DFA <i>Software</i> (Khoirul Amin., 2025)	22
Gambar 2. 11 Menu untuk Menambahkan Komponen (Khoirul Amin., 2025)....	22
Gambar 2. 12 Tampilan Kolom Definisi Komponen (Khoirul Amin., 2025).....	23
Gambar 2. 13 Tampilan Kolom <i>Securing Method</i> (Khoirul Amin., 2025).....	23
Gambar 2. 14 Tampilan Kolom <i>Minimum Part Criteria</i> (Khoirul Amin., 2025).	24
Gambar 2. 15 Tampilan <i>Library</i> Operasi Manufaktur (Khoirul Amin., 2025).....	25
Gambar 2. 16 Tampilan <i>Library Fastener</i> (Khoirul Amin., 2025).....	25
Gambar 2. 17 <i>Executive Summary of DFA</i> (Khoirul Amin., 2025).....	26
Gambar 2. 18 <i>Executive Summary of DFMA</i> (Khoirul Amin., 2025)	27
Gambar 2. 19 <i>Product Worksheet</i> (Khoirul Amin., 2025).....	28
Gambar 2. 20 <i>Structure Chart</i> (Khoirul Amin., 2025)	29
Gambar 2. 21 <i>Analysis Totals</i> (Khoirul Amin., 2025)	30
Gambar 2. 22 <i>Suggestions for Redesign</i> (Khoirul Amin., 2025)	31
Gambar 2. 23 Contoh Struktur Hirarki Keputusan (Khoirul Amin., 2025)	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4. 1 Komponen <i>Existing Design</i>	45
Gambar 4. 2 <i>BOM's Tree Existing Design (Level 1)</i>	47
Gambar 4. 3 <i>BOM's Tree Existing Design (Level 2 – A)</i>	47

Gambar 4. 4 <i>BOM's Tree Existing Design (Level 2 - B)</i>	47
Gambar 4. 5 <i>BOM's Tree Existing Design (Level 2 - C)</i>	48
Gambar 4. 6 <i>BOM's Tree Existing Design (Level 2 - D)</i>	48
Gambar 4. 7 <i>BOM's Tree Existing Design (Level 2 - E)</i>	48
Gambar 4. 8 <i>BOM's Tree Existing Design (Level 2 - F)</i>	48
Gambar 4. 9 <i>Part Name, Envelope and Dimension</i>	57
Gambar 4. 10 <i>Process and Metarial Selection</i>	58
Gambar 4. 11 <i>Dynamic Costing</i>	58
Gambar 4. 12 <i>Penambahan proses manufaktur</i>	59
Gambar 4. 13 <i>Report Executive Summary Existing Design</i>	60
Gambar 4. 14 <i>Cost vs Life Volume</i>	61
Gambar 4. 15 <i>Cost Breakdown</i>	62
Gambar 4. 16 <i>Cost Reduction</i>	62
Gambar 4. 17 <i>Menu utama DFA</i>	66
Gambar 4. 18 <i>Analyzed Subassembly</i>	67
Gambar 4. 19 <i>Lembar kerja DFA</i>	68
Gambar 4. 20 <i>Insert Operation</i>	69
Gambar 4. 21 <i>DFA Index</i>	69
Gambar 4. 22 <i>Analysis Totals DFMA</i>	70
Gambar 4. 23 <i>Usulan Perbaikan</i>	71
Gambar 4. 24 <i>Lanjutan usulan Perbaikan</i>	72
Gambar 4. 25 <i>Redesign 1 Frame Sespan Motor</i>	72
Gambar 4. 26 <i>Redesign 2 Frame Sespan Motor</i>	81
Gambar 4. 27 <i>DFA Index Redesign 1</i>	97
Gambar 4. 28 <i>Analysis Totals DFMA Redesign 1</i>	98
Gambar 4. 29 <i>DFA Index Redesign 2</i>	99
Gambar 4. 30 <i>Analysis Totals DFMA Redesign 2</i>	99
Gambar 4. 31 <i>Hasil Simulasi Safety Factor Redesign 1</i>	101
Gambar 4. 32 <i>Hasil Simulasi Displacement Redesign 1</i>	101
Gambar 4. 33 <i>Hasil Simulasi Von Mises Stress Redesign 1</i>	102
Gambar 4. 34 <i>Hasil Simulasi Safety Factor Redesign 2</i>	102
Gambar 4. 35 <i>Hasil Simulasi Displacement Redesign 2</i>	103

Gambar 4. 36 Hasil Simulasi <i>Von Mises Stress Redesign 2</i>	103
Gambar 4. 37 Bagan Hierarki Pemilihan Desain Terbaik.....	104
Gambar 4. 38 Detail Komponen <i>Redesign 1</i>	115

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dihadapkan pada tantangan mobilitas yang semakin rumit akibat peningkatan populasi dan proses urbanisasi yang berkelanjutan. Sepeda motor tetap menjadi modal transportasi pribadi yang dominan berkat kemampuannya beradaptasi dengan kondisi kemacetan lalu lintas di kota-kota besar, seperti Surabaya. Meskipun demikian, keperluan untuk meningkatkan kapasitas angkut sering kali mendorong para pengguna melakukan modifikasi kendaraan yang digunakan. Salah satu masalah umum di produk mekanik adalah kompleksitas perakitan karena komponen terlalu banyak dan urutan kerja yang kurang optimal. Hal ini bisa membuat waktu kerja operator lebih lama, risiko kesalahan perakitan naik, dan biaya produksi ikut membengkak.

Untuk menetapkan desain produk yang dapat secara efektif dengan cara menghapus komponen yang sebenarnya tidak diperlukan atau bagian *part* yang tidak memberikan nilai tambah dalam proses pembuatan produk sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh pelanggan (Hasibuan & Nasution, 2024). *Frame* sespan portabel contohnya produk mekanik dengan sistem *knockdown*, artinya bisa dipasang dan dilepas sesuai dengan kebutuhan. Produk seperti ini dibutuhkan desain yang kuat secara struktur, tetapi mudah untuk dibongkar pasang, dan juga efisien soal material dan biaya perakitan.

Penelitian ini selanjutnya merujuk pada kemajuan desain yang telah dibuat dengan fokus pada evaluasi desain dari sudut pandang proses pembuatan dan perakitan. Pengembangan awal desain *frame* sespan portabel yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya secara fungsional telah memenuhi kebutuhan dasar dari segi struktur dan operasional.

Jika dilihat dari perspektif rekayasa manufaktur, desain tersebut masih menunjukkan tingkat kompleksitas yang cukup tinggi. Tingkat kompleksitas ini terlihat dari banyaknya komponen, variasi bentuk geometris, dan beragam metode penyambungan yang diterapkan. Situasi ini bisa menimbulkan masalah pada proses

pembuatan dan perakitan, terutama terkait dengan peningkatan waktu produksi, biaya yang membengkak, dan rendahnya kemudahan dalam perakitan.

Disisi lain, penerapan sistem *knockdown* pada *frame* sespan motor memberikan keuntungan dalam hal fleksibilitas dalam transportasi dan kemudahan distribusi. Namun, dari sudut pandang desain produk, sistem *knockdown* secara alami memerlukan perancangan sambungan mekanis yang lebih rumit, termasuk penggunaan elemen pengunci, komponen penghubung tambahan, dan pengendalian toleransi yang lebih akurat. Jika elemen-elemen tersebut tidak dirancang secara optimal, sistem *knockdown* justru dapat menambah jumlah komponen, memperbanyak variasi proses pembuatan, serta meningkatkan risiko kesalahan saat perakitan, yang pada akhirnya berdampak negatif pada efisiensi keseluruhan produk. Desain produk *knockdown* harus dipertimbangkan kemudahan perakitan ulang serta keandalan sambungan supaya kualitas dan keamanan produk tetap terjaga selama dipakai (Rulia & Es, 2013).

Desain yang terlalu kompleks dapat menyebabkan peningkatan waktu pengerjaan, menciptakan ketergantungan pada ketrampilan *operator* tertentu, serta mengakibatkan pemborosan biaya akibat kebutuhan perbaikan ulang atau kesalahan dalam proses perakitan (Verna dkk., 2022).

Penelitian ini didasarkan pada tingginya kompleksitas struktur *frame* sespan motor *existing*, yang ditandai dengan banyaknya komponen, variasi bentuk rangka, serta penggunaan berbagai jenis *fastener*. Kompleksitas tersebut berpotensi menimbulkan inefisiensi dalam proses manufaktur dan perakitan. Oleh karena itu, diperlukan upaya efisiensi desain melalui pendekatan DFMA agar struktur *frame* dapat disederhanakan tanpa mengurangi fungsi dan aspek keselamatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana meningkatkan efisiensi desain *Frame* Sespan Motor dengan pendekatan *Design for Manufacturing and Assembly*?

2. Bagaimana mereduksi waktu perakitan dan biaya manufaktur desain *Frame* Sespun Motor dengan pendekatan *Design for Manufacturing and Assembly*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Mengkaji perubahan desain *frame* sespan melalui penerapan metode DFMA terkait penyederhanaan komponen.
2. Mengetahui perubahan waktu perakitan dan biaya manufaktur *frame* sespan sebelum dan sesudah penerapan metode DFMA.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah mendapatkan desain *frame* sespan portabel dengan harga yang lebih ekonomis yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam mengembangkan produk.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Objek yang dianalisis ini adalah *frame* sespan portabel yang telah dirancang oleh Muhammad Arif Abidin.
2. Penelitian ini memperbaiki desain yang meliputi penyederhanaan komponen dan mengurangi durasi dan biaya perakitan.
3. Pada penelitian ini hanya menggunakan perhitungan statis.
4. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini yaitu DFM *Concurrent Costing*, DFA *Product Simlification* dan *software* Autodesk Fusion 360 (*Student Version*).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sespan

Sespan layaknya roda tambahan atau *sidecar* yang dipasang disamping kiri atau kanan sepeda motor, yang berfungsi untuk menambahkan kestabilan atau penumpang tambahan, jadi risiko terguling akibat gaya sentrifugal yang muncul saat belok dapat berkurang, dan posisi optimalnya sekitar 60 cm dari pusat roda belakang yang memungkinkan radius belok maksimal sampai 13,33 meter pada kecepatan kritis 40 km/jam menggunakan koefisien gesek ban standar 0,55, seperti yang sudah dibuktikan dengan analisis dinamika kendaraan yang mendalam, dimana jika kita variasi jarak *lead* dari 0 sampai 60 cm, ternyata performa stabilitas terbaik justru ada di jarak 60 cm, meski perbedaan kecepatan minimum antara posisi tidak terlalu signifikan dan terkadang tidak terlihat bedanya kalau tidak diukur teliti (Wahyu Firmansyah dkk., 2020).

Di Indonesia, sespan sering dimodifikasi secara sederhana oleh bengkel lokal memakai sistem *plug-and-play* tanpa perlu las permanen supaya mudah dilepas-pasang kapan saja, sehingga tidak merusak *chassis* asli motor dan bisa dipakai untuk kebutuhan sementara.

Adapula peraturan penggunaan sespan atau *sidecar* yang sudah diatur dalam peraturan pemerintah No 55 Tahun 2012 Pasal 77 mengenai kendaraan, seperti yang sudah tertulis diperaturan tersebut bahwa sepeda motor yang dipasang sespan harus memiliki pencahayaan yang memadai, seperti lampu belakang, lampu sein sebagai penunjuk arah, dan pemantul cahaya (*light reflector*) (Muhammad Arif Abidin, 2025). Dengan adanya peraturan yang jelas ini, penggunaan sespan dapat digunakan secara sah berkendara dilalu lintas dan dapat digunakan berbagai keperluan, mulai dari kebutuhan untuk mengirim barang dan penambahan penumpang sebagai transportasi.

2.2 Frame

Frame sespan yang dibahas pada penelitian ini merupakan hasil perancangan dari Muhammad Arif Abidin (2025). *Frame* adalah komponen yang memiliki peran sangat penting, karena harus dirancang dengan kekuatan yang terukur untuk

menopang beban pengendara dan penumpang agar mendapatkan stabilitas saat berkendara (Satria dkk., 2016). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhammad Arif Abidin (2025), desain *frame* dikembangkan berdasarkan kebutuhan pengguna dan dianalisis kekuatannya menggunakan simulasi struktur. Material yang digunakan adalah baja ASTM A53 dengan ketebalan 1,8 mm, yang dinilai mampu memenuhi kebutuhan kekuatan *frame* sespan. Hasil perancangan *frame* sespan portabel ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Existing Frame* Sespan Portabel (Muhammad Arif Abidin., 2025)

Hasil analisis menunjukkan bahwa *frame* memiliki nilai faktor keamanan minimum sebesar 5,117, yang berada di atas batas aman struktur. Hal ini menandakan bahwa secara struktural *frame* telah memenuhi aspek keselamatan penggunaan. Namun, desain *frame* tersebut masih tersusun dari beberapa komponen terpisah hasil proses fabrikasi, sehingga berpotensi meningkatkan kompleksitas perakitan dan biaya manufaktur.

Pada komponen *frame* ini harus diketahui kekuatannya, untuk mencari seberapa kuat *frame* tersebut dilakukan terhadap perhitungan pembebanan dengan Persamaan 2.1:

$$F = m \cdot g \quad (2.1)$$

Dengan,

F : gaya pembebanan (N)

m : massa komponen (kg)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Setelah memperoleh nilai gaya pembebanan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung beban desain yang dilakukan. Nilai beban desain bisa didapatkan dengan Persamaan 2.2

$$P_{desain} = F \cdot N \quad (2.2)$$

Dengan ,

P_{desain} : beban desain (N)

F : gaya pembebanan (N)

N : faktor koreksi pembebanan

Beban yang digunakan dalam perhitungan awal (Persamaan 2.1) merupakan beban statis, yaitu gaya akibat pengendara dan muatan yang bekerja pada *frame* dalam kondisi diam. Untuk mempresentasikan kondisi operasional aktual sespan motor yang bergerak dan berpotensi menerima guncangan dari permukaan jalan, nilai beban statis tersebut dikalikan dengan faktor koreksi pembebanan N (Persamaan 2.2) sehingga diperoleh beban desain yang telah dipertimbangkan efek dinamis. Dengan demikian, simulasi struktur pada penelitian ini dikategorikan sebagai analisis struktural statis dengan beban terkoreksi, bukan analisis dinamis penuh.

2.3 Sistem *Knockdown*

Sistem *knockdown* pada sespan motor adalah metode desain struktur modular yang dapat mudah dilepas-pasang dari sepeda motor tanpa mengubah rangka utama secara permanen. Ide ini sejalan dengan permintaan modifikasi pada kendaraan roda tiga yang membutuhkan fleksibel, khususnya seperti kendaraan bantuan, pengiriman, serta kendaraan fungsional lainnya. Penelitian tentang ergonomi desain *sidecar* motor di Indonesia menunjukkan bahwa struktur tambahan yang dirancang terpisah dari rangka motor dan dihubungkan melalui sambungan mekanis seperti baut dan braket memberikan manfaat dalam kemudahan pemasangan, perawatan, dan juga meningkatkan keselamatan serta kenyamanan penggunaanya. Pendekatan modular ini mencerminkan prinsip *knockdown*, dimana setiap komponen dapat dirakit dan dilepas dengan efisien tanpa

mengorbankan fungsi struktur kendaraan secara keseluruhan (Nurmianto dkk., 2023)

2.4 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang berhubungan mengenai *frame* sespan motor dengan menggunakan pendekatan *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) yang juga dijadikan refrensi penulis. Ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
1.	Muhammad Syahril Hartadi <i>et al</i>	<i>Analasis Design for Manufacture and Assembly</i> (DFMA) Dalam Pengembangan <i>Case</i> Baterai Motor Listrik C70	2025	Adanya peningkatan efisiensi yang signifikan ditunjukkan dengan pengurangan total waktu produksi mencapai 54% (dari 6961 detik 3198 detik), penurunan limbah produksi sebesar 42,5% (dari 20 gram menjadi 11,5 gram), dan penghematan biaya produksi sebesar 52,3% (dari Rp 116.062 menjadi Rp 55.294). Hal ini mencakup peningkatan efisiensi dalam proses penyambungan dan penghalus (dari 1321 detik dengan limbah 5 gram menjadi 840 detik dengan limbah 4 gram) serta penerapan mekanisme kait sebagai alternatif pengganti baut untuk menunjang efisiensi dalam perakitan.
2.	Anda Iviana Juniani <i>et al</i>	<i>Design Analysis of Bottle Leaktester Machine through the DFMA Method</i>	2023	Mesin <i>Bottle Leaktester</i> memiliki 174 komponen dengan estimasi waktu pengerjaan selama 1832,27s. total biaya produk sebesar \$1819,58 atau Rp27.632.687,- (dengan kurs 1\$ = 15.186 IDR) dan berat total produk sebesar 78,99 Kg. DFA Index atau <i>assembly efficiency index</i> sebesar 13,5.
3.	Hasibuan <i>et al</i>	Rancangan Perbaikan Stopcontact melalui Pendekatan Metode DFMA (<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>)	2013	Desain awal dibutuhkan biaya perakitan sebesar Rp. 7500,-/unit, menjadi sebesar Rp. 6032.08,- pada rancangan produk baru. Untuk efisiensi desain perakitan dari desain awal

				produk stopcontact 754 adalah sebesar 15.139% dan jumlah produk standar yang dapat dihasilkan adalah 27 unit. Sedangkan efisiensi desain perakitan dari hasil rancangan produk stopcontact 754 adalah sebesar 18.82% dan jumlah produk standar yang dapat dihasilkan adalah 33.64 unit.
4.	Wahyu Firmansyah <i>et al</i>	Analisa Stabilitas Sespun Pada Sepeda Motor Disabilitas	2020	Penempatan roda sespan (<i>lead</i>) sejauh 60 cm dari roda belakang memberikan stabilitas dan keamanan terbaik dengan perbedaan kecepatan kritis terguling yang tidak signifikan dibanding variasi lain, serta menghasilkan radius belok terbesar sehingga kemampuan manuver sespan sepeda motor, khususnya untuk penyandang disabilitas menjadi paling optimal.
5.	Samad & Yusuf	Penerapan Metode Design for Manufacture and Assembly (DFMA) pada desain pintu kendaraan	2021	Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi sebesar 22,2% dan 15,4% dapat dicapai apabila desain baru diterapkan pada kedua pintu kendaraan tersebut. Selain itu, DFMA juga terbukti memiliki potensi sebagai sarana peningkatan desain dalam penerapan <i>concurrent engineering</i> , khususnya pada industri otomotif, untuk memenuhi berbagai kebutuhan transportasi di berbagai bidang.

Berdasarkan penelitian terdahulu, metode DFMA terbukti mampu meningkatkan efisiensi desain melalui pengurangan jumlah komponen, waktu perakitan, dan biaya produksi. Namun, sebagian besar studi masih berfokus pada produk manufaktur umum dan belum secara khusus mengkaji penerapan DFMA pada frame sespan motor sistem *knockdown*. Selain itu, evaluasi aspek keselamatan struktur setelah perbaikan desain juga masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut melalui analisis efisiensi manufaktur, perakitan, dan faktor keamanan pada frame sespan portabel berbasis DFMA.

2.5 Metode DFMA

2.5.1 Konsep Dasar DFMA

Penelitian mengenai cara memprediksi dan memperkirakan kompleksitas komponen dan perakitan manual telah dilakukan dengan menggunakan berbagai kriteria, dengan tujuan memberikan bantuan kepada perancang untuk menghindari kesalahan selama tahap manufaktur dan perakitan, serta produksi yang baik (Faviddkk., 2017).

Design for Manufacture and Assembly (DFMA) merupakan pendekatan sistematis dalam perancangan produk yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses produksi dengan mengintegrasikan aspek manufaktur dan perakitan sejak tahap awal desain (Boothroyd dkk., 2011). Pendekatan ini menekankan penyederhanaan desain, pengurangan jumlah komponen, serta pemilihan material dan proses yang ekonomis tanpa mengurangi fungsi utama produk itu sendiri.

Boothroyd dan Dewhurst menjelaskan bahwa sekitar 70-80% biaya produk ditentukan pada tahap desain, sehingga keputusan desain memiliki pengaruh signifikan terhadap total biaya siklus hidup produk. Dengan demikian, penerapan DFMA pada tahap awal perancangan menjadi strategi penting dalam pengendalian biaya dan peningkatan daya saing produk industri.

DFMA secara konsep terbagi menjadi dua metode utama yaitu *Design for Manufacturing* (DFM) dan *Design for Assembly* (DFA), dimana masing-masing memiliki fokus penelitian yang berbeda namun saling melengkapi (Boothroyd dkk., 2011). Alur penerapan metode DFMA dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Flowchart Tahap Penerapan Metode DFMA

Pada penerapan metode DFMA ini langkah awal adalah mengembangkan konsep desain untuk produk baru atau mengembangkan produk *existing*, tahapan selanjutnya dilanjutkan dengan metode DFA, tujuan melakukan pendekatan DFA terlebih dahulu untuk menentukan konsep desain dari pemilihan material hingga estimasi biaya. Jika pada tahap DFA ini sudah mendapatkan konsep desain terbaik yang dapat mengurangi tingkat kesulitan pada desain, sehingga pada proses perakitan lebih mudah dan lebih efisien pada durasi perakitan (Krisna, 2023).

Langkah selanjutnya konsep tersebut dikaji lebih lanjut melalui metode DFM untuk meminimalkan biaya produksi, meningkatkan kemudahan merakit, dan menyesuaikan desain dengan kemampuan proses manufaktur yang tersedia. Proses ini berlanjut hingga tahap pembuatan *prototipe* sebagai validasi desain sebelum akhirnya diaplikasikan pada tahap produksi.

Implementasi DFMA saat ini semakin efektif dengan didukung perangkat lunak terintegrasi, seperti *DFA Software* dan *DFM Concurrent Cost*, yang mampu menyajikan estimasi biaya manufaktur serta menentukan nilai *DFA index*, sebagai dasar pengambilan keputusan desain (Boothroyd dkk., 2011). Untuk menentukan nilai *DFA index* kita bisa menghitung menggunakan Persamaan 2.3.

DFA Index (Persamaan *Assembly Efficiency*)

$$E_m = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{t_m} \quad (2.3)$$

E_{ma} : DFA index

N_{min} : Jumlah minimum teoritis komponen

t_a : Waktu normal perakitan satu komponen (ideal = 3 detik)

t_{ma} : Estimasi waktu yang dibutuhkan dalam merakit 1 produk

Semakin tinggi nilai DFA Index, semakin efisien dan lebih layak secara perakitan suatu desain, sehingga nilainya bisa dijadikan kriteria keberhasilan desain perakitan, bahkan jika tidak diberikan batas numerik tertentu (Zhai dkk., 2023).

Boothroyd dkk (2011) menjelaskan bahwa waktu perakitan dasar minimum digunakan sebagai acuan teoritis dalam perhitungan efisiensi perakitan. Sedangkan waktu perakitan yang dianalisis pada penelitian ini merupakan waktu estimasi yang diperoleh dari penilaian tingkat kesulitan *handling* dan pemasangan komponen berdasarkan metode DFA.

Pada metode DFMA dibutuhkan data pelengkap seperti data setiap komponen yang akan dirakit. Contohnya pada Tabel 2.2 adalah detail data komponen pada mesin *Bottle Leaktester* dalam penelitian Juniani (Juniani dkk., 2023)

Tabel 2. 2 Detail Komponen Pada mesin *Bottle Leaktester*

<i>Sequence</i>	<i>Part Name</i>	<i>Sub-par Name</i>	<i>Quantity</i>	<i>Dimension (mm)</i>	<i>Material</i>	<i>Make /Buy</i>	<i>Manufacture Process</i>
1	Kerangka Kaki	Hollow 1	1	50x100x700 : t = 3	SS 304	Make	Cutting, Welding
		Hollow 2	2	50x100x1020 : t = 3	SS 304	Make	Cutting, Welding
2	Penghubung Pipa		4	100x100x85	SS 304	Make	Cutting, Welding
3	Pipa		2	Ø50x500	SS 304	Make	Cutting
4	Conveyor Housing	Plat 1	2	194x100x16	SS 304	Make	Cutting, Welding
		Plat 2	4	194x100x16	SS 304	Make	Cutting, Welding
5	konveyor	Plat Body Konveyor	2	2000x200x3	SS 304	Make	Cutting, Bending
		Stansioner	23	Ø12x156	SS 304	Make	Cutting
6	Table Top Chain	Sprocket	2	Ø127x53	Plastic	Buy	Subcontract
		Chain	127	152x40x4	Plastic	Buy	Subcontract

7	<i>Bearing Housing</i>		2	200x100x2	SS 304	<i>Make</i>	<i>Cutting, Bending</i>
8	<i>Bearing</i>	BLP 204	2	133x32x63	<i>Cast Iron</i>	<i>Buy</i>	<i>Subcontract</i>
		UCF 204	1	86x86x25	<i>Cast Iron</i>	<i>Buy</i>	<i>Subcontract</i>
9	<i>Servo Motor</i>		1	170x130x130		<i>Buy</i>	<i>Subcontract</i>
10	<i>Conveyor Guide Rail</i>	<i>Bracket</i>	6	130x40	<i>Plastic</i>	<i>Buy</i>	<i>Subcontract</i>

Sumber: Juniani dkk., 2023

Berdasarkan Tabel 2.2, setelah semua *part* dianalisis menggunakan metode DFMA, maka secara individu waktu perakitan per *part* yang dibutuhkan akan muncul hasil analisisnya.

2.5.2 Design for Assembly (DFA)

Design for Assembly (DFA) merupakan metode dalam desain produk yang difokuskan pada penyederhanaan proses perakitan. Metode ini menekankan pada pengurangan jumlah komponen, pengurangan waktu pengerjaan, serta penurunan tingkat kerumitan selama proses perakitan. Keberhasilan dalam perakitan sangat dipengaruhi oleh keputusan desain yang diambil sejak fase awal pengembangan produk (Kamath, 2009).

Dengan adanya *Design for Assembly* (DFA) yang merupakan bagian dari *Design for manufacture and Assembly* (DFMA) bertujuan untuk memberikan pertimbangan dan informasi mengenai proses produksi pada tahap analisis desain, untuk mengurangi pengeluaran yang muncul selama proses perakitan (Boothroyd, 1994).

Secara umum metode dari Boothroyd dan Dewhurst memiliki beberapa tahapan sebagai berikut (Chan & Salustri, 2005);

1. Memilih masing-masing metode untuk tiap komponen.
2. Analisa komponen berdasarkan metode perakitan yang dipilih.
3. Penghalus desain untuk solusi hasil kekurangan yang telah teridentifikasi pada analisis.
4. Ulangi langkah kedua hingga menghasilkan analisa yang baik.

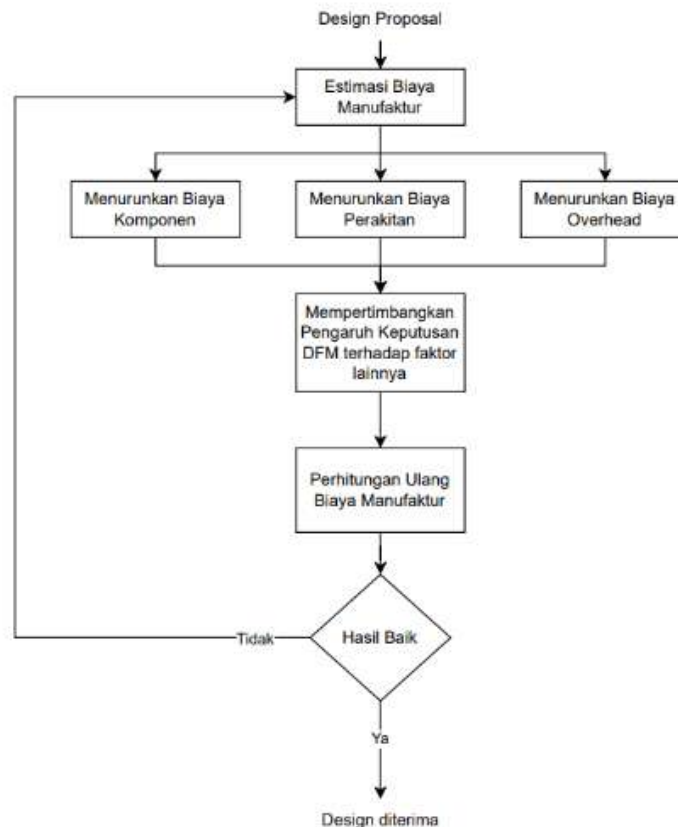
Penerapan DFA dapat mengurangi waktu perakitan 35,4%, jumlah komponen 30,20%, hingga efisiensi desain 7% melalui penggabungan komponen dan standarisasi desain yang dilakukan oleh (Faza Firdaus dkk., 2022).

2.5.3 *Design for Manufacturing (DFM)*

Design for Manufacture adalah suatu pendekatan dalam merancang produk yang memungkinkan estimasi biaya produksi dilakukan sejak awal proses pengembangan desain. Ragam kompleksitas dalam teknologi manufaktur dan banyaknya pemilihan bahan yang menyebabkan para *engineer* tidak mampu memahami keseluruhan proses secara mendalam, sehingga mereka cenderung memilih metode yang sudah dikenal sebelumnya.

Dengan menerapkan metodologi DFM, *engineer* dianjurkan untuk mengkaji berbagai pilihan proses serta opsi material lain yang bisa memperbaiki kinerja dan efisiensi produksi. Informasi tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung biaya manufaktur dalam pengembangan alternatif desain yang lebih kompetitif. Oleh karena itu, DFM sangat penting dalam membantu memperkirakan biaya sejak awal untuk menentukan kombinasi proses dan material yang tepat tanpa perlu melakukan implementasi langsung.

Selain itu, DFM juga merupakan komponen kunci dari pendekatan DFMA yang memberikan masukan terkait aspek manufaktur sebagai dasar untuk analisis pengurangan biaya dalam metode *Design for Assembly* (DFA) (Boothroyd dkk., 2011). Seperti yang dikatakan Ulrich & Eppinger (2001) bahwa ada 5 langkah dalam menggunakan metode DFM, contohnya di Gambar 2.3:



Gambar 2. 3 *Design for Manufacture*

Berdasarkan Gambar 2.3, penerapan DFM dilakukan secara bertahap mulai dari estimasi biaya manufaktur hingga evaluasi terhadap perubahan desain. Tahapan tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi desain existing pada penelitian ini, khususnya dalam mengidentifikasi proses manufaktur yang berpotensi meningkatkan biaya produksi.

2.5.4 Kriteria Keberhasilan Penerapan DFMA

Penerapan metode DFMA pada produk desain terbukti mampu menyederhanakan struktur produk melalui pengurangan jumlah komponen dan proses lainnya, sehingga meningkatkan efisiensi perakitan dan mempercepat waktu produksi (Samad & Yusuf, 2021). Keberhasilan penerapan DFMA dapat diukur melalui beberapa indikator utama, yaitu:

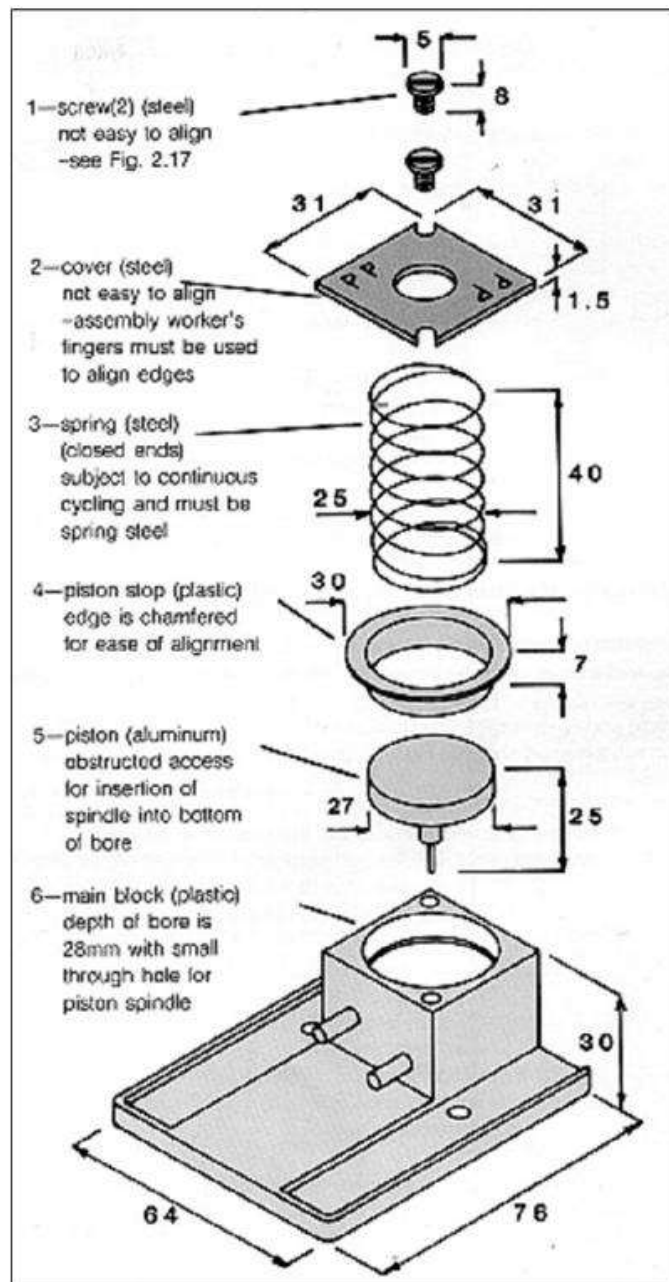
1. Pengurangan jumlah komponen
2. Peningkatan nilai DFA Index
3. Penurunan waktu perakitan

4. Penurunan biaya manufaktur dan perakitan
5. Penyederhanaan proses produksi
6. Pengurangan jumlah *fastenene*

Pemenuhan indikator tersebut menunjukkan bahwa penerapan DFMA pada desain *frame* sespan portabel tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga efektif secara ekonomis dan operasional.

2.6 DFMA Software

Pada era jaman sekarang penerapan DFMA semakin dipermudah dengan adanya *software*, seperti DFM *Concurrent Cost* dan DFA *Product Simplification*. Seperti yang dikatakan Nawawi (2014) pada subbab ini dijelaskan penerapan dan juga langkah-langkah pengoperasian *software* DFMA Boothroyd dan Dewhurst. berikut ini contoh gambar produk yang digunakan adalah sebuah *Piston-Assembly Design*.



Gambar 2. 4 *Piston-Assembly Design* (Khoirul Amin., 2025)

Pada Gambar 2.4 menunjukkan contoh produk yang digunakan sebagai objek penerapan software DFMA. Contoh tersebut digunakan untuk menjelaskan tahapan pengoperasian software sebelum diterapkan pada objek frame sespan motor pada penelitian ini.

2.6.1 DFM Software

Awal mula untuk penggunaan *software*, yang harus dilakukan oleh *operator* adalah menekan ikon DFM *Concurrent Costing*. Jika sudah memilih ikon DFM maka akan muncul kotak dialog seperti Gambar 2.7.

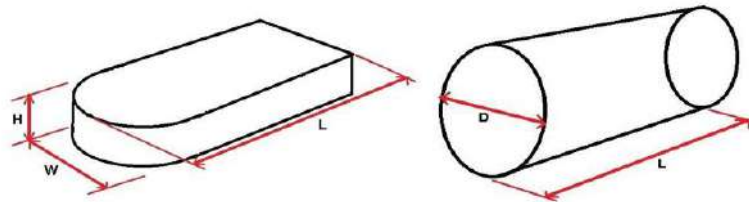
Cost results, \$		
	Previous	Current
material	0.00	0.00
setup	0.00	0.00
process	0.00	0.00
rejects		
piece part	0.00	0.00
tooling	0.00	0.00
total	0.00	0.00
Tooling investment	0	0

Gambar 2. 5 Tampilan Kotak Dialog DFM Software (Khoirul Amin., 2025)

Langkah-langkah pengoperasian DFM Software seperti berikut.

1. Ubah satuan unit dengan cara, pilih opsi *Tools*→*Set Unit*.
2. Pada kolom *Part name* masukkan nama komponen yang digunakan, jika ada nomor komponen maka isi di kolom *Part number*.
3. Pada kolom *Life volume* tertera angka 100.000 unit, itu adalah nilai *default* jumlah komponen yang diasumsikan kedalam proses manufaktur.

4. Pada tahap selanjutnya pilih *Envelope Shape* untuk membuat bentuk komponen yang akan dibuat, dan jika komponen tersebut memiliki ruang didalamnya, maka *operator* bisa memakai opsi *Envelope Shape Edit Hollow Characteristic*.
5. Langkah selanjutnya mengisi dimensi komponen yang akan dibuat.



Gambar 2. 6 Dimensi *Box-shaped* (Kiri) dan *Cylinder-shape* (Kanan) (Khoirul Amin., 2025)

6. Tahap berikutnya *operator* memilih proses manufaktur dan material komponen yang akan digunakan, dengan cara pilih *Select process and material* pada kotak dialog seperti yang dicontohkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Tampilan Kotak Dialog *Selecting Process and Material* (Khoirul Amin., 2025)

7. Pada tahap ini disarankan untuk pemilihan material terlebih dahulu, selanjutnya menentukan alur manufakturnya lalu pilih OK.
8. Setelah menentukan material dan alurnya, maka DFM *software* akan menghitung semua biaya setiap komponen yang total produksinya sama dengan *Life volume*. Sebagai contohnya, seperti tadi jumlah komponen yang

diproduksi adalah 100.000 unit, biaya per komponen untuk *part A* adalah \$100.

9. Ada pula fitur lain yang bisa digunakan dari DFM *software* yaitu *operator* bisa menyesuaikan nilai berbagai parameter yang terhubung dengan alur manufaktur, parameter mesin, dan parameter proses.
10. Hasil yang didapatkan bisa dilihat pada bagian kiri-bawah kotak dialog, seperti contoh pada Gambar 2.8 dibawah ini.

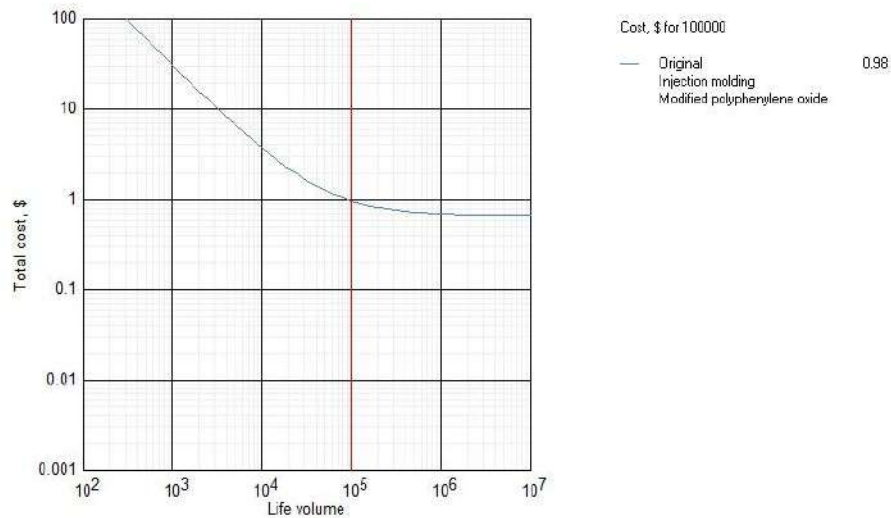
The screenshot shows the DFM Concurrent Costing 2.3 software interface. The main window is titled "DFM Concurrent Costing 2.3 [C:\Dfma\data\Untitled0.dfm]". The interface is divided into several sections:

- Left Panel:** A tree view showing the project structure: "Modified polyphenylene oxide injection molded part" > "Injection molding process" > "Battenfeld BA 800/315 CDC" > "Injection mold".
- Part basic data:**
 - Batch size: 12500
 - Overall plant efficiency, %: 85
 - Material cost, \$/kg: 3.618
 - Colored resin?: ☐
 - Maximum regrind, %: 30
 - Maximum thickness, mm: 5
 - Material scrap value, \$/kg: 0.529
- Part geometry:**
 - Part volume, cm³: 58.82
 - Part weight, kg: 0.081
 - Part projected area, cm²: 46.203
- Part complexity:**
 - Surface patches: 241
- Part non-geometric features:**
 - Tolerance: most approx. 0.005 mm/it
 - Appearance: opaque commercial
 - Textured surface, %: 0
- Mold data:**
 - Parting line: straight
 - Mold construction: 2-plate
 - Runner system: Cold runner
 - Mold material: Tool Steel
 - Inserts per cavity: 0
 - Automatically select cavities?: ☒
 - Number of cavities: 2
 - Devices in one cavity: Devices
- Picture:**
 - Buttons: Load, Clear, Scale to fit, Transparent
- Cost results, \$:**

	Previous	Current
material	0.00	0.22
setup	0.00	0.01
process	0.00	0.44
rejects	0.00	0.00
piece part	0.00	0.67
tooling	0.00	0.30
total	0.00	0.68
Tooling investment	0	50,467

Gambar 2. 8 Hasil Perhitungan Berdasarkan Proses dan Material yang dipilih (Khoirul Amin., 2025)

DFM *software* ini, *operator* bisa melihat hasil analisis dalam bentuk grafik dengan memilih opsi *Graph* untuk bisa menganalisis hasilnya lebih *detail*. Pada grafik ini *operator* bisa juga membandingkan biaya, jika alur manufaktur dan materialnya berbeda. Dengan satu syarat setiap komponen hanya memiliki satu DFM *file* (Analisis), sebagai contoh satu produk terdiri 34 komponen maka diperlukan 27 DFM *analyses*. Contoh hasil analisis DFM *software* bisa dilihat pada Gambar 2.9.

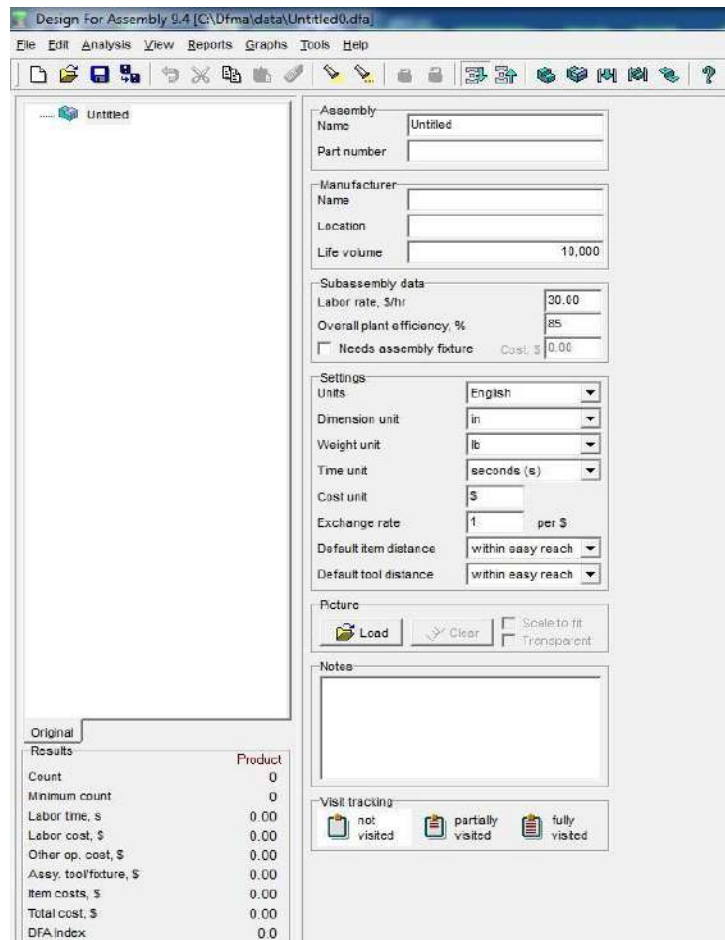


Gambar 2. 9 Hasil DFM *Software* Dalam Bentuk Grafik (Khoirul Amin., 2025)

2.6.2 DFA *Software*

DFA *software* digunakan untuk menganalisis proses perakitan suatu produk. *Software* ini bertujuan untuk mengefisiensi proses perakitan, sehingga dari segi waktu dan biaya dapat ditekan serendah mungkin (Nawawi, 2014). Langkah-langkah penggunaan DFA *software* sebagai berikut.

1. *Operator* bisa merubah satuan ukuran yang ingin digunakan pada kotak *Settings*.
2. Langkah selanjutnya pada opsi *Name textbox* bisa diisi dengan nama produk.



Gambar 2. 10 Tampilan Kotak Dialog DFA Software (Khoirul Amin., 2025)

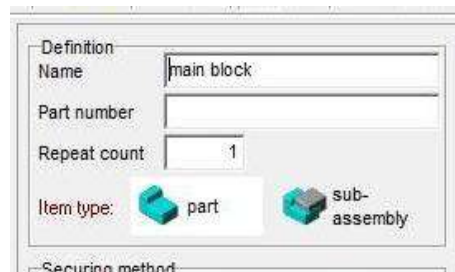
- Untuk menambahkan komponen ada 2 cara, *operator* bisa memilih opsi *Analysis menu* atau memilih ikon seperti Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Menu untuk Menambahkan Komponen (Khoirul Amin., 2025)

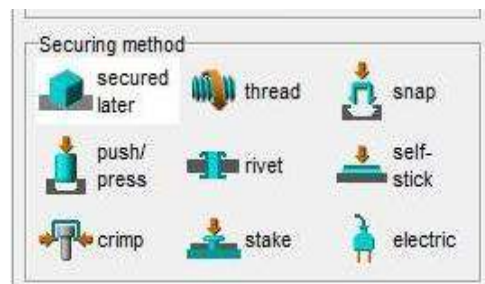
- Ikon pertama digunakan untuk menambahkan komponen pada proses perakitan, dan ikon ini bisa juga digunakan jika komponen tidak memiliki DFM *file*.
- Ikon kedua digunakan untuk menambahkan *Sub-Assembly*, yang dimana gabungan antara komponen yang dirakit menjadi satu komponen.

- Ikon ketiga berfungsi untuk menambahkan proses pengelasan, penyolderan, dan lain-lainnya.
 - Ikon keempat bisa digunakan untuk menambahkan komponen yang berasal dari *library*, seperti komponen elemen pengikat baut, mur, dan *washer*.
 - Ikon kelima berfungsi untuk menambahkan sebuah komponen dari hasil DFM *analyses*.
4. Tahap selanjutnya yaitu mendefinisikan komponen, *operator* hanya perlu memasukan nama komponen, nomor komponen, jumlah pengulangan, dan menentukan apakah komponen ini tunggal atau termasuk *Sub-Assembly*.



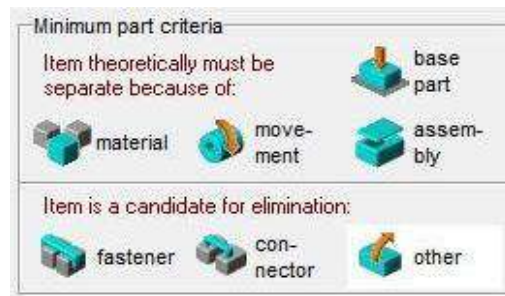
Gambar 2. 12 Tampilan Kolom Definisi Komponen (Khoirul Amin., 2025)

5. Pada opsi *securing method*, *operator* menjelaskan bagaimana cara komponen dipasang, apakah dipasang pada komponen dasar atau komponen sebelumnya.



Gambar 2. 13 Tampilan Kolom *Securing Method* (Khoirul Amin., 2025)

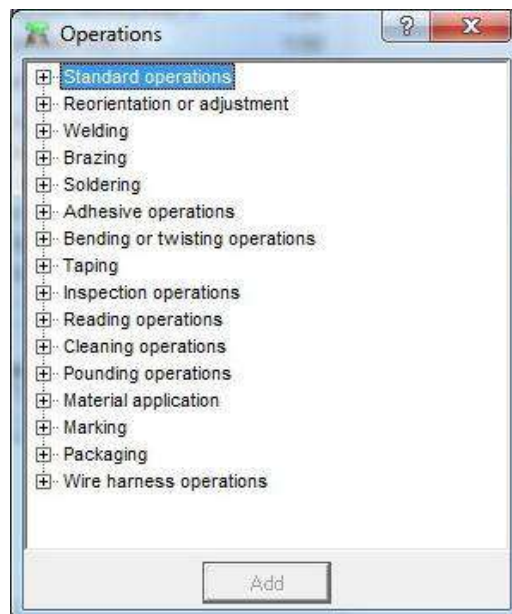
6. Tahap ini adalah tahap pemilihan komponen yang akan dikategorikan melalui kolom *Minimum Part Criteria*.



Gambar 2. 14 Tampilan Kolom *Minimum Part Criteria* (Khoirul Amin., 2025)

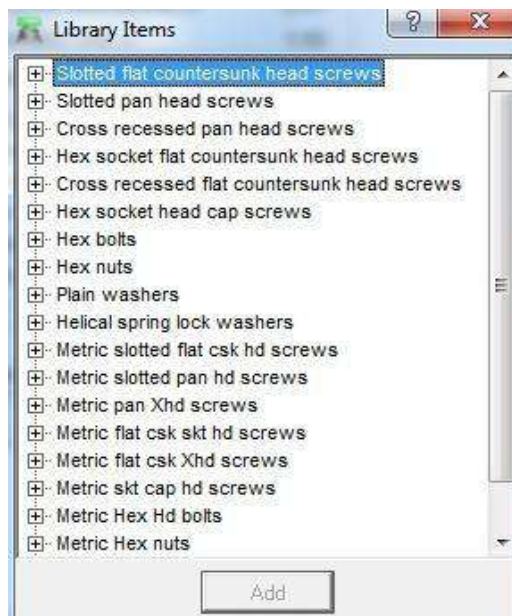
Untuk mengidentifikasi komponen yang berpotensi untuk dieliminasi atau digabungkan bisa dilakukan sebagai berikut.

- *Base Part* : Komponen ini digunakan untuk dasar komponen lainnya yang ingin dirakit.
 - *Material* : Bahan komponen yang diharuskan dibuat berbeda dari komponen bahan lainnya.
 - *Movement*: Komponen yang tidak bisa dieliminasi dikarenakan menjadi satu-kesatuan dengan komponen lainnya sebagai penggerak.
 - *Assembly* : Jika ada sesuatu yang ingin disisipkan diantara komponen-komponen maka diantara dua komponen tersebut tidak harus dikombinasikan.
 - *Fastener* : Komponen yang bisa dipakai untuk menggabungkan lebih dari 2 komponen, jika ada komponen yang tidak mempengaruhi fungsi atau daya tahan produk maka komponen tersebut dapat dihilangkan.
 - *Connector*: komponen yang bisa dipasangkan lebih dari dua komponen tetapi tidak memiliki fungsi yang signifikan.
 - *Other* : komponen yang tidak termasuk dalam kategori tertentu.
7. *Operator* bisa menambahkan operasi tambahan dengan cara memilih *material application*. Sebagai contoh, pada produk *piston-Assembly*, operasi ini diperlukan operasi tambahan seperti oli untuk komponen.



Gambar 2. 15 Tampilan *Library Operasi Manufaktur* (Khoirul Amin., 2025)

8. Untuk menambahkan *fastener* sebagai pengikat, *operator* bisa memilih ikon keempat pada Gambar 2.17. Pada kotak dialog bisa dilihat ada berbagai jenis pengikat, sangat penting *operator* mengetahui jenis pengikat yang sesuai dengan produk yang digunakan.



Gambar 2. 16 Tampilan *Library Fastener* (Khoirul Amin., 2025)

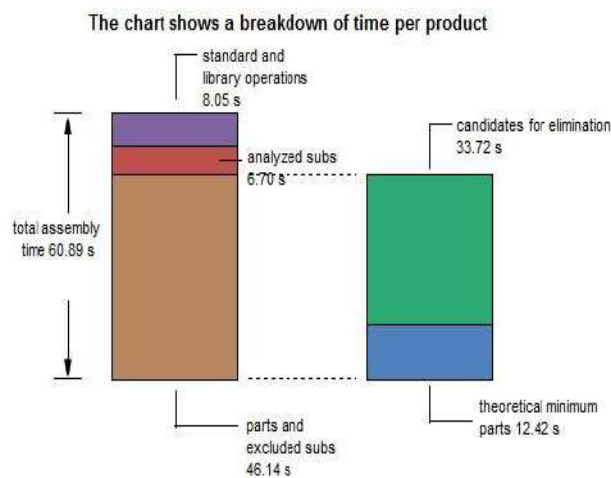
9. Hasil dari evaluasi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Jika ingin melihat hasilnya, *operator* dapat memilih opsi *Reports menu*. Pada laporan ini ada beberapa hasil yang bisa dipilih oleh *operator*, diantaranya;

a. *Executive Summary of DFA*

Executive Summary of DFA menyajikan ringkasan hasil analisis perakitan secara keseluruhan, meliputi jumlah komponen, estimasi waktu perakitan, nilai efisiensi perakitan, serta tingkat kompleksitas proses assembly. Laporan ini digunakan untuk memperoleh gambaran awal mengenai tingkat efisiensi desain dari sisi perakitan.



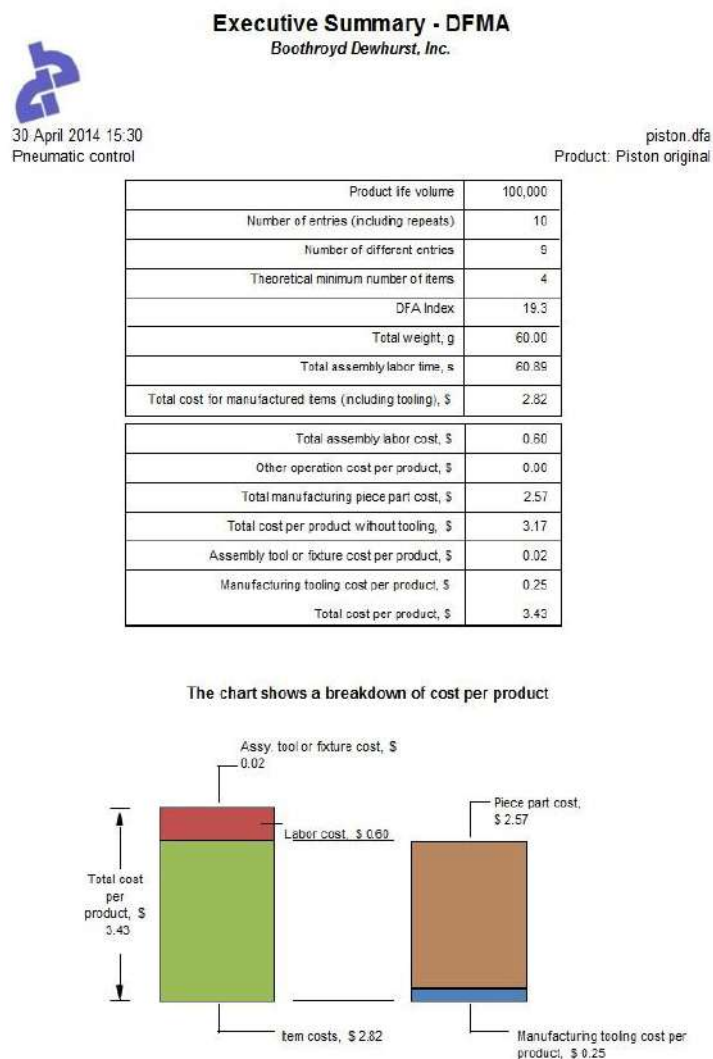
Per Product data	Entries (including repeats)	Labor Time, s	Labor Cost, \$
Component parts	8	46.14	0.45
Subassemblies partially or fully analyzed	1	6.70	0.07
Subassemblies not to be analyzed (excluded)	0	0.00	0.00
Standard and library operations	1	8.05	0.08
Totals	10	60.89	0.60



Gambar 2. 17 *Executive Summary of DFA* (Khoirul Amin., 2025)

b. *Executive Summary of DFMA*

Executive Summary of DFMA menampilkan ringkasan gabungan antara hasil analisis manufaktur dan perakitan. Laporan ini memuat informasi mengenai estimasi biaya produksi, waktu perakitan, jumlah part, serta rekomendasi perbaikan desain. Hasil ini digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan perbaikan desain.



Gambar 2. 18 *Executive Summary of DFMA* (Khoirul Amin., 2025)

c. *Product Worksheet*

Product Worksheet ini berisi data rinci setiap komponen yang dianalisis, termasuk nama part, fungsi, metode pemasangan, waktu handling, dan waktu pemasangan. Laporan ini digunakan untuk mengidentifikasi komponen yang berpotensi digabungkan atau dieliminasi guna meningkatkan efisiensi perakitan.



Design for Assembly: Product Worksheet
 Boothroyd Dewhurst, Inc.

30 April 2014 15:31
 Pneumatic control

piston.dfa
 Product: Piston original

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
1	☐	Pneumatic control	1234	Main						
2		base	1234-1	Part	1	1	Sep. op	1	Base part	
3		Apply grease to area		Lib Op	1	1				
4	☐	piston subassembly	1234-2	Sub	1	1	Sep. op		None	
5		piston	1234-2-1	Part	1	1	Sep. op	1	Movement	
6		shaft	1234-2-2	Part	1	1	Push	0	None	
7	△	Totals for piston subassembly				2		1		
8		piston stop	1234-3	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
9		spring	1234-4	Part	1	1	Sep. op	1	Material	X
10		cover	1234-5	Part	1	1	Sep. op	0	None	
11		screw	1234-6	Part	2	2	Thread	0	Fastens	
12	△	Totals for Pneumatic control				10		4		

Gambar 2. 19 *Product Worksheet* (Khoirul Amin., 2025)

d. *Structure Chart*

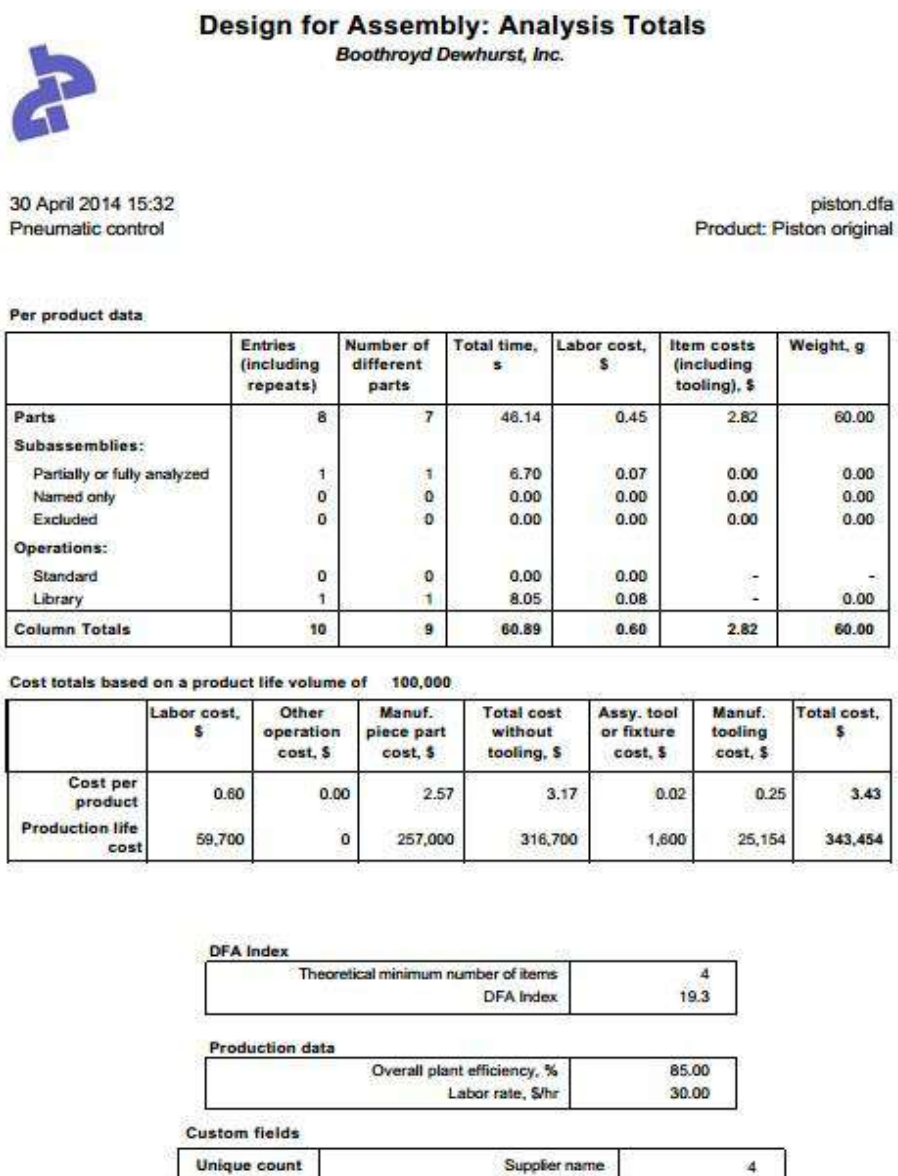
Structure Chart menampilkan hubungan antar komponen dalam bentuk diagram hierarki perakitan. Diagram ini digunakan untuk memahami urutan perakitan, struktur sub-assembly, serta keterkaitan antar part dalam sistem produk.



Gambar 2. 20 *Structure Chart* (Khoirul Amin., 2025)

e. *Analysis Totals*

Analysis Totals menyajikan perhitungan total waktu perakitan, total biaya, jumlah operasi, dan jumlah fastener yang digunakan. Laporan ini digunakan untuk membandingkan kinerja desain existing dengan desain hasil perbaikan secara kuantitatif.



Gambar 2. 21 *Analysis Totals* (Khoirul Amin., 2025)

f. *Suggestions for Redesign*

Suggestions for Redesign berisikan rekomendasi perbaikan desain yang dihasilkan oleh software berdasarkan hasil analisis. Rekomendasi ini meliputi pengurangan jumlah komponen, penyederhanaan sambungan, serta pengoptimalan urutan perakitan untuk meningkatkan efisiensi manufaktur dan perakitan.



Design for Assembly: Suggestions for Redesign
 Boothroyd Dewhurst, Inc.

30 April 2014 15:33
 Pneumatic control

piston.dfa
 Product: Piston original

Incorporate integral fastening elements into functional parts, or change the securing methods, in order to eliminate as many as possible of the following separate fastening elements.

Parent assembly	Name	Part number	Quantity	Time savings, s	Percentage reduction
Pneumatic control	screw	1234-6	2	17.90	29.40
Totals				17.90	29.40

Reduce the number of items in the assembly by combining with others or eliminating the following parts or subassemblies. Note that combining an item with another may eliminate further items such as fasteners or operations, resulting in much larger time reductions than those indicated.

Parent assembly	Name	Part number	Quantity	Time savings, s	Percentage reduction
Pneumatic control	cover	1234-5	1	7.26	11.92
piston subassembly	shaft	1234-2-2	1	8.56	14.06
Totals				15.82	25.98

Reduce separate operation times where possible. Try to improve or eliminate any which do not add value to the product and yet contribute significantly to assembly time.

Parent assembly	Name	Part number	Quantity	Time savings, s	Percentage reduction
Pneumatic control	Apply grease to area		1	8.05	13.23
Totals				8.05	13.23

Design locating features into mating parts of the assembly to eliminate the need for holding down the following items during the assembly process.

Parent assembly	Name	Part number	Quantity	Time savings, s	Percentage reduction
Pneumatic control	cover	1234-5	1	2.20	3.61
Totals				2.20	3.61

Gambar 2. 22 *Suggestions for Redesign* (Khoirul Amin., 2025)

2.7 *Safety Factor*

Faktor keamanan (*Safety Factor*) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai tingkat keamanan struktur *frame*, nilai *safety factor* yang lebih besar menunjukkan bahwa material mampu menahan tegangan yang lebih besar sebelum masuk ketahap luluh (Zain dkk., 2025). Adapun pengkelompokkan *safety factor* yang dihitung berdasarkan tegangan luluh sebagai berikut :

a.) $Sf = 1.25 - 1,5$

Dikhususkan untuk bahan yang berfungsi dalam keadaan terkendali, dengan level tegangan yang telah ditentukan secara jelas.

b.) $Sf = 1,5 - 2,0$

Digunakan untuk bahan yang bekerja dalam situasi beban yang cenderung stabil, sehingga tingkat tegangan dapat diukur dengan mudah.

c.) $Sf = 2,0 - 2,5$

Memanfaatkan kondisi beban operasional yang cukup rata-rata, dengan batas atas beban yang telah ditetapkan sebelumnya.

d.) $Sf = 2,5 - 3,0$

Cocok untuk bahan yang belum pernah diuji, selama beban dan tegangan yang muncul masih berada dikisaran nilai rata-rata.

e.) $Sf = 3,0 - 4,5$

Diterapkan pada bahan dengan sifat yang sudah dikenal, meskipun berfungsi dalam suasana dan kondisi tegangan yang tidak tertentu.

Secara umum, Dobrovolsky *et al* (1964) pada buku *Machine Element* menyatakan bahwa *safety factor* dikelompokkan berdasarkan jenis beban sebagai berikut:

a.) Beban statis $= 1,25 - 2,0$

b.) Beban dinamis $= 2,1 - 3,0$

c.) Beban kejut $= 3,1 - 5$

Pembahasan *safety factor* pada penelitian ini digunakan sebagai referensi untuk memastikan bahwa *redesign* tidak menurunkan aspek keselamatan.

2.8 Analytical Hierarchy Process (AHP)

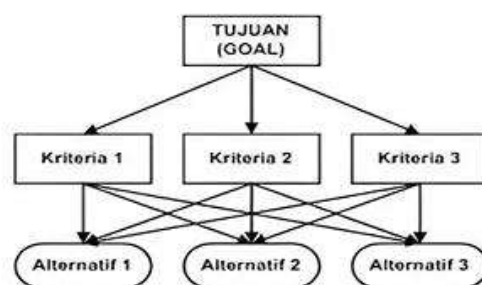
Analytical Hierarchy Process merupakan metode yang digunakan untuk membantu pengambilan keputusan yang kompleks dengan cara menguraikan suatu permasalahan menjadi struktur hierarki yang terdiri atas tujuan, kriteria, subkriteria, dan alternatif. AHP memungkinkan pengambilan keputusan untuk melakukan penilaian secara kuantitatif maupun kualitatif melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*), sehingga diperoleh bobot prioritas setiap kriteria dan alternatif (Saaty, 2013).

2.8.1 Prinsip Dasar AHP

Metode AHP sendiri memiliki 4 (empat) prinsip dasar yang menjadilandas dalam proses pengambilan keputusan, yaitu *decomposition*, *comparative judgment*, dan *synthesis of priority*. Keempat prinsip tersebut saling berkaitan dan digunakan untuk menghasilkan keputusan yang sistematis, terstruktur, dan konsisten (Saaty, 2013). Prinsip-prinsip tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Dekomposisi (*Decomposition*)

Prinsip dekomposisi merupakan proses penguraian suatu permasalahan yang kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana dan terstruktur dalam bentuk hierarki. Hierarki tersebut terdiri atas tujuan utama pada tingkat pertama, kriteria, dan subkriteria pada tingkat berikutnya, serta alternatif keputusan pada tingkat paling bawah. Dengan adanya penguraian ini, proses analisis dapat dilakukan secara lebih sistematis sehingga memudahkan pengambilan keputusan dalam memahami hubungan antar elemen yang terlibat. Contoh struktur hierarki dapat dilihat pada Gambar 2.23 berikut.



Gambar 2. 23 Contoh Struktur Hirarki Keputusan (Khoirul Amin., 2025)

Berdasarkan Gambar 2.23, struktur hierarki AHP terdiri atas tujuan keputusan pada tingkat pertama, kriteria dan subkriteria pada tingkat berikutnya, serta alternatif pada tingkat paling bawah. Struktur tersebut menjadi dasar dalam penyusunan hierarki pemilihan desain terbaik pada penelitian ini.

2. Perbandingan penilaian/pertimbangan (*Comparative Judgment*)

Prinsip *comparative judgment* merupakan proses penilaian tingkat kepentingan relatif anatar elemen dengan menggunakan metode perbandingan berpasangan. Dalam proses ini, setiap elemen dibandingkan dengan elemen lainnya dengan rentan nilai 1-8. Nilai tersebut menggambarkan tingkat kepentingan suatu elemen dibandingkan elemen lainnya dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

Tabel 2. 3 Skala Nilai Intensitas Kepentingan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen yang sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas mutlak lebih penting daripada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

Sumber: Rohmatuka, 2023

Berdasarkan Tabel 2.3, skala intensitas kepentingan digunakan untuk memberikan nilai pada proses perbandingan berpasangan antar elemen dalam metode AHP. Nilai yang lebih besar menunjukkan bahwa suatu elemen memiliki tingkat kepentingan yang lebih tinggi dibandingkan elemen lainnya dalam mencapai tujuan pengambilan keputusan. Nilai 1 menunjukkan bahwa kedua elemen memiliki tingkat kepentingan yang sama, sedangkan nilai 9 menunjukkan tingkat kepentingan yang mutlak lebih tinggi. Sementara itu, nilai 2, 4, 6, dan 8 digunakan sebagai nilai antara apabila tingkat kepentingan suatu elemen berada di antara dua tingkat penilaian utama. Skala tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan matriks perbandingan berpasangan pada proses analisis AHP.

3. Sintesa Prioritas (*Synthesis of Priority*)

Prinsip ini merupakan proses pengolahan hasil perbandingan berpasangan untuk memperoleh bobot prioritas dari setiap elemen dalam hierarki. Tahapan ini

dilakukan melalui normalisasi matriks perbandingan yang mempresentasikan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria atau alternatif. Bobot prioritas yang dihasilkan menunjukkan urutan tingkat kepentingan masing-masing elemen. Semakin besar nilai bobot yang diperoleh, maka semakin tinggi tingkat prioritas elemen tersebut dalam proses pengambilan keputusan.

2.8.2 Tahapan Analisis AHP

1. Penyusunan Hierarki Keputusan

Pada tahapan ini, hierarki keputusan dipecah menjadi tiga bagian yaitu kriteria utama, sub-kriteria, dan alternatif desain yang ingin dianalisis.

2. Perbandingan berpasangan (*Pairwise Comparison*)

Pada tahapan ini, setiap elemen yang ada pada hierarki dibandingkan untuk mendapatkan nilai kontribusi terhadap keputusan akhir. Dengan mengisi hasil perbandingan kedalam matriks perbandingan berpasangan, menggunakan skala nilai AHP 1 hingga 9.

3. Matriks Perbandingan

Tahapan ini disusun pada setiap tingkat hierarki untuk menggambarkan hubungan kepentingan relatif antar elemen. Matriks tersebut diisi berdasarkan nilai perbandingan antar elemen yang mempresentasikan tingkat prioritasnya masing-masing. Selanjutnya, melakukan normalisasi matriks dengan cara membagi setiap elemen pada suatu kolom dengan jumlah total nilai pada kolom yang bersangkutan. Sehingga diperoleh nilai normalisasi. Adapun rumus yang digunakan untuk proses normalisasi seperti pada Persamaan 2.4 berikut:

$$a_{ij}^{nor} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2.4)$$

Dengan:

a_{ij} : nilai perbandingan antar elemen i dan j dalam matriks perbandingan.

$\sum_{i=1}^n a_{ij}$: jumlah elemen dalam satu kolom matriks perbandingan.

Setelah mendapatkan nilai normalisasi, menghitung bobot prioritas untuk masing-masing elemen, dengan cara mengambil nilai rata-rata dari setiap baris matriks yang sudah dinormalisasikan:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n G_{ij}^{nor} \quad (2.5)$$

Dengan:

w_i : bobot prioritas untuk elemen i.

n : jumlah elemen pada satu baris dalam matriks perbandingan.

a_{ij}^{nor} : nilai normalisasi baris ke-i, kolom ke-j.

4. Perhitungan Eigenvalue Maksimum (λ_{max})

Untuk mendapatkan hasil konsistensi pada matriks perbandingan berpasangan, maka dihitung nilai eigen maksimum dengan Persamaan berikut:

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j)}{w_i \cdot \frac{1}{n}} \quad (2.6)$$

Dengan:

λ_{max} : nilai eigen maksimum yang dihitung untuk mengukur konsistensi matriks.

a_{ij} : elemen dari matriks perbandingan.

w_j : bobot prioritas untuk elemen j.

w_i : bobot prioritas untuk elemen i.

n : jumlah elemen dalam matriks (jumlah kriteria atau sub-kriteria yang dibandingkan).

5. Perhitungan Indeks Konsistensi (CI) dan Rasio Konsistensi (CR)

Perhitungan Indeks Konsistensi (CI) untuk mendapatkan nilai tingkat konsistensi dari perbandingan berpasangana, dengan Persamaan sebagai berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.7)$$

Dengan:

λ_{max} : nilai eigen maksimum yang dihitung pada perhitungan sebelumnya.

n : jumlah elemen dalam matriks.

Perhitungan Rasio Konsistensi (CR) digunakan sebagai verifikasi apakah penilaian yang dilakukan sudah konsisten atau belum. Ratio ini dihitung dengan Persamaan sebagai berikut:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.8)$$

Dengan:

RI : Indeks Konsistensi Acak, tergantung pada jumlah elemen n dalam matriks perbandingan.

Tabel 2. 4 Tabel Random Index (RI)

Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.49

Sumber: Khoirul Amin., 2025

Jika nilai $CR \leq 0,1$, maka matriks perbandingan dianggap konsisten dan diterima.

Perhitungan normalisasi nilai alternatif dilakukan pada skala sub-kriteria. Pada perhitungan ini juga terdapat dua pendekatan *large is better*, yang dimana jika nilai semakin besar maka semakin baik dan *smaller is better*, jika nilai semakin kecil maka semakin baik, dengan Persamaan sebagai berikut:

Large is better,

$$x_{ij}^{norm} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (2.9)$$

Smaller is better

$$x_{ij}^{norm} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (2.10)$$

Dengan:

x_{ij} : nilai alternatif ke-I pada sub-kriteria ke-j

x_{ij}^{norm} : nilai yang sudah dinormalisasikan

6. Perhitungan Skor Akhir

Setelah perhitungan bobot prioritas dan konsistensi telah diverifikasi, pada setiap skor alternatif desain dihitung dengan Persamaan sebagai berikut:

$$S_{ij} = x_{ij} \times w_i \quad (2.11)$$

Dengan:

S_{ij} : skor untuk alternatif desain ke-i pada sub-kriteria ke-j.

w_i : bobot prioritas untuk alternatif desain ke-i.

x_{ij} : nilai alternatif desain ke-i pada sub-kriteria ke-j.

7. Pemilihan Alternatif Desain Terbaik

Alternatif desain yang memiliki skor paling tinggi dianggap sebagai desain terbaik, dengan Persamaan sebagai berikut:

$$S_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} \quad (2.12)$$

Dengan:

S_i : total skor untuk alternatif desain ke-i.

S_{ij} : skor untuk alternatif desain ke-i pada sub-kriteria ke-j.

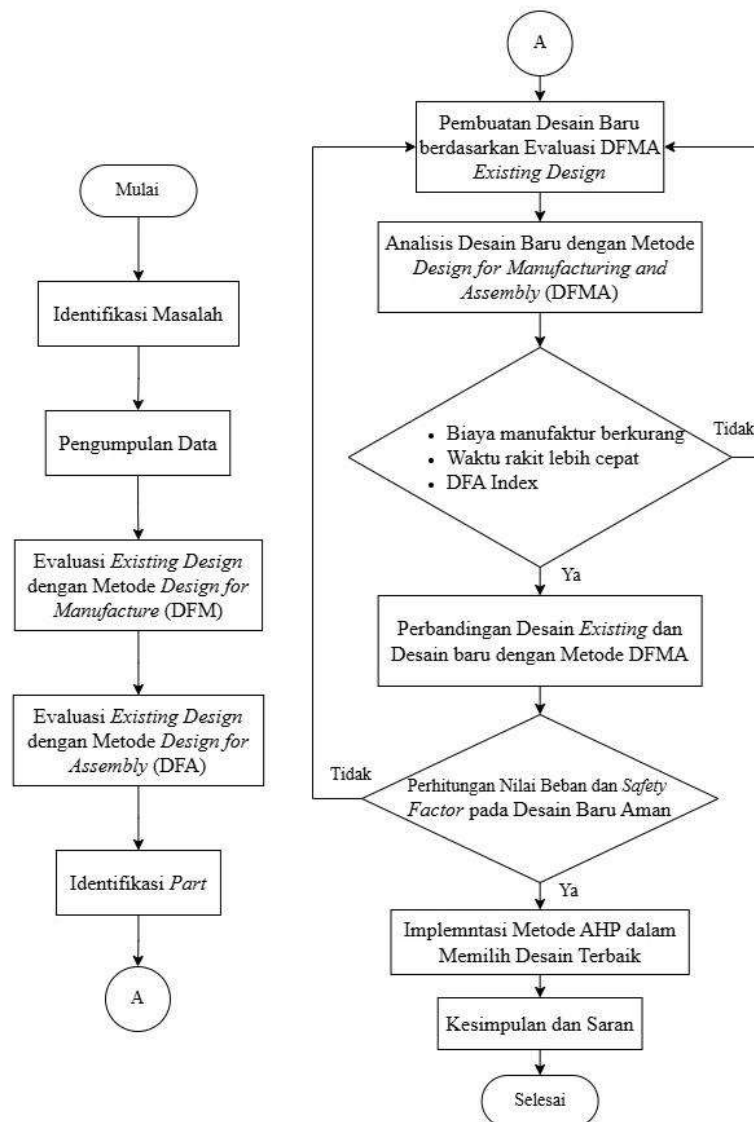
n : jumlah sub-kriteria.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Bab ini disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa proses analisis dan pengembangan desain dilakukan secara terstruktur, terukur, serta sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu meningkatkan efisiensi desain, menurunkan biaya manufaktur, dan mempercepat proses perakitan tanpa mengurangi fungsi dan kekuatan struktur *frame*. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alur Penelitian

3.2.1 Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi permasalahan ini berfokus pada tingginya kompleksitas desain *frame* sespan motor dengan sistem *knockdown* yang telah dikembangkan sebelumnya. Hal ini terlihat dari jumlah komponen dan variasi sambungan, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi waktu perakitan serta peningkatan biaya produksi, terutama pada tahap prototipe awal dibengkel kecil. Disamping itu, belum ada evaluasi yang membandingkan desain awal dengan desain yang telah diperbaiki, terkait jumlah komponen, waktu perakitan, dan estimasi biaya produksi. Oleh karena itu, diperlukan kajian menggunakan metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) untuk membantu meningkatkan efisiensi desain.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan dasar teoritis dan metodologis yang mendukung penelitian ini. Literatur yang dianalisis mencakup konsep dasar DFMA. Prinsip *Design for Manufacturing* (DFM) dan *Design for Assembly* (DFA), karakteristik material baja untuk penggunaan struktural, serta penelitian sebelumnya yang membahas penerapan DFMA pada produk rangka atau struktur tubular. Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk memastikan bahwa metode yang digunakan sesuai dengan teori yang berlaku dan relevan dengan perkembangan penelitian yang ada. Sumber referensi diambil dari *e-book*, jurnal ilmiah, serta tugas akhir dan tesis yang dapat diakses secara *online*.

3.2.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai dasar evaluasi desain baru *frame* sespan motor. Data yang dikumpulkan mencakup desain *frame* sespan motor *existing*, yang mencakup ukuran dimensi, jumlah komponen, serta tipe sambungan yang digunakan. Selain itu, juga diambil data mengenai material yang mencakup spesifikasi mekanik dan karakteristik produksi dari material ASTM A53 yang dijadikan bahan awal. Informasi mengenai proses produksi ini didapatkan melalui pengamatan dan kajian literatur yang berkaitan dengan pemotongan, pengelasan, dan perakitan, sementara data mengenai waktu dan biaya digunakan untuk memperkirakan efisiensi desain sebelum dan sesudah penerapan metode DFMA.

3.2.4 Evaluasi Desain *Existing* dengan Metode *Design for Manufacture* (DFM)

Evaluasi terhadap desain *existing* menggunakan pendekatan *Design for Manufacturing* (DFM) bertujuan untuk melihat seberapa mudah desain tersebut dapat diproduksi. Dalam proses ini, desain diperiksa berdasarkan tingkat kerumitan bentuk komponen, jumlah proses produksi yang dibutuhkan, tingkat standarisasi ukuran, serta kecocokan bahan dengan metode manufaktur yang ada. Analisis DFM digunakan atau memudahkan proses pembuatannya.

3.2.5 Evaluasi Desain *Existing* dengan Metode *Design for Assembly* (DFA)

Evaluasi desain *existing* dengan metode *Design for Assembly* (DFA) dilakukan untuk mengukur seberapa efisien proses merakit *frame* sespan motor. Fokus analisis ini terletak pada jumlah komponen, urutan perakitan, arah pemasangan, serta kebutuhan alat bantu selama proses perakitan. Pada tahap ini, dipakai konsep efisiensi perakitan Boothroyd untuk membandingkan jumlah komponen yang paling sedikit dengan total waktu perakitan yang aktual.

3.2.6 Identifikasi *Part*

Identifikasi *part* dilakukan untuk memahami fungsi dan peran setiap komponen pada *frame* sespan motor portabel. Setiap komponen dievaluasi berdasarkan fungsinya dalam menanggung beban, menghubungkan struktur, serta mempertahankan stabilitas sespan. Proses ini juga dimanfaatkan untuk mengidentifikasi kemungkinan penggabungan dan eliminasi komponen tanpa mengurangi fungsi utama dari desain. Hasil dari identifikasi *part* menjadi landasan dalam pengembangan desain baru yang lebih efisien dan sederhana sesuai dengan prinsip DFMA.

3.2.7 Pembuatan Desain Baru Berdasarkan Hasil Evaluasi Metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA)

Pembuatan desain baru dilakukan sebagai tindak lanjut dari hasil analisis DFM dan DFA terhadap desain *existing*. *Redesign* tidak dilakukan secara subjektif, melainkan berdasarkan rekomendasi yang dihasilkan dari evaluasi DFMA, seperti mengurangi jumlah komponen, menyederhanakan bentuk struktur, dan mengoptimalkan desain sambungan. Desain yang baru dikembangkan dengan

menggunakan *software* Autodesk Fusion 360 dengan mempertimbangkan aspek manufaktur dan perakitan.

3.2.8 Analisis Desain Baru dengan Metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA)

Desain baru dianalisis kembali menggunakan metode DFMA untuk memastikan bahwa hasil *redesign* telah memberikan peningkatan efisiensi secara kuantitatif. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menilai sejauh mana desain baru dapat meningkatkan efisiensi dalam proses manufaktur dan perakitan jika dibandingkan dengan desain *existing*. Beberapa parameter yang dianalisis mencakup jumlah komponen, perkiraan biaya produksi, serta durasi perakitan. Hasil dari analisis ini akan digunakan untuk menilai apakah desain baru telah memenuhi bahwa belum ada peningkatan yang signifikan, maka perbaikan desain akan dilakukan secara bertahap sesuai dengan langkah-langkah yang ada didalam diagram alir penelitian.

3.2.9 Perbandingan Desain *Existing* dan Desain Baru dengan Metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA)

Perbandingan antara desain *existing* dan desain yang baru dilakukan untuk mengevaluasi seberapa besar peningkatan efisiensi yang didapatkan dari penerapan metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA). Perbandingan ini dilakukan dengan memperhatikan parameter jumlah komponen, efisiensi perakitan, estimasi biaya produksi, dan durasi perakitan. Hasil dari perbandingan ini akan disajikan pada BAB IV, serta digunakan sebagai dasar penarikan kesimpulan penelitian.

3.2.10 Perhitungan Nilai Beban dan *Safety Factor* Pada Desain Baru

Subbab ini membahas analisis nilai beban dan faktor keamanan (*safety factor*) pada desain frame sesian hasil perbaikan. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa perubahan desain berdasarkan metode DFMA tidak menurunkan tingkat keamanan struktur. Pada penelitian ini, perhitungan dilakukan sebagai bentuk evaluasi, bukan sebagai perancangan ulang. Analisis beban dilakukan dengan mempertimbangkan berat pengendara, penumpang, muatan, dan berat rangka. Data diperoleh dari hasil pengukuran dan spesifikasi teknis desain. Perhitungan *safety*

factor digunakan untuk menilai kemampuan struktur dalam menahan beban kerja. Hasil perhitungan dibandingkan dengan batas minimum yang direkomendasikan. Desain dinyatakan aman apabila nilai faktor keamanan memenuhi kriteria yang ditetapkan. Analisis ini memastikan bahwa peningkatan efisiensi melalui DFMA tetap sejalan dengan aspek keselamatan struktur, jika nilai perhitungan ini jauh dibawah dari *existing design* maka dilakukan pengulangan tahap desain ulang.

3.2.11 Implemntasi Metode AHP dalam Memilih Desain Terbaik

Setelah perhitungan nilai beban dan *safety factor* sudah aman, maka selanjutnya pemilihan desain terbaik menggunakan metode *Analytical Hierarhy Process* (AHP). Berikut adalah kriteria yang akan menjadi bobot utama dalam pemilihan desain terbaik.

Tabel 3. 1 Kriteria dan Sub-Kriteria pada Pemilihan Desain Terbaik

Kriteria	Sub Kriteria
DFMA	<i>Total Assembly Labor Time</i>
	Total Cost
	<i>DFA Index</i>
Struktural	<i>Displacement</i>
	<i>Safety Factor</i>

3.2.12 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dalam penelitian ini mencakup pencapaian utama dari penelitian yang berkaitan dengan efektivitas penggunaan metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) dalam merancang desain baru untuk *frame* sespan motor. Pada kesimpulan ini dapat diberikan saran untuk penelitian selanjutnya supaya bisa menghasilkan output yang lebih baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

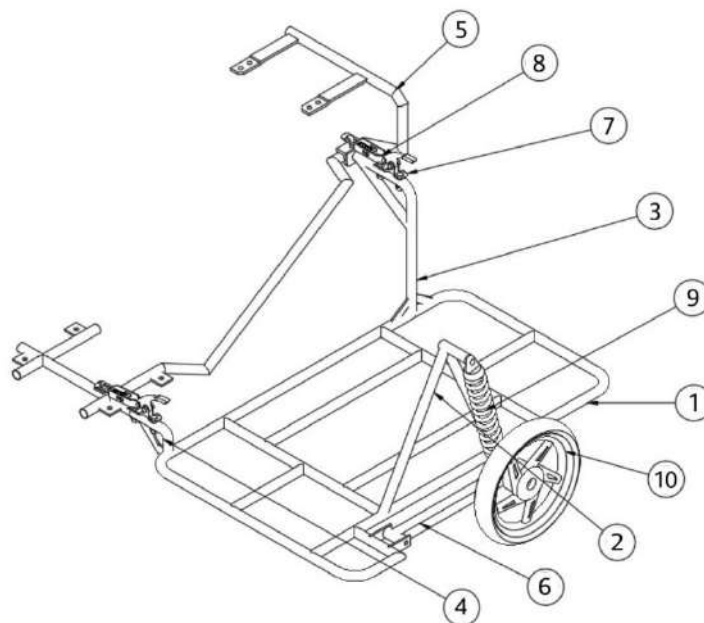
Pada bab ini dipaparkan data – data seperti spesifikasi produk dan deskripsi produk yang digunakan untuk penelitian melalui daftar yang berisi komponen dasar, bagian perakitan, perakitan sementara, bagian sub, bagian pengganti, serta jumlah yang dibutuhkan untuk menciptakan produk akhir, dengan tujuan untuk memfalisitasi pengolahan data dan analisis secara lebih efisien.

4.1 Pengumpulan Data

Pada subbab ini menjelaskan mengenai data – data yang meliputi komponen penyusunan *frame* sespan motor dan deskripsi proses produksi melalui *Bill of Material (BOM) Tree* dan daftar (BOM) *Table*. *Frame* sespan motor adalah komponen tambahan untuk kapasitas penumpang dan barang.

4.1.1 Data Komponen Penyusun

Frame sespan motor pada penelitian ini adalah hasil perancangan dari Muhammad Arif Abidin (2025). Desain *existing* frame sespan adalah sebagai pemilihan



Gambar 4. 1 Komponen *Existing Design*

Pada produk *existing design* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 memiliki beberapa komponen penyusun. Pada Tabel 4.1 ditampilkan beberapa komponen produk *existing Frame* Sesan Motor dan disertakan keterangannya.

Tabel 4. 1 Daftar Komponen *Existing Design*

No.	Nama Komponen	<i>Make or Buy</i>	Jumlah	Jenis Material
1.	<i>Frame Sesan</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
2.	<i>Frame Shockbreaker</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
3.	<i>Frame Upper Bracket</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
4.	<i>Frame Lower Bracket</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
5.	<i>Bracket Knockdown</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
6.	<i>Bracketudukan Shockbreaker</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
7.	<i>Bracket Handle</i>	Make	2	ASTM A36 <i>Steel</i>
8.	<i>Handle Knockdown</i>	Buy	2	ASTM A36 <i>Steel</i>
9.	<i>Shockbreaker</i>	Buy	2	<i>Steel</i>
10.	<i>Tire Wheel</i>	Buy	1	<i>Mix</i>

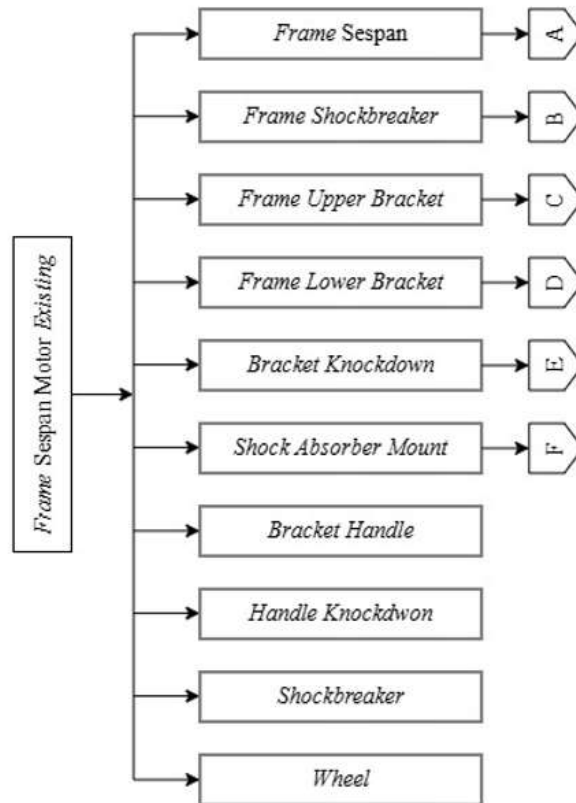
4.2 *Bill of Material (BOM) Existing Design*

Bill of Material atau BOM, merupakan sebuah daftar yang berisi komponen – komponen yang diperlukan dalam pembuatan produk. BOM memberikan informasi yang rinci mengenai setiap bagian, bahan, dan *sub-assembly* yang diperlukan untuk proses perakitan atau produksi suatu produk. *Bill of Material* (BOM) terdiri dari dua elemen utama, yaitu pohon BOM (*BOM's Tree*) dan tabel BOM (*BOM's Table*).

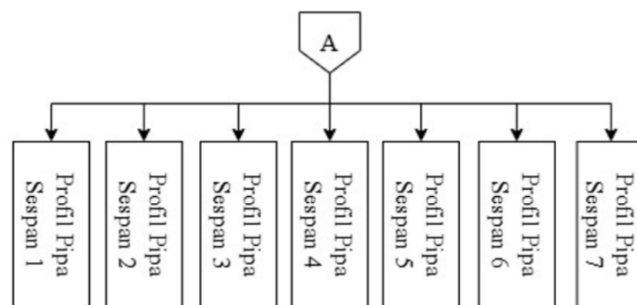
4.2.1 *BOM's Tree Existing Design*

BOM's Tree merupakan representasi visual dari struktur komponen dan *Sub-Assembly* yang diperlukan dalam perakitan yang menggambarkan hubungan induk dan anak komponen dalam bentuk struktur pohon, dimana komponen – komponen yang lebih rendah berada di bawah komponen yang lebih tinggi dalam

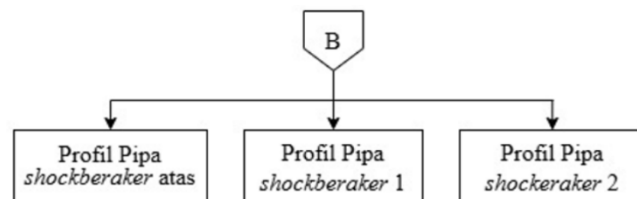
tingkatan. Berikut adalah BOM's *Tree Existing Design* (Gambar 4.2) dari *Frame Sespan Motor*.



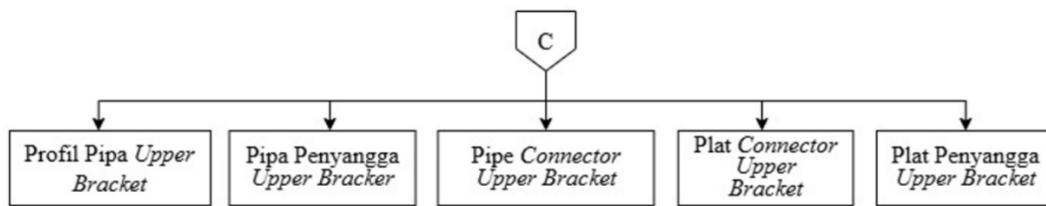
Gambar 4. 2 BOM's *Tree Existing Design* (Level 1)



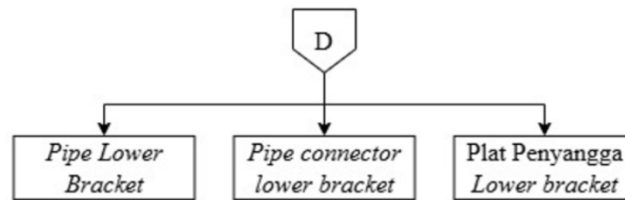
Gambar 4. 3 BOM's *Tree Existing Design* (Level 2 – A)



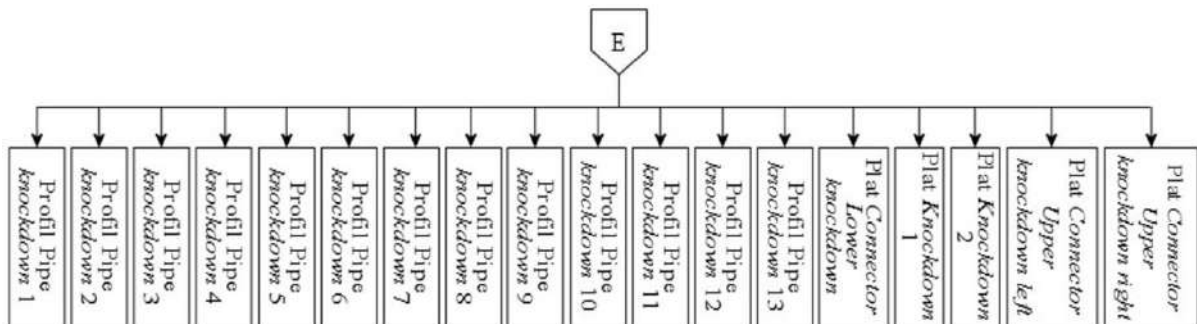
Gambar 4. 4 BOM's *Tree Existing Design* (Level 2 - B)



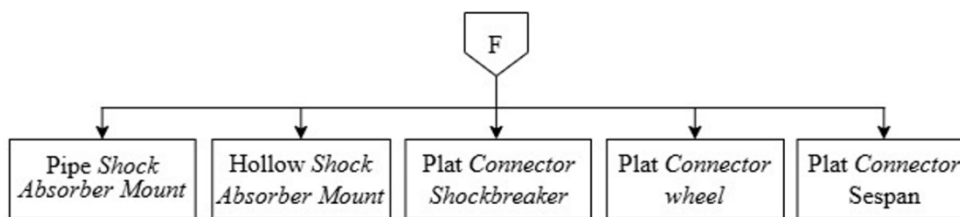
Gambar 4. 5 BOM's Tree Existing Design (Level 2 - C)



Gambar 4. 6 BOM's Tree Existing Design (Level 2 - D)



Gambar 4. 7 BOM's Tree Existing Design (Level 2 - E)



Gambar 4. 8 BOM's Tree Existing Design (Level 2 - F)

4.2.2 BOM'S Tabel Existing Design

BOM's Table adalah format tabel yang berisi komponen – komponen dan informasi terkait yang diperlukan dalam proses produksi atau perakitan produk. BOM's Table menyajikan data yang terperinci, seperti nomor bagian, deskripsi, jumlah yang dibutuhkan, spesifikasi, dan informasi lainnya untuk setiap komponen. BOM's Table memberikan tampilan yang terstruktur dan teratur, sehingga memudahkan mengolah informasi BOM dalam format tabel yang mudah dibaca

dan dianalisis. Berikut pada Table 4.3 akan ditampilkan BOM's *Frame Sespan Motor*.

Tabel 4. 2 BOM's *Table Existing Design*

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
1	Frame Sespan Motor <i>Existing</i>		1	1215 x 1000 x 450	M	Mix	- Cutting - Drilling - Welding - Bending	
2	Frame Sespan		1	1000 x 650 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Welding - Bending	
		Profil Pipa Sespan 1	1	650 x 150 x ø 25 T = 1,8 r = 60	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Profil Pipa Sespan 2	1	150 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespan 3	1	880 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipa Sespun 4	1	500 x 60 x ø 25 T = 1,8 r = 60	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Profil Pipa Sespun 5	1	940 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 6	4	500 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 7	2	250 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
3	Frame Shockbreaker		1	375 x 375 x 90	M	ASTM A53	- Cutting - Welding	
		Profil Pipa shockbreaker atas	1	90 x ø 25 x ø 15	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipa shockbreaker 1	1	450 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Profil Pipa shockbreaker 2	1	430 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
4	Frame Upper Bracket		1	375 x 235 x 140	M	Mix	- Cutting - Drilling - Welding - Bending	
		Profil Pipa Upper Bracket	1	375 x 190 x ø 25 T = 1.8 r = 40	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling - Bending	
		Pipa Penyangga Upper Bracker	1	216 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Pipe Connector Upper Bracket	2	40 x ø 10	M	ASTM A53	- Cutting	
		Plat Connector Upper Bracket	1	65 x 40 x 7 r = 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Penyangga Upper Bracket	2	70 x 20 x 2.5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
5	Frame Lower Bracket			290 x 65	M	Mix	- Cutting - Drilling - Bending - Welding	
		Pipe Lower Bracket	1	120 x 65 x ø 25 T = 1,8 r = 20	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling - Bending	
		Pipe connector lower bracket	1	170 x ø 25	M	ASTM A53	- Cutting	
		Plat Penyangga Lower bracket	1	102.5 x 65 x 5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
6	Bracket Knockdown		1	1020 x 470 x 385	M	Mix	- Cutting - Drilling - Bendin - Welding	
		Profil Pipe knockdown 1	1	385 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 2	1	185 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipe knockdown 3	1	185 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 4	2	90 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 5	1	117.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 6	1	588 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 7	1	105 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 8	1	132.5 x ø 25 ø 10 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipe knockdown 9	1	114.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 10	1	154.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 11	1	43.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 12	1	370 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 13	2	12 x 7 x ø 5 r = 3	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Plat Connector Lower knockdown	4	40 x 40 x 7 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
		Plat Knockdown 1	1	30 x 22 x 7	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Knockdown 2	1	65 x 40 x 30 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Welding	
		Plat Connector Upper knockdown left	1	197.5 x 35 x 10.5 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Plat Connector Upper knockdown right	1	197.5 x 35 x 10.5 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
7	Bracket Dudukan Shockbreaker			477.5 x 44 x 60	M	Mix	- Cutting - Drilling - Welding	
		Pipe Shock Absorber Mount	1	60 ø 30 ø 10	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Hollow Shock Absorber Mount	1	330 x 30 x 30 ø 30 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Plat Connector Shockbreaker	1	55 x 30 x 30 ø 10 T = 2	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
		Plat Connector wheel	1	90 x 30 x 7 ø 15 r = 7.5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
		Plat Connector Sespun	2	79 x 30 x 7 ø 10 ø 25	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
8	Bracket Handle		2	90 x 35 x 30 ø 10	M	Stainless Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
9	Handle Knockdown		2	250 x 50 x 30	B	Mix	- Subcont	
10	Shockbreaker		1	200 ø 52	B	Mix	- Subcont	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
11	Tire/Wheel		1	ø 350	B	Mix	- Subcont	

4.3 Implementasi Metode DFMA pada *Existing Design*

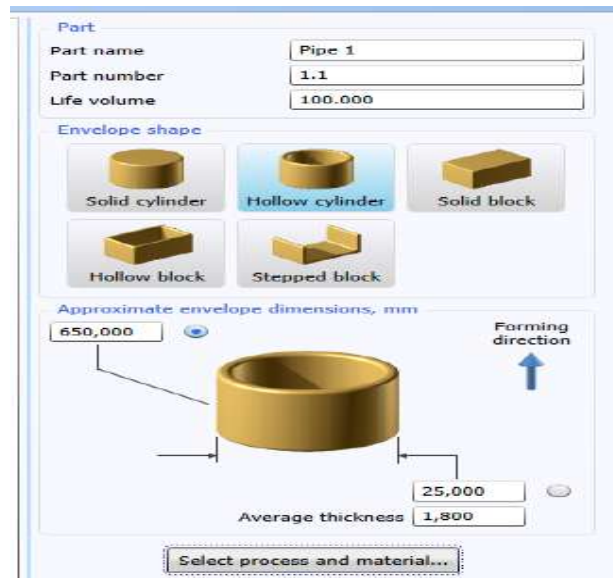
DFMA merupakan gabungan dari dua konsep utama, yaitu *Design for Manufacturing* (DFM) dan *Design for Assembly* (DFA), DFM bertujuan untuk merancang produk agar dapat diproduksi dengan efisien melalui pemilihan bahan yang tepat, optimisasi proses manufaktur, dan pengaturan toleransi yang sesuai. Sementara itu, DFA berfokus pada perancangan produk agar mudah dirakit dengan cara mengurangi jumlah komponen, menyederhanakan metode perakitan, dan menghindari gerakan atau operasi yang tidak perlu.

4.3.1 *Design for Manufacturing (DFM) Existing Design*

Pada subbab 4.3.1 ini membahas tahapan analisis pada produk *existing design* dengan menggunakan *software* DFM *Concurrent Costing* 2023. *Software* ini membantu identifikasi faktor yang mempengaruhi biaya manufaktur dari suatu produk. Perhitungan ini hanya difokuskan pada komponen yang diproduksi mandiri (*make*) saja, dan untuk produk yang dibeli (*buy*) tidak ikut sertakan dalam analisis DFM. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas proses pembuatan komponen serta menekan biaya produksi, sehingga didapatkan biaya hasil akhir yang lebih efisien.

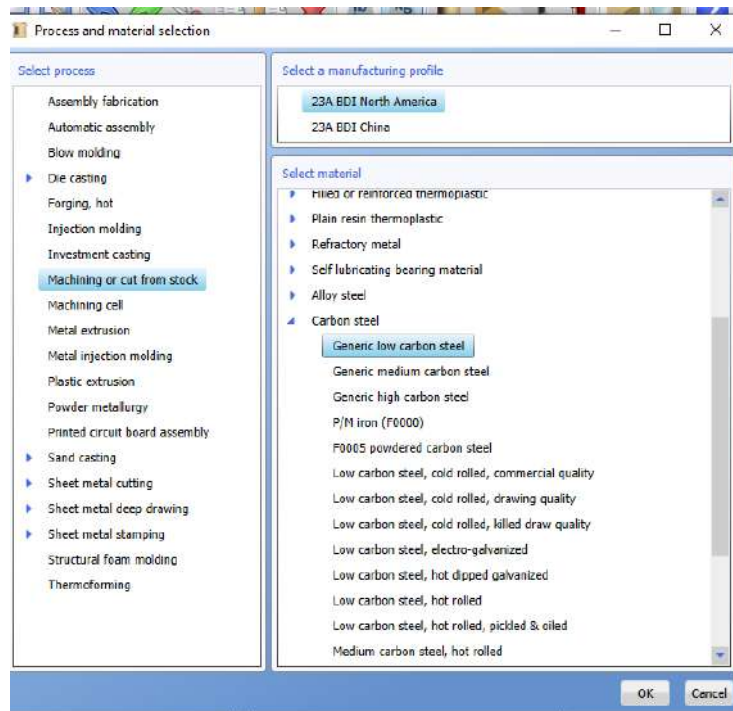
Ada beberapa data yang perlu dimasukkan dalam urutan proses manufaktur, mulai dari dimensi fisik masing-masing komponen, material yang digunakan, serta jenis proses manufaktur yang ingin diterapkan, seperti yang tercantum pada Tabel 4.2. Pada tahap pertama dalam menggunakan *software* DFM ini adalah pengisian nama komponen yang akan dianalisis, kemudian penentuan nomor komponen sesuai pada tabel BOM's untuk memudahkan dalam urutan proses produksi, lalu

tahap berikutnya menentukan *Envelope shape* dan mengisi dimensi sesuai komponen yang akan dianalisis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.9.



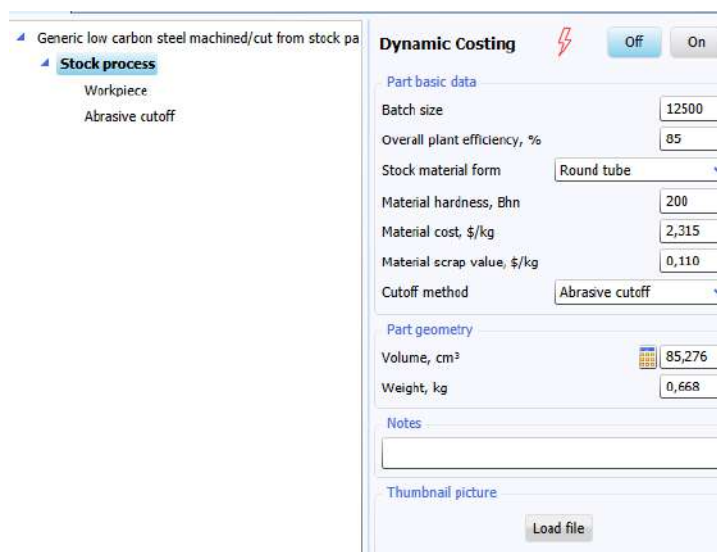
Gambar 4. 9 *Part Name, Envelope and Dimension*

Tahap berikutnya adalah pemilihan material dan proses manufaktur yang sesuai dengan komponen yang akan dianalisis, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.10. Proses manufaktur dipilih sesuai dengan pengerjaan yang akan dipakai untuk memproses komponen tersebut, kemudian pemilihan material dilakukan sesuai dengan pertimbangan/kesesuaian terhadap karakteristik komponen yang akan dianalisis. Setelah pemilihan material dan proses manufaktur sudah ditentukan, pilih icon *OK*.



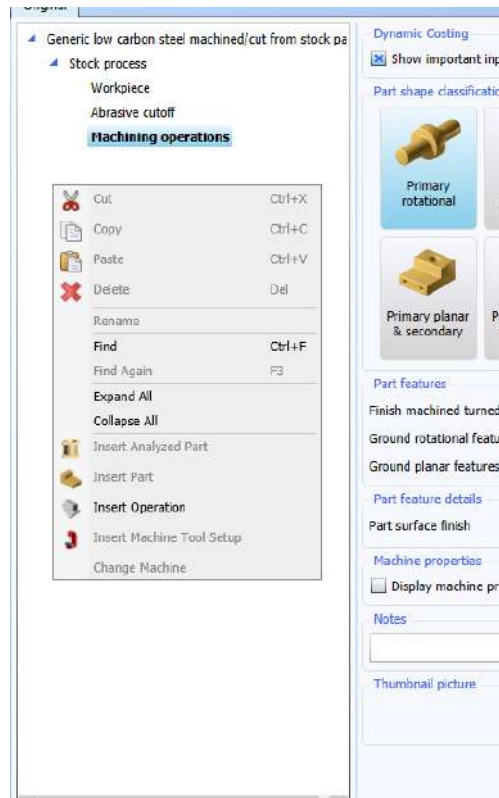
Gambar 4. 10 *Process and Metarial Selection*

Setelah pemilihan proses manufaktur dan material, maka akan muncul tampilan *Dynamic Costing* seperti ditampilkan pada Gambar 4.11. Untuk melanjutkan hasil analisa, *Dynamic Coasting* perlu di *ON* kan dan terdapat pemilihan *Stock material form* dan *Cutoff method* yang ingin digunakan dalam proses manufaktur.



Gambar 4. 11 *Dynamic Costing*

Operator juga bisa menambahkan proses manufaktur lainnya seperti *Bending*, dengan cara klik kanan pada halaman kosong dikiri, lalu pilih opsi *Insert Operation*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Penambahan proses manufaktur

Setelah semua rincian dari proses manufaktur, dimensi, dan pemilihan material dirasa sudah cukup, Operator dapat mengakses hasil analisis secara menyeluruh yang sudah disediakan oleh software DFM. Hasil analisis ini memberikan gambaran untuk mengevaluasi proses maupun material, dari hasil inilah dapat membangun desain usulan yang lebih efisien. Informasi tersebut mencakup *Executive Summary*, *result*, dan *totals*, seperti yang ditunjukkan pada gambar

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
DFM Concurrent Costing
Executive Summary



22 June 2026

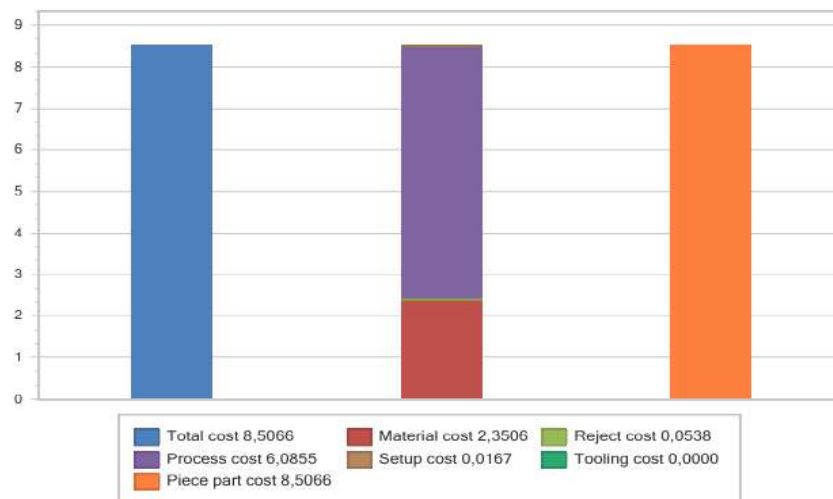
Frame sespan 2.1.dfm

Analysis Name: Frame Sespan 1
Part name: Pipe 1
Part number: 2.1

Material name: Generic low carbon steel
Manufacturing process: Machined/cut from stock
Manufacturing profile: 23A BDI North America

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	8,5066
Piece part cost, \$	8,5066
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of cost per part, \$



Gambar 4. 13 Report Executive Summary Existing Design

Operator juga dapat mengakses hasil yang lainnya seperti tampilan *Cost vs Life Volume*, *Cost Breakdown*, dan *Cost Reduction*. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.14 adalah tampilan *Cost vs Life Volume*, yang ditunjukkan ini bagaimana biaya pada proses manufaktur dapat dipengaruhi oleh beberapa komponen yang diproduksi, dan operator dapat mengubah nilai life volume secara fleksibel untuk mengamati perubahan biaya produksi yang terjadi adanya variasi pada jumlah produksi.



Gambar 4. 14 *Cost vs Life Volume*

Cost Breakdown menampilkan detail dari komponen biaya yang terbentuk secara keseluruhan biaya manufaktur, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.15. Adapun dalam bentuk grafik dari rangkuman *Cost Breakdown* yang memberikan masukan mengenai elemen-elemen biaya yang mungkin saja dapat ditekan dari total biaya produksi *Existing Design*, sehingga dapat meningkatkan efisiensi biaya secara menyeluruh, dapat dilihat pada Gambar 4.16.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
DFM Concurrent Costing
Cost Breakdown



22 June 2026

Frame sespan 2.1.dfm

Analysis Name: Frame Sespan 1
Part name: Pipe 1
Part number: 2.1
Part weight: 0,442 kg

Material name: Generic low carbon steel
Manufacturing process: Machined/cut from stock
Manufacturing profile: 23A BDI North America

Cost per part, \$										
Process Chart	Batch size	Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total	Operation time per part, s	Initial tooling investment
Generic low carbon steel machined/cut from stock part		2,3506	0,0167	6,0855	0,0538	8,5066		8,5066	495,71	
Stock process	12.500	2,3506	0,0154	5,9221	0,0413	8,3295		8,3295	480,31	
Workpiece		2,3506				2,3506				
Abrasive cutoff			0,0003	0,0289		0,0292		0,0292	5,36	
Machining operations			0,0151	5,8932	0,0413	5,9496		5,9496	474,95	
Roll bending			0,0013	0,1633	0,0125	0,1771		0,1771	15,40	

Gambar 4. 15 Cost Breakdown

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
DFM Concurrent Costing
Guide to Cost Reduction



22 June 2026

Frame sespan 2.1.dfm

Analysis Name: Frame Sespan 1
Part name: Pipe 1
Part number: 2.1

Material name: Generic low carbon steel
Manufacturing process: Machined/cut from stock
Manufacturing profile: 23A BDI North America

For the product life volume of 100000 and the batch size of 12500 you have specified, the tooling costs form 0,00% of the total cost of 8,51. The chart shows how improved equipment might reduce the machining cost in either of two ways: 1. If the machining operations could be carried out on one setup where appropriate. 2. If the various machines imposed no limitations on power or spindle speed.



Gambar 4. 16 Cost Reduction

Pada seluruh tahapan yang sudah dilakukan dapat diterapkan secara berulang pada masing-masing komponen yang proses pembuatannya dilakukan secara mandiri (*make*). Proses yang sudah saya lakukan ini mengeluarkan hasil analisis dari *software* DFA *Concurrent Costing*, yang sudah saya rangkum dalam Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil DFM *Existing Design*

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
2.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.0855	2.3506	0.0538	8.5066
2.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.7426	0.3720	0.0155	3.1455
2.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.0105	2.3518	0.0417	8.4194
2.4	Pipe 4	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	5.1273	1.7616	0.0432	6.9487
2.5	Pipe 5	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.2753	2.3552	0.0430	8.6889
2.6	Pipe 6	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.0613	1.2642	0.0261	5.3670
2.7	Pipe 7	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.2003	0.5896	0.0189	3.8242
3.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5128	0.6973	0.0159	3.2414
3.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.0998	1.1764	0.0263	5.3180
3.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.0100	1.0109	0.0250	5.0613
4.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.7758	1.4132	0.0379	6.2436
4.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.0459	0.5434	0.0179	3.6226

4.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.1931	0.3227	0.0124	2.5436
4.4	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5625	0.3044	0.0123	2.8874
4.5	Plat 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.1629	0.0669	0.0107	2.2487
5.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.9040	0.4421	0.0167	3.3782
5.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.8741	1.3128	0.0207	4.2230
5.3	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.5012	0.7225	0.0168	4.2487
6.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.8088	1.0083	0.0240	4.8566
6.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.9040	0.4421	0.0167	3.3782
6.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.9040	0.4421	0.0167	3.3782
6.4	Pipe 4	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.4103	0.2260	0.0131	2.6648
6.5	Pipe 5	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5899	0.2829	0.0143	2.9025
6.6	Pipe 6	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.7147	1.4145	0.0305	6.1751
6.7	Pipe 7	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5295	0.2526	0.0138	2.8113
6.8	Pipe 8	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.6609	0.3214	0.0148	3.0125
6.9	Pipe 9	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5756	0.2721	0.0142	2.8773
6.10	Pipe 10	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.7634	0.3722	0.0156	3.1667
6.11	Pipe 11	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.2557	0.1071	0.0118	2.3900
6.12	Pipe 12	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.7413	0.8842	0.0230	4.6639

6.13	Pipe 13	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	1.9505	0.0068	0.0099	1.9839
6.14	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.9659	0.2570	0.0091	1.2352
6.15	Plat 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.0691	0.1351	0.0108	2.2245
6.16	Plat 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	1.3965	0.5982	0.0241	2.0232
6.17	Plat 4	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	2.4897	0.9347	0.0401	3.4690
6.18	Plat 5	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	2.4897	0,9347	0.0401	3.4690
7.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.6598	0.6694	0.0164	3.3611
7.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	11.2204	4.5498	0.0783	15.8565
7.3	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	1.1470	0.1099	0.0135	1.2749
7.4	Plat 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.5114	0.4085	0.0046	0.9267
7.5	Plat 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.9897	0.3595	0.0103	1.3627
8.1	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	1.9862	0.2081	0.0252	2.2240
<i>Total Cost DFM</i>								215.16
<i>Convert Rupiah (Kurs Rp18.064,-/\$)</i>								Rp3.886.650,-

4.3.2 *Design for Assembly (DFA) Existing Design*

Pada subbab 4.3.2 menjelaskan bagaimana tahapan perakitan komponen *frame* sespan motor menggunakan *software* DFA *Product Simlification* 2026. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi pada setiap komponen terhadap total biaya perakitan.

Pada langkah awal dimulai dengan menginput data seperti nama komponen yang akan dirakit dan nomor komponennya. Selanjutnya,

menginput informasi tentang pembuat mesin, lokasi perakitan dan jumlah unit yang ingin dirakit (*life volume*). Setelah itu, menentukan berapa gaji pekerja perakitan dan tingkat efisiensi kerjanya secara menyeluruh, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.17.

The screenshot shows the main menu of the DFA software. The title bar reads "Frame Sespan Existing Design". The interface is divided into several sections:

- Assembly:**
 - Part number: Frame Sespan Existing Design
- Manufacturer:**
 - Name: Daniel Eka Tegar P
 - Location: Surabaya
 - Life volume: 10.000
- Assembly data:**
 - Labor rate, \$/hr: 1,85
 - Overall plant efficiency, %: 85,00
 - Cost of assembly fixture, \$: 0,00
- Envelope dimensions, mm:**
 - Enter the envelope dimensions of the total product
 - 3D model of a rectangular part with dimensions: 450,000 (width), 1215,000 (depth), and 1000,000 (height).
- Product summary:**
 - Parts & unanalyzed subs: 0
 - Separate operations: 0
 - Theoretical minimum items: 0
 - DFA index: 0,00
- Notes:**
 - Empty text box for notes.
- Thumbnail picture:**
 - Load file button.

Gambar 4. 17 Menu utama DFA

Selanjutnya adalah memasukan *subassembly* komponen yang ingin dilakukan analisis DFA bersamaan dengan *assembly* total keseluruhan komponen dengan memilih toolbar "*Insert Analyzed Subassembly*", seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 *Analyzed Subassembly*

Tahap berikutnya jika sudah memasukkan *analyzed subassembly* adalah menambahkan DFM *item* kedalam setiap *subassembly* sesuai komponen masing-masing melalui ikon *Insert DFM Item* (). Tahap ini sangat penting supaya analisis perakitan yang akan dilakukan dapat mewakili kondisi produk awal (*initial product*) secara akurat.

Selanjutnya jika item telah ditambahkan, operator perlu mengidentifikasi beberapa parameter seperti metode penyambungan (*securing method*), kriteria minimum komponen, tingkat simetri, kesulitan saat penanganan dan penyisipan, dan operator juga dapat menambahkan gambar, catatan, dan pelacakan kunjungan (*visit tracking*). Pada semua opsi yang sudah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan proses tersebut dapat mempengaruhi nilai DFA *Index*. Semakin tinggi nilai DFA *Index*, maka semakin baik dari sisi efisiensi proses perakitan yang dihasilkan.

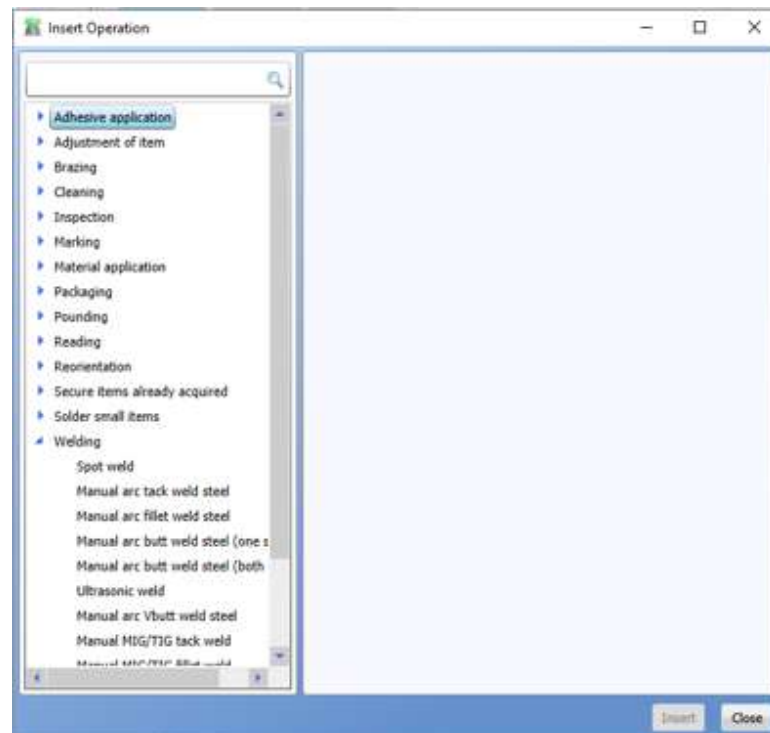
The screenshot displays the DFA software interface with the following sections:

- Item:**
 - Part number: 2.1
 - Icons: Part (selected), Sub analyzed, Sub not analyzed
 - Repeat count: 1
 - Cost of special assembly tools: \$ 0.00
- Item weight:**
 - ☒ Less than 5 lb (2.27kg)
 - ☐ From 5 lb (2.27kg) to 30 lb (13.6kg)
 - ☐ More than 30 lb (13.6kg)
- Envelope dimensions, mm:**
 - 25,000
 - 860,000
- Item function:**
 - Item has no function except to:
 - ☐ Fastens or secure other items
 - ☐ Connect other items
 - ☒ Item has other function
- Minimum part criteria:**
 - Item must be separate from all other items assembled, because:
 - ☐ Base part (usually only the first)
 - ☐ Moves relative to all other items
 - ☐ Must be a different material
 - ☐ Separate to allow assembly
 - ☒ No fundamental reason exists
- Handling difficulties:**
 - ☐ No feature allows for easy grasping
 - ☐ Item is flexible
 - ☐ Awkward to handle
 - ☐ Item requires unpacking
- Securing process:**
 - ☒ Added not secured
 - ☐ Snap/push fitting
 - ☐ Threaded fastening
 - ☐ Self-stick securing
- Alignment and resistance difficulties:**
 - ☐ No locating features
 - ☐ Multiple insertion points
 - ☐ Small clearances
 - ☐ Excessive insertion force
 - ☐ Jamming or wedging
 - ☐ Mating location not secure
- Vision difficulties:**
 - ☒ No vision restrictions
 - ☐ Minor vision restrictions
 - ☐ Severe vision restrictions
- Other insertion factors:**
 - ☐ Support weight during insertion
 - ☐ Regrasping required
 - ☐ Large depth of insertion (> 1in or 25mm)
- Manufacturing data:**

Piece part cost, \$	8,51
Item cost, \$	8,51
Tooling investment, \$	0
- Notes:**
 - Thumbnail picture: [Load file]

Gambar 4. 19 Lembar kerja DFA

Operator juga dapat menambahkan proses operasi setiap komponen, dengan menambahkan melalui ikon *Insert Operation* (🔧), untuk menambahkan komponen-komponen kecil seperti baut, mur, dan ring, selain itu terdapat berbagai jenis proses sederhana yang dilakukan dalam perakitan seperti pengelasan, penyolderan, pengencangan mur, proses pengemasan dan lainnya, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 *Insert Operation*

Setelah seluruh proses perakitan sudah disusun secara berurutan dalam *software* DFA, maka secara otomatis sistem akan menganalisis dan menampilkan hasil nilai total DFA *Index*. Pada analisis ini, nilai DFA *Index* pada produk *existing design* adalah 2,31, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.21.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
Design for Assembly
Assembly Totals for Design for Assembly (DFA)
25 June 2026

DFMA®
BOOTHROYD DEWHURST
DFA software.dfax

Entries including repeats	Frame Sespan Motor Existing Design
Parts meet minimum part criteria	10
Parts are candidates for elimination	50
Analyzed subassemblies	9
Separate assembly operations	30
Total entries	99
Assembly labor time, s	
Parts meet minimum part criteria	133,76
Parts are candidates for elimination	674
Insertion of analyzed subassemblies	214,94
Separate assembly operations	4214,60
Total assembly labor time	5237
Design efficiency	
DFA Index	2,31

Gambar 4. 21 DFA Index

Analisis secara menyeluruh pada *initial product* menampilkan beberapa ringkasan data terkait waktu hingga biaya proses perakitan yang didapatkan dari satu atau lebih hasil analisis dalam satu file. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.22 merupakan laporan gabungan antara informasi dari *Design for Manufacture* (DFM) dan *Design for Assembly* (DFA), pada *software* DFMA 2023 hasil ini sama dengannya hasil *executive summary* yang sudah mencakup durasi proses perakitan serta biaya secara rinci. Pada analisis ini berperan sebagai dasar kuantitatif untuk melakukan perbandingan dengan desain yang sudah tersedia.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
Analysis Totals for Design for
Manufacture and Assembly (DFMA)
25 June 2026



Per product costs, \$	Frame Sespan Motor Existing Design
Assembly process	6,37
Manufacturing piece part	208,80
Total cost without tooling	215,16
Total tooling cost	0
Total cost	215,16

Total tooling investment, \$	
Assembly tools and fixtures	0
Manufacturing tooling	0
Total investment	0

Production life data and weight	
Life volume	10.000
Total production life cost, \$	2.151.616
Total weight, kg	26,54

Gambar 4. 22 *Analysis Totals* DFMA

Rekapan hasil analisis total dari produk *existing design* dari *frame* sespan motor disajikan dalam Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Total DFA Existing Design

Design for Assembly Analysis	Totals
<i>Number of Entries</i>	99
<i>DFA Index</i>	2,31
<i>Totals Weight, kg</i>	26,54
<i>Totals Labor Time, s</i>	5327,39
<i>Totals Assembly Labor Cost, \$</i>	6,37
<i>Totals Cost per Product, \$</i>	215,16

Setelah mendapatkan hasil dari analisis DFMA, selanjutnya adalah melihat rekomendasi perbaikan desain pada *suggestions for redesign*, dari data tersebut muncul beberapa usulan yang mencakup pengurangan, penggabungan, atau modifikasi komponen yang akan menjadi bahan proses *redesign*. Hasil *suggestions for redesign* pada *frame* sespan motor dapat dilihat pada Lampiran (5). Bagian yang fokus untuk tahap *redesign* selanjutnya, yaitu usulan perbaikan atau pengurangan komponen, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.23.

Combine connected items or attempt to rearrange the structure of the product to eliminate the listed items whose function is solely to make connections. The design improvements which are realized by following Category 2 suggestions are somewhat smaller than those realized from the Category 1 suggestions. For that reason, these suggestions should only be considered after all practical Category 1 suggestions have been exhausted.

Name	Notes	Part number	Total quantity	Process time per product, s	Parent assembly
pipe 6		2.6	4	48,92	Frame Sespan
Plat 1		6.14	4	37,26	Bracket Knockdown
Pipe 3		4.3	2	26,04	Frame Upper Bracket
Plat 2		4.5	2	26,04	Frame Upper Bracket
Plat 3		7.5	2	26,04	Shock Absorber Mount
pipe 13		6.16	2	24,04	Bracket Knockdown
Pipe 8		2.8	2	21,77	Frame Sespan
Pipe 4		6.4	2	21,77	Bracket Knockdown
Plat 2		7.4	1	18,43	Shock Absorber Mount
Plat 2		6.15	1	18,43	Bracket Knockdown
Plat 1		4.4	1	17,43	Frame Upper Bracket
Plat 1		5.3	1	17,43	Frame Lower Bracket
Plat 1		7.3	1	17,43	Shock Absorber Mount
Pipe 7		6.7	1	17,43	Bracket Knockdown
pipe 9		6.9	1	17,43	Bracket Knockdown
pipe 11		6.11	1	17,43	Bracket Knockdown
Plat 3		6.16	1	17,43	Bracket Knockdown
Plat 4		6.17	1	16,43	Bracket Knockdown
Plat 5		6.18	1	16,43	Bracket Knockdown
Pipe 2		2.2	1	15,43	Frame Sespan
pipe 7		2.7	1	15,43	Frame Sespan
Pipe 2		4.2	1	15,43	Frame Upper Bracket
pipe 2		5.2	1	15,43	Frame Lower Bracket
Pipe 2		6.2	1	15,43	Bracket Knockdown
Pipe 3		6.3	1	15,43	Bracket Knockdown
pipe 5		6.5	1	15,43	Bracket Knockdown

Gambar 4. 23 Usulan Perbaikan

Name	Notes	Part number	Total quantity	Process time per product, s	Parent assembly
Pipe 8		6.8	1	15,43	Bracket Knockdown
pipe 10		6.10	1	15,43	Bracket Knockdown
Handle knockdown		9	2	13,77	Handle Knockdown
Pipe 3		2.3	1	12,23	Frame Sesan
pipe 4		2.4	1	12,23	Frame Sesan
pipe 5		2.5	1	12,23	Frame Sesan
pipe 2		3.2	1	12,23	Frame Shockbreaker
Pipe 3		3.3	1	12,23	Frame Shockbreaker
Hollow 1		7.2	1	12,23	Shock Absorber Mount
Pipe 6		6.6	1	12,23	Bracket Knockdown
pipe 12		6.12	1	12,23	Bracket Knockdown

Gambar 4. 24 Lanjutan usulan Perbaikan

4.4 *Redesign 1 Frame Sesan Motor*

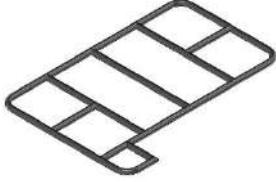
Pada tahap ini adalah proses *redesign 1* berdasarkan hasil analisis *existing design* dengan melakukan pengurangan atau penggabungan komponen supaya efisiensi manufaktur dapat ditingkatkan, model *redesign 1* dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 *Redesign 1 Frame Sesan Motor*

Pada rancangan *redesign 1* ini terdapat beberapa komponen yang dimodifikasi dan penyatuan antara beberapa komponen, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Daftar Modifikasi Komponen *Redesign 1*

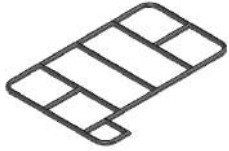
No.	Name Par0074	Existing Design	Redesign 1
1.	Frame Sesan		
2.	Frame Upper Knockdown		
			
3.	Frame Lower Knockdown		
4.	Shock Absorber Mount		
			
			
5.	Frame Knockdown		
6.	Bracket Handle		

Pada tabel hasil *redesign* 1 ini dibentuk dengan beberapa pertimbangan pengurangan penggunaan material dan penggabungan beberapa komponen yang dapat disatukan tanpa menghilangkan fungsi dari komponen tersebut. Hasil ini dapat mempengaruhi tingkat kerumitan perakitan dan manufaktur.

4.5 *Bill of Material (BOM) Redesign 1*

Bill of Material pada redesign 1 hanya berisikan tabel BOM (BOM's Table), karena pada dasarnya urutan perakitannya sama dengan *existing design*. Pada *redesign* 1 juga memiliki jumlah, dimensi dan proses manufaktur yang berbeda, penjelasan tersebut disajikan dalam bentuk Tabel 4.6 Berikut ini:

Tabel 4. 6 BOM's *Tabel Redesign 1*

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
1	Frame Serspan		1	1000 x 650 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Welding - Bending	
		Profil Pipa Serspan 1	1	650 x 150 x ø 25 T = 1,8 r = 60	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Profil Pipa Serspan 2	1	150 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipa Sespun 3	1	880 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 4	1	500 x 60 x ø 25 T = 1,8 r = 60	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Profil Pipa Sespun 5	1	940 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 6	3	550 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 7	2	250 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
2	Frame Shockbreaker		1	375 x 375 x 90	M	ASTM A53	- Cutting - Welding	
		Profil Pipa shockbreaker atas	1	90 x ø 25 x ø 15	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Profil Pipa shockbreaker 1	1	450 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Profil Pipa shockbreaker 2	1	430 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
3	Frame Upper Bracket		1	375 x 235 x 65	M	Mix	- Cutting - Drilling - Welding - Bending	
		Profil Pipa Upper Bracket	1	375 x 190 x ø 25 T = 1.8 r = 40	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling - Bending	
		Pipe Connector Upper Bracket	2	40 x ø 10	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Plat Connector Upper Bracket	1	65 x 40 x 7 r = 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Penyangga Upper Bracket 1	1	57.5 x 57.5 x 7 r = 27.5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Penyangga Upper Bracket 2	1	32.5 x 67 x 7 r = 12.5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
4	Frame Lower Bracket			290 x 65	M	Mix	- Cutting - Drilling - Bending - Welding	
		Pipe Lower Bracket	1	120 x 65 x ø 25 T = 1,8 r = 20	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling - Bending	
		Pipe connector lower bracket	1	170 x ø 25	M	ASTM A53	- Cutting	
		Plat Penyangga Lower bracket	1	65 x 38.5 x 7 r = 12.5 r = 7.5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
5	Bracket Knockdown		1	1020 x 470 x 385	M	Mix	- Cutting - Drilling - Bendin - Welding	
		Profil Pipe knockdown 1	1	212.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipe knockdown 2	1	310 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 3	1	185 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 4	1	52.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 5	1	117.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 6	1	588 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 7	1	105 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipe knockdown 8	1	132.5 x ø 25 ø 10 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Profil Pipe knockdown 9	1	114.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 10	1	154.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 11	1	43.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 12	1	370 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 13	2	12 x 7 x ø 5 r = 3	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Plat Connector Lower knockdown	4	40 x 40 x 7 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
		Plat Knockdown 1	1	30 x 22 x 7	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Knockdown 2	1	65 x 40 x 30 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Welding	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Plat Connector Upper knockdown left	1	197.5 x 35 x 10.5 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
		Plat Connector Upper knockdown right	1	197.5 x 35 x 10.5 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
6	Shock Absorber Mount			475 x 64 x 57.5	M	Mix	- Cutting - Drilling - Welding	
		Pipe Shock Absorber Mount	1	60 ø 25 ø 10	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Hollow Shock Absorber Mount	1	350 x 25 x 25 ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Plat Connector Shockbreaker	1	85 x 57.5 x 7 ø 15 ø 10 r = 7.5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
		Plat Connector Sepsan	2	72.5 x 25 x 7 ø 10 ø 25	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
7	Bracket Handle		2	90 x 35 x 30 ø 10	M	Stainless Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
8	Handle Knockdown		2	250 x 50 x 30	B	Mix	- Subcont	
9	Shockbreaker		1	200 ø 52	B	Mix	- Subcont	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
10	Tire/Wheel		1	ø 350	B	Mix	- Subcont	

4.6 Redesign 2 Frame Sespan Motor

Pada tahap ini adalah proses *redesign* 2 berdasarkan hasil analisis *existing design* dengan melakukan pengurangan atau penggabungan komponen supaya efisiensi manufaktur dapat ditingkatkan, model *redesign* 2 dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4. 26 *Redesign 2 Frame Sespan Motor*

Pada rancangan *redesign* 2 ini terdapat beberapa komponen yang dimodifikasi dan penyatuan antara beberapa komponen, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Daftar Modifikasi Komponen *Redesign 2*

No.	Name Part	Existing Design	Redesign 1
1.	Frame Sspan		
2.	Frame Upper Knockdown		
			
3.	Frame Lower Knockdown		
4	Shock Absorber Mount		
			
5.	Frame Knockdown		
6	Bracket Handle		

4.7 Bill of Material (BOM) Redesign 2

Bill of Material pada redesign 1 hanya berisikan tabel BOM (BOM's Table), karena pada dasarnya urutan perakitannya sama dengan *existing design*. Pada *redesign* 1 juga memiliki jumlah, dimensi dan proses manufaktur yang berbeda, penjelasan tersebut disajikan dalam bentuk Tabel 4.6 Berikut ini:

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
1	Frame Sespun		1	1000 x 650 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Welding - Bending	
		Profil Pipa Sespan 1	1	650 x 150 x ø 25 T = 1,8 r = 60 r = 30	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Profil Pipa Sespan 2	1	880 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespan 3	1	500 x 60 x ø 25 T = 1,8 r = 60	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipa Sespun 4	1	940 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 5	2	550 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 6	2	425 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipa Sespun 7	2	150 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting	
2	Frame Shockbreaker		1	375 x 375 x 90	M	ASTM A53	- Cutting - Welding	
		Profil Pipa shockbreaker atas	1	90 x ø 25 x ø 15	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipa shockbreaker 1	1	450 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Profil Pipa shockbreaker 2	1	430 x ø 25 T = 1,8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
3	Frame Upper Bracket		1	375 x 235 x 85	M	Mix	- Cutting - Drilling - Welding - Bending	
		Profil Pipa Upper Bracket	1	375 x 190 x ø 25 T = 1.8 r = 40	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling - Bending	
		Pipe Connector Upper Bracket	2	40 x ø 10	M	ASTM A53	- Cutting	
		Plat Connector Upper Bracket	1	65 x 40 x 7 r = 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Penyangga Upper Bracket 1	1	100 x 100 x 7	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Penyangga Upper Bracket 2	1	30 x 30 x 7	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
4	Frame Lower Bracket			290 x 65	M	Mix	- Cutting - Drilling - Bending - Welding	
		Pipe Lower Bracket	1	120 x 65 x ø 25 T = 1,8 r = 20	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling - Bending	
		Pipe connector lower bracket	1	170 x ø 25	M	ASTM A53	- Cutting	
		Plat Penyangga Lower bracket	1	50 x 50 x 7	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
5	Bracket Knockdown		1	1020 x 470 x 385	M	Mix	- Cutting - Drilling - Bendin - Welding	
		Profil Pipe knockdown 1	1	357.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 2	1	185 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 3	1	52.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipe knockdown 4		117.5 x ø 25 T = 1.8		ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 5	1	588 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 6	1	105 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 7	1	132.5 x ø 25 ø 10 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 8	1	114.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Profil Pipe knockdown 9	1	154.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Profil Pipe knockdown 10	1	43.5 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 11	1	370 x ø 25 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting	
		Profil Pipe knockdown 12	2	12 x 7 x ø 5 r = 3	M	ASTM A53	- Cutting - Bending	
		Plat Connector Lower knockdown 1	1	200 x 30 x 7 ø 10	M	ASTM A53	- Cutting	
		Plat Connector Lower knockdown 2	2	40 x 40 x 7 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
		Plat Knockdown 2	1	30 x 22 x 7	M	ASTM A36 Steel	- Cutting	
		Plat Connector Upper knockdown left	1	65 x 40 x 30 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Welding	
		Plat Connector Upper knockdown right	1	197.5 x 35 x 10.5 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
		Plat Connector Upper knockdown right	1	197.5 x 35 x 10.5 ø 10	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
6	Shock Absorber Mount			475 x 64 x 57.5	M	Mix	- Cutting - Drilling - Welding	

Sequence	Part Name	Sub-Part Name	Repeat Count	Dimensi (mm)	Make/Buy	Material	Manufacture Process	3D Model
		Pipe Shock Absorber Mount	1	60 ø 30 ø 10	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Hollow Shock Absorber Mount	1	380 x 30 x 30 ø 30 T = 1.8	M	ASTM A53	- Cutting - Drilling	
		Plat Connector Shockbreaker	1	60 x 40 x 30 ø 10 r = 7.5 T = 2	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
		Plat Connector Wheel	1	40 x 30 x 7 ø 15 r = 7.5	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
		Plat Connector Sesan	2	79 x 30 x 7 ø 10 ø 25	M	ASTM A36 Steel	- Cutting - Drilling	
7	Bracket Handle		2	40 x 29 x 15 ø 10 r = 7.5 T = 2	M	Stainless Steel	- Cutting - Drilling - Bending	
8	Handle Knockdown		2	250 x 50 x 30	B	Mix	- Subcont	
9	Shockbreaker		1	200 ø 52	B	Mix	- Subcont	
10	Tire/Wheel		1	ø 350	B	Mix	- Subcont	

4.8 Implementasi DFMA pada *Model Redesign*

Tahapan *redesign* menggunakan pendekatan *Design for Manufacture and Assembly* diterapkan kembali dengan prinsip yang sama dengan tahap *existing design* yang mencakup dua aspek, yaitu *Design for Manufacture* (DFM) dan *Design for Assembly* (DFA). Pada DFM sendiri digunakan untuk memastikan komponen hasil dari *redesign* tetap mempertimbangkan efisiensi dan kemudahan proses manufaktur. Sedangkan DFA diterapkan untuk menyederhanakan proses perakitan dari biaya dan waktu pada desain ulang. Dengan ini prinsip DFMA pada tahap *redesign* diharapkan dapat meningkatkan tingkat efisiensi dibanding *existing design*.

4.8.1 *Design for Manufacturing (DFM) Redesign 1*

Penerapan *Design for Manufacture* (DFM) pada *redesign 1* dilakukan dengan tahap-tahapan yang sama seperti *existing design*. Analisis ini untuk mengevaluasi dari biaya manufaktur yang diproduksi mandiri, dengan menggunakan *software DFM Concurrent Costing 2023*. Hasil analisis DFM *redesign 1* dapat dilihat pada Tabel 4.8, berikut ini:

Tabel 4. 8 Hasil DFM *Redesign 1*

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
1.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.0855	2.3506	0.0538	8.5066
1.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.7426	0.3720	0.0155	3.1455
1.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.0105	2.3518	0.0417	8.4194
1.4	Pipe 4	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	5.1273	1.7616	0.0432	6.9487
1.5	Pipe 5	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.2753	2.3552	0.0430	8.6889

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
1.6	Pipe 6	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	4.2584	1.4746	0.0282	5.7766
1.7	Pipe 7	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	3.0696	0.6038	0.0182	3.7070
2.1	Pipe 1	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.5128	0.6973	0.0159	3.2414
2.2	Pipe 2	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	4.0998	1.1764	0.0263	5.3180
2.3	Pipe 3	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	4.0100	1.0109	0.0250	5.0613
3.1	Pipe 1	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	4.7758	1.4132	0.0379	6.2436
3.2	Pipe 2	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.1931	0.3227	0.0124	2.5436
3.3	Plat 1	Generic low carbon steel	Sheet metal lase cutting	0	2.5625	0.3044	0.0123	2.8874
3.4	Plat 2	Generic low carbon steel	Sheet metal lase cutting	0	0.5069	0.4442	0.0047	0.9580
3.5	Plat 3	Generic low carbon steel	Sheet metal lase cutting	0	0.4412	0.3288	0.0038	0.7761
4.1	Pipe 1	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.9040	0.4421	0.0167	3.3782
4.2	Pipe 2	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.8741	1.3128	0.0207	4.2230
4.3	Plat 1	Generic low carbon steel	Sheet metal lase cutting	0	0.5777	0.3672	0.0047	0.9518
5.1	Pipe 1	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	3.0298	0.5053	0.0176	3.5681
5.2	Pipe 2	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	3.4716	0.7849	0.212	4.2931
5.3	Pipe 3	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.9040	0.4421	0.0167	3.3782

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
5.4	Pipe 4	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.2947	0.1285	0.0121	2.4507
5.5	Pipe 5	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.5899	0.2829	0.0143	2.9025
5.6	Pipe 6	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	4.7147	1.4145	0.0305	6.1751
5.7	Pipe 7	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.5295	0.2526	0.0138	2.8113
5.8	Pipe 8	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.6609	0.3214	0.0148	3.0125
5.9	Pipe 9	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.5756	0.2721	0.0142	2.8773
5.10	Pipe 10	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.7634	0.3722	0.0156	3.1667
5.11	Pipe 11	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.2557	0.1071	0.0118	2.3900
5.12	Pipe 12	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	3.7413	0.8842	0.0230	4.6639
5.13	Pipe 13	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	1.9505	0.0068	0.0099	1.9839
5.14	Plat 1	Generic low carbon steel	Sheet Metal Laser Cutting	0	0.9659	0.2570	0.0091	1.2352
5.15	Plat 2	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.0691	0.1351	0.0108	2.2245
5.16	Plat 3	Generic low carbon steel	Sheet Metal Laser Cutting	0	1.3965	0.5982	0.0241	2.0232
5.17	Plat 4	Generic low carbon steel	Sheet Metal Laser Cutting	0	2.4897	0.9347	0.0401	3.4690
5.18	Plat 5	Generic low carbon steel	Sheet Metal Laser Cutting	0	2.4897	0,9347	0.0401	3.4690
6.1	Pipe 1	Generic low carbon steel	Machine/cut from stock	0	2.6598	0.6694	0.0164	3.3611

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
6.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	10.4941	3.5488	0.0700	14.1208
6.3	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.9177	0.6369	0.0077	1.5645
6.4	Plat 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.4699	0.6807	0.0056	1.1585
7.1	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	1.9862	0.2081	0.0252	2.2240
<i>Total Cost DFM</i>								179.80
<i>Convert Rupiah (Kurs Rp18.064,-/\$)</i>								Rp3.247.907,-

Pada hasil DFM *redesign 1* biaya total komponen yang diproduksi secara mandiri mengalami penurunan, biaya yang dibutuhkan sebelumnya pada *existing design* sebesar \$215,16, dan pada *redesign 1* sebesar \$179,80, jika dikonvert ke rupiah menjadi Rp3.247.907 dengan kurs Rp18.064 per \$.

4.8.2 Design for Manufacturing (DFM) Redesign 2

Penerapan *Design for Manufacture* (DFM) pada *redesign 2* sama seperti *redesign 1* dilakukan dengan tahap-tahapan yang sama seperti *existing design*. Analisis ini untuk mengevaluasi dari biaya manufaktur yang diproduksi mandiri, dengan menggunakan *software DFM Concurrent Costing 2023*. Hasil analisis DFM *redesign 2* dapat dilihat pada Tabel 4.9, berikut ini:

Tabel 4. 9 Hasil DFM Redesign 2

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
1.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.5841	2.3591	0.0445	9.0032
1.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.0105	2.3518	0.0417	8.4194
1.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	5.1273	1.7616	0.0432	6.9487
1.4	Pipe 4	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	6.2753	2.3552	0.0430	8.6889
1.5	Pipe 5	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.2584	1.4435	0.0282	5.7455
1.6	Pipe 6	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.7655	1.0347	0.0238	4.8394
1.7	Pipe 7	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.6642	0.3805	0.0151	3.0752
2.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5128	0.6973	0.0159	3.2414
2.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.0998	1.1764	0.0263	5.3180
2.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.0100	1.0109	0.0250	5.0613
3.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.7758	1.4132	0.0379	6.2436
3.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.1931	0.3227	0.0124	2.5436
3.3	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet metal laser cutting</i>	0	2.5625	0.3044	0.0123	2.8874
3.4	Plat 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet metal laser cutting</i>	0	0.6876	1.1694	0.0093	1.8685
3.5	Plat 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet metal laser cutting</i>	0	0.3443	0.1655	0.0025	0.5145

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
4.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.9040	0.4421	0.0167	3.3782
4.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.8741	1.3128	0.0207	4.2230
4.3	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet metal laser cutting</i>	0	0.4735	0.3524	0.0041	0.8323
5.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.9203	0.8678	0.0239	4.8274
5.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.9040	0.4421	0.0167	3.3782
5.3	Pipe 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.2947	0.1285	0.0121	2.4507
5.4	Pipe 4	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5899	0.2829	0.0143	2.9025
5.5	Pipe 5	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	4.7147	1.4145	0.0305	6.1751
5.6	Pipe 6	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5295	0.2526	0.0138	2.8113
5.7	Pipe 7	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.6609	0.3214	0.0148	3.0125
5.8	Pipe 8	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.5756	0.2721	0.0142	2.8773
5.9	Pipe 9	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.7634	0.3722	0.0156	3.1667
5.10	Pipe 10	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.2557	0.1071	0.0118	2.3900
5.11	Pipe 11	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	3.7413	0.8842	0.0230	4.6639
5.12	Pipe 12	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	1.9505	0.0068	0.0099	1.9839
5.13	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.9659	0.2570	0.0091	1.2352

<i>Part no.</i>	<i>Original Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Process</i>	<i>Setup Cost (\$)</i>	<i>Process Cost (\$)</i>	<i>Material Cost (\$)</i>	<i>Reject Cost (\$)</i>	<i>Total Cost (\$)</i>
5.14	Plat 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.4829	0.1285	0.0091	1.3724
5.15	Plat 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.0691	0.1351	0.0108	2.2245
5.16	Plat 4	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	1.3965	0.5982	0.0241	2.0232
5.17	Plat 5	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	2.4897	0.9347	0.0401	3.4690
5.18	Plat 6	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	2.4897	0,9347	0.0401	3.4690
6.1	Pipe 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	2.6598	0.6694	0.0164	3.3611
6.2	Pipe 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Machine/cut from stock</i>	0	11.2204	4.5498	0.0783	15.8565
6.3	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.5789	0.1966	0.0064	0.7855
6.4	Plat 2	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.5246	0.2037	0.0036	0.7342
6.5	Plat 3	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	0.9897	0.3595	0.0103	1.3627
7.1	Plat 1	<i>Generic low carbon steel</i>	<i>Sheet Metal Laser Cutting</i>	0	1.1689	0.0905	0.0111	1.2750
<i>Total Cost DFM</i>								168.88
<i>Convert Rupiah (Kurs Rp18.064,-/\$)</i>								Rp3.050.648,-

Pada hasil DFM *redesign* 1 biaya total komponen yang diproduksi secara mandiri mengalami penurunan, biaya yang dibutuhkan sebelumnya pada *existing design* sebesar \$215,16, dan pada *redesign* 1 sebesar \$168,88, jika dikonvert ke rupiah menjadi Rp3.050.648 dengan kurs Rp18.064 per \$.

4.8.3 Design for Assembly (DFA) Redesign 1

Penerapan *Design for Assembly* (DFA) pada *redesign 1* dilakukan dengan tahap-tahapan yang sama seperti *existing design*, dengan menggunakan *software DFA Product Simlification 2023* . Analisis ini untuk mengukur seberapa besar peningkatan efisiensi pada *redesign 1* terhadap *existing design* dengan menentukan nilai *DFA index*. Nilai *DFA index existing design* sebesar 2,31, sedangkan pada nilai *DFA index redesign 1* sebesar 3,18. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dalam efisiensi perakitan. Hasil analisis *redesign 1* dapat dilihat pada tampilan Gambar 4.27 dan Gambar 4.28.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Design for Assembly

Assembly Totals for Design for Assembly (DFA)

26 June 2026

DFMA®
BOOTHROYD DEWHURST

DFA software.dfax

Entries including repeats	Frame Sespan Motor Redesign 1
Parts meet minimum part criteria	10
Parts are candidates for elimination	47
Analyzed subassemblies	10
Separate assembly operations	47
Total entries	114

Assembly labor time, s	
Parts meet minimum part criteria	143,30
Parts are candidates for elimination	620
Insertion of analyzed subassemblies	176,15
Separate assembly operations	2866,64
Total assembly labor time	3806

Design efficiency	
DFA Index	3,18

Gambar 4. 27 DFA Index Redesign 1

Per product costs, \$	Frame Sespan Motor Redesign 1
Assembly process	3,83
Manufacturing piece part	175,98
Total cost without tooling	179,80
Total tooling cost	0
Total cost	179,80

Total tooling investment, \$	
Assembly tools and fixtures	0
Manufacturing tooling	0
Total investment	0

Production life data and weight	
Life volume	10.000
Total production life cost, \$	1.798.025
Total weight, kg	24,72

Gambar 4. 28 *Analysis Totals DFMA Redesign 1*

4.8.4 *Design for Assembly (DFA) Redesign 2*

Penerapan *Design for Assembly (DFA)* pada *redesign 2* sama seperti *redesign 1* dilakukan dengan tahap-tahapan yang sama seperti *existing design*, dengan menggunakan *software DFA Product Simlification 2023*. Analisis ini untuk mengukur seberapa besar peningkatan efisiensi pada *redesign 2* terhadap *existing design* dengan menentukan nilai *DFA index*. Nilai *DFA index existing design* sebesar 2,31, sedangkan pada nilai *DFA index redesign 2* sebesar 3,03. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dalam efisiensi perakitan. Hasil analisis *redesign 2* dapat dilihat pada tampilan Gambar 4.29 dan Gambar 4.30.

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
Design for Assembly
Assembly Totals for Design for Assembly (DFA)

26 June 2026



Entries including repeats	Frame Sespan Motor Redesign 2
Parts meet minimum part criteria	8
Parts are candidates for elimination	43
Analyzed subassemblies	9
Separate assembly operations	43
Total entries	103

Assembly labor time, s	
Parts meet minimum part criteria	108,44
Parts are candidates for elimination	589
Insertion of analyzed subassemblies	148,19
Separate assembly operations	2344,54
Total assembly labor time	3190

Design efficiency	
DFA Index	3,03

Gambar 4. 29 DFA Index Redesign 2

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
Analysis Totals for Design for
Manufacture and Assembly (DFMA)

26 June 2026



Per product costs, \$	Frame Sespan Motor Redesign 2
Assembly process	3,02
Manufacturing piece part	165,86
Total cost without tooling	168,88
Total tooling cost	0
Total cost	168,88

Total tooling investment, \$	
Assembly tools and fixtures	0
Manufacturing tooling	0
Total investment	0

Production life data and weight	
Life volume	10.000
Total production life cost, \$	1.688.821
Total weight, kg	24,36

Gambar 4. 30 Analysis Totals DFMA Redesign 2

4.9 Perhitungan Nilai Beban dan *Safety Factor* pada *Model Redesign*

Perhitungan nilai beban dan *safety factor* merupakan faktor penting dalam menentukan apakah hasil *redesign frame* sespan motor mampu menahan beban penumpang atau barang lainnya. Material pada produk ini menggunakan ASTM A53 dengan ukuran diameter pipa 25mm dan memiliki ketebalan 1,8mm. sifat fisik pada material ASTM A53 dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut ini:

Tabel 4. 10 Sifat fisik Material A53

Parameter	Keterangan
<i>Material</i>	ASTM A53
<i>Density</i>	7,85 kg/mm ³
<i>Young Modulus</i>	200-215 <i>Gpa</i>
<i>Poisson's Ratio</i>	0,3
<i>Yield Strength</i>	240 <i>Mpa</i>
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	415 <i>Mpa</i>

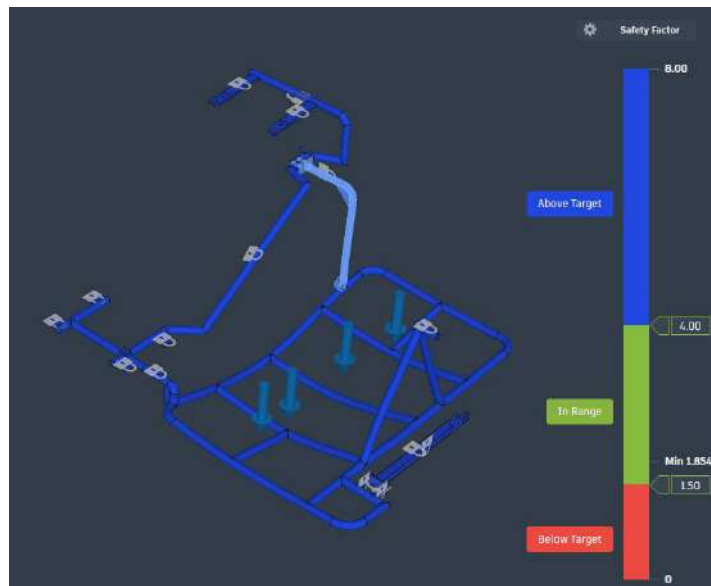
Perhitungan ini dilakukan dengan bantuan *software* Fusion 360 untuk mengetahui nilai beban dan *safety factor* pada *model redesign*. Pada faktor keamanan nilai minimal yang digunakan adalah 1,5, nilai ini mengikuti hasil dari produk *existing design*. Total massa yang digunakan juga sama yaitu sebesar 150kg, dan gaya yang bekerja dapat dihitung dengan mengacu persamaan 2.1, sebagai berikut:

$$F = 150 \cdot 9,8 = 1,470 \text{ N}$$

Hasil pada perhitungan ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kekuatan struktur menggunakan Fusion 360 *student version*.

4.9.1 Hasil Nilai Beban dan *Safety Factor Redesign 1*

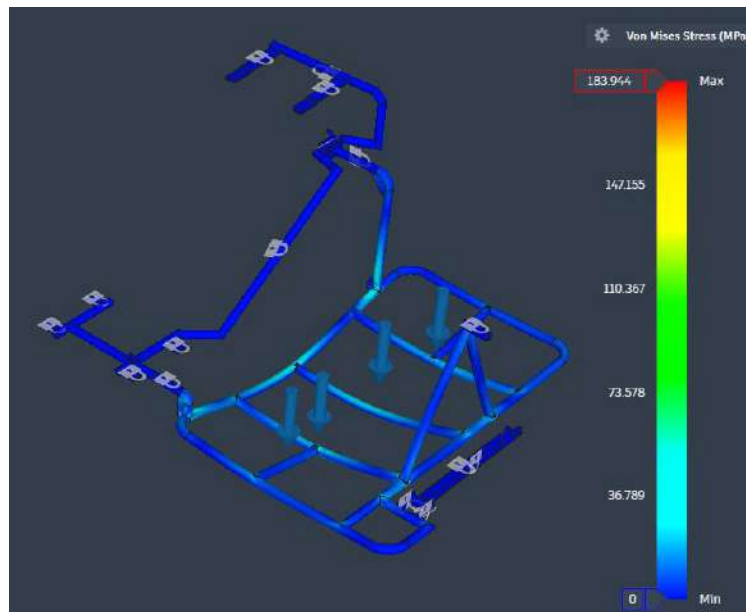
Simulasi perhitungan pada *redesign 1 frame* sespan motor memperoleh beberapa hasil seperti *Safety Factor* mendapatkan nilai min 1854, nilai *Displacement* 0,674 mm , dan *Von Mises Stress* 183,944 *Mpa*, seperti yang ditampilkan pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 31 Hasil Simulasi *Safety Factor Redesign 1*



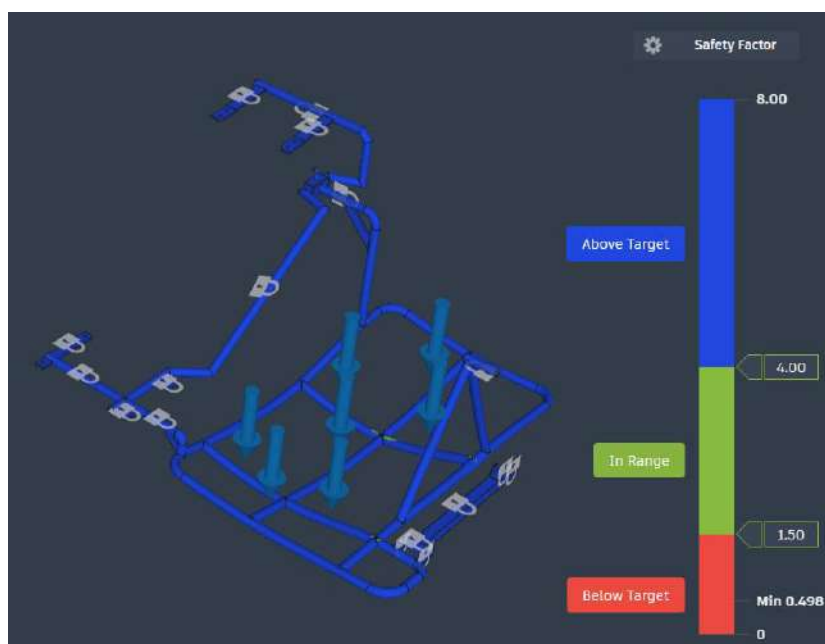
Gambar 4. 32 Hasil Simulasi *Displacement Redesign 1*



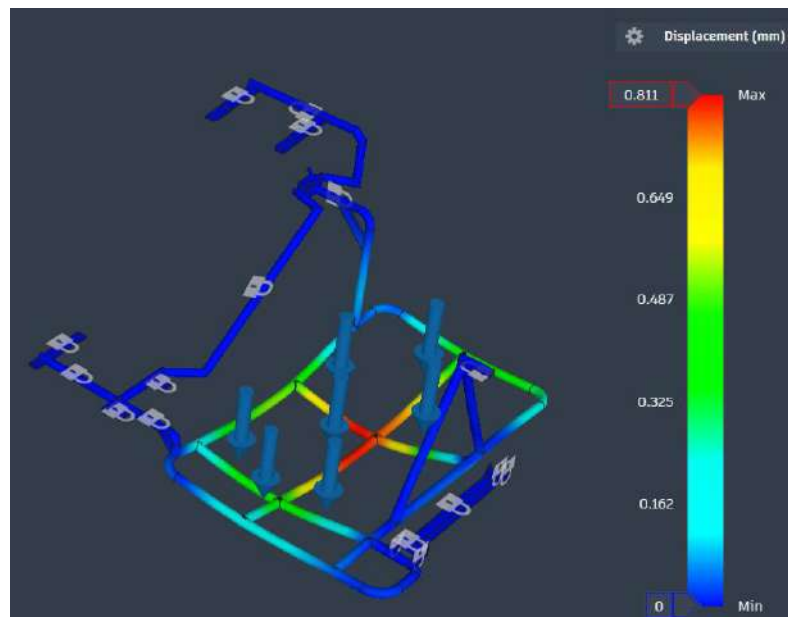
Gambar 4. 33 Hasil Simulasi *Von Mises Stress Redesign 1*

4.9.2 Hasil Nilai Beban dan *Safety Factor Redesign 2*

Simulasi perhitungan pada *redesign 2 frame* sespan motor memperoleh beberapa hasil seperti *Safety Factor* mendapatkan nilai min 0,498, nilai *Displacement* 0,811 mm , dan *Von Mises Stress* 415,913 Mpa, seperti yang ditampilkan pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 34 Hasil Simulasi *Safety Factor Redesign 2*



Gambar 4. 35 Hasil Simulasi *Displacement Redesign 2*



Gambar 4. 36 Hasil Simulasi *Von Mises Stress Redesign 2*

4.10 Implementasi AHP dalam Pemilihan Desain Terbaik

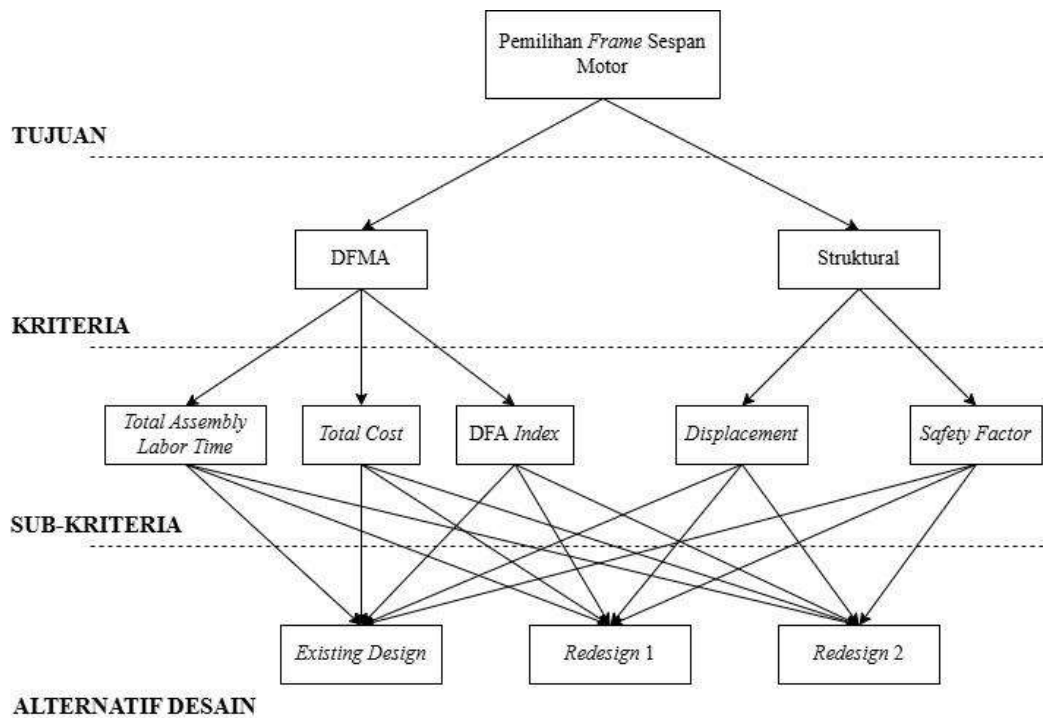
Berdasarkan hasil analisis DFMA pada *redesign 1* dan *redesign 2* menunjukkan peningkatan yang cukup dibandingkan *existing design*, dengan ini

kedua *redesign* layak untuk dipertimbangkan sebagai pengembangan *existing design*. Cara objektif untuk menentukan alternatif desain terbaik, dilakukan penilaian menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

4.10.1 *Decomposing the decision problem*

Pada langkah pertama dalam metode AHP, yaitu mendefinisikan permasalahan dan menyusunnya ke dalam hierarki, dan dibagi menjadi beberapa elemen. Pada analisis ini, pengambilan keputusan terhadap alternatif desain *frame* sespan motor dibagi menjadi dua kriteria utama, dan masing-masing memiliki sub-kriteria yang terhubung dengan setiap alternatif desain.

Kriteria pertama, Design for Manufacture and Assembly (DFMA), dengan beberapa sub-kriteria: *Total Assembly Labor Time*, *Total Cost*, *DFA Index*. Kriteria kedua, Perhitungan Struktural, terdiri dari *Displacement* dan *Safety Factor*. Struktur hubungan antara kriteria, sub-kriteria, dan alternatif desain ditampilkan pada Gambar 4.37 berikut.



Gambar 4. 37 Bagan Hierarki Pemilihan Desain Terbaik

4.10.2 AHP Pairwise Comparison

Pada tahapan selanjutnya yaitu, melakukan penilaian perbandingan berpasangan pada setiap level hierarki. Tujuan utama ini bertujuan untuk mendapatkan bobot relatif dari setiap kriteria dan sub-kriteria berdasarkan pertimbangan rasional dari para ahli. Penilaian ini dilakukan secara berpasangan dengan skala intensitas dari 1 hingga 9, di mana nilai angka 1 adalah kesetaraan kepentingan dan nilai 9 menunjukkan kepentingan ekstrim dari satu elemen dibandingkan elemen yang lain.

Perbandingan intensitas kepentingan antara kriteria utama dan sub-kriteria disajikan dalam bentuk tabel, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.11, Tabel 4.12 dan Tabel 4.13. Dengan penamaan kriteria dan sub-kriteria sebagai berikut.

- K1 : *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)*
- K2 : *Struktural*
- SK1 : *Total Assembly Labor Time*
- SK2 : *Total Cost*
- SK3 : *DFA Index*
- SK4 : *Displacement*
- SK5 : *Safety Factor*

Tabel 4. 11 Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Kriteria

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
K1	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	K2		

Tabel 4. 12 Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria DFMA

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
SK1	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	SK2		
SK1	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	SK3		
SK2	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	SK3		

Tabel 4. 13 Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria Struktural

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
SK4	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	SK5		

4.10.3 Matrix of Pairwise Comparisons

Tahapan selanjutnya dilakukan penyusunan matriks perbandingan berpasangan pada masing-masing elemen yang ada pada struktur hierarki keputusan. Matriks ini disusun berdasarkan penilaian dari pakar dan alumni yang

memiliki latar belakang yang relevan dalam bidang perancangan produk, informasi mengenai pakar tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 14 Profil Pakar Penilaian

	Nama	Profesi
<i>Expert 1</i>	Dhika Aditya Purnomo	Dosen
<i>Expert 2</i>	Ridhani Anita Fajardini	Dosen
<i>Expert 3</i>	Khoirul Amin	Alumni Desain dan Manufaktur 21

Pakar diminta untuk memberikan penilaian kepentingan relatif pada kriteria dan sub-kriteria berdasarkan skala intensitas 1 hingga 9. Penilaian tersebut dilakukan dengan cara berpasangan pada seluruh elemen yang berada dalam satu level hierarki. Struktur hierarki mencakup tiga tingkat, sebagai berikut.

- Tingkat pertama yaitu kriteria utama, yang berisi *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) dan Struktural.
- Tingkat kedua yaitu sub-kriteria, yang mencakup *Total Assembly Labor Time*, *Total Cost* dan *DFA Index*.
- Tingkat ketiga yaitu alternatif desain, yang terdiri dari *Existing Design*, *Redesign 1* dan *Redesign 2*.

Hasil dari penilaian pakar dituangkan kedalam bentuk matriks perbandingan berpasangan. Pada hasil penilaiannya dapat dilihat pada tabel berikut.

- *Expert 1*

Tabel 4. 15 *Pairwise Comparisons Matrix* (Kriteria) - *Expert 1*

	K1	K2
K1	1	0,143
K2	7	1
Sum	8	1,143

Tabel 4. 16 *Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) DFMA - *Expert 1*

	SK1	SK2	SK3
SK1	1	0,143	0,333
SK2	7	1	5
SK3	3	0,2	1
Sum	11	1,343	6,333

Tabel 4. 17 *Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) Struktural - *Expert 1*

	SK4	SK5
SK4	1	0,2
SK5	5	1
Sum	6	1,2

- *Expert 2*

Tabel 4. 18 *Pairwise Comparisons Matrix* (Kriteria) - *Expert 2*

	K1	K2
K1	1	0,166
K2	6	1
Sum	7	1,166

Tabel 4. 19 *Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) DFMA - *Expert 2*

	SK1	SK2	SK3
SK1	1	0,166	0,5
SK2	6	1	5
SK3	2	0,2	1
Sum	9	1,366	2

Tabel 4. 20 *Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) Struktural - *Expert 2*

	SK4	SK5
SK4	1	5
SK5	0,2	1
Sum	1,2	6

- *Expert 3*

Tabel 4. 21 *Pairwise Comparisons Matrix* (Kriteria) - *Expert 3*

	K1	K2
K1	1	0,333
K2	3	1
Sum	4	1,333

Tabel 4. 22 *Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) DFMA - *Expert 3*

	SK1	SK2	SK3
SK1	1	0,5	5
SK2	2	1	9
SK3	0,2	0,111	1
Sum	3,2	1,611	15

Tabel 4. 23 *Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) Struktural - *Expert 3*

	SK4	SK5
SK4	1	0,111
SK5	9	1
Sum	10	1,111

Jika setiap matriks induvidual sudah disusun, langkah selanjutnya yaitu, menggabungkan ketiganya menjadi satu matriks gabungan. Proses ini dilakukan dengan pendekatan *geometric mean*, ini adalah metode standar dalam AHP untuk menggabungkan beberapa preferensi pengambilan keputusan. Sebagai contoh:

$$G_{ij} = (x_{ij}^{(1)} \cdot x_{ij}^{(2)} \cdot x_{ij}^{(3)})^{1/3}$$

Dengan $x_{ij}^{(1)} \cdot x_{ij}^{(2)} \cdot x_{ij}^{(3)}$ merupakan nilai perbandingan antara elemen ke-i dan ke-j dari *Expert 1,2 dan 3* secara berurutan, sebagai contoh.

$$k_{12} = (0,143 \cdot 0,166 \cdot 0,333)^{1/3}$$

$$= 0,199$$

Perhitungan ini dilakukan pada setiap elemen kriteria dan sub-kriteria, lalu akan mendapatkan hasil tiga *Group Pairwise Comparison Matrix* (G), yang telah disajikan kedalam beberapa tabel berikut ini.

Tabel 4. 24 *Group Pairwise Comparisons Matrix* (Kriteria)

	K1	K2
K1	1	0,199
K2	5,013	1
Sum	6,013	1,199

Tabel 4. 25 *Group Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) DFMA

	SK1	SK2	SK3
SK1	1	0,228	0,941
SK2	4,379	1	6,082
SK3	1,062	0,164	1
Sum	6,441	1,392	8,023

Tabel 4. 26 *Group Pairwise Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) Struktural

	SK4	SK5
SK4	1	0,480
SK5	2,080	1
Sum	3,080	1,480

4.10.4 Calculate Eigenvectors and Eigenvalues (λ_{max})

Proses selanjutnya jika sudah memperoleh matriks perbandingan berpasangan adalah menghitung bobot prioritas relatif (*eigenvector*) dan nilai eigen maksimum (λ_{max}) dari setiap elemen. Perhitungan ini sangat penting untuk mengetahui kontribusi pada setiap elemen agar mencapai tujuan pemilihan desain terbaik.

a. Normalisasi dan Perhitungan Bobot Prioritas

Langkah ini untuk menormalisasikan matriks, dengan cara membagi setiap nilai kedalam kolom dengan total nilai. Dimana nilai matrik normalisasi pada setiap kolom bernilai 1, berikutnya untuk mendapatkan nilai bobot prioritas w_i dengan cara mengambil nilai rata-rata dari setiap baris matrik normalisasi. Perhitungan ini didapatkan dengan persamaan 2.5.

Tabel 4. 27 *Normalized Group Pairwised Comparisons Matrix* (Kriteria)

	K1	K2	Priority
K1	0,166	0,166	0,166
K2	0,834	0,834	0,834
Sum	1	1	1

Tabel 4. 28 *Normalized Group Pairwised Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) DFMA

	SK1	SK2	SK3	Priority
SK1	0,155	0,164	0,117	0,145
SK2	0,680	0,718	0,758	0,719
SK3	0,165	0,118	0,125	0,136
Sum	1	1	1	1

$$w_i = \frac{1}{6,013}$$

$$= 0,166$$

Perhitungan ini diterapkan pada setiap elemen kriteria dan sub-kriteria untuk mendapatkan hasil matrik normalisasi.

Tabel 4. 29 *Normalized Pairwised Comparisons Matrix* (Sub-Kriteria) Struktural

	SK1	SK2	Priority
SK1	0,325	0,325	0,325
SK2	0,675	0,675	0,675
Sum	1	1	1

b. Perhitungan Nilai Eigen Maksimum (λ_{max})

Perhitungan ini untuk menentukan nilai konsistensi logika dalam perbandingan berpasangan (*pairwise comparisons*). Untuk mendapatkan nilai ini, dapat dihitung dengan persamaan 2.6 atau dapat disederhanakan secara numerik sebagai berikut:

$$\lambda_{max} \sum (jumlah\ tiap\ kolom\ asli \times bobot\ prioritas\ elemen\ yang\ terkait)$$

$$\lambda_{max} \sum (2 \times 2)$$

$$= 2$$

Hasil perhitungan ini ditampilkan pada Tabel 4.21 berikut.

Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan λ_{max}

Matriks	λ_{max}
Kriteria Utama	2
Sub-Kriteria DFMA	3,017
Sub-Kriteria Struktural	2

4.10.5 Consistency Verification

Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa penilaian yang sudah diberikan oleh pakar logis secara berurutan. Dimana, suatu elemen A lebih penting dari elemen B, dan elemen B lebih penting dari elemen C, maka secara logika elemen A lebih penting dari elemen C.

Pada verifikasi ini dilakukan dengan menghitung dua indikator utama, *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR).

a. Perhitungan *Consistency Index* (CI)

Hasil ini dilakukan dengan deviasi nilai λ_{max} terhadap ukuran matriks (n). Jika nilai λ_{max} semakin dekat dengan jumlah elemen n, maka nilai CI semakin kecil dan semakin konsisten penilaian yang diberikan. Hasil perhitungan pada kriteria dan sub-kriteria dapat dilihat pada Tabel 4.22 berikut.

$$\begin{aligned} CI &= \frac{2 - 2}{2 - 1} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan CI

Matriks	CI
Kriteria Utama	0
Sub-Kriteria DFMA	0,0084
Sub-Kriteria Struktural	0

b. Perhitungan *Consistency Ratio* (CR)

Perhitungan ini untuk menilai tingkat konsistensi dapat diterima atau tidak, dengan membandingkan nilai CI dengan *Random Index* (RI). Pada dasar teori AHP, nilai $CR \leq 0.1$ atau $\leq 10\%$ dapat dianggap ambang batas konsistensi yang masih bisa diterima. Jika nilai CR melebihi batas tersebut maka matriks perbandingan ditolak atau direvisi. Sebagai contoh perhitungan ini menggunakan persamaan 2.8, yang diterapkan pada elemen kriteria utama dengan menggunakan *Random Index* 0,00.

$$\begin{aligned} CR &= \frac{0}{0,00} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan CR

Matriks	CR	Interpretasi
Kriteria Utama	0	Dapat diterima
Sub-Kriteria DFMA	0,0146	Dapat diterima
Sub-Kriteria Struktural	0	Dapat diterima

4.10.6 Final Score Calculation for Alternatives

Tahapan ini dapat dibilang sebagai tahap akhir dalam metode *Analytical Hierarchy Proses* (AHP), dengan melakukan perhitungan skor akhir dari setiap alternatif desain supaya mendapatkan desain terbaik berdasarkan hasil analisis multikriteria. Pada skor akhir ini ditentukan oleh beberapa tahap yang melibatkan evaluasi nilai aktual, normalisasi, pembobotan global dan penjumlahan total skor alternatif.

a. Unweighted Score Alternative

Tahap ini mengumpulkan nilai kuantitatif dari setiap alternatif desain terhadap semua sub-kriteria. Nilai ini didapatkan melalui hasil pengujian beberapa *software*.

Tabel 4. 33 Unweighted Score Alternative

Kriteria	Sub-Kriteria	ED	R1	R2
DFMA	<i>Total Assembly Labor Time</i>	5237	3806	3190
	<i>Total Cost</i>	215.16	179.80	168.88
	<i>DFA Index</i>	2.31	3.18	3.03
Struktural	<i>Displacement</i>	0.543	0.674	0.811
	<i>Safety Factor</i>	1.681	1.854	0.498

b. Normalisasi Nilai Alternatif

Pada tahap ini skala antar sub-kriteria sangat bervariasi, maka dilakukan normalisasi untuk mendapatkan nilai yang adil dengan dua pendekatan sesuai dengan sub-kriterianya.

Large is better, digunakan pada sub-kriteria *DFA Index* dan *Safety Factor*, yang dimana jika nilainya semakin besar maka semakin baik. Nilai ini dihitung dengan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$x_{ij}^{norm} = \frac{2.31}{\text{Max}(2.31 + 3.18 + 3.03)}$$

$$= 0,7264$$

Smaller is better, digunakan pada sub-kriteria *Total Assembly Labor Time*, *Total Cost* dan *Displacement*, yang dimana jika nilainya semakin kecil maka semakin baik. Nilai ini dihitung dengan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$x_{ij}^{norm} = \frac{\text{Min}(5237 + 3806 + 3190)}{5237}$$

$$= 0,6091$$

Tabel 4. 34 Normalized Unweighted Score Alternative

Kriteria	Sub-Kriteria	ED	R1	R2
DFMA	<i>Total Assembly Labor Time</i>	0,6091	0,8382	1
	<i>Total Cost</i>	0,7849	0,9393	1
	<i>DFA Index</i>	0,7264	1	0,9528
Struktural	<i>Displacement</i>	1	0,8056	0,6695
	<i>Safety Factor</i>	0,9067	1	0,2686

c. Global Weighted Score Alternative

Pada nilai-nilai yang sudah dinormalisasikan tersebut dikalikan dengan bobot global pada setiap sub-kriteria w_i yang sudah didapatkan pada tahap AHP sebelumnya. Sebagai contoh pada perhitungan ini didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.9 dan 2.10, diterapkan pada alternatif *Existing Design* yang nantinya perhitungan ini diterapkan juga pada alternatif desain lainnya.

Perhitungan skor akhir,

$$S_{ij} = 0,6091 \times 0,0242$$

$$= 0,0147$$

Perhitungan pemilihan alternatif desain terbaik,

$$S_i = \sum_{j=1}^5 (0,0147 + 0,0938 + 0,0164 + 0,2707 + 0,5105 + 0,9061)$$

$$= 0,9061$$

Tabel 4. 35 *Global Weighted Score Alternative*

Kriteria	Sub-Kriteria	ED	R1	R2
DFMA	<i>Total Assembly Labor Time</i>	0,0147	0,0230	0,0242
	<i>Total Cost</i>	0,0938	0,1122	0,1195
	<i>DFA Index</i>	0,0164	0,0226	0,0215
Struktural	<i>Displacement</i>	0,2707	0,2181	0,1812
	<i>Safety Factor</i>	0,5105	0,5630	0,1512
<i>Sum</i>		0,9061	0,9362	0,4977
<i>Rank</i>		2	1	3

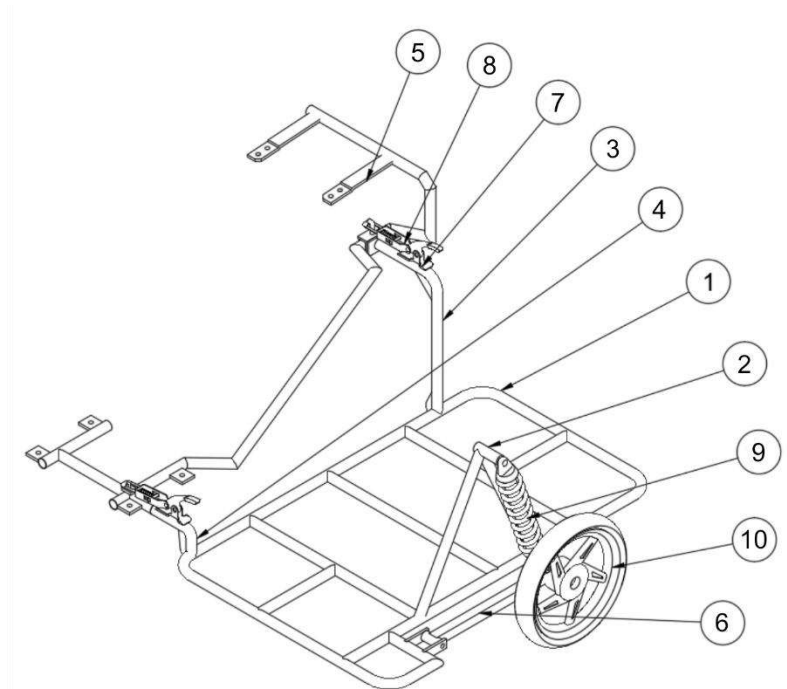
d. Interpretasi Hasil

Pada hasil ini menunjukkan bahwa:

- *Redesign 1* (R1) mendapatkan nilai skor tertinggi sebesar 0,9362, yang menjadikannya desain terbaik secara keseluruhan.
- *Existing Design* (ED) berada pada posisi kedua dengan skor sebesar 0,9061.
- *Redesign 2* (R2) memperoleh nilai skor sebesar 0,4977, yang dimana skor ini paling bawah diantara yang lain.

Penilaian pemilihan desain terbaik ini dipertimbangkan berdasarkan seluruh kriteria pada metode AHP seperti DFMA dan perhitungan struktural, dan beberapa sub-kriteria yang ada pada setiap kriteria, maka *Redesign 1* menjadi desain terbaik *frame* sespan motor.

c. Detail Komponen Desain Terbaik



Gambar 4. 38 Detail Komponen *Redesign 1*

Pada produk *redesign 1* yang ditunjukkan pada Gambar 4.38 memiliki beberapa komponen penyusun. Pada Tabel 4.27 ditampilkan beberapa komponen produk *existing Frame Sesan Motor* dan disertakan keterangannya.

Tabel 4. 36 Daftar Komponen *Redesign 1*

No.	Nama Komponen	<i>Make or Buy</i>	Jumlah	Jenis Material
1.	<i>Frame Sesan</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
2.	<i>Frame Shockbreaker</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
3.	<i>Frame Upper Bracket</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
4.	<i>Frame Lower Bracket</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
5.	<i>Bracket Knockdown</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
6.	<i>Bracket dudukan Shockbreaker</i>	<i>Make</i>	1	ASTM A53
7.	<i>Bracket Handle</i>	Make	2	ASTM A36 Steel
8.	<i>Handle Knockdown</i>	Buy	2	ASTM A36 Steel

9.	<i>Shockbreaker</i>	Buy	2	<i>Steel</i>
10.	<i>Tire Wheel</i>	Buy	1	<i>Mix</i>

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan berdasarkan hal yang disajikan berikut ini:

1. Peningkatan efisiensi menggunakan metode DFMA pada produk *frame* sespan motor, ditunjukkan dengan kenaikan DFA *Index* 0,37% dari 2,31% pada *existing design* menjadi 3,18% pada *redesign* 1 dan kenaikan 0,72% dari 2,31% pada *existing design* menjadi 3,03% pada *redesign* 2.
2. Waktu perakitan dan biaya manufaktur direduksi menggunakan metode DFMA, menghasilkan penurunan pada waktu perakitan sekitar 1518 detik dari 5324 detik pada *existing design* menjadi 3806 detik pada *redesign* 1 dan penurunan sekitar 2134 detik dari 5324 detik pada *existing design* menjadi 3190 detik pada *redesign* 2. Biaya manufaktur dan perakitan turun sekitar 16,43% dari Rp3.886.650 (*existing design*, setara \$215,16 dengan kurs Rp18.064,-) menjadi Rp3.247.907 (*redesign* 1, setara \$179.80) dan penurunan sekitar 21,51% dari Rp3.886.650 (*existing design*, setara \$215,16 dengan kurs Rp18.064,-) menjadi Rp3.050.648 (*redesign* 2, setara \$168,88).

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini dengan harapan dapat disempurnakan lagi untuk penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat diberikan pada tugas akhir ini, sebagai berikut :

1. Agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik, disarankan untuk menggunakan produk yang sudah memiliki hak paten atau yang sudah diproduksi massal. Hal ini memungkinkan kemudahan dalam analisis *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) dengan lebih baik.
2. Penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan perhitungan dinamis pada *redesign* yang terpilih.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Boothroyd, G. (1994). *Product design for manufacture and assembly*. *Computer-Aided Design*, 26(7), 505–520. **Computer-Aided Design**, Vol.26, No.7.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2011). **Product Design for Manufacturing and Assembly**. Mechanical Engineers Handbook, New York.
- Chan, V., & Salustri, F. (2005). *Evaluation Methods for DFA*. URL:<http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmadfa.html>
- Favi, C., Germani, M., & Marconi, M. (2017). *A 4M Approach for a Comprehensive Analysis and Improvement of Manual Assembly Lines*. **Procedia Manufacturing**, Vol.11, pp.1510–1518, Modena.
- Faza Firdaus, M., Darius Yuhas, dan, Studi Manufaktur, P., Pembimbing Jurusan Teknik Mesin, D., Negeri Jakarta, P., A Siwabessy, J. G., kunci, K., Router, C., Perakitan, W., & Part, J. (2022). *Redesign Mesin CNC Router Dengan Metode Design For Assembly (DFA)*. **Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta**, pp.446–452.
- Hasibuan, A., & Nasution, S. P. (2024). *SMART Manufacturing System : Sebuah Solusi Teknologi Manufaktur Proses Menuju Industri 4.0 SMART Manufacturing System: A Process Manufacturing Technology Solution for Industry 4.0*. **JIME (Journal of Industrial and Manufacture Engineering)**, 8(1), 2549–6336.
- Juniani, A. I., Fahmi, M. R. S., Purnomo, D. A., & Firmansyah, C. A. (2023). *Design Analysis of Bottle Leaktester Machine through DFMA Method*. **Proceedings of the 7th Conference on Design and Manufacture Engineering and its Application**, Vol.7, No1, Surabaya.
- Kamath, K. (2009). *Design for assembly line performance: The link between DFA metrics and assembly line performance metrics*. **Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference**, Vol.6, pp.73–84, Montreal.
- Krisna, D. (2023). *Perbaikan Desain Mesin Press Semi-Otomatis Pencetak Paving Block Sebagai Upaya Penurunan Biaya Manufaktur Dan Perakitan Dengan Pendekatan Design For Manufacturing And Assembly (DFMA)*. **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Muhammad Arif Abidin. (2025). *Rancang Bangun Frame Sespan Portabel Menggunakan Metode Ulrich*. **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Nawawi, A. (2014). **Boothroyd Dewhurst Software**. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Batu Pahat.

- Nurmianto, E., Sulasmono, K., Nurmianto, F. N., & Trikurniawan, G. S. (2023). *Ergonomics and Analytical Hierarchy Process Intervention in Transport: Motorcycle Sidecar Design to Increase Safety*. **Jurnal Tekno**, 20(2), 93–106.
- Rohmatuka, Moh. W. (2023). Penerapan Metode Design for Manufacture and Assembly (DFMA) dan Life Cycle Assessment (LCA) pada Perbaikan Desain Mesin Dual Function Waste Chopper. **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Rulia, A., & Es, A. (2013). *Modifikasi Rumah Kutai Knockdown sebagai Solusi Perumahan Daerah Rawa*. **Panggung**, Vol.28, No.3.
- Saaty, T. L. (2013). *The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach*. **Operations Research**, Vol.61, No.5, pp.1101–1118.
- Samad, M., & Yusuf, G. (2021). *Application Of Design For Manufacturing And Assembly (DFMA) Method To Vehicle Door Design*. **STRIDE (Science & Technology Research Institute For Defence)**, Vol.15, No.1, pp.34-41.
- Satria, D., Setiawan, I., Lusiani, R., & Pratama, Y. (2016). *Desain Material Selection Untuk Frame*. **Jurnal TEKNIKA**, Vol.12, No.3, pp.413–418.
- Verna, E., Genta, G., Galetto, M., & Franceschini, F. (2022). *Defect prediction for assembled products: a novel model based on the structural complexity paradigm*. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Vol.120, No.5–6, pp.3405–3426.
- Wahyu Firmansyah, Yohanes Dewanto, & Indra Chandra Setiawan. (2020). *Analisa Stabilitas Sespun Pada Sepeda Motor Disabilitas*. **Jurnal Teknologika**, 10(2), 85–92.
- Zain, A. T., Alamussofiyullah, A., & Suranto, D. D. (2025). *Analisis Pengujian Statis pada Rangka Kendaraan Listrik Niaga Roda Tiga dengan Metode Elemen Hingga*. **Infotekmesin**, Vol.16, No.1, pp.249–255.
- Zhai, Y., Sun, Y., Li, Y., & Tang, S. (2023). *Design for Assembly (DFA) Evaluation Method for Prefabricated Buildings*. **Buildings**, Vol. 13, No.11.

LAMPIRAN

Lampiran. 1 Peminjaman Software DFMA



PPNS
POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telepon (031) 5947186 , 5942887 FAX (031) 5942887

Laman: www.ppns.ac.id Email: humas@ppns.ac.id

Nomor : 1275/DST/PL19/DV.01.10/2026

8 Juni 2026

Perihal : Permohonan Peminjaman Alat Uji

Yth. Kepala Laboratorium Sistem Manufaktur
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Keputih Sukolilo
Surabaya

Sehubungan dengan penyusunan Tugas Akhir mahasiswa Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Program Studi D4 Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, bersama surat ini kami mohon Bapak/Ibu berkenan memberikan bantuan untuk penyelesaian Tugas Akhir mahasiswa kami yang berjudul "**Analisis dan Perbaikan *Frame Sespun Motor Menggunakan Pendekatan Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)***".

Adapun bantuan dukungan yang kami butuhkan :

NO.	NAMA / NRP	ALAT UJI YANG DIPINJAM
1.	Daniel Eka Tegar Prakoso NRP. 0622040086	- <i>Software DFMA</i>

Besar harapan permohonan kami dapat terpenuhi.

Atas perhatian dan kerjasamanya yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Wakil Direktur Bidang Akademik,



Aang Wahidin, ST., MT.
NIP.197208121995011001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 2 Report DFMA Existing Design

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Analysis Totals for Design for
Manufacture and Assembly (DFMA)

25 June 2026

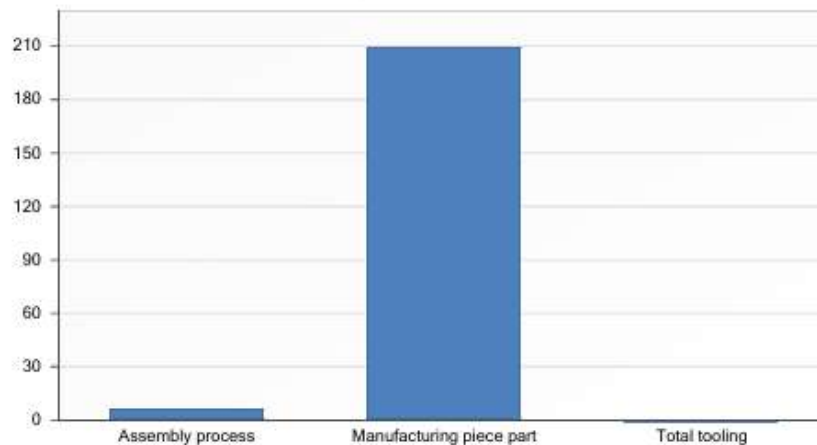


Per product costs, \$	Frame Sespan Motor Existing Design
Assembly process	6,37
Manufacturing piece part	208,80
Total cost without tooling	215,16
Total tooling cost	0
Total cost	215,16

Total tooling investment, \$	
Assembly tools and fixtures	0
Manufacturing tooling	0
Total investment	0

Production life data and weight	
Life volume	10.000
Total production life cost, \$	2.151.616
Total weight, kg	26,54

Per product costs, \$



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 3 Analisis Total DFA *Existing Design*

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Design for Assembly

Assembly Totals for Design for Assembly (DFA)

25 June 2026



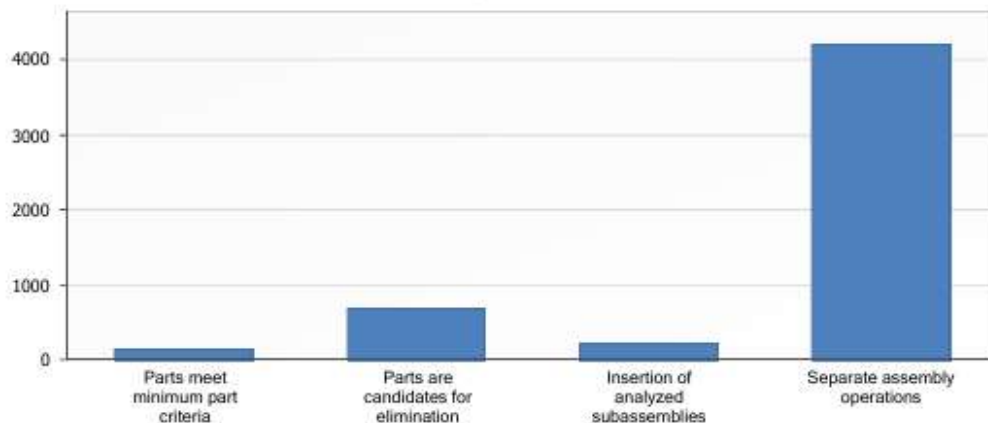
DFA software.dfax

Entries including repeats	Frame Sespan Motor Existing Design
Parts meet minimum part criteria	10
Parts are candidates for elimination	50
Analyzed subassemblies	9
Separate assembly operations	30
Total entries	99

Assembly labor time, s	
Parts meet minimum part criteria	133,76
Parts are candidates for elimination	674
Insertion of analyzed subassemblies	214,94
Separate assembly operations	4214,60
Total assembly labor time	5237

Design efficiency	
DFA Index	2,31

Assembly labor time, s



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 4 Structure Chart Existing Design

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

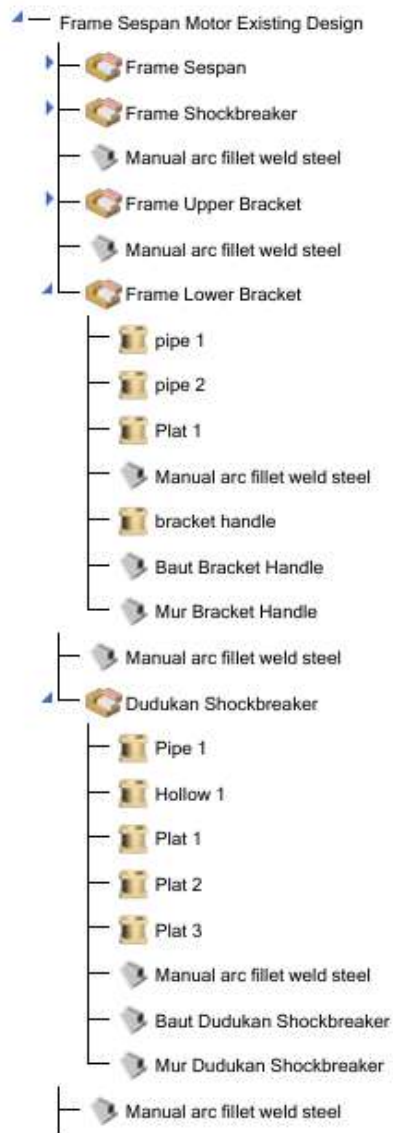
Design for Assembly
Product Structure Chart

25 June 2026



DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Existing Design

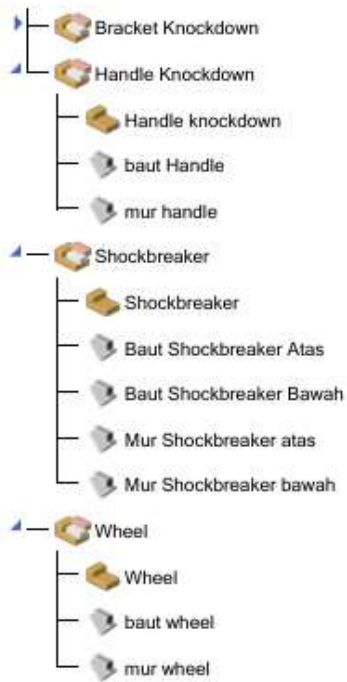


www.dfma.com

Page 1 of 2

25 June 2026

DFA software.dfax
Frame Sespun Motor Existing Design



Lampiran. 5 Suggestion for Redesign Existing Design

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Design for Assembly
Suggestions for Redesign



25 June 2026

DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Existing Design

Category 2: Fasteners, Connectors, Separate Operations

Combine connected items or attempt to rearrange the structure of the product to eliminate the listed items whose function is solely to make connections. The design improvements which are realized by following Category 2 suggestions are somewhat smaller than those realized from the Category 1 suggestions. For that reason, these suggestions should only be considered after all practical Category 1 suggestions have been exhausted.

Name	Notes	Part number	Total quantity	Process time per product, s	Parent assembly
pipe 6		2.6	4	48,92	Frame Sespan
Plat 1		6.14	4	37,26	Bracket Knockdown
Pipe 3		4.3	2	26,04	Frame Upper Bracket
Plat 2		4.5	2	26,04	Frame Upper Bracket
Plat 3		7.5	2	26,04	Dudukan Shockbreaker
pipe 13		6.16	2	24,04	Bracket Knockdown
Pipe 8		2.8	2	21,77	Frame Sespan
Pipe 4		6.4	2	21,77	Bracket Knockdown
Plat 2		7.4	1	18,43	Dudukan Shockbreaker
Plat 2		6.15	1	18,43	Bracket Knockdown
Plat 1		4.4	1	17,43	Frame Upper Bracket
Plat 1		5.3	1	17,43	Frame Lower Bracket
Plat 1		7.3	1	17,43	Dudukan Shockbreaker
Pipe 7		6.7	1	17,43	Bracket Knockdown
pipe 9		6.9	1	17,43	Bracket Knockdown
pipe 11		6.11	1	17,43	Bracket Knockdown
Plat 3		6.16	1	17,43	Bracket Knockdown
Plat 4		6.17	1	16,43	Bracket Knockdown
Plat 5		6.18	1	16,43	Bracket Knockdown
Pipe 2		2.2	1	15,43	Frame Sespan
pipe 7		2.7	1	15,43	Frame Sespan
Pipe 2		4.2	1	15,43	Frame Upper Bracket
pipe 2		5.2	1	15,43	Frame Lower Bracket
Pipe 2		6.2	1	15,43	Bracket Knockdown
Pipe 3		6.3	1	15,43	Bracket Knockdown
pipe 5		6.5	1	15,43	Bracket Knockdown

25 June 2026

DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Existing Design

Name	Notes	Part number	Total quantity	Process time per product, s	Parent assembly
Pipe 8		6.8	1	15,43	Bracket Knockdown
pipe 10		6.10	1	15,43	Bracket Knockdown
Handle knockdown		9	2	13,77	Handle Knockdown
Pipe 3		2.3	1	12,23	Frame Sespan
pipe 4		2.4	1	12,23	Frame Sespan
pipe 5		2.5	1	12,23	Frame Sespan
pipe 2		3.2	1	12,23	Frame Shockbreaker
Pipe 3		3.3	1	12,23	Frame Shockbreaker
Hollow 1		7.2	1	12,23	Dudukan Shockbreaker
Pipe 6		6.6	1	12,23	Bracket Knockdown
pipe 12		6.12	1	12,23	Bracket Knockdown

Eliminate or reduce the time for the listed separate operations which may add no value to the product and may contribute significantly to the overall assembly time. The design improvements which are realized by following Category 2 suggestions are somewhat smaller than those realized from the Category 1 suggestions. For that reason, these suggestions should only be considered after all practical Category 1 suggestions have been exhausted.

Name	Notes	Total quantity	Process time per product, s	Parent assembly
Manual arc butt weld steel (one side)		1	2052,90	Bracket Knockdown
Manual arc butt weld steel (one side)		1	1110,40	Frame Sespan
Manual arc fillet weld steel		1	166,10	Frame Upper Bracket
Manual arc fillet weld steel		1	117,30	Frame Sespan Motor Existing Design
Manual arc fillet weld steel		1	103,30	Dudukan Shockbreaker
Manual arc fillet weld steel		1	95,00	Frame Sespan Motor Existing Design
Manual arc fillet weld steel		1	92,40	Frame Sespan Motor Existing Design
Manual arc butt weld steel (one side)		1	86,70	Frame Shockbreaker
Manual arc fillet weld steel		1	79,50	Frame Lower Bracket
Manual arc fillet weld steel		1	70,40	Frame Sespan Motor Existing Design
Baut Bracket Handle	Baut ini untuk menyambungkan bracket handle ke frame upper dan lower bracket knockdown	2	20,24	Frame Upper Bracket

25 June 2026

DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Existing Design

Name	Notes	Total quantity	Process time per product, s	Parent assembly
Baut Bracket Handle	Baut ini untuk menyambungkan bracket handle ke frame upper dan lower bracket knockdown	2	20,24	Frame Lower Bracket
Mur Bracket Handle	Mur ini untuk menyambungkan bracket handle ke frame upper dan lower bracket knockdown	2	19,52	Frame Upper Bracket
Mur Bracket Handle	Mur ini untuk menyambungkan bracket handle ke frame upper dan lower bracket knockdown	2	19,52	Frame Lower Bracket
baut Handle	baut ini untuk penyambungan handle knockdown ke bracket handle	2	19,52	Handle Knockdown
mur handle	mur ini untuk penyambungan handle knockdown ke bracket handle	2	19,52	Handle Knockdown
Mur Dudukan Shockbreaker	Mur ini untuk penyambungan dudukan shockbreaker ke Frame Utama	1	15,48	Dudukan Shockbreaker
Mur Shockbreaker atas	Mur ini untuk menyambungkan shockbreaker ke frame shockbreaker	1	15,48	Shockbreaker
Mur Shockbreaker bawah	Mur ini untuk menyambungkan shockbreaker ke dudukan shockbreaker	1	15,48	Shockbreaker
Baut Dudukan Shockbreaker	Baut ini untuk penyambungan dudukan shockbreaker ke Frame Utama	1	15,12	Dudukan Shockbreaker
Baut Shockbreaker Atas	Baut ini untuk menyambungkan shockbreaker ke frame shockbreaker	1	15,12	Shockbreaker
Baut Shockbreaker Bawah	Baut ini untuk menyambungkan shockbreaker ke dudukan shockbreaker	1	15,12	Shockbreaker
baut wheel	baut ini untuk menyambungkan ban ke dudukan shockbreaker	1	15,12	Wheel
mur wheel	mur ini untuk menyambungkan ban ke dudukan shockbreaker	1	15,12	Wheel

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 6 Report DFMA Redesign 1

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc. Analysis Totals for Design for Manufacture and Assembly (DFMA)

26 June 2026

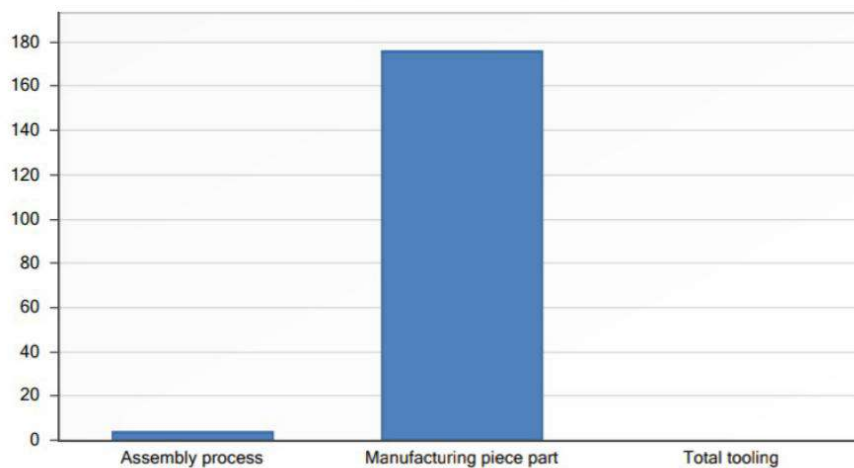
DFMA®
BOOTHROYD DEWHURST
DFA software.dfax

Per product costs, \$	Frame Sespan Motor Redesign 1
Assembly process	3,83
Manufacturing piece part	175,98
Total cost without tooling	179,80
Total tooling cost	0
Total cost	179,80

Total tooling investment, \$	
Assembly tools and fixtures	0
Manufacturing tooling	0
Total investment	0

Production life data and weight	
Life volume	10.000
Total production life cost, \$	1.798.025
Total weight, kg	24,72

Per product costs, \$



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 7 Analisis Total DFA *Redesign 1*

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Design for Assembly

Assembly Totals for Design for Assembly (DFA)

26 June 2026

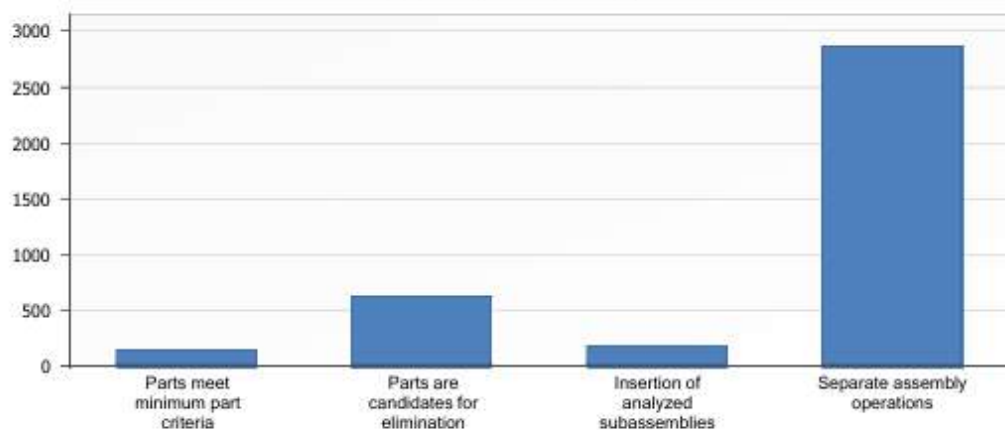
DFMA®
BOOTHROYD DEWHURST
DFA software.dfax

Entries including repeats	Frame Sespan Motor Redesign 1
Parts meet minimum part criteria	10
Parts are candidates for elimination	47
Analyzed subassemblies	10
Separate assembly operations	47
Total entries	114

Assembly labor time, s	
Parts meet minimum part criteria	143,30
Parts are candidates for elimination	620
Insertion of analyzed subassemblies	176,15
Separate assembly operations	2866,64
Total assembly labor time	3806

Design efficiency	
DFA Index	3,18

Assembly labor time, s



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 8 Structure Chart Redesign 1

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

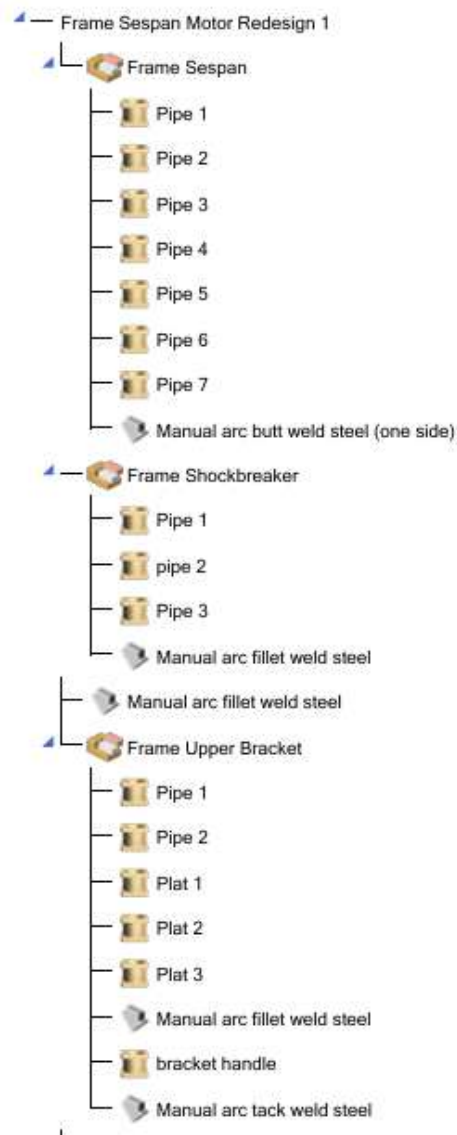
Design for Assembly
Product Structure Chart

26 June 2026



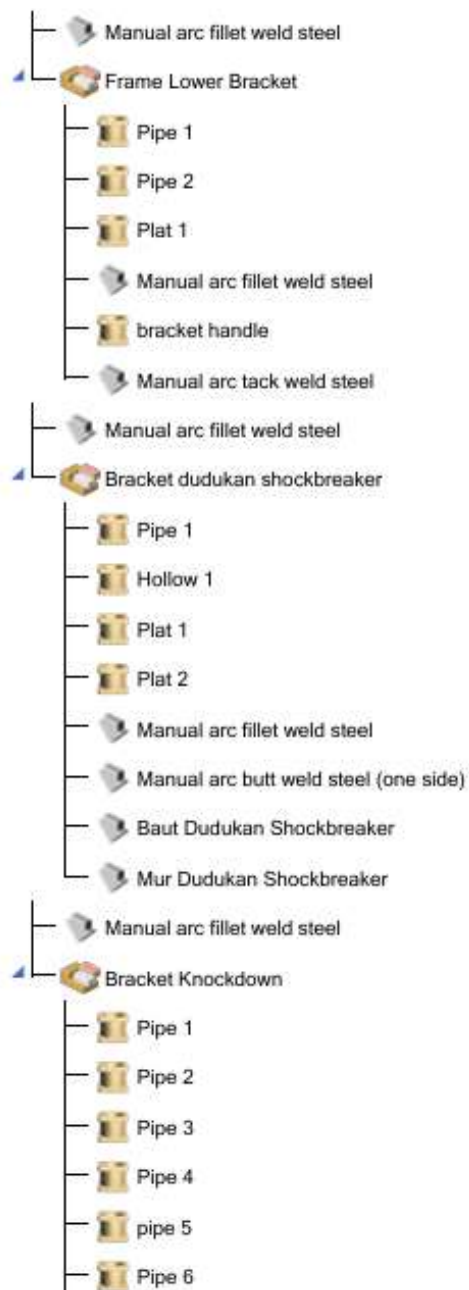
DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Redesign 1



www.dfma.com

Page 1 of 4



26 June 2026

DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Redesign 1



DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
Design for Assembly
Product Structure Chart

26 June 2026



DFA software.dfax
Frame Sespan Motor Redesign 1



Lampiran. 9 Report DFMA Redesign 2

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Analysis Totals for Design for Manufacture and Assembly (DFMA)

26 June 2026

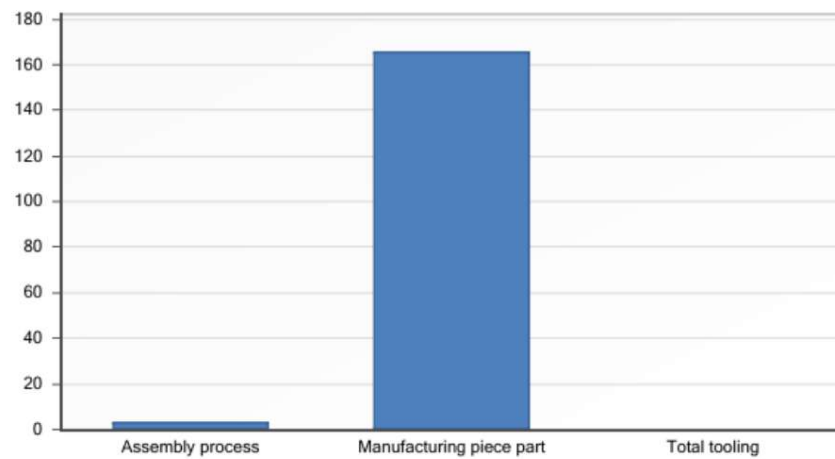


Per product costs, \$	Frame Sespan Motor Redesign 2
Assembly process	3,02
Manufacturing piece part	165,86
Total cost without tooling	168,88
Total tooling cost	0
Total cost	168,88

Total tooling investment, \$	
Assembly tools and fixtures	0
Manufacturing tooling	0
Total investment	0

Production life data and weight	
Life volume	10.000
Total production life cost, \$	1.688.821
Total weight, kg	24,36

Per product costs, \$



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 10 Analisis Total DFA *Redesign 2*

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

Design for Assembly

Assembly Totals for Design for Assembly (DFA)

26 June 2026



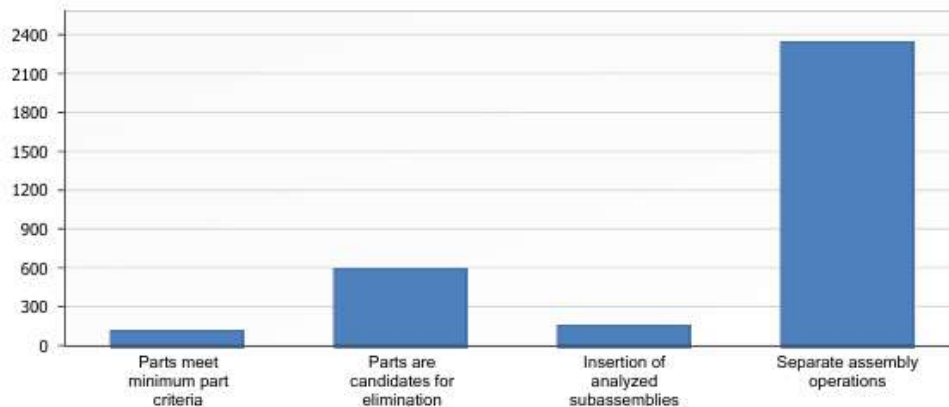
DFA software.dfax

Entries including repeats	Frame Sespan Motor Redesign 2
Parts meet minimum part criteria	8
Parts are candidates for elimination	43
Analyzed subassemblies	9
Separate assembly operations	43
Total entries	103

Assembly labor time, s	
Parts meet minimum part criteria	108,44
Parts are candidates for elimination	589
Insertion of analyzed subassemblies	148,19
Separate assembly operations	2344,54
Total assembly labor time	3190

Design efficiency	
DFA Index	3,03

Assembly labor time, s



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 11 Structure Chart Redesign 2

DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.

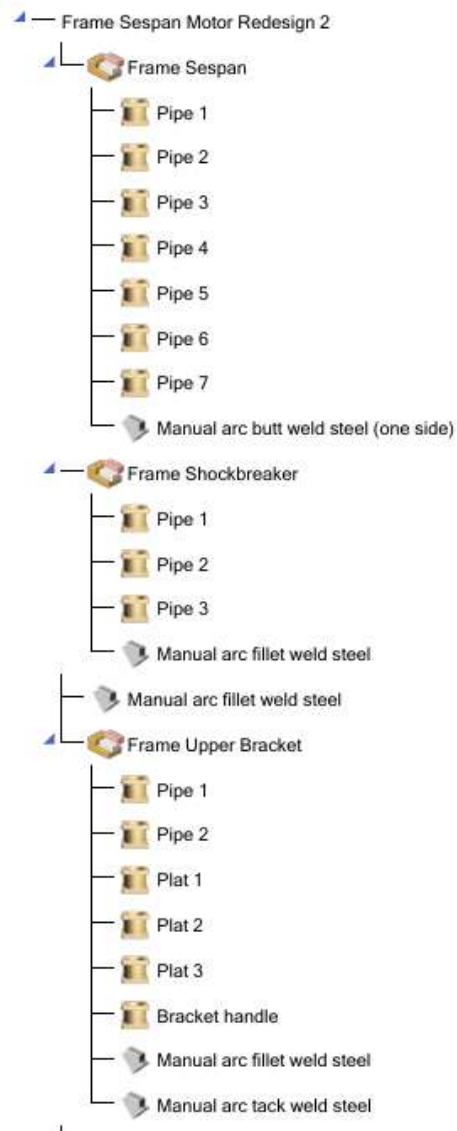
Design for Assembly
Product Structure Chart

26 June 2026



DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Redesign 2



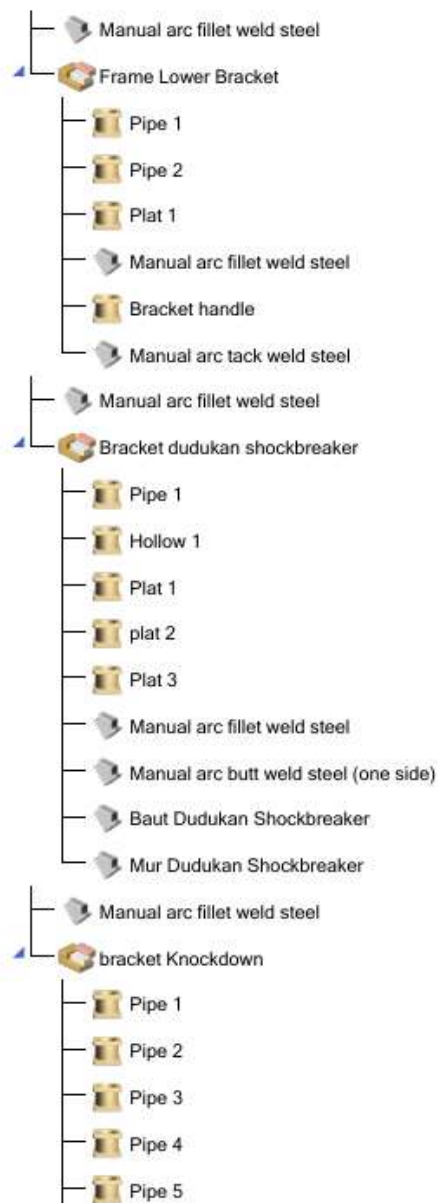
www.dfma.com

Page 1 of 4

26 June 2026

DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Redesign 2



DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
Design for Assembly
Product Structure Chart



26 June 2026

DFA software.dfax

Frame Sespan Motor Redesign 2



DFMA® - Boothroyd Dewhurst, Inc.
Design for Assembly
Product Structure Chart

26 June 2026

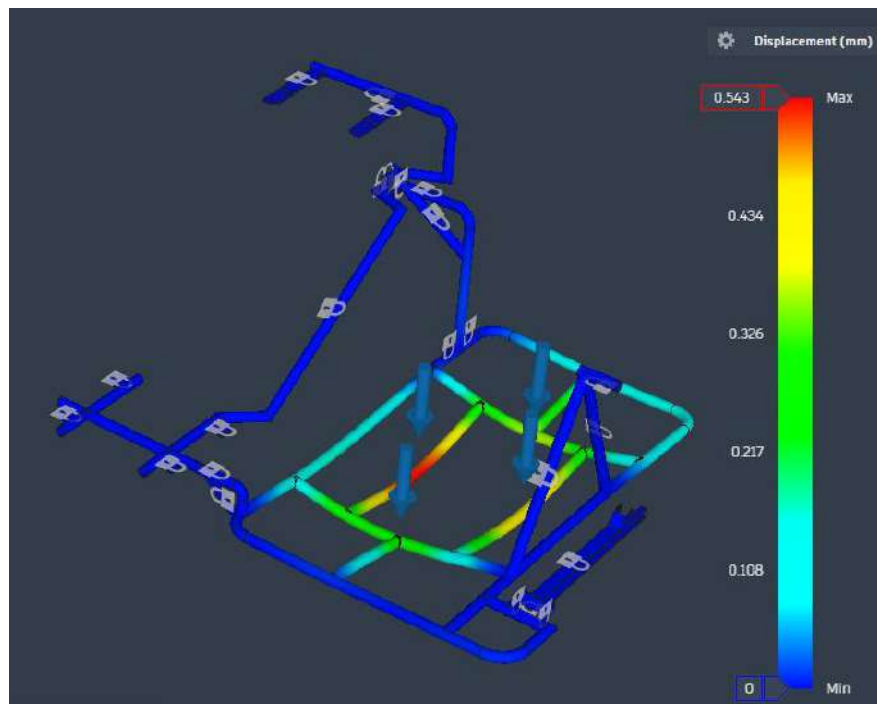


DFA software.dfax

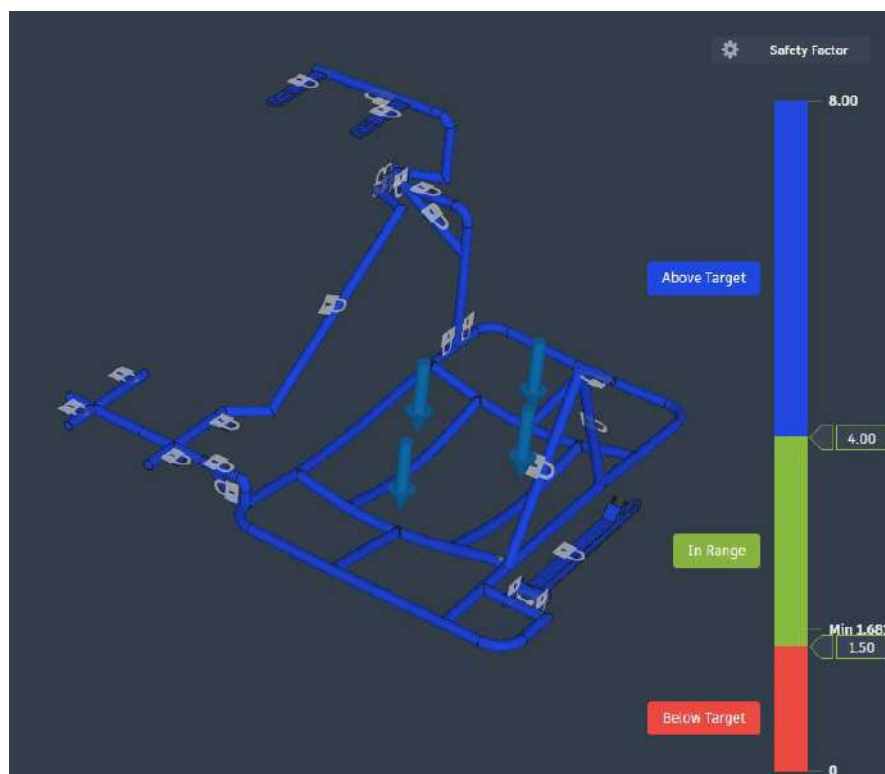
Frame Sespan Motor Redesign 2



Lampiran. 12 Hasil *Displacement Existing Design*



Lampiran. 13 Hasil *Safety Factor Existing Design*



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 14 Penilaian *Expert 1*

AHP Pairwise Comparison Questionnaire

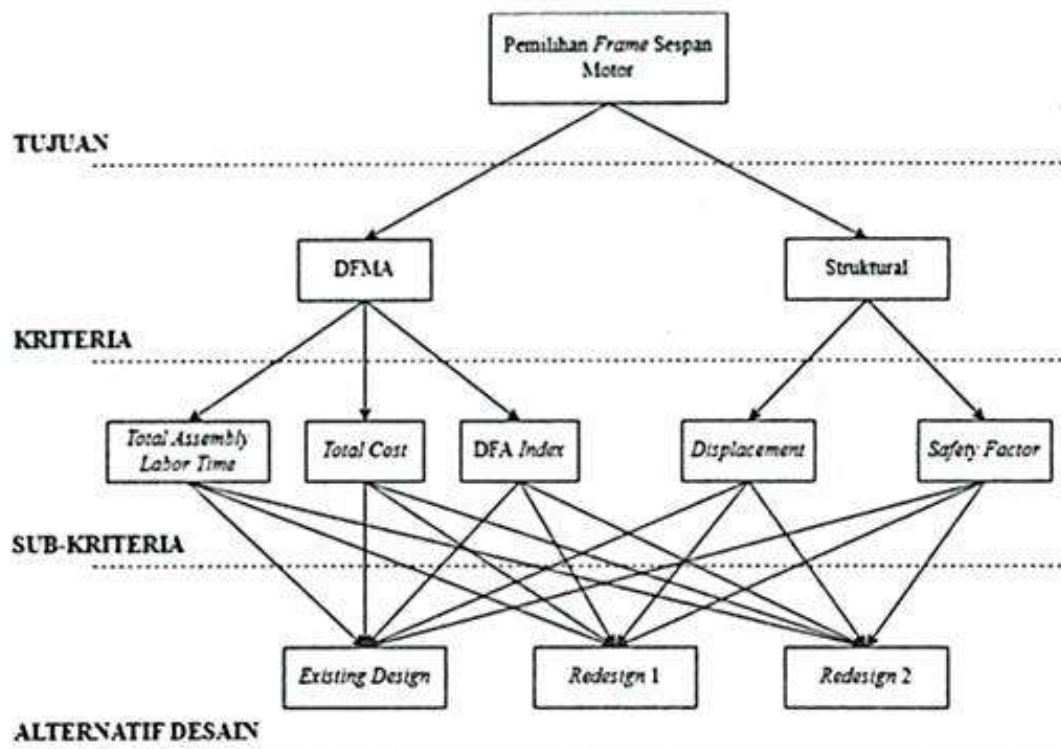
Kuesioner ini merupakan bagian dari proses pemilihan desain *frame* sesian motor dalam Tugas Akhir berjudul “Analisis dan Perbaikan *Frame* Sesian Motor Menggunakan Pendekatan (DFMA)”. Data dari kuesioner akan digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan setiap kriteria menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil kuesioner ini akan mempengaruhi pemilihan konsep desain terbaik dalam penelitian tersebut. Oleh karena itu, saya sangat menghargai kesediaan Anda untuk mengisi kuesioner ini. Terima kasih atas kerjasamanya.

A. Identitas Responden

- Nama : Dhika Aditya Purnomo
- Status : Dosen
- Institusi : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Tanda tangan responden : 

B. Daftar Kuesioner

Dalam memilih desain *frame* sesian motor, ada beberapa kriteria dan sub-kriteria yang dipertimbangkan. Struktur hierarki pemilihan konsep desain tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Struktur Hierarki Pemilihan *Frame* Sesian Motor

Dengan keterangan sebagai berikut:

1. **Design for Manufacture and Assembly (DFMA):** Pendekatan desain yang bertujuan untuk menyederhanakan proses produksi dan perakitan produk sehingga dapat dilakukan dengan lebih cepat, efisien, dan biaya yang lebih rendah.
 - 1.1 **Total Assembly Labor Time:** Jumlah total waktu merakit dalam satu produk.
 - 1.2 **Total Cost:** Estimasi keseluruhan biaya yang diperlukan untuk memproduksi dan merakit produk, meliputi biaya bahan baku, tenaga kerja, dan proses manufaktur
 - 1.3 **DFA Index:** Indeks yang mengukur tingkat kemudahan dalam proses perakitan produk.
2. **Struktural:** Kriteria ini menilai seberapa kuat struktur dari konsep desain, bukan hanya mengandalkan efisien tetapi menghitung kekuatannya. Penilaian mencakup berbagai aspek dari pembebanan dan keamanan.
 - 2.1 **Displacement:** Nilai deformasi struktur akibat pembebanan.
 - 2.2 **Safet Factor:** Nilai faktor keamanan untuk menunjukkan kemampuan struktur menahan beban sebelum mengalami kegagalan.

Instruksi Pengisian Kuesioner:

Mohon beri tanda (lingkari/*bold text*/ganti warna) pada kolom Tabel 2 hingga Tabel 4 dengan merujuk pada skala nilai intensitas kepentingan yang tercantum pada Tabel 1. Apabila Anda menilai bahwa kriteria sisi kiri memiliki tingkat kepentingan yang tinggi dibandingkan kriteria sisi kanan, maka harap beri salah satu nilai $2 > 9.5$ pada kolom sebelah kiri. Sebaliknya, jika kriteria sisi kanan dianggap lebih penting, beri tanda pada salah satu nilai antara $2 > 9.5$ pada kolom sebelah kanan. Jika kedua kriteria memiliki tingkat kepentingan yang sama, mohon beri tanda kolom tengah dengan nilai 1.

Tabel 1. Skala Nilai Intensitas Kepentingan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas mutlak lebih penting dari pada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

Tabel 2. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Kriteria

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
DFMA	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	(6)	7	8	9	>9.5	Struktural		

Tabel 3. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria pada Kriteria DFMA

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
<i>Total Assembly Labor Time</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>Total Cost</i>		
<i>Total Assembly Labor Time</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>DFA Index</i>		
<i>Total Cost</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>DFA Index</i>		

Tabel 4. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria pada Kriteria Struktural

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
<i>Displacement</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>Safety Factor</i>		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran. 15 Penilaian *Expert 2*

AHP Pairwise Comparison Questionnaire

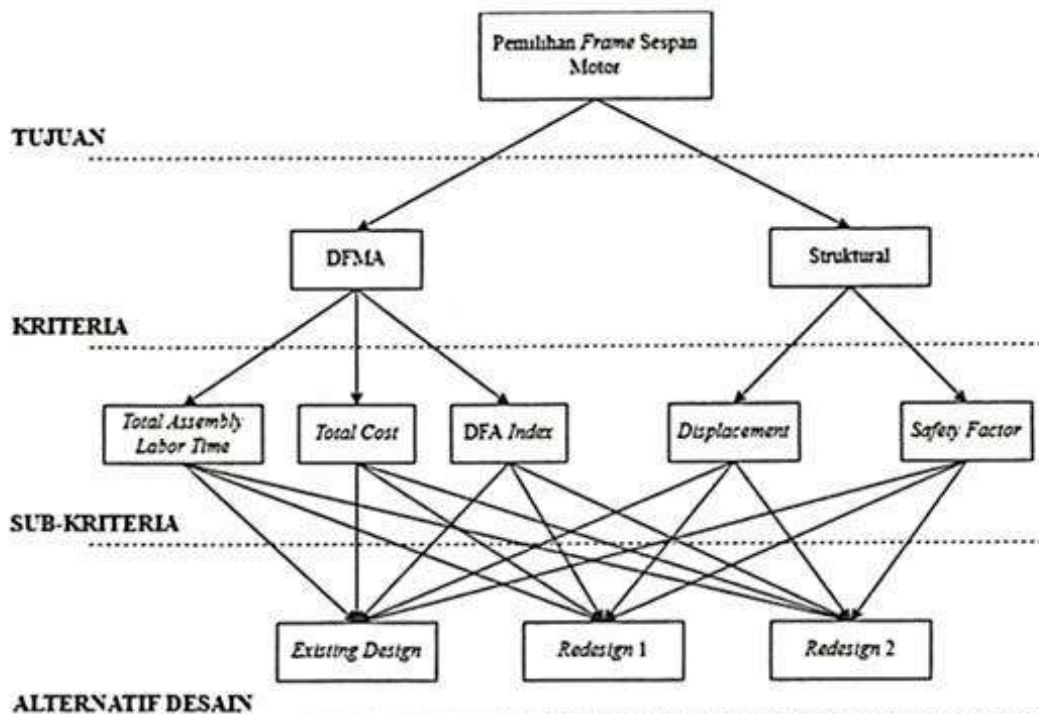
Kuesioner ini merupakan bagian dari proses pemilihan desain *frame* sespan motor dalam Tugas Akhir berjudul “Analisis dan Perbaikan *Frame* Sespan Motor Menggunakan Pendekatan (DFMA)”. Data dari kuesioner akan digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan setiap kriteria menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil kuesioner ini akan mempengaruhi pemilihan konsep desain terbaik dalam penelitian tersebut. Oleh karena itu, saya sangat menghargai kesediaan Anda untuk mengisi kuesioner ini. Terima kasih atas kerjasamanya.

A. Identitas Responden

- Nama : Ridhani Anita Fajardini
- Status : Dosen
- Institusi : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Tanda tangan responden : 

B. Daftar Kuesioner

Dalam memilih desain *frame* sespan motor, ada beberapa kriteria dan sub-kriteria yang dipertimbangkan. Struktur hierarki pemilihan konsep desain tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Struktur Hierarki Pemilihan *Frame* Sespan Motor

Tabel 2. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Kriteria

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
DFMA	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	Struktural		

Tabel 3. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria pada Kriteria DFMA

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
<i>Total Assembly Labor Time</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>Total Cost</i>		
<i>Total Assembly Labor Time</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>DFA Index</i>		
<i>Total Cost</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>DFA Index</i>		

Tabel 4. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria pada Kriteria Struktural

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
<i>Displacement</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>Safety Factor</i>		

Lampiran. 16 Penilaian *Expert 3*

AHP Pairwise Comparison Questionnaire

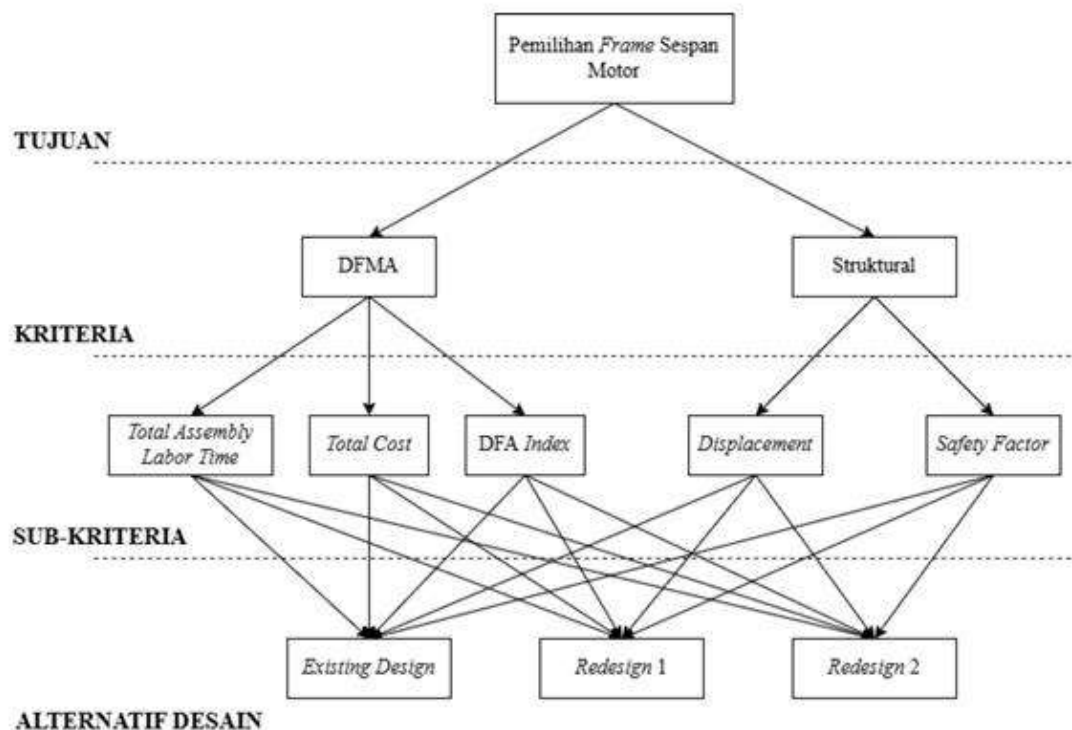
Kuesioner ini merupakan bagian dari proses pemilihan desain *frame* sespan motor dalam Tugas Akhir berjudul “Analisis dan Perbaikan *Frame* Sespan Motor Menggunakan Pendekatan *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA)”. Data dari kuesioner akan digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan setiap kriteria menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil kuesioner ini akan mempengaruhi pemilihan konsep desain terbaik dalam penelitian tersebut. Oleh karena itu, saya sangat mengharagai kesediaan Anda untuk mengisi kuesioner ini. Terima kasih atas kerjasamanya.

A. Identitas Responden

- Nama : Khoirul Amin
- Status : Alumni Desain dan Manufaktur Angkatan-21
- Institusi : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Tanda tangan responden : 

B. Daftar Kuesioner

Dalam memilih desain *frame* sespan motor, ada beberapa kriteria dan sub-kriteria yang dipertimbangkan. Struktur hierarki pemilihan konsep desain tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Struktur Hierarki Pemilihan *Frame* Sespan Motor

Tabel 2. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Kriteria

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
DFMA	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	Struktural		

Tabel 3. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria pada Kriteria DFMA

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
<i>Total Assembly Labor Time</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>Total Cost</i>		
<i>Total Assembly Labor Time</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>DFA Index</i>		
<i>Total Cost</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>DFA Index</i>		

Tabel 4. Perbandingan Intensitas Kepentingan antar Sub-Kriteria pada Kriteria Struktural

	Sisi kiri lebih penting											Sisi kanan lebih penting										
<i>Displacement</i>	>9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9.5	<i>Safety Factor</i>		

Lampiran. 17 *Detail Engineering Drawing Redesign Terpilih*

