



TESIS - TI185401

***REDESIGN TANGGA KERETA API DENGAN  
PENDEKATAN MULTI-LAYER QUALITY FUNCTION  
DEPLOYMENT DAN DESIGN FOR MANUFACTURING***

CITRA DWI KUSUMAWARDANI  
02411950015001

Dosen Pembimbing  
Putu Dana Karningsih ST, M.Eng.Sc, Ph.D

Departemen Teknik Dan Sistem Industri  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2022





TESIS - TI185401

***REDESIGN TANGGA KERETA API DENGAN  
PENDEKATAN MULTI-LAYER QUALITY FUNCTION  
DEPLOYMENT DAN DESIGN FOR MANUFACTURING***

CITRA DWI KUSUMAWARDANI  
02411950015001

Dosen Pembimbing  
Putu Dana Karningsih ST, M.Eng.Sc, Ph.D

Departemen Teknik Dan Sistem Industri  
Bidang Keahlian Manajemen Kualitas Manufaktur  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2022



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**CITRA DWI KUSUMAWARDANI**

**NRP: 02411950015001**

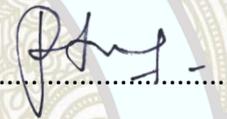
Tanggal Ujian: 21 Januari 2022

Periode Wisuda: Maret 2022

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. Putu Dana Karningsih, ST., M.Eng.Sc., Ph.D.  
NIP: 197405081999032001



**Penguji:**

1. Dr. Ir. Mokh. Suef, MSc(Eng)  
NIP: 1965063011990031002



2. Dyah Santhi Dewi, ST., M.Eng.Sc., Ph.D.  
NIP: 197208251998022001



Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

  
Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D

NIP: 197005231996011001



**REDESIGN TANGGA KERETA API DENGAN MENGGUNAKAN  
PENDEKATAN *MULTI-LAYER QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT*  
DAN *DESIGN FOR MANUFACTURING***

Mahasiswa Nama : Citra Dwi Kusumawardani  
Mahasiswa ID : 02411950015001  
Pembimbing : Putu Dana Karningsih ST, M.Eng.Sc, Ph.D

**ABSTRAK**

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi umum yang dipergunakan oleh banyak masyarakat Indonesia. Namun selama ini terdapat kondisi dimana panjang peron tidak mencakup seluruh panjang gerbong sehingga akses untuk naik dan turun gerbong harus ditambah dengan alat bantu berupa tangga atau bancik. Saat ini kondisi tangga/bancik yang tersedia berukuran besar dan berat, sehingga memerlukan waktu untuk mengatur agar posisi tangga tepat pada akses keluar masuk gerbong. Berdasarkan survei penumpang kereta diketahui 34% dari responden menyatakan bahwa tangga untuk akses naik dan turun gerbong kurang nyaman digunakan, selain itu terdapat 32,1% responden menyatakan bahwa tangga untuk akses naik dan turun gerbong belum memadai dari segi jumlah dan kondisi fisiknya. Integrasi proses *redesign* dengan pendekatan DFM dan aspek ergonomi, dapat menghasilkan desain tangga yang tidak hanya sesuai keinginan pengguna dan KAI namun juga mempertimbangkan kemudahan dan meminimalkan biaya manufaktur. Desain tangga baru mempertimbangkan kebutuhan kedua belah pihak dengan menggunakan analisa *multi-layer QFD*. Kedua belah pihak sepakat bahwa respon teknis terpenting adalah desain tangga baru disusul dengan kesesuaian dengan antropometri penumpang. Sehingga desain tangga baru memperhitungkan dimensi tubuh manusia dalam menentukan ukuran sebagian komponen. Selain itu, tangga baru dilengkapi dengan fitur *foldable*, *adjustable* dan ringan. Tangga baru mempunyai berat 19,848 Kg lebih ringan dari tangga saat ini. Sementara, dari segi biaya produksi, tangga baru membutuhkan biaya produksi lebih murah \$10,65 dibandingkan tangga saat ini. Dengan demikian tangga baru layak untuk diperhitungkan oleh pihak KAI.

Kata kunci: DFM, *Multi-layer QFD*, *Redesign*, Tangga Kereta Api.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

# **REDESIGN RAILWAY STAIRCASE WITH MULTI-LAYER QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT AND DESIGN FOR MANUFACTURING APPROACH**

By : Citra Dwi Kusumawardani  
Student Identity Number : 02411950015001  
Supervisor : Putu Dana Karningsih ST, M.Eng.Sc, Ph.D

## **ABSTRACT**

Railway is one of the popular modes of public transportation in Indonesia. However, there have been conditions where the length of the platform does not cover the entire length of the railway coach, so access to get in and out the railway coach must be added with tools such as staircase. Condition of the staircase that is currently available are large and heavy, so it takes time to adjust the position of the staircase right at the door of the railway coach. Based on the survey of train passengers, it is known that 34% of the respondents stated that the staircase for access to in and out the railway coach is not comfortable to use, besides that there are 32.1% of the respondents stated that the staircase for access to go in and out the carriage is not adequate in terms of number and physical condition. The integration of the redesign process with the DFM approach and ergonomics aspects, can produce a staircase design that is not only according to the needs of users and KAI but also considers convenience and minimizes manufacturing costs. The new staircase design considers the needs of both parties using multi-layer QFD analysis. Both parties agreed that the most important technical response was the new staircase design, followed by conformity with passenger anthropometry. So, the new staircase design considers the dimensions of the human body in determining the size of some components. In addition, the new ladder is equipped with foldable, adjustable, and lightweight features. The new ladder weighs 19,848 kg lighter than the current ladder. Meanwhile, in terms of production costs, the new ladder requires \$10.65 cheaper production cost than the current ladder. Thus, the new ladder deserves to be considered by KAI.

**Keywords:** DFM, Multi-layer QFD, Redesign, Staircase



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang mana atas rahmat dan karunia Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul *Redesign* Tangga Kereta Api dengan Pendekatan *Multi-layer Quality Function Deployment* dan *Design for Manufacturing*. Tesis ini dibuat untuk memenuhi syarat kelulusan bagi mahasiswa program Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, bidang keahlian Manajemen Kualitas dan Manufaktur

Penulis menyadari penyusunan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini
2. Ibu Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang sangat sabar membimbing, mengarahkan, mendoakan dan selalu memberikan masukan serta saran yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, MSc(Eng) dan Ibu Dyah Santhi Dewi, M.Eng.Sc., Ph.D., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran dan arahan sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik
4. Seluruh dosen DTSI-ITS yang telah memberikan ilmunya selama perkuliahan dan staff karyawan yang telah membantu penulis dalam kelancaran administrasi selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua (Bapak dan Ibuk tersayang) dan seluruh anggota keluarga (Mbak, Mas, Adek) yang tak pernah putus mendoakan, memberikan kasih sayang dan dukungan baik moral maupun materiil kepada penulis demi kesuksesan penulis.
6. Alna Keyzha Ayu M., keponakan, sekaligus sahabat yang selalu menemani penulis menyelesaikan penelitian ini. Terimakasih anak cantik sudah *support* Tante sepenuh hati.
7. Pak Supanca dan Pak Buyung selaku Kepala Stasiun Tulungagung dan Sumbergempol yang telah mengizinkan dan memfasilitasi penulis untuk mengambil data dan melakukan penelitian di stasiun.
8. Semua Petuga KAI yang ada di Stasiun Tulungagung dan Sumbergempol serta semua penumpang kereta api yang telah bersedia menjadi responden dalam penelitian ini.
9. Teman-teman Magister TI Angkatan 2019 Ganjil yang selalu saling mendukung dan mendo'akan untuk kesuksesan bersama meskipun hanya dipertemukan dalam 2 semester karena pandemi datang.

10. Desi Ayu dan Enggarsari yang selalu meyakinkan, memberikan semangat ketika penulis mulai goyah.
11. Mbak Dewi, Mbak Nafi, Winda, Afrigh, Andik yang selalu menjadi tempat penulis berkeluh kesah selama penelitian ini.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Semoga Allah membalas kebaikan kalian semua.
13. *Last but not least*, terimakasih kepada seseorang yang selalu memberikan *support* penuh selama penulis memutuskan untuk melanjutkan sekolah lagi.

Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak. Bila terdapat kesalahan dalam penulisan ini, penulis mohon maaf dan mengharapkan pendapat, saran dan kritik yang membangun dari pembaca sekalian.

Surabaya, Februari 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4. Manfaat Penelitian.....	8
1.5. Ruang Lingkup Penelitian .....	8
1.6. Sistematika Penulisan.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	11
2.1 Kereta Api Indonesia.....	11
2.2 Fasilitas Tangga Kereta Api .....	12
2.3 Peron Stasiun.....	13
2.4 <i>Design for Manufacturing</i> (DFM).....	17
2.5 <i>Quality Function Deployment</i> (QFD).....	19
2.6 <i>Multi-layer Quality Function Deployment</i> .....	24
2.7 <i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i> (FAHP) .....	26
2.8 Ergonomi dan Antropometri.....	31
2.8.1 Ergonomi.....	31
2.8.2 Antropometri .....	33
2.9 Penelitian Terdahulu.....	40
2.9.1 Penelitian terdahulu tentang <i>Multi-Layer QFD</i> .....	40
2.9.2 Penelitian terdahulu tentang DFM .....	41
2.9.3 Penelitian terdahulu tentang QFD dan DFM .....	42
2.10 Posisi Penelitian ( <i>Research Gap</i> ) .....	46

BAB 3 METODE PENELITIAN .....	52
3.1 Perencanaan Produk ( <i>Product Planning</i> ) dengan <i>Multi-layer</i> QFD fase 1 52	
3.1.1 Identifikasi Kebutuhan Penumpang dan Pihak KAI.....	52
3.1.2 Penentuan bobot tingkat prioritas dengan Fuzzy AHP.....	53
3.1.3 Formulasi respon teknis pada QFD fase 1 .....	53
3.2 Perencanaan Komponen ( <i>Part Planning</i> ) dengan QFD fase 2 .....	55
3.3 Perencanaan Proses ( <i>Process Planning</i> ) dengan DFM.....	56
3.4 Kesimpulan dan Saran .....	57
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	58
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	60
4.1 Pengumpulan Data Perencanaan Produk ( <i>Product Planning</i> ).....	60
4.1.1 Identifikasi Kebutuhan Penumpang dan Pihak KAI.....	60
4.1.2 Identifikasi <i>Customer Need</i> (WHATs) .....	72
4.1.3 Penentuan HOWs .....	73
4.1.4 <i>Relationship matrix</i> antara Kriteria WHATs dengan HOWs.....	74
4.1.5 <i>Correlation Matrix</i> antar Sub-Kriteria HOWs .....	77
4.1.3 Penentuan Bobot Tingkat Prioritas <i>Fuzzy Analysis Hierarchy</i> <i>Process</i> (FAHP).....	77
4.2 Perencanaan Komponen (Proses <i>Multi-layer</i> QFD) .....	85
4.3 Perencanaan Proses ( <i>Process Planning</i> ) dengan <i>Design for</i> <i>Manufacturing</i> (DFM).....	95
4.3.1 Analisa pada Tangga Saat Ini .....	95
4.3.2 Analisa pada Tangga Baru.....	101
BAB V ANALISA DAN PEMILIHAN DESAIN .....	113
5.1 Analisa.....	113
5.1.1 Analisa Desain Tangga Saat Ini .....	113
5.1.2 Analisa Desain Tangga Baru .....	113
5.2 Pebandingan Desain Tangga Saat Ini dengan Tangga Baru .....	114
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	115
6.1 Kesimpulan .....	115
6.2 Saran .....	115
DAFTAR PUSTAKA.....	117

Lampiran 1. HASIL KUESIONER PELANGGAN KERETA API.....	127
Lampiran 2. KUESIONER UNTUK PIHAK KAI .....	134
Lampiran 3. KUESIONER UNTUK PIHAK PENUMPANG .....	137
Lampiran 4. HASIL KUESIONER KEDUA BELAH PIHAK .....	139
Lampiran 5. HASIL PENILAIAN MATRIKS <i>PAIRWISE COMPARISON</i> .....	151
Lampiran 6. HASIL ANALISA <i>SOFTWARE DFM</i> .....	152
Lampiran 6. DOKUMENTASI.....	170



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Beberapa contoh kondisi tangga akses naik dan turun kereta yang ada di Stasiun Sumbergempol dan Tulungagung .....	2
Gambar 1.2 Petugas sedang memindah tangga kereta api .....	3
Gambar 1.3 Kondisi Penumpang Menuruni Gerbong Kereta Tanpa Bantuan Tangga Atau Bancik ( (a) Tempo.co, 2017) .....	4
Gambar 1.4 Kondisi Peron Rendah Dan Tangga yang Terpasang.....	4
Gambar 2.1 (a) Garis batas aman peron (b) Mengukur jarak tepi peron ke as rel (keretapedia.com, 2021).....	16
Gambar 2.2 <i>Flowchart</i> Metode DFM (Pei, 2012) .....	18
Gambar 2.3 Urutan Proses QFD (QFD Handbook, 2013).....	20
Gambar 2.4 Format Tradisional House of Quality (HOQ) (Duru et al., 2020)) ...	21
Gambar 2.5 Part Deployment (Henuk et al., 2012).....	23
Gambar 2.6 Model Empat Fase QFD (Chan & Wu, 2020).....	24
Gambar 2.7 Desain 3D Metode <i>Multi-layer</i> QFD ((Duru et al., 2013) .....	25
Gambar 2.8 <i>Layer</i> Pemecahan Konflik untuk <i>Cross-Synthesis Analysis</i> (Duru et al., 2013).....	26
Gambar 2.9 Skema <i>Analytic Hierarchy Process</i> (Saaty, 2008).....	27
Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan Triangular (Zaman,2016) .....	29
Gambar 2.11 Konsep Dasar Dalam Ergonomi (Manuaba, 2000 dalam (Tarwaka & Bakri, 2016)) .....	33
Gambar 2.12 Variabilitas Manusia Berdasarkan Bangsa (Purnomo,2013) .....	35
Gambar 2.13 Kursi Antropometri (Purnomo,2013).....	36
Gambar 2.14 Peralatan Pengukur Dimensi Tubuh (Purnomo,2013) .....	37
Gambar 2.15 Pengukuran Antropometri Posisi Berdiri (Tarwaka,2016) .....	38
Gambar 2.16 Pengukuran Antropometri Posisi Duduk (Tarwaka,2016).....	39
Gambar 3.1 Contoh QFD Fase I .....	54
Gambar 3.2 Contoh QFD Fase II .....	56
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian .....	58
Gambar 4.1 <i>Correlation matrix</i> antar sub-kriteria .....	77
Gambar 4.2 <i>House of Quality</i> Kebutuhan Pihak KAI.....	89
Gambar 4.3 <i>House of Quality</i> Kebutuhan Pihak Penumpang .....	90
Gambar 4.4 Tampilan Halaman Awal <i>Software</i> DFM.....	98
Gambar 4.5 Tampilan Halaman <i>Software</i> DFM Setelah Dilakukan <i>Input Data</i> ... ..	99
Gambar 4.6 Harga Komponen dengan Material Aluminium.....	103
Gambar 4.7 Harga Komponen dengan Material Galvanis .....	103
Gambar 4.8 Desain Tangga Baru dan Nama Komponen .....	104
Gambar 4.9 Ukuran Tangga Baru .....	105
Gambar 4.10 Tangga Terlipat Penuh Tampak Depan.....	105
Gambar 4.11 Tangga Posisi Terlipat Penuh Tampak Atas dan Samping .....	105
Gambar 4.12 Tangga Posisi Dua Anak Tangga Terlipat ( <i>Fitur Adjustable</i> ) .....	106
Gambar 4.13 Tampilan <i>software</i> DFMA untuk pijakan tangga baru.....	109

Gambar 4.14 Total Biaya untuk pembuatan pijakan tangga baru .....	110
Gambar 4.15 Roda Bantuan Tipe <i>Vulcanized Rubber</i> (Katalog <i>Brand Elsa</i> ) .....	110

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tolak ukur jenis peron berdasarkan jenis stasiun .....	13
Tabel 2. 2 Ketentuan lebar peron minimal.....	16
Tabel 2. 3 Perbedaan dua skala antara 1-9 dan 1-5.....	28
Tabel 2. 4 Triangular Fuzzy Number (TFN).....	29
Tabel 2. 5 Hubungan antar kriteria FAHP .....	30
Tabel 2. 6 Data antropometri masyarakat Indonesia.....	39
Tabel 2. 7 Ringkasan penelitian terdahulu .....	42
Tabel 2. 8 Ringkasan penelitian terdahulu terkait tangga dan fasilitas penumpang Kereta Api .....	44
Tabel 2. 9 Research Gap .....	47
Tabel 3. 1 Dimensi tubuh yang digunakan sesuai data antropometri .....	55
Tabel 4.1 Daftar pertanyaan wawancara.....	60
Tabel 4.2 Daftar pertanyaan wawancara pihak penumpang .....	61
Tabel 4.3 Pertanyaan Kuesioner pihak KAI .....	62
Tabel 4.4 Daftar pertanyaan kuesioner untuk pihak Penumpang .....	64
Tabel 4.5 Persebaran responden pihak KAI.....	65
Tabel 4.6 Pendapat pihak KAI terhadap Tangga Saat ini Tersedia di stasiun .....	66
Tabel 4.7 Usulan Perbaikan dari Pihak KAI.....	67
Tabel 4.8 Persebaran Umur Responden Pihak Penumpang .....	70
Tabel 4.9 Frekuensi Penggunaan Alat Transportasi Kereta Api.....	70
Tabel 4.10 Pendapat Penumpang terhadap Tangga saat ini.....	71
Tabel 4.11 Kriteria Kebutuhan Pihak KAI dan Pihak Penumpang.....	72
Tabel 4.12 Respon Teknis Kebutuhan KAI dan Penumpang .....	73
Tabel 4.13 <i>Relationship Matrix</i> Pihak KAI .....	75
Tabel 4.14 <i>Relationship Matrix</i> Pihak Penumpang.....	76
Tabel 4.15 Perbandingan berpasangan kriteria pihak KAI .....	78
Tabel 4.16 Perbandingan berpasangan kriteria pihak penumpang.....	79
Tabel 4.17 Nilai Rata-Rata <i>Geometris Fuzzy</i> pihak KAI.....	80
Tabel 4.18 Bobot kriteria <i>fuzzy</i> pihak KAI .....	81

Tabel 4.19 Tabel <i>defuzzifikasi</i> (Mi) dan Bobot akhir (Ni) pihak KAI .....	82
Tabel 4.20 Nilai Rata-Rata <i>Geometris Fuzzy</i> pihak penumpang.....	82
Tabel 4.21 Bobot kriteria fuzzy pihak penumpang .....	83
Tabel 4.22 Tabel <i>defuzzifikasi</i> (Mi) dan Bobot akhir (Ni) pihak penumpang .....	84
Tabel 4.23 Matriks Resolusi Konflik .....	86
Tabel 4.24 Bobot kebutuhan pihak KAI dan penumpang sebelum dan setelah <i>cross synthesis analysis</i> .....	87
Tabel 4.25 Tabel Hasil Sintesa.....	91
Tabel 4.26 Dimensi Tubuh yang digunakan dalam penentuan ukuran .....	92
Tabel 4.27 Daftar komponen tangga saat ini.....	95
Tabel 4.28 Daftar material komponen tangga saat ini.....	96
Tabel 4.29 <i>Report Analysis Totals Costing</i> komponen pijakan tangga.....	99
Tabel 4.30 Total biaya produksi untuk tangga saat ini.....	100
Tabel 4.31 Komponen-komponen penyusun tangga baru .....	106
Tabel 4.32 Daftar Material Tangga Baru.....	107
Tabel 4.33 Total Biaya Produksi Tangga Baru .....	111
Tabel 5.2 Perbandingan Hasil <i>Software DFM</i> Desain Tangga Saat Ini dengan Desain Tangga Baru .....	114

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Bab pendahuluan ini berisi tentang latar belakang masalah yang menjadi dasar penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat yang akan dicapai dalam penelitian, serta ruang lingkup yang berisi batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini.

### **1.1 Latar Belakang**

Transportasi umum merupakan sarana yang diperlukan masyarakat dalam kegiatan mobilitas sehari-hari. Masyarakat memanfaatkan transportasi umum untuk pergi ke tempat kerja maupun untuk liburan. Transportasi umum sangat penting bagi perkembangan sebuah kota besar, terutama dalam hal upaya pengurangan kemacetan lalu lintas. Salah satu transportasi umum yang tidak lepas dari kehidupan masyarakat Indonesia yaitu kereta api.

Kereta Api sudah mengalami kemajuan yang sangat pesat, baik dari segi fasilitas maupun layanan. Meskipun kemajuannya sangat cepat, pemerintah melalui BUMN pengelola transportasi kereta, terus melakukan pembenahan baik dari segi infrastruktur maupun layanan. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), peron adalah pelataran (halaman) pada stasiun kereta api, tempat penumpang menunggu atau tempat turun dan naik kereta. Berdasarkan data hasil perjalanan menggunakan Kereta Api Rapih Dhoho rute Surabaya-Tulunggaung melewati sebanyak 19 stasiun, yang mana 13 stasiun mempunyai peron pendek atau tidak dapat mencakup seluruh gerbong kereta. Sementara untuk 6 stasiun yang lain peron yang tersedia adalah peron yang panjangnya dapat mencakup seluruh gerbong.

Peron yang tidak mencakup seluruh gerbong menyebabkan akses naik dan turun penumpang kereta tidak aman karena jarak antara gerbong dan tanah cukup tinggi. Maka dari itu, dibutuhkan alat bantu berupa tangga. Saat ini, tangga yang tersedia di tiap stasiun berukuran besar dan berat, sehingga membutuhkan waktu untuk memposisikan tangga tepat pada akses pintu keluar dan masuk kereta. Selain itu, jumlah tangga yang tersedia dalam satu stasiun adalah terbatas, sehingga tidak

semua pintu atau akses naik dan turun gerbong terdapat tangga. Tidak hanya itu, kondisi tangga yang saat ini tersedia juga tidak seimbang, sehingga saat penumpang melewati tangga tersebut akan goyang yang mana hal ini dapat menyebabkan penumpang terjatuh dari tangga.

Berdasarkan survei yang dilakukan kepada 106 responden yang merupakan penumpang kereta api, diperoleh hasil bahwa mayoritas responden yaitu sebesar 52% merupakan pengguna kereta lokal dan diantaranya sebanyak 54 responden adalah penumpang yang sering memanfaatkan transportasi umum kereta api. Dari 106 responden, sebanyak 34 orang atau 34 % menyatakan bahwa tangga untuk akses naik dan turun gerbong kurang nyaman digunakan, selain itu terdapat 32,1 % responden menyatakan bahwa tangga untuk akses naik dan turun gerbong belum memadai dari segi jumlah dan kondisi fisiknya.



Gambar 1.1 Beberapa contoh kondisi tangga akses naik dan turun kereta yang ada di Stasiun Sumbergempol dan Tulungagung

Bentuk dan ukuran tangga kereta api atau bancik yang saat ini ada di tiap stasiun adalah berukuran besar dan berat. Pada Gambar 1.2 dapat dilihat proses pemindahan tangga tersebut oleh petugas kebersihan yang cukup sulit jika dilakukan oleh satu orang, meskipun pada tangga yang berukuran besar sudah dilengkapi dengan roda yang bertujuan memudahkan proses pemindahan dan penempatannya.



Gambar 1.2 Petugas sedang memindah tangga kereta api

Gambar 1.3 menunjukkan kondisi ketika penumpang hendak menuruni gerbong tanpa bantuan tangga/bancik. Meskipun pada Gambar 1.3 bagian b terlihat peron yang tersedia adalah peron berukuran sedang, akan tetapi tangga/bancik tidak tersedia sehingga hal ini menyulitkan penumpang untuk turun dari gerbong, Penumpang harus jongkok terlebih dahulu agar ketika pendaratan di peron kaki penumpang tidak mengalami dislokasi. Sedikit lompatan yang dilakukan ketika menuruni gerbong dapat memicu dislokasi pada kaki penumpang, hal ini karena jarak lantai kereta ke peron sedang adalah 570 mm.



(a)



(b)

Gambar 1.3 Kondisi Penumpang Menuruni Gerbong Kereta Tanpa Bantuan Tangga Atau Bancik ( (a) Tempo.co, 2017)

Kondisi tangga/bancik yang terpasang pada pintu gerbong dan siap untuk membantu penumpang menaiki dan menuruni gerbong dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Kondisi Peron Rendah Dan Tangga yang Terpasang

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Prastawa et al., (2018) dijelaskan bahwa tangga merupakan bagian bangunan yang menghubungkan antar ruangan yang sudah dilengkapi dengan standar SNI dalam panduan perancangannya. Namun sering pada aplikasinya masih ada rancangan tangga yang belum ergonomis dan menimbulkan potensi bahaya bagi penggunanya.

Berdasarkan, observasi awal dan hasil survei, dibutuhkan perbaikan desain untuk tangga turun/naik kereta (bancik) dengan mempertimbangkan kebutuhan dua pihak yaitu pengguna kereta api dan juga petugas KAI. Desain tangga /bancik yang baru harus nyaman dan aman bagi penumpang pada saat akan naik maupun turun dari kereta, tetapi juga memudahkan petugas kereta dalam memasang atau memposisikan tangga tersebut.

Dalam upaya mewujudkan tangga dengan desain yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan, maka dari itu diperlukan adanya penggalan keinginan pelanggan. Salah satu *tools* yang dapat digunakan untuk menangkap keinginan pelanggan adalah metode *Quality Function Deployment*. Metode QFD dapat merubah suara (keinginan) konsumen menjadi respon teknis, spesifikasi produk, parameter proses dan pengendalian prosesnya.

Konsep *Quality Function Deployment* (QFD) merupakan suatu alat perencanaan yang digunakan oleh perusahaan untuk mengetahui kebutuhan dan keinginan konsumen serta menggabungkan kebutuhan dan keinginan tersebut dalam bentuk produk atau jasa yang disediakan bagi konsumen. Tujuannya agar produk yang dihasilkan bisa memenuhi tingkat kualitas yang diinginkan oleh konsumen dalam hal ini adalah penumpang kereta api. Pada proses redesign tangga kereta api juga dilakukan pertimbangan dari aspek ergonomis, yaitu menggunakan data antropometri masyarakat Indonesia dalam penentuan dimensi pada tangga tersebut. Namun, disisi lain juga mempertimbangkan petugas KAI yang akan memindahkan dan menempatkan tangga/bancik sesuai posisi. Dengan demikian, dalam konteks pengembang desain tangga/bancik yang penggunanya terdiri dari dua pihak yaitu pengguna kereta dan PT. KAI sebagai penyedia jasa, maka diperlukan *Multi-layer* QFD.

*Multi-layer* QFD berpandangan dua arah dan berorientasi tidak hanya pada kepuasan pelanggan tapi juga mempertimbangkan kepuasan produsen atau

penyedia jasa serta mencari penyebab *gap* antara pelanggan dan produsen (Duru et al., 2013). Dengan melakukan pendekatan menggunakan metode *Multi-layer QFD* maka diharapkan hasil produk *redesign* tangga kereta api akan sesuai dengan ekspektasi dan kebutuhan penumpang yang mana hal tersebut adalah tujuan utama dari PT. KAI sebagai penyedia jasa transportasi umum serta sesuai dengan keinginan PT. KAI sebagai produsen atau penyedia jasa.

Penelitian terdahulu yang memanfaatkan metode *Multi-layer QFD* adalah penelitian yang dilakukan oleh Huang et al., (2020) tentang *Free Trade Port Zone* (FTPZ) di Taiwan yang menghadapi persaingan dengan FTPZ Asia Timur. FTPZ adalah area khusus yang memberikan nilai tambah layanan untuk pemilik kargo dan perusahaan Persaingan antara FTPZ Asia Timur dengan FTPZ Taiwan secara langsung mempengaruhi kegiatan ekonomi dan investasi asing karena pada dasarnya peran utama FTPZ adalah untuk mendukung ekonomi suatu negara. Teknik *Multi-layer QFD* digunakan pada penelitian ini untuk mengevaluasi kualitas layanan FTPZ dengan menggabungkan suara dua pemangku kepentingan utama untuk mengeksplorasi solusi teknis.

Pada penelitian kali ini, tidak hanya memanfaatkan metode *Multi-layer QFD* akan tetapi juga diperlukan adanya pemanfaatan metode lain sebagai pelengkap tercapainya tujuan dari penelitian. Metode *Design for Manufacturing* merupakan metode yang dapat diintegrasikan dengan metode *Multi-layer QFD*. Salah satu penelitian terdahulu yang mengintegrasikan kedua metode tersebut adalah penelitian yang dilakukan oleh Ginting et al., (2020) dengan judul *product development and design with a combination of DFMA and QFD*. Peneliti mencoba melihat sejauh mana penerapan kedua metode tersebut dengan menganalisis beberapa jurnal yang relevan. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk membantu para akademisi dan praktisi melihat manfaat dan kendala dalam penerapan kombinasi kedua metode tersebut. Sehingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut, QFD dan DFM merupakan kombinasi yang efektif pada pengembangan produk atau jasa pada industri manufaktur, *software* dan industri lainnya.

Sementara itu, *Design for Manufacturing* (DFM) merupakan pendekatan sistematis yang memungkinkan para *engineer* untuk mengantisipasi biaya manufaktur pada tahap awal proses desain, bahkan ketika hanya gambaran kasar

yang tersedia pada rencana produk yang dikembangkan. Metode DFM membuat para perancang individual maupun tim desain menyelidiki proses serta bahan tambahan yang lebih memungkinkan untuk memproduksi sebuah produk atau komponen. Dengan informasi yang lebih lanjut, mengenai proses serta bahan yang layak, *engineer* mampu menghitung biaya produksi untuk membuat alternatif desain perbaikan dengan biaya minimal.

Penelitian ini, memanfaatkan metode DFM agar didapatkan desain tangga/bancik dengan biaya yang minimal karena saat melakukan *redesign* akan mempertimbangkan kemudahan proses produksi serta pilihan bahan baku yang sesuai dengan mempertimbangkan biaya dari bahan baku tersebut.

Selain menggunakan pendekatan dua metode tersebut, penelitian ini juga memanfaatkan metode ergonomi dalam hal ini memanfaatkan antropometri masyarakat Indonesia dalam menentukan dimensi tangga, sehingga tangga yang dihasilkan akan ergonomis dan nyaman digunakan penumpang. Hal ini juga mendukung terwujudnya tujuan dari penelitian ini.

Dengan demikian, proses *redesign* pada penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal secara konkuren yaitu: (1) kebutuhan konsumen kereta api, (2) kebutuhan penyedia layanan kereta api (KAI) dan (3) kemudahan untuk diproduksi dengan biaya minimal (4) antropometri masyarakat Indonesia dalam penentuan ukuran tangga baru yang lebih ergonomis. Untuk itu, penelitian ini akan mengintegrasikan antara pendekatan metode *Multi-layer Quality Function Deployment* dan *Design for Manufacturing*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan permasalahan yang ingin diselesaikan yaitu bagaimana mendesain ulang tangga naik dan turun kereta api (bancik) dengan mengakomodasikan kebutuhan dua pihak pengguna yaitu pelanggan kereta api, dan penyedia jasa (KAI), dan dengan mempertimbangkan kemudahan proses manufaktur sehingga biaya produksi menjadi minimal.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Pada penelitian ini memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai, antara lain:

1. Mengembangkan *redesign* tangga yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan dan produsen atau penyedia jasa dengan menggunakan pendekatan metode *Multi-layer Quality Function Deployment* (QFD).
2. Menganalisa dan menentukan pilihan *redesign* tangga dengan menggunakan pendekatan *Design for Manufacturing* (DFM).

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Menyediakan desain tangga baru yang memberikan kenyamanan dan keamanan baik bagi penumpang kereta api dan juga petugas KAI (penyedia layanan)

### **1.5. Ruang Lingkup Penelitian**

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian ini memberikan usulan untuk *redesign* tangga (bancik) dan tidak melakukan perubahan pada bagian stasiun atau fasilitas layanan PT KAI lainnya.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Dalam sub bab sistematika penulisan berisi gambaran singkat mengenai penjelasan masing-masing pokok pembahasan secara sistematis pada penelitian yang dilakukan. Adapun pembahasan yang dicantumkan dalam tugas akhir ini meliputi:

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi detail latar belakang dilakukannya penelitian ini, rumusan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian, tujuan dilakukannya penelitian, ruang lingkup dari penelitian yang mencakup batasan serta asumsi yang diberikan, manfaat penelitian baik bagi pihak perusahaan maupun bagi peneliti, serta sistematika penulisan laporan

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori yang akan digunakan dalam melakukan analisa dan interpretasi data pada perusahaan yang dijadikan objek penelitian tesis. Landasan teori yang digunakan untuk membantu pemahaman dalam pengolahan dan analisa data diperoleh dari berbagai literatur, yang berkaitan dengan perusahaan

## BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai tahap-tahap yang dilakukan oleh peneliti dalam proses penelitian dimana tahap penelitian ditampilkan dalam bentuk skema atau kerangka berupa flowchart penelitian. Melalui *flowchart*, akan dijelaskan tahapan mulai proses pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan interpretasi serta penarikan kesimpulan yang digunakan untuk menjawab tujuan dari penelitian yang dilakukan.

## BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab Pengumpulan dan Pengolahan Data ini akan dijelaskan secara sistematis terkait dengan metode pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan di awal.

## BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada bab Analisis dan Interpretasi Data ini akan dilakukan analisis dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Analisis dan interpretasi data akan dilakukan sesuai dengan kondisi di lapangan dengan kondisi sesuai literatur yang digunakan.

## BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab Kesimpulan dan Saran ini akan dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil pelaksanaan penelitian tesis sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai serta saran-saran yang dapat diberikan untuk perbaikan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai Tangga Kereta Api, Peron, *Design for Manufacturing*, *Software DFMA*, dan *Quality Function Deployment* serta landasan teori lain yang digunakan dalam proses pengerjaan penelitian Tesis ini.

#### **2.1 Kereta Api Indonesia**

Berdasarkan data yang diperoleh dari *company profile* PT. KAI tahun 2020 (Basuki, 2020) menjelaskan bahwa sejarah perkeretaapian Indonesia dimulai ketika pencangkulan pertama jalur kereta api Semarang-Vorstenlanden (Solo-Yogyakarta) oleh Gubernur Jendral Hindia Belanda Mr. L.A.J Baron Sloet van de Beele pada tanggal 17 Juni 1864. Selain di Jawa, pembangunan jalur kereta api juga dilakukan di beberapa daerah di luar Jawa seperti di Aceh pada tahun 1876, Sumatera Utara pada tahun 1889, Sumatera Barat pada tahun 1891, Sumatera Selatan pada tahun 1922.

PT. Kereta Api Indonesia (Persero) yang selanjutnya disingkat sebagai KAI atau “Perseroan” adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang menyediakan, mengatur, dan mengurus jasa angkutan kereta api di Indonesia. Namun, seiring dengan dinamika dunia usaha dan berkembangnya tuntutan pasar, saat ini KAI juga menyelenggarakan kegiatan usaha penunjang lainnya dengan memanfaatkan sumber daya yang dimilikinya. Diantaranya adalah pengelolaan properti yang terkait dengan jasa kereta api, pariwisata berbasis kereta api, restoran di kereta api (*on train services*) dan di stasiun, termasuk jasa katering dan distribusi logistik.

Saat ini, PT Kereta Api Indonesia (Persero) memiliki tujuh anak perusahaan/grup usaha yakni KAI Services (2003), KAI Bandara (2006), KAI Commuter (2008), KAI Wisata (2009), KAI Logistik (2009), KAI Properti (2009), PT Pilar Sinergi BUMN Indonesia (2015).

Pada penelitian terdahulu mengenai fasilitas yang disediakan oleh PT. KAI yang dilakukan oleh (Nurchayanto & Marom, 2015) tentang kepuasan pelanggan

pada stasiun kereta api Semarang Poncol. Penelitian tersebut dilatar belakangi adanya peningkatan kebutuhan transportasi darat khususnya kereta api yang dituntut akan penyediaan pelayanan dan fasilitas yang baik sesuai dengan standar yang ditetapkan dan memenuhi harapan pelanggan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkatb kepuasan pelanggan dan indicator kebutuhan yang menjadi priorotas peningkatan di stasiun Semarang Poncol secara deskriptif kuantitatif.

Jumlah sampel pada penelitian tersebut sebanyak 100 orang pelanggan yang menggunakan jasa stasiun Semarang Poncol. Sementara itu, pengukuran kepuasan pelanggan menggunakan lima dimensi pelayanan, yaitu kualitas tangible, keandalan, daya tanggap, jaminan dan empati dengan membandingkan antara kinerja (X) dan harapan (Y) dengan hasilnya adalah puas dan tidak puas. Hasilnya, terdapat tujuh dari dua puluh tiga indikator yang dianggap penting dalam menentukan kepuasan pelanggan. Ketujuh indikator tersebut antara lain: 1. Fasilitas *lounge*, 2. Fasilitas toilet, 3. Fasilitas tempat ibadah, 4. Fasilitas atas dan gerbong kereta bawah, 5. Fasilitas penyandang cacat, 6. Ketepatan kedatangan dan keberangkatan kereta api, 7. Kecepatan dan kesiapan petugas dalam memberikan pelayanan. Dimensi yang mempunyai penilaian terendah yaitu sebesar 73,32% adalah dimensi ke 5.

## **2.2 Fasilitas Tangga Kereta Api**

Tangga kereta api atau dalam Peranturan Menteri Perhubungan No. 47 Tahun 2014 tangga disebut dengan bancik adalah salah satu fasilitas yang menunjang kemudahan naik atau turun penumpang. Dalam peraturan Menteri tersebut juga dijelaskan bahwa untuk stasiun yang mempunyai tinggi peron dibawah lantai kereta yang dilayani, maka harus disediakan tangga atau peron tidak permanen.

Menurut Maklumat Direksi PT. KAI No. 6/LL.006/KA-2015 tentang standar pelayanan umum angkutan orang dengan kereta api, pada berbagai jenis stasiun baik besar, sedang maupun kecil, syarat selisih tinggi peron dengan lantai kereta tidak lebih dari 20 cm, jika lebih dari itu maka harus ditambah dengan

bancik atau tangga sebagai peron tidak permanen. Penambahan ini bermaksud untuk kemudahan dan keamanan penumpang ketika ingin naik atau turun kereta.

Jarak antara lantai kereta yang terlalu tinggi akan berbahaya bagi penumpang karena penumpang diharuskan melompat untuk menuruni kereta, hal ini lah yang masih sering terjadi pada kereta lokal rute Tulungagung-Surabaya. Tangga atau bancik terbuat dari besi dengan ketinggian yang beragam, hal ini dikarenakan adanya perbedaan level peron pada stasiun. Tangga dengan level yang tinggi dilengkapi dengan roda di salah satu sisi bawahnya yang berguna untuk mempermudah pergerakan dan pemindahan tangga tersebut. Sementara untuk tangga dengan level rendah tidak dilengkapi roda karena masih memungkinkan dipindahkan dengan cara diangkat menggunakan tangan.

### **2.3 Peron Stasiun**

Setiap stasiun kereta api selalu terdapat peron (*platform*). Menurut PM No. 29 Tahun 2011 dijelaskan Peron adalah bangunan yang terletak di samping jalur kereta api yang berfungsi untuk naik turun penumpang. Peron berasal dari bahasa Belanda *Perron*. Peron mempunyai 3 jenis yaitu peron tinggi, peron sedang dan peron rendah. Adapun persyaratan penempatan peron yaitu pada tepi jalur (*side platform*) dan diantara dua jalur (*island platform*).

Sementara itu, menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), peron merupakan pelataran (halaman) pada stasiun kereta api, tempat penumpang menunggu atau tempat turun naik kereta.

Menurut PM No. 63 Tahun 2019 peron merupakan lantai stasiun yang sejajar dengan lantai kereta, berfungsi sebagai tempat tunggu dan aksesibilitas penumpang naik/turun. Dalam Peraturan Menteri tersebut dijelaskan bahwa terdapat syarat-syarat peron pada stasiun kecil, sedang maupun besar dengan uraian sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tolak Ukur Jenis Peron Berdasarkan Jenis Stasiun

Stasiun Kecil	Stasiun Sedang	Stasiun Besar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celah antara tepi peron dengan badan kereta tidak membahayakan anak di bawah umur serta penumpang yang menggunakan kursi roda.</li> <li>• Selisih ketinggian lantai peron stasiun 20 cm dengan lantai kereta</li> <li>• Lantai peron stasiun bebas dari kegiatan komersial, tidak licin, dan tidak tergenang air, serta dilengkapi dengan: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Marka petunjuk/pembatasan antrean naik/turun penumpang</li> <li>b. Marka/<i>guiding block</i> untuk penunjuk jalan bagi penumpang tuna netra</li> <li>c. Tersedia <i>safety line</i> atau <i>platform screen door</i></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celah antara tepi peron dengan badan kereta tidak membahayakan anak di bawah umur serta penumpang yang menggunakan kursi roda.</li> <li>• Selisih ketinggian lantai peron stasiun 20 cm dengan lantai kereta</li> <li>• Lantai peron stasiun bebas dari kegiatan komersial, tidak licin, dan tidak tergenang air, serta dilengkapi dengan: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Marka petunjuk/pembatasan antrean naik/turun penumpang</li> <li>b. Marka/<i>guiding block</i> untuk penunjuk jalan bagi penumpang tuna netra</li> <li>c. Tersedia <i>safety line</i> atau <i>platform screen door</i></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celah antara tepi peron dengan badan kereta tidak membahayakan anak di bawah umur serta penumpang yang menggunakan kursi roda.</li> <li>• Selisih ketinggian lantai peron stasiun 20 cm dengan lantai kereta</li> <li>• Lantai peron stasiun bebas dari kegiatan komersial, tidak licin, dan tidak tergenang air, serta dilengkapi dengan: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Marka petunjuk/pembatasan antrean naik/turun penumpang</li> <li>b. Marka/<i>guiding block</i> untuk penunjuk jalan bagi penumpang tuna netra</li> <li>c. Tersedia <i>safety line</i> atau <i>platform screen door</i></li> </ul> </li> </ul>

Sumber: PM No. 63 Tahun 2019

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa celah maksimal antara peron dengan pintu kereta maksimal berukuran 20 cm. Sementara itu untuk selisih

ketinggian >20 cm, sementara dapat disediakan bancik atau *ramp*. Khusus stasiun baru yang mulai dibangun tahun 2019 level harus sejajar antara peron dan lantai kereta. *Safety line* tidak licin dan minimal 35 cm dari tepi peron.

Pada PM No. 29 tahun 2011 ini dijelaskan bahwa peron mempunyai persyaratan pembangunan yang meliputi:

- a. Ketinggian peron
  1. Peron tinggi yaitu 1000 mm, diukur dari kepala rel
  2. Peron sedang yaitu 430 mm, diukur dari kepala rel
  3. Peron rendah yaitu 180 mm, diukur dari kepala rel
- b. Jarak tepi peron ke as jalan rel
  1. Peron tinggi yaitu 1600 mm (untuk jalan rel lurus) dan 1650 mm (untuk jalan rel lengkungan)
  2. Peron sedang yaitu 1350 mm
  3. Peron rendah yaitu 1200 mm.

c. Panjang peron  
Panjang peron yang dipersyaratkan yaitu sesuai dengan rangkaian terpanjang kereta api penumpang yang beroperasi pada stasiun tersebut.

d. Lebar peron  
Lebar peron dihitung berdasarkan jumlah penumpang dengan menggunakan formula yaitu:

$$b = \frac{0,64 \frac{m^2}{\text{orang}} \times V \times LF}{I} \quad (1)$$

Dimana:

b = lebar peron (meter)

V = jumlah rata-rata penumpang per jam sibuk dalam satu tahun (orang)

LF = *Load factor* (80%)

I = Panjang peron sesuai dengan rangkaian terpanjang kereta api penumpang yang beroperasi (meter)

e. Hasil perhitungan lebar peron menggunakan formula pada poin d tidak boleh kurang dari ketentuan lebar peron minimal yaitu seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Ketentuan Lebar Peron Minimal

No	Jenis Peron	Di antara dua jalur ( <i>island platform</i> )	Di tepi jalur ( <i>side platform</i> )
1.	Tinggi	2 meter	1,65 meter
2.	Sedang	2,5 meter	1,9 meter
3.	Rendah	2,8 meter	2,05 meter

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 29 Tahun 2011

- f. Lantai peron tidak menggunakan material yang licin
- g. Peron sekurang-kurangnya dilengkapi dengan lampu, papan petunjuk jalur, papan petunjuk arah dan batas aman peron.

Selain persyaratan pembangunan yang sudah dijelaskan, terdapat pula persyaratan mengenai operasi peron yang meliputi:

- a. Hanya digunakan sebagai tempat naik turun penumpang dari kereta api.
- b. Dilengkapi dengan garis batas aman peron, dengan ketentuan sbb:
  - 1. Peron tinggi, minimal 350 mm dari sisi tepi luar ke as peron
  - 2. Peron sedang, minimal 600 mm dari sisi tepi luar ke as peron
  - 3. Peron rendah, minimal 750 mm dari sisi tepi luar ke as peron



Gambar 2.1 (a) Garis batas aman peron (b) Mengukur jarak tepi peron ke as rel (keretapedia.com, 2021)

Berdasarkan Gambar 2.1 bagian a dapat dilihat pada peron harus dilengkapi dengan *safety line* berwarna kuning yang berfungsi sebagai tanda yang menunjukkan batas aman penumpang ketika berdiri sebelum memasuki gerbong kereta. Penumpang harus berdiri pada lokasi sebelum garis kuning tersebut. Sementara itu, Gambar 2.2 bagian b menunjukkan proses pengukuran jarak tepi peron ke as rel yang disyaratkan mempunyai jarak berbeda sesuai dengan ketinggian peron.

#### **2.4 *Design for Manufacturing (DFM)***

*Design for Manufacturing* (DFM) bertujuan untuk membuat produk berkualitas tinggi dengan biaya yang rendah. Dalam pengerjaannya, DFM memerlukan adanya tim *cross-functional* karena pekerjaannya meliputi banyak hal seperti (Pei, 2012):

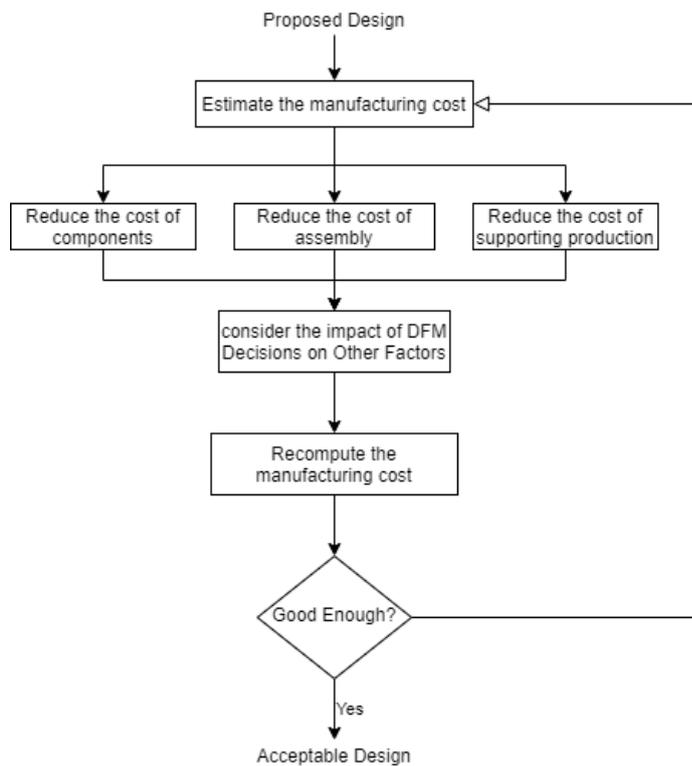
1. *Sketches, drawing*, spesifikasi produk dan alternatif desain
2. Proses produksi dan *assembly*
3. Estimasi biaya manufaktur, volume produk dan waktu *ramp up* atau produksi.

Oleh karena itu, DFM membutuhkan kontribusi sebagian besar anggota tim pengembangan serta pakar dari luar. Upaya DFM biasanya memanfaatkan keahlian dari *manufacturing engineers*, akuntan biaya, dan personel produksi, selain desainer produk. Banyak perusahaan menggunakan *teambased workshop* untuk memfasilitasi integrasi dan berbagi pandangan yang diperlukan untuk DFM.

Ulrich & Eppinger, (2012) mengatakan bahwa metode *Design for Manufacturing* (DFM) secara langsung menangani tentang biaya manufaktur. Biaya manufaktur merupakan kunci untuk menentukan keberhasilan ekonomi suatu produk. Keberhasilan ekonomi tergantung pada margin keuntungan yang diperoleh dari setiap penjualan produk dengan berapa banyak unit produk yang dapat dijual perusahaan. Sementara itu, margin keuntungan adalah selisih antara harga jual produsen dengan biaya pembuatan produk.

Produk dengan kualitas yang tinggi akan mempunyai nilai jual yang tinggi pula. Dengan kata lain, jumlah unit yang terjual dan harga jual Sebagian besar dipengaruhi oleh kualitas produk secara keseluruhan. Oleh karena itu, desain yang

berhasil secara ekonomi adalah produk dengan kualitas tinggi dengan minimal biaya produksi yang dikeluarkan perusahaan. Praktik DFM yang efektif menghasilkan biaya produksi yang rendah tanpa mengorbankan kualitas produk.



Gambar 2.2 *Flowchart* Metode DFM (Pei, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.2 metode DFM dimulai dengan mengusulkan desain kemudian desain yang diusulkan tersebut dilakukan estimasi biaya manufaktur yang bertujuan untuk menurunkan biaya komponen, biaya perakitan dan biaya produksi pendukung. Setelah dilakukan hal-hal tersebut, kemudian melakukan pertimbangan dampak DFM terhadap faktor lain (waktu pengembangan, biaya pengembangan, kualitas produk dan faktor eksternal) dan selanjutnya menghitung ulang biaya manufaktur jika sudah sesuai maka desain tersebut akan diterima, dan sebaliknya jika belum sesuai maka akan dilakukan estimasi biaya ulang.

Berikut merupakan beberapa cara untuk mengurangi biaya komponen yaitu:

1. Memahami batasan-batasan proses dan dasar-dasar biaya
2. Merancang ulang komponen untuk mengurangi langkah-langkah pemrosesan
3. Pemilihan skala ekonomi yang sesuai untuk pemrosesan komponen
4. Menstandarkan komponen-komponen dan proses-proses

Sementara itu, cara untuk mengurangi biaya perakitan yaitu dilakukan integrasi komponen, memaksimalkan kemudahan perakitan, mempertimbangkan perakitan oleh pelanggan. Sedangkan cara untuk mengurangi biaya pendukung produksi yaitu dengan meminimasi kerumitan sistemik dan proses *error proofing*.

## **2.5 Quality Function Deployment (QFD)**

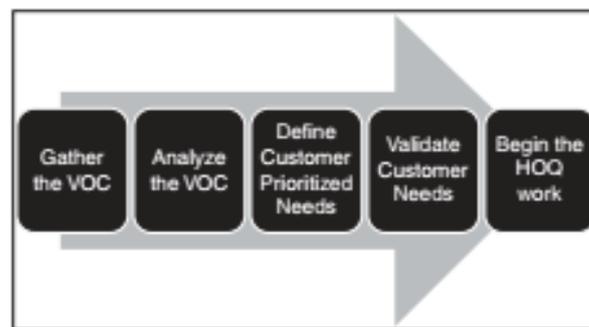
Menurut Zairi & Youssef, (1995) *Quality Function Deployment (QFD)* adalah sebuah Teknik yang lahir di Jepang yang digunakan sebagai strategi untuk memastikan bahwa kualitas dibangun dalam *new product*. QFD pertama kali digunakan pada tahun 1972 oleh *Kobe Shipyard of Mitsubishi Heavy Industries Ltd* dan kemudian disebut sebagai table kualitas. QFD juga telah diterapkan di lingkungan non manufaktur seperti perusahaan konstruksi, hotel dan maskapai penerbangan. Meskipun pada dasarnya telah dikaitkan dengan *New Product Development (NPD)*, QFD dapat digunakan untuk meninjau produk, layanan dan proses yang ada.

QFD merupakan peluang ideal untuk beralih dari “Kami paling tahu apa yang diinginkan pelanggan” ke budaya baru yaitu “mari Kita dengarkan suara pelanggan”. Dalam hal ini berarti memungkinkan sebuah organisasi yang sangat proaktif terhadap masalah kualitas dari pada bersikap reaktif dengan menunggu keluhan pelanggan. QFD juga memungkinkan sebuah organisasi untuk membandingkan standar kualitas produk mereka dengan pesaing mereka sehingga membantu organisasi tersebut untuk mencapai keunggulan yang kompetitif.

Berdasarkan penjelasan Ficalora & Cohen, (2013) *Quality Function Deployment* terdiri dari tiga kata yaitu *quality* yang dalam bahasa Inggris mempunyai arti “*excellent*”. Kualitas ditentukan oleh ekspektasi pelanggan, jadi sebuah perusahaan tidak dapat memiliki produk berkualitas atau layanan berkualitas tanpa mengidentifikasi dan menemukan ekspektasi pelanggannya. Kata

kedua yaitu *function*, berarti bagaimana perusahaan akan memenuhi harapan pelanggan, atau bagaimana produk atau layanan sebuah perusahaan akan berfungsi untuk memenuhinya. Kata ketiga, *Deployment* mendefinisikan bagaimana sebuah perusahaan akan mengelola aliran upaya pengembangan untuk memastikan bahwa ekspektasi pelanggan mendorong pengembangan produk dan layanan baru perusahaan tersebut.

QFD adalah metode untuk struktur produk atau perencanaan dan pengembangan layanan yang memungkinkan tim pengembangan untuk menentukan dengan jelas keinginan dan kebutuhan pelanggan, dan kemudian mengevaluasi setiap produk atau kemampuan layanan yang diusulkan secara sistematis dalam hal dampaknya pada pemenuhan kebutuhan tersebut. QFD pada dasarnya adalah proses perencanaan dan manajemen yang berkualitas untuk mendorong ke solusi produk dan layanan terbaik.

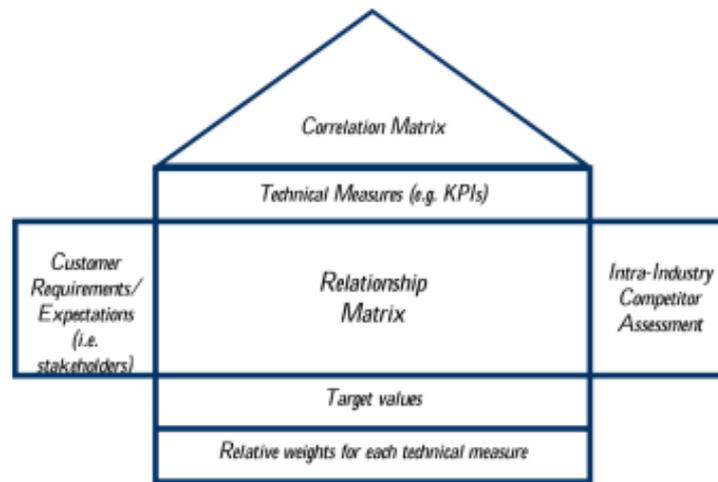


Gambar 2.3 Urutan Proses QFD (QFD Handbook, 2013)

QFD dimulai dengan mengumpulkan suara pelanggan atau *Voice of Customer* (VOC) dan diakhiri dengan memvalidasi kebutuhan pelanggan. Sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 setelah diawali dengan mengumpulkan VOC, selanjutnya yaitu menganalisis hasil data yang telah dikumpulkan pada tahap awal. Kemudian menjelaskan kebutuhan pelanggan berdasarkan prioritasnya dan

selanjutnya memvalidasi kebutuhan pelanggan dan kemudian mulai melakukan *House of Quality* (HOQ).

*Quality Function Deployment* (QFD) adalah metodologi pengembangan produk yang bertujuan untuk menyebarkan *Voice of Customer* (VOC) di seluruh proses pengembangan produk. Hal ini paling sering dilakukan oleh tim lintas fungsional yang membuat dan mengisi rangkaian dari satu atau lebih matriks, yang pertama dan paling umum disebut sebagai *House of Quality* (HOQ). (Hauser et al., 2010).



Gambar 2.4 Format Tradisional House of Quality (HOQ) (Duru et al., 2020))

*House of Quality* (HoQ) merupakan hal yang penting dalam QFD. Menurut (Huang et al., 2020) HoQ berguna dalam mengalokasikan kemungkinan perbaikan untuk kebutuhan pelanggan. Namun, penyedia layanan dapat memaksimalkan kepuasan pelanggan dengan melakukan perbaikan alternatif. Struktur dasar HoQ dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Menurut Zairi & Youssef, (1995) QFD mempunyai beberapa manfaat antara lain:

1. Menentukan spesifikasi produk yang memenuhi persyaratan pelanggan, dengan memperhatikan produk pesaing;

2. Memastikan konsistensi antara persyaratan pelanggan, dan karakteristik produk yang dapat diukur;
3. Menginformasikan dan meyakinkan semua pihak yang bertanggung jawab atas berbagai tahapan proses hubungan antara kualitas keluaran dari setiap tahap dan kualitas produk jadi;
4. Memastikan konsistensi antara perencanaan dan proses produksi;
5. Membuat segala sesuatunya bergerak lebih cepat karena perencanaan dilakukan pada tahap sebelumnya dan interpretasi yang salah tentang prioritas dan tujuan diminimalkan.

Berdasarkan penjelasan dari Zairi & Youssef, (1995) terdapat beberapa syarat tertentu agar QFD mengarah pada hasil yang baik, yaitu:

1. QFD bukanlah sebuah sistem untuk membuat grafik, hasil akhirnya adalah untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dengan menggunakan sumber daya yang ada dan mengoptimalkan kemampuan proses.
2. QFD sangat bergantung pada kontribusi *key people*, komitmen manajemen senior, karena tekniknya hulu dan memiliki implikasi strategis dan penggunaan fasilitator untuk membantu tim terkait untuk maju secara positif dengan penggunaan Teknik tersebut.
3. QFD bergantung pada sumber daya dalam hal ini adalah manusia, waktu, sumber daya keuangan, dan lain-lain. Oleh karena itu, pemilihan proyek harus direncanakan dengan hati-hati di mana implikasi sumber daya telah diperiksa dengan cermat.
4. Terakhir, QFD adalah agen perubahan budaya dan harus diintegrasikan secara bertahap sebagai bagian dari sistem perubahan yang lebih besar, idealnya program manajemen kualitas total yang mendorong efisiensi, efektivitas, dan pengukuran berkelanjutan untuk daya saing yang unggul.

Dalam pengembangan metode QFD terdapat empat tahap untuk menerjemahkan keinginan konsumen menuju proses perancangan produk dapat dilihat pada Gambar 2.7. Tahapan tersebut meliputi:

**Tahap I** yaitu tahap perencanaan produk (*House of Quality*)

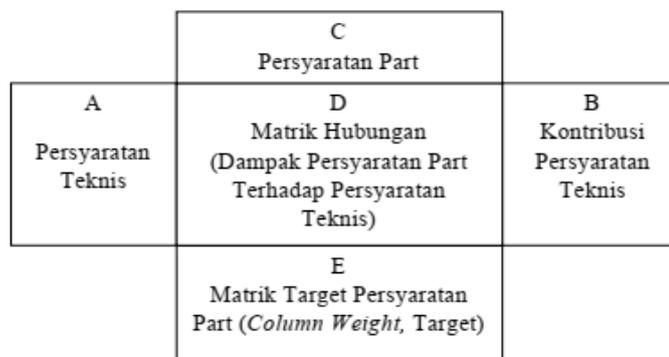
Pada tahap awal penerapan metode QFD ini merupakan upaya untuk mengkonversi *voice of customer* secara langsung terhadap persyaratan teknis atau

spesifikasi teknis dari produk atau jasa yang dihasilkan. Karena pada penelitian ini menggunakan *Multi-layer* QFD maka terdapat dua HoQ yaitu HoQ yang berorientasi pada pelanggan dan penyedia layanan.

Menyusun HoQ dilakukan dengan menyusun karakteristik pelanggan (*Whats*), karakteristik teknis (*How*), matriks *relationship*, penentuan *How Much* (Goal), matriks korelasi teknis, *importance rating* dan bobot kolom. Dengan HoQ maka dapat menentukan batas-batas desain, menunjukkan hubungan antara kebutuhan responden dan matriks yang digunakan untuk memuaskan kebutuhan responden dan menggambarkan fokus tim perancang untuk menghasilkan produk yang berkualitas (Ginting et al., 2013).

**Tahap II** yaitu tahap perencanaan komponen (*Part Deployment*)

Struktur matrik pada tahap ini meliputi Bagian A persyaratan teknis, yang mana persyaratan ini diperoleh dari tahap I yaitu hasil dari HoQ. Selanjutnya Bagian B adalah kontribusi persyaratan teknis. Bagian C berisi tentang persyaratan part yang berhubungan dengan persyaratan teknis dan pengukuran dari masing-masing persyaratan part. Bagian D berisi tentang hubungan antara persyaratan part dan persyaratan teknis. Bagian E berisi *part specification* (satuan dari persyaratan part), *column weight* (kontribusi dari persyaratan part) dan target spesifikasi yang ingin dicapai oleh masing-masing persyaratan part dalam rangka pengembangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.5.



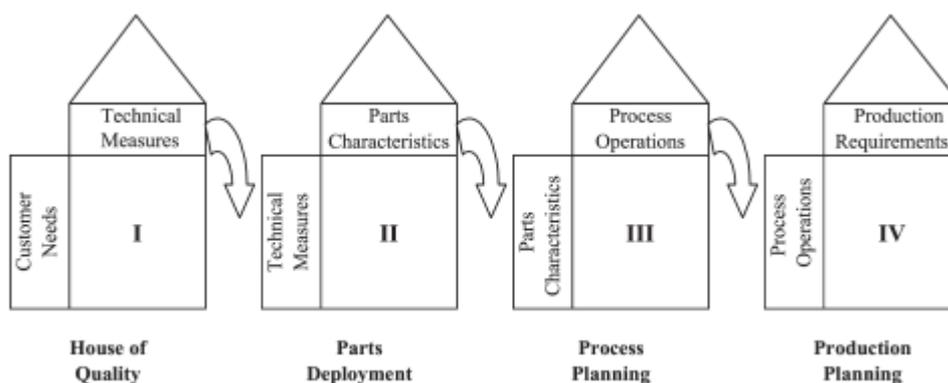
Gambar 2.5 Part Deployment (Henuk et al., 2012)

**Tahap III** yaitu tahap perencanaan proses (*Process Planning*)

Perencanaan proses ini ditentukan oleh karakteristik kualitas part dari Tahap ke II.

**Tahap IV** yaitu tahap perencanaan produksi (*Production Planning*)

Perencanaan produksi ditentukan oleh perencanaan proses pada Tahap ke III, pada tahap ini akan dihasilkan *prototype* dari produk yang akan diproduksi. Persyaratan-persyaratan yang dibutuhkan pada tahap produksi (*production requirements*) dihasilkan pada tahap ini. *Requirements* tersebut yang akan menjadi acuan atau pedoman pada proses selanjutnya yaitu proses *Design for Manufacturing*.

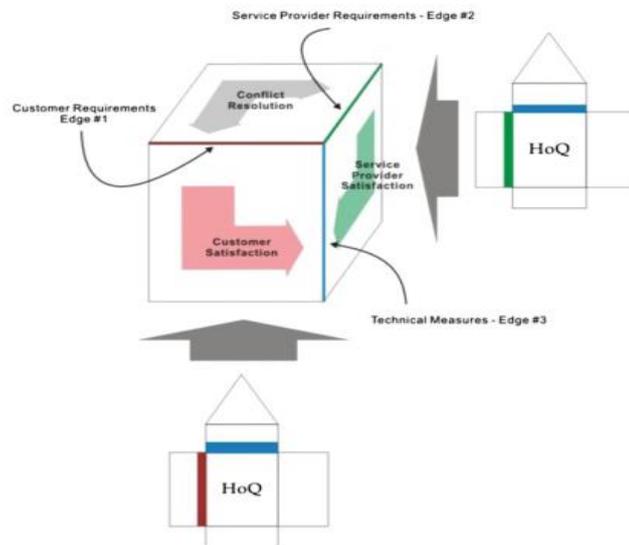


Gambar 2.6 Model Empat Fase QFD (Chan & Wu, 2020)

## 2.6 *Multi-layer Quality Function Deployment*

*Multi-layer* QFD merupakan pengembangan dari QFD tradisional yang mana pada QFD tradisional hanya berorientasi pada kepuasan pelanggan tanpa mempertimbangkan kepuasan produsen. Berdasarkan pandangan tersebut, muncul pandangan mengenai *Multi-layer* QFD yang berpandangan dua arah dan berorientasi pada kepuasan pelanggan dan produsen atau penyedia jasa, serta mencari penyebab gap antara pelanggan dan produsen. (Duru et al., 2013).

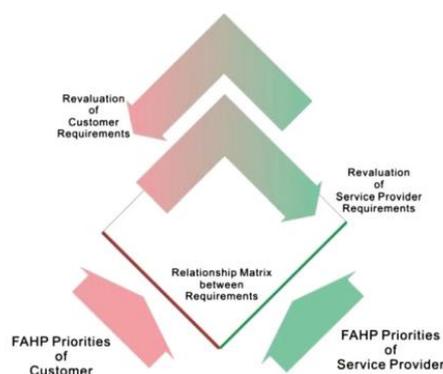
Gambar 2.7 dapat dilihat ilustrasi tentang *Multi-layer* QFD. Pada ilustrasi tersebut dapat dilihat pada sisi yang berwarna merah muda merupakan sisi yang menggambarkan HoQ berorientasi pada *customer satisfaction* atau kepuasan pelanggan dengan. Sementara itu, sisi yang berwarna hijau merupakan sisi yang HoQ berorientasi pada *service provider satisfaction* atau kepuasan penyedia layanan. Sisi atas menunjukkan *cross-synthesis matrix* yang mana ukurannya berdasarkan pada *requirements* dari kedua belah pihak yaitu pelanggan dan penyedia layanan.



Gambar 2.7 Desain 3D Metode *Multi-layer* QFD ((Duru et al., 2013))

*Cross-synthesis matrix* merupakan aspek penting dari kerangka *Multi-layer* QFD dalam hal menyelesaikan konflik kepentingan antara pelanggan dan penyedia layanan. Matriks hubungan antara persyaratan ini membuktikan bahwa resolusi tersebut berkorelasi dan saling mendukung/berlawanan. Bobot relatif dari persyaratan didefinisikan dengan baik, berdasarkan perhitungan kepentingan dan kepuasan. Sebelumnya, matriks hubungan dan kepentingan relatif dari pihak lawan berfungsi untuk memperkirakan peringkat relatif pihak lawan. Sintesis diselesaikan

dengan merata-ratakan peringkat relative suatu pihak dan kepentingan relative yang disimpulkan dari pihak lawan (Duru et al., 2013).



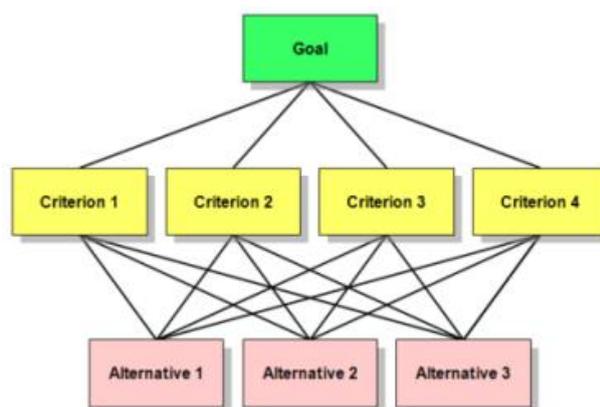
Gambar 2.8 *Layer Pemecahan Konflik untuk Cross-Synthesis Analysis* (Duru et al., 2013)

Ilustrasi mengenai prosedur *cross-synthesis analysis* dapat dilihat pada Gambar 2.8. Kepentingan relatif dari *requirement* ditentukan oleh penilaian prioritas menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP). Selanjutnya, produk dari matriks hubungan dan kepentingan relatif pihak lawan memperoleh estimasi kepentingan relatif tersirat dari sudut pandang pihak lawan. Sintesis diselesaikan dengan merata-ratakan kepentingan relatif suatu pihak dan kepentingan relatif tersirat dari pihak lawan. Dengan kata lain, *Multi-layer QFD* mengidentifikasi kebutuhan dari konsumen dan produsen, sementara FAHP digunakan untuk pembobotan atribut kepentingan dari konsumen dan produsen.

## 2.7 *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP)

Metode AHP pertama kali dikembangkan oleh Thomas L. Saaty, seorang ilmuwan matematika sebagai algoritma pengambilan keputusan untuk permasalahan multikriteria biasa disebut MCDM (*Multi Criteria Decision Making*). Permasalahan multikriteria dalam AHP disederhanakan dalam bentuk hirarki yang

terdiri dari tiga komponen utama yaitu tujuan atau goal dari pengambilan keputusan, kriteria penilaian dan alternatif pilihan. Adapun gambaran sederhana dari hirarki pada metode AHP seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema *Analytic Hierarchy Process* (Saaty, 2008)

Ciptomulyono, (2001) memaparkan bahwa pendekatan AHP dikembangkan berangkat dari teori pengukuran berkaitan dengan kriteria keputusan yang kuantitatif/non-kuantitatif (*tangible/intangible*) dalam model keputusan yang mengandung resolusi konfliktual. Karenanya prinsip dari pendekatan ini berusaha mengakomodasi aspek-aspek kognitif, pengalaman dan pengetahuan subyektif dari pengambil keputusan sebagai data dasar yang menentukan dalam proses pengambilan keputusan.

AHP dapat didefinisikan sebagai suatu metode untuk mengurutkan alternatif-alternatif pengambilan keputusan dan memilih salah satu yang terbaik ketika tersedia banyak kriteria (Zaman et al., 2016). Dalam metode AHP, setiap kriteria dibandingkan dengan cara *pairwise comparison* atau perbandingan berpasangan menggunakan skala 1-9. Dalam penelitian lain dengan  $CR < 0.1$  menggunakan skala 1-5. Perbedaan dua skala tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 1 Perbedaan Dua Skala antara 1-9 dan 1-5

Skala Tingkat Kepentingan 1-9	Keterangan Skala	Skala Tingkat Kepentingan 1-5
1	Dua atribut sama penting	1
3	Cukup penting	2
5	Kuat penting	3
7	Lebih kuat penting	4
9	Mutlak lebih kuat penting	5

Sumber: Zaman,2016

Pengambilan keputusan menggunakan metode AHP dengan banyak kriteria masih bersifat subyektif, untuk mengatasi masalah tersebut maka dikembangkan metode AHP dengan modifikasi menggunakan teknik himpunan *fuzzy* dalam AHP atau biasa disebut dengan *Fuzzy AHP* (FAHP).

*Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) adalah metode analisis yang dikembangkan dari AHP tradisional. FAHP merupakan penggabungan antara metode AHP dengan pendekatan konsep *fuzzy*. FAHP sama halnya dengan AHP yaitu tujuan merupakan level pertama, kriteria merupakan level ke dua dan sub-kriteria merupakan level ke tiga, serta alternatif merupakan level ke-4. Metode FAHP menggunakan rasio *Triangular Fuzzy Number* (TFN) dengan tiga fungsi keanggotaan, yaitu nilai rendah (l), nilai tengah (m), dan nilai tertinggi (u).

Langkah-langkah mengaplikasikan metode *Fuzzy AHP* untuk pemilihan alternatif adalah sebagai berikut:

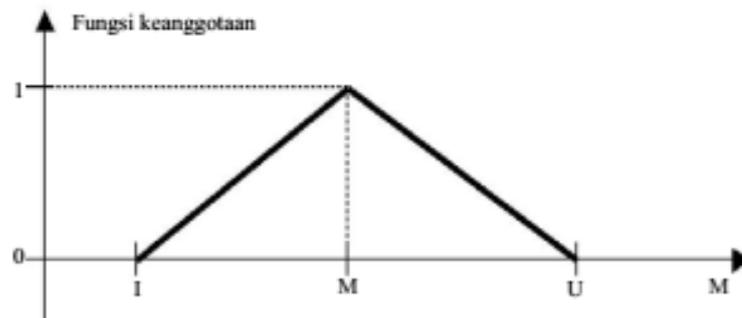
1. Membuat struktur hirarki masalah dan membandingkan kriteria, sub-kriteria, atau alternatif dengan bahasa linguistik *Fuzzy AHP* dengan skala TFN yang dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2. 2 Triangular Fuzzy Number (TFN)

No	Tingkat skala fuzzy	Invers skala fuzzy	Definisi variabel linguistic	Tingkat skala fuzzy	Invers skala fuzzy
1	1= (1,1,3)	(1/3,1,1)	Dua elemen mempunyai kepentingan yang sama	1= (1,1,2)	(1/2,1,1)
2	3= (1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)	Satu elemen sedikit lebih penting dari yang lain.	2= (1,2,3)	(1/3,1/2,1/1)
3	5= (3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)	Satu elemen lebih penting dari yang lain	3= (2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
4	7= (5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)	Satu elemen sangat lebih penting dari yang lain	4= (3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
5	9= (7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)	Satu elemen mutlak lebih penting dari yang lain	5= (4,5,5)	(1/5,1/5,1/4)

Sumber: Zaman,2016

Dalam TFN diberikan tiga kondisi untuk nilai fungsi keanggotaan, yaitu rendah, tengah dan tertinggi seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan Triangular (Zaman,2016)

Selanjutnya, tiap hubungan diringkas dalam sebuah tabel seperti yang terlihat pada Tabel 2.5. Cara membaca Tabel 2.5 adalah kriteria 1 sama derajatnya dengan kriteria 1, kriteria 1 cukup kuat dari pada kriteria 2, dan kriteria 1 lebih kuat dari kriteria 3. Untuk menggambarkan hubungan kriteria 2 dan kriteria 1 menggunakan rumus *invers*  $(l,m,u)^{-1} \approx \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l}\right)$

Tabel 2. 3 Hubungan Antar Kriteria FAHP

	Kriteria 1			Kriteria 2			Kriteria 3		
Kriteria 1	1	1	2	1	2	3	2	3	4
Kriteria 2	1/3	1/2	1/1	1	1	2	2	3	4
Kriteria 3	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2	1	1	2

Sumber: Zaman,2016

2. Menghitung nilai rata-rata geometris *fuzzy* ( $\tilde{r}$ ) dari masing-masing kriteria, sub-kriteria, atau alternatif dengan metode *Buckley*. Nilai rata-rata geometris *fuzzy* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tilde{r}_i = \left( \prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{1/n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

3. Menghitung bobot *fuzzy* ( $\tilde{w}$ ) untuk masing-masing kriteria, sub-kriteria atau alternatif dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tilde{w} &= \tilde{r} \oplus (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \\ &= (lw_i, mw_i, uw_i) \end{aligned} \quad (2)$$

4. Karena ( $\tilde{w}$ ) yang didapat masih merupakan bilangan *fuzzy*, maka perlu dilakukan defuzzifikasi dengan metode *Center of Area* (CoA) yang dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_i = \frac{lw_i, mw_i, uw_i}{3} \quad (3)$$

5. Bobot  $M$  sudah merupakan bilangan *non-fuzzy*, namun masih harus dilakukan normalisasi sehingga menghasilkan bobot akhir dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (4)$$

Perekapan nilai kusioner AHP maupun F-AHP umumnya menggunakan rumus *geometric mean*. Rumus *geometric mean* dapat dilihat pada rumus (5), karena TFN terdiri dari tiga nilai (a, b, c), maka *geometric meannya* akan berupa (ag, bg, cg).

*geometric mean:*

$$a_{ij} = (Z_1 \times Z_2 \times Z_3)^{1/n} \quad (5)$$

Dengan:

$a_{ij}$  = nilai rata-rata perbandingan berpasangan antara kriteria  $a_{ij}$  untuk n responden

$Z_i$  = nilai perbandingan antara kriteria  $a_i$  dan  $a_j$  untuk responden ke-1 dengan nilai  $i=1,2,3,\dots,n$

n = jumlah responden

## 2.8 Ergonomi dan Antropometri

### 2.8.1 Ergonomi

Tarwaka & Bakri, (2016) menjelaskan bahwa *ergonomic* berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari “*ergon*” yang berarti kerja dan “*nomos*” yang berarti aturan. Sehingga jika digabung menjadi ergonomi berarti suatu aturan dalam sistem kerja. Selanjutnya, terdapat beberapa pengertian ergonomi menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

- a. Menurut Pheasant, (1988) ergonomi adalah aplikasi dari informasi *scientific* yang berkaitan dengan *human being* pada masalah desain.
- b. Menurut Corlet dan Clark, (1995) ergonomi adalah studi tentang kemampuan dan karakteristik manusia yang mempengaruhi desain peralatan, sistem dan pekerjaan.
- c. Menurut Annis dan McConville, (1996) Ergonomi adalah kemampuan untuk menerapkan informasi mengenai karakter, kapasitas, dan batasan

manusia pada desain tugas manusia, sistem mesin, ruang hidup, dan lingkungan sehingga orang dapat hidup, bekerja, dan bermain dengan aman, nyaman, dan efisien.

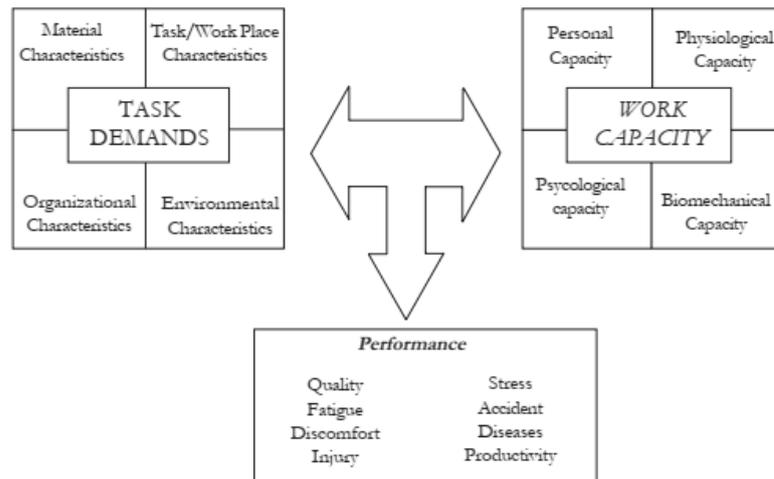
- d. Menurut Manuaba, (1998) Desain ergonomis adalah penerapan faktor manusia, informasi untuk desain alat, mesin, sistem, tugas, pekerjaan dan lingkungan untuk fungsi manusia yang produktif, aman, nyaman dan efektif.

Berdasarkan definisi-definisi ergonomi menurut beberapa ahli tersebut, dapat diketahui bahwa ruang lingkup ergonomi meliputi manusia dan pekerjaannya. Akan tetapi pada kenyataannya ergonomi mempunyai ruang lingkup yang luas yaitu segala aspek tentang tempat dan waktu, dengan kata lain ergonomi dapat diterapkan pada aspek apa saja, di mana saja dan kapan saja.

Dengan penjelasan tersebut maka (Tarwaka & Bakri, 2016) mendefinisikan ergonomi sebagai ilmu, seni dan penerapan teknologi untuk menyasikan atau menyeimbangkan antara segala fasilitas yang digunakan baik dalam beraktifitas maupun istirahat dengan kemampuan dan keterbatasan manusia baik fisik maupun mental sehingga kualitas hidup secara keseluruhan menjadi baik.

Secara umum ergonomi mempunyai beberapa tujuan, yaitu meliputi:

1. Meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, mengupayakan promosi dan kepuasan kerja.
2. Meningkatkan kesejahteraan sosial melalui peningkatan kualitas kontak sosial, mengelola dan mengkoordinir kerja secara tepat guna dan meningkatkan jaminan sosial baik selama kurun waktu usia produktif maupun setelah tidak produktif.
3. Menciptakan keseimbangan rasional antara berbagai aspek yaitu aspek teknis, ekonomis, antropologis dan budaya dari setiap sistem kerja yang dilakukan sehingga tercipta kualitas kerja dan kualitas hidup yang tinggi.



Gambar 2.11 Konsep Dasar Dalam Ergonomi (Manuaba, 2000 dalam (Tarwaka & Bakri, 2016))

Dari sudut pandang ergonomi, antara tuntutan tugas dengan kapasitas kerja harus selalu dalam garis keseimbangan sehingga dicapai performansi kerja yang tinggi. Dalam kata lain, tuntutan tugas pekerjaan tidak boleh terlalu rendah (*underload*) dan juga tidak boleh terlalu berlebihan (*overload*). Karena keduanya, baik *underload* maupun *overload* akan menyebabkan stres. Konsep keseimbangan antara kapasitas kerja dengan tuntutan tugas tersebut dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.11.

### 2.8.2 Antropometri

Antropometri berasal dari bahasa latin yaitu *Anthropos* yang berarti manusia dan *metron* yang berarti pengukuran. Maka dari itu, antropometri adalah pengukuran tubuh manusia (Purnomo, 2013). Pada akhir abad ke 19, antropometri mulai digunakan secara luas pada berbagai disiplin ilmu. Antropometri menjadi hal yang penting dalam perancangan fasilitas kerja. Seiring dengan perkembangan teknologi, maka semakin berkembang pula tuntutan masyarakat terhadap produk, fenomena tersebut membuat produsen banyak menggunakan data antropometri dalam merancang produknya.

Dewasa ini antropometri tidak hanya diterapkan pada hal-hal yang menyangkut karakteristik peralatan, perlengkapan dan segala sesuatu yang digunakan dalam melakukan aktivitas kerja, akan tetapi juga menyangkut tentang perancangan stasiun kerja. Hal ini bertujuan agar stasiun kerja nyaman untuk aktivitas. Selain itu, perancangan peralatan harus ergonomis artinya dimensi peralatan harus selaras dengan dimensi tubuh pengguna. Pada dasarnya perancangan fasilitas kerja secara ergonomis ditujukan untuk mendapatkan kepuasan bagi pengguna fasilitas kerja. Kepuasan tersebut dapat berupa keamanan, kenyamanan maupun kesehatan yang ditinjau dari sudut pandang ilmu anatomi, fisiologi, psikologi, kesehatan dan keselamatan kerja.

. Dalam merancang stasiun kerja yang nyaman sangatlah tidak mudah karena tubuh manusia mempunyai variasi. Sehingga dalam perancangannya faktor manusia mutlak untuk diperhitungkan. Variabilitas dimensi tubuh dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Umur

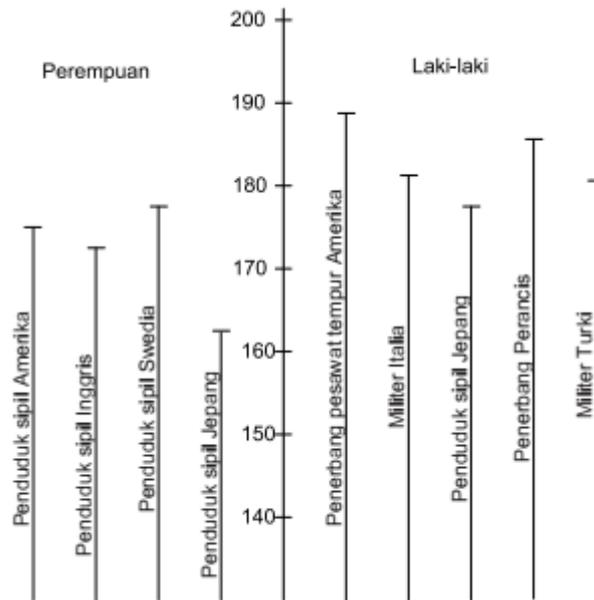
Rancangan peralatan yang dikhususkan untuk anak-anak harus berbeda dengan peralatan yang dikhususkan untuk orang dewasa, ini membuktikan bahwa umur mempengaruhi variabilitas dimensi tubuh.

2. Jenis kelamin

Selain umur, jenis kelamin juga merupakan faktor yang mempengaruhi variabilitas dimensi tubuh. Tinggi badan laki-laki dan perempuan pada dasarnya berbeda. Laki-laki mempunyai rata-rata tinggi badan yang tinggi jika dibandingkan dengan perempuan.

3. Ras/etnik

Variasi dimensi tubuh ini lebih jelas perbedaan antara orang Asia Tenggara dengan Eropa dan Amerika. Sebagian besar orang Asia Tenggara lebih pendek dibandingkan dengan orang Eropa dan Amerika. Namun demikian ada sebagian kecil orang Asia Tenggara yang lebih besar dibandingkan dengan orang Eropa dan Amerika. Gambar 2.12 menunjukkan variabilitas manusia dari berbagai bangsa.



Gambar 2.12 Variabilitas Manusia Berdasarkan Bangsa (Purnomo,2013)

#### 4. Jenis pekerjaan

Perbedaan dimensi tubuh dapat dilihat pada jenis pekerjaan atau profesi yang dilakukan. Seorang tukang batu atau petani yang pekerjaannya mencangkul mempunyai lengan lebih besar dibandingkan dengan pegawai negeri sipil.

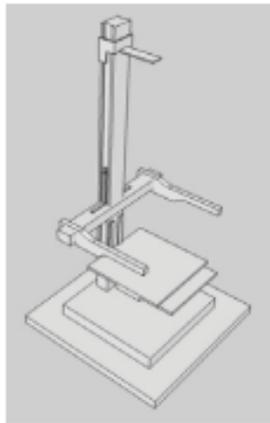
#### 5. Lingkungan Daerah

Lingkungan daerah menentukan dimensi tubuh manusia, orang yang tinggal di daerah pegunungan akan berbeda dengan orang yang tinggal di daerah pesisir atau orang yang tinggal di perkotaan. Hal ini disebabkan mayoritas orang pegunungan lebih sering berjalan kaki dan menggunakan peralatan yang manual, sementara orang perkotaan sudah menggunakan peralatan otomatis atau canggih.

Menurut Tarwaka & Bakri, (2016) setiap produk baik produk sederhana maupun kompleks, harus berpedoman pada antropometri pemakainya. Dengan demikian maka dalam setiap desain produk peralatan

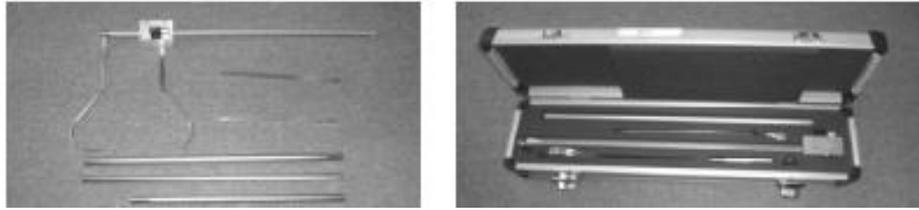
dan stasiun kerja, keterbatasan manusia harus selalu diperhitungkan. Mengingat setiap manusia berbeda, maka data antropometri dalam desain produk dapat meliputi; desain untuk orang ekstrim (data terkecil atau terbesar); desain untuk orang per orang, desain untuk kisaran yang dapat diatur (*adjustable range*) dengan menggunakan persentil-5 dan persentil-95 dari populasi dan desain untuk ukuran rerata dengan menggunakan data persentil-50 (Sanders & McCormick, 1993).

Data antropometri diperoleh dari pengukuran secara langsung menggunakan perelatan seperti jangka lengkung, jangka sorong, antropometer dan timbangan. Sementara itu, untuk pengukuran tinggi biasa digunakan kursi antropometri seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kursi Antropometri (Purnomo,2013)

Metode yang lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan rekaman video, *holography* dan *stereophotometry*. Beberapa metode terakhir muncul untuk mengatasi beberapa kelemahan dari pengukuran secara konvensional. Dengan metoda fotografi dapat disimpan beberapa pengukuran yang telah dilakukan dan dapat digunakan untuk mengevaluasi tubuh dalam tiga dimensi. Gambar 2.14 menunjukkan peralatan pengukur dimensi tubuh yaitu "*Harpender*" *Anthropometer*.



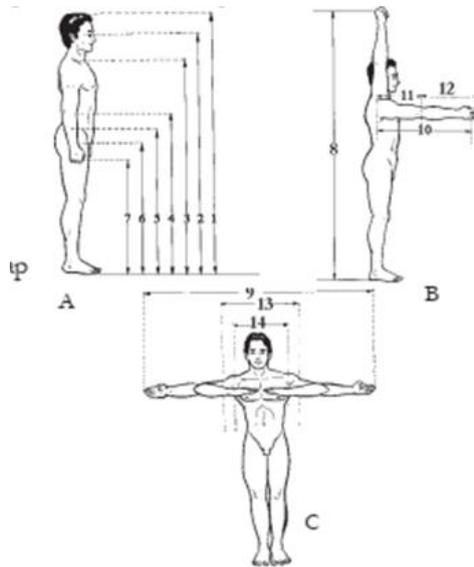
Gambar 2.14 Peralatan Pengukur Dimensi Tubuh (Purnomo,2013)

Sementara itu terdapat pengukuran antropometri yang disebut dengan pengukuran antropometri statis. Jenis pengukuran ini biasanya dilakukan dalam dua posisi yaitu posisi berdiri dan duduk di kursi. Data antropometri statis yang diukur meliputi:

a. Posisi Berdiri

- |                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1. Tinggi badan                      | 8. Tinggi jangkauan atas |
| 2. Tinggi mata                       | 9. Panjang depa          |
| 3. Tinggi bahu                       | 10. Panjang lengan       |
| 4. Tinggi siku                       | 11. Panjang lengan atas  |
| 5. Tinggi pinggang                   | 12. Panjang lengan bawah |
| 6. Tinggi tulang pinggul             | 13. Lebar bahu           |
| 7. Tinggi kepalan tangan posisi siap | 14. Lebar dada           |

Pada Gambar 2.15 dapat dilihat posisi dimensi tubuh pada saat pengukuran statis dengan posisi berdiri. Terdapat 14 bagian tubuh manusia yang diukur dan dijadikan sebagai data antropometri yang selanjutnya akan digunakan untuk dimensi produk pada saat proses desain produk.

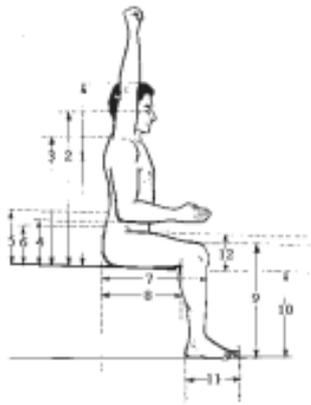


Gambar 2.15 Pengukuran Antropometri Posisi Berdiri (Tarwaka,2016)

b. Posisi Duduk

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| 1. Tinggi kepala         | 7. Panjang buttock-lutut                        |
| 2. Tinggi mata           | 8. Panjang buttock-popliteal (lekuk lutut)      |
| 3. Tinggi bahu           | 9. Tinggi telapak kaki-lutut                    |
| 4. Tinggi siku           | 10. Tinggi telapak kaki-popliteal (lekuk lutut) |
| 5. Tinggi pinggang       | 11. Panjang kaki (tunggai-ujung jari kaki)      |
| 6. Tinggi tulang pinggul | 12. Tebal paha                                  |

Gambar 2.16 menunjukkan bagian tubuh yang dilakukan pengukuran antropometri statis dengan posisi duduk. Terdapat 12 bagian tubuh yang dilakukan pengukuran yang mana data pengukuran tersebut dapat digunakan untuk dimensi produk maupun stasiun kerja sehingga stasiun kerja tersebut akan ergonomis dan manusia sebagai pengguna stasiun kerja akan terhindar dari beberapa penyakit akibat kerja.



Gambar 2.16 Pengukuran Antropometri Posisi Duduk (Tarwaka,2016)

Tabel 2.6, berikut merupakan data antropometri masyarakat Indonesia serta dimensinya menurut (Nurmianto, 2003) adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Data Antropometri Masyarakat Indonesia.

No.	Dimensi Tubuh	Persentil		
		5%	50%	95%
1.	Tinggi tubuh posisi berdiri tegak	1464,0	1597,5	1732,0
2.	Tinggi mata	1350,0	1483,0	1615,0
3.	Tinggi bahu	1184,0	1305,0	1429,0
4.	Tinggi siku	886,0	980,0	1074,0
5.	Tinggi genggam tangan pada posisi relaks ke bawah	646,0	713,0	782,0
6.	Tinggi badan pada posisi duduk	775,0	849,0	919,0
7.	Tinggi mata pada posisi duduk	666,0	735,0	804,0
8.	Tinggi bahu pada posisi duduk	501,0	561,0	621,0
9.	Tinggi siku pada posisi duduk	175,0	230,0	283,0
10.	Tebal paha	115,0	140,0	165,0
11.	jarak dari pantat ke lutut	488,0	541,0	590,0
12.	Jarak dari lipatan lutut ( <i>popliteal</i> ) ke pantat	405,0	493,5	586,0

Lanjutan Tabel 2.6

No.	Dimensi Tubuh	Persentil		
		5%	50%	95%
13.	Tinggi lutut	428,0	484,0	544,0
14.	Tinggi lipat lutut ( <i>popliteal</i> )	337,0	392,5	445,0
15.	Lebar bahu ( <i>bideltoid</i> )	342,0	404,5	466,0
16.	Lebar panggul	291,0	338,0	392,0
17.	Tebal dada	174,0	220,0	278,0
18.	Tebal perut ( <i>abdominal</i> )	174,0	229,5	287,0
19.	Jarak dari siku ke ujung jari	374,0	424,0	473,0
20.	Lebar kepala	135,0	148,0	160,0
21.	Panjang tangan	153,0	172,0	191,0
22.	Lebar tangan	64,0	75,0	87,0
23.	Jarak bentang dari ujung jari tangan kiri ke kanan	1400,0	1593,0	1806,0
25.	Tinggi pegangan tangan ( <i>grip</i> ) pada posisi tangan 40system40y ke atas dan duduk	945,0	1099,5	1273,0
26.	Jarak genggam tangan ( <i>grip</i> ) ke punggung pada posisi tangan ke depan	610,0	684,5	767,0

Sumber: Nurmianto,2003

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Pada subbab ini akan ditampilkan beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan studi kasus penerapan QFD dan DFM.

### 2.9.1 Penelitian terdahulu tentang *Multi-Layer* QFD

Penelitian yang dilakukan oleh Duru et al., (2013) tentang *Multi-layer* QFD approach for improving the compromised quality satisfaction under the agency. Tujuan dari penelitian dalah untuk meningkatkan metode QFD dengan

memanfaatkan persyaratan dari pelanggan dan penyedia layanan. Desain *Multi-layer* QFD diusulkan untuk mengumpulkan tanggapan dari pelanggan dan penyedia layanan untuk memastikan kepuasan semua pihak termasuk kelayakan finansial dari perbaikan yang dimaksudkan. Penerapan QFD didasarkan pada klasifikasi teknis produk pada peningkatan desain dengan memanfaatkan rincian teknis yang tepat. Bagian terakhir dari QFD adalah definisi tujuan teknis untuk produk oleh para engineer atau ahli yang terkait.

Di sisi lain, QFD mengabaikan kepuasan dari produsen. Hal ini dianggap hanya dipertimbangkan oleh para ahli dalam menentukan tujuan teknis. Bagian QFD ini tidak diperhitungkan dalam pengaturan prosedur. Oleh karena itu QFD mengandalkan kepuasan pelanggan dan tidak mempertimbangkan praktik dan kelayakan secara mendalam.

Metode QFD tradisional hanya mengevaluasi hubungan antara persyaratan pelanggan dan respons teknis, *Multy-layer* QFD menyelidiki hubungan antara persyaratan pelanggan dan persyaratan produsen/penyedia layanan, persyaratan pelanggan dan respons teknis, persyaratan pabrikan/penyedia layanan, dan respons teknis. *Multy-layer* QFD tidak hanya memuaskan pelanggan, tetapi juga mempertimbangkan produsen/penyedia layanan.

Penilaian QFD secara umum tergantung pada efisiensi kepuasan bagi kedua belah pihak yang berkontribusi pada bisnis yang dimaksud. Dalam bisnis praktis, perbedaan antara perspektif para pihak mengacu pada “konflik kepentingan.” Penilaian *multi-layer* QFD merekomendasikan desain khusus di antara sampel yang dipilih dan juga menyajikan beberapa saran teknis untuk prospek masa depan.

### **2.9.2 Penelitian terdahulu tentang DFM**

Prasad et al., (2014) melakukan penelitian dengan judul *Design for Manufacturing (DFM) approach for Productivity Improvement in Medical Equipment Manufacturing*. Penelitian ini menyajikan pendekatan DFM untuk peningkatan produktivitas peralatan Kesehatan yaitu CARDIART 108T DIGI hal ini dilakukan agar perusahaan tetap dapat berkompetisi pada era *modern mass production industry*. Penggunaan DFM secara simultan mempertimbangkan *design goals* dan batasan manufaktur untuk mengidentifikasi masalah manufaktur pada

proses desain sehingga mengurangi waktu tunggu untuk pengembangan produk dan meningkatkan kualitas produk.

Adapun masalah yang sedang terjadi pada proses manufakturing peralatan Kesehatan ini antara lain, *low productivity*, alat yang telah usang dan masalah kualitas serta biaya produksi yang tinggi. Setelah dilakukan penelitian dengan menggunakan pendekatan DFM maka diperoleh hasil bahwa pendekatan DFM dapat mengurangi waktu produksi sebesar 75% dan biaya produksi sebesar 8% serta peningkatan pada bidang pengiriman yang mana perusahaan dapat mengeksekusi pesanan massal sebanyak 1000 hingga 1500 unit per bulan tanpa adanya investasi tambahan. Selain hasil yang telah disebutkan, penelitian ini juga memberikan ide tentang bagaimana kompleksitas manufaktur dan biaya dapat dikurangi pada tahap desain awal.

### **2.9.3 Penelitian terdahulu tentang QFD dan DFM**

Penelitian tentang *QFD and DFMA application on an oil/water separation product* dilakukan oleh Lu & Zhang, (2012) membahas mengenai alat separator inovatif (Wx-12) untuk industri minyak dan gas yang dibuat oleh *Caltec Ltd.* yang bertujuan untuk memudahkan proses pemisahan air dalam minyak mentah. Perangkat tersebut telah diuji pada *platform* lepas pantai dan telah menunjukkan kinerja tinggi. Akan tetapi biaya yang ditimbulkan dari pembuatan alat tersebut terlalu tinggi sehingga tidak mungkin diterima pasar. Perusahaan tersebut bermaksud mengembangkan produk tersebut menjadi produk yang dapat diterima pasar, maka dari itu digunakan metode QFD untuk mengubah *user requirement* menjadi spesifikasi Teknik. Sebuah desain alternatif Wx-12 dihasilkan sesuai dengan hasil dari QFD, DFA dan DFM.

Berikut merupakan ringkasan dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan metode QFD, *Multi-layer* QFD serta DFM dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2. 5 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Tujuan	Metode
1.	<i>Multi-Layer QFD Approach for Improving The Compromised Quality Satisfaction Under The Agency Problem</i> (Duru et al., 2013)	Untuk meningkatkan metode QFD dengan memanfaatkan persyaratan dari pelanggan dan penyedia layanan,	<i>Fuzzy sets and triangular fuzzy numbers (TFNs), Fuzzy AHP method dan Multi-Layer QFD</i>
2.	Pengembangan Metodologi Desain <i>Product Service System</i> (PSS) dengan Menggunakan QFD <i>Multi-layer</i> di Perusahaan Karoseri (Zaman et al., 2016)	Mengembangkan metode desain PSS berdasarkan perspektif pelanggan dan perusahaan.	<i>Product Service System dan Multi-layer QFD</i>
3	<i>Futuristic Airport: A Sustainable Airport Design by Integrating Hesitant Sustainable Quality Function Deployment</i> (Kayapinar Kaya & Erginel, 2020)	Untuk menyajikan pendekatan baru yang mengintegrasikan <i>Hesitant Fuzzy SWARA</i> dan <i>Fuzzy Hesitant</i> berkelanjutan serta metode QFD untuk meningkatkan kualitas bandara berkelanjutan	<i>SWARA, Hesitant Fuzzy, serta QFD</i>
4.	<i>Design for Manufacturing (DFM) Approach for Productivity Improvement in Medical Equipment Manufacturing</i> (Prasad et al., 2014)	Menerapkan pendekatan DFM untuk proses dan <i>product improvement</i> peralatan medis (ECG <i>device</i> )	<i>Design for Manufacturing (DFM)</i>
5.	<i>QFD &amp; DFMA Application on An Oil/Water separation product</i> (Lu & Zhang, 2012)	Untuk mengembangkan produk Wx-12 agar dapat diterima pasar	QFD, DFA dan DFM

#### 2.9.4 Penelitian Terdahulu tentang Fasilitas Kereta Api

Cahyaditha & Tambunan, (2013) melakukan penelitian tentang perbaikan fasilitas penumpang kereta api dengan pendekatan ergonomi makro. Penelitian ini dilakukan pada salah satu Stasiun besar yang terdapat di kota Medan dan berfokus pada obyek fasilitas kemudahan naik/turun penumpang kereta api. Hal-hal yang melatar belakang penelitian ini adalah adanya fenomena kesulitan penumpang dalam menaiki dan menuruni kereta dikarenakan tidak memadainya fasilitas tangga sebagai alat bantu penumpang naik dan turun kereta. Selain itu, petugas yang membantu mengoperasikan tangga pembantu tidak tersedia, sehingga penumpang kesulitan untuk naik dan turun tangga. Penelitian tersebut bertujuan untuk memberikan kemudahan kepada penumpang pada Stasiun X dalam menaiki dan menuruni kereta api.

Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini adalah metode *Macroergonomy and Analysis Design* (MEAD) serta menggunakan pedoman PM No. 9 Tahun 2011 tentang Standart Pelayanan Minimum (SPM) untuk angkutan orang dengan kereta api.

Penelitian mengenai *redesign* tangga serta fasilitas penumpang kereta api telah banyak dibahas dan dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Berikut beberapa penelitian terkait *redesign* tangga ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 6 Ringkasan penelitian terdahulu terkait tangga dan fasilitas penumpang Kereta Api

No.	Judul	Tujuan	Metode
1.	<i>Development of an integrated staircase lift for home access</i> (Mattie et al., 2015)	Mengembangkan solusi akses rumah inklusif baru yang mengintegrasikan tangga dan <i>lift</i> ke dalam satu perangkat	<i>Rehabilitation Engineering Design Method</i>

Lanjutan Tabel 2.8

No.	Judul	Tujuan	Metode
2.	<p><i>Improvement of Staircases Vibration Serviceability to Human Ergonomics: A Case Study.</i> (Andrade et al., 2020)</p>	<p>Meningkatkan <i>vibration serviceability</i> pada tangga baja berfrekuensi rendah</p>	<p>Menggunakan enam langkah perbaikan dibandingkan dengan SCI P354 serta <i>Finite Element (FE) Software SAP 2000</i></p>
3.	<p><i>Ergonomics Aspects of the Architectural Design of the Staircase in Universitas Airlangga Public Health Faculty Building, Surabaya</i> (Ningrum &amp; Haqi, 2020)</p>	<p>Untuk menganalisis aspek ergonomic dari desain arsitektural tangga</p>	<p>Menggunakan <i>cross-sectional design</i> dengan analisis deskriptif</p>
4.	<p><i>Full-scale test and finite element analysis of a wooden spiral staircase</i> (Pousette, 2013)</p>	<p>Untuk menganalisis tangga spiral kayu dan menginvestigasi kesepakatan antara hasil perhitungan dengan hasil pengujian tangga</p>	<p><i>Full-Scale Test</i> dengan menggunakan <i>Load Test</i> dengan <i>hydraulic system on the floor</i> dan <i>hydraulic cylinder</i></p>
5.	<p>Redesain Fasilitas Tangga Sebagai Evaluasi Ergonomi dengan Kerangka IDEAS dan Analisis <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i> pada Objek Wisata Muria Kudus (Prastawa et al., 2018)</p>	<p>Untuk upaya evaluasi ergonomi terhadap kondisi tangga pada obyek wisata Muria Kudus</p>	<p><i>Identify Design Evaluated Adopt Sustain (IDEAS)</i> serta <i>Posture Evaluation Index</i></p>
6.	<p>Perancangan Kursi Tangga Menggunakan Metode <i>Quality Function Deployment</i> (Sugianto et al., 2020)</p>	<p>Merancang kursi tangga yang memiliki multi fungsi</p>	<p><i>Metode Quality Function Deployment (QFD)</i></p>

Lanjutan Tabel 2.8

No.	Judul	Tujuan	Metode
7.	Perbaikan Fasilitas Penumpang Kereta Api pada Stasiun X dengan Pendekatan Ergonomi Makro(Cahyaditha et al., 2013)	Untuk memberikan kemudahan kepada penumpang diStasiun X dalam menaiki dan menuruni kereta api	<i>Macroergonomy and Analysis Design (MEAD)</i>
8.	Studi Kepuasan Penumpang Kereta Api Kamandakan (Mulatsih & Sulistyowati, 2016)	Untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kepuasan penumpang kereta api Kamandaka	Uji hipotesis dengan teknik Analisa SPSS

### 2.10 Posisi Penelitian (*Research Gap*)

Untuk melihat adanya perbedaan pada penelitian ini dengan beberapa penelitian terdahulu maka dapat dilihat pada Tabel 2.9 yang menunjukkan adanya *gap* antara penelitian ini dengan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu,

Tabel 2. 7 Research Gap

No.	Peneliti dan Tahun	Objek Penelitian	Fokus Tujuan	Metode						
				QFD		Multi-layer QFD		DFMA		
				Fase 1	4 Fase	Fase 1	Fase 2	DFM	DFA	
1.	Sugianto et al., (2020)	Kursi tangga	Merancang kursi tangga yang multifungsi	√						
2.	Duru et al., (2013)	<i>Shipping industry</i>	Untuk meningkatkan metode QFD dengan memanfaatkan persyaratan dari pelanggan dan penyedia layanan,			√				
3.	Zaman et al., (2016)	<i>Product Service System</i> pada perusahaan Karoseri	Mengembangkan metode desain PSS berdasarkan perspektif pelanggan dan perusahaan.			√				

Lanjutan Tabel 2.9

No.	Peneliti dan Tahun	Objek Penelitian	Fokus Tujuan	Metode					
				QFD		Multi-layer QFD		DFMA	
				Fase 1	4 Fase	Fase 1	Fase 2	DFM	DFA
4.	Lu & Zhang, (2012)	<i>Oil/water separation product</i>	Mengembangkan produk alat pemisah air dan minyak agar dapat diterima pasar	√				√	√
5.	Kayapinar Kaya & Erginel, (2020)	Bandara yang berkelanjutan	Menyajikan pendekatan baru yang mengintegrasikan beberapa metode	√					
6.	Ginting et al., (2013)	Produk saklar	Mengevaluasi desain produk yang ada dengan menggunakan konsep integrasi QFD dan DFMA	√				√	√

Lanjutan Tabel 2.9

No.	Peneliti dan Tahun	Objek Penelitian	Fokus Tujuan	Metode						
				QFD		Multi-layer QFD		DFMA		
				Fase 1	4 Fase	Fase 1	Fase 2	DFM	DFA	
7.	Tutuhaturunewa, (2015)	Kualitas air minum dalam kemasan Aiso	Menentukan atribut-atribut sebagai landasan upaya perbaikan produk air minum dalam kemasan	√						
8.	Adriantantri, (2018)	Kualitas produk Aqua gelas 240 ml	Menghasilkan usulan strategi untuk meningkatkan kualitas layanan	√						
9.	Ginting & Indi, (2019)	Pakaian pelindung dingin	Melakukan perancangan produk yang lebih sederhana	√				√		
10.	Trenggonowati et al., (2013)	Produk dengan proses	Memberikan <i>deployment customer requirement</i> untuk mempertimbangkan tidak		√					

Lanjutan Tabel 2.9

No.	Peneliti dan Tahun	Objek Penelitian	Fokus Tujuan	Metode					
				QFD		Multi-layer QFD		DFMA	
				Fase 1	4 Fase	Fase 1	Fase 2	DFM	DFA
		manufaktur cukup kompleks	hanya pada faktor kualitas saja tetapi juga pada faktor waktu dan biaya dalam mengembangkan sebuah produk.						
11.	Penelitian saat ini, (2021)	Tangga/bancik untuk akses naik dan turun penumpang kereta api	Melakukan <i>redesign</i> pada tangga/bancik kereta api dengan mempertimbangkan <i>voice of customer dan producer</i>			√	√	√	

*Research gap* yang membedakan penelitian saat ini dengan penelitian-penelitian terdahulu adalah pada penelitian saat ini fokus pada proses redesign tangga kereta api/bancik. Selain itu, metode yang digunakan adalah pengembananan dari metode QFD tradisional yaitu Multi-layer QFD yang selanjutnya diintegrasikan dengan metode DFM untuk mendapat produk tangga *redesign* yang efektif serta sesuai dengan kebutuhan konsumen maupun penyedia jasa.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

Metodologi penelitian merupakan landasan atau acuan agar proses penelitian berjalan secara sistematis, terstruktur dan terarah. Metodologi penelitian merupakan tahapan-tahapan proses penelitian atau urutan langkah-langkah yang harus dilakukan oleh peneliti dalam melakukan penelitian. Pada bab ini dibahas mengenai tahap penelitian hingga diperoleh kesimpulan

Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut (Gambar 3.3):

#### **3.1 Perencanaan Produk (*Product Planning*) dengan *Multi-layer* QFD fase 1**

##### **3.1.1 Identifikasi Kebutuhan Penumpang dan Pihak KAI**

Pengambilan data dilakukan dengan pengamatan langsung, pengambilan kuesioner kepada pelanggan serta wawancara dengan pihak KAI terkait kondisi terkini fasilitas tangga/bancik sebagai alat bantu penumpang naik dan turun gerbong.

Menurut Sugiyono, (2015), sampel dalam penelitian minimal adalah 30 sampel, maka dari itu pada penelitian ini penyebaran kuesioner dilakukan pada 50 penumpang kereta api dengan mempertimbangkan teknik *convenience sampling*. Survei dilakukan untuk mengetahui pendapat serta kebutuhan terkait dengan fasilitas tangga/bancik kereta api. Pertanyaan kuesioner dirancang dengan bahasa pelanggan yang mana dapat menunjukkan *what* (kebutuhan pelanggan). Pada penelitian ini menggunakan pendekatan metode *Multi-layer* QFD sehingga mempertimbangkan pendapat pihak KAI sebagai penyedia layanan. Oleh karena itu, dilakukan survei di dua lokasi stasiun yang berada di Kabupaten Tulungagung yang mana kuesioner ditujukan kepada Kepala Stasiun serta pihak KAI bidang fasilitas yang berhubungan langsung dengan pengadaan fasilitas tangga/bancik.

### 3.1.2 Penentuan bobot tingkat prioritas dengan Fuzzy AHP

Proses *Fuzzy* AHP dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai bobot tingkat prioritas pada masing-masing variabel kebutuhan penumpang kereta api dan pihak KAI. Data dikumpulkan dengan menggunakan kuesioner yang diberikan kepada penumpang kereta api serta pihak KAI. Dari kuesioner diperoleh kebutuhan dan pendapat penumpang kereta api serta pihak KAI selanjutnya diatur dan dikelompokkan menggunakan diagram afinitas yaitu mengorganisir pendapat serta kebutuhan sesuai dengan klasifikasinya. Kemudian menentukan peringkat kepentingan dari kebutuhan yang diidentifikasi dengan menggunakan pendekatan *Fuzzy* AHP, semua informasi yang diperoleh selanjutnya dimasukkan pada *House of Quality* (HoQ) atau Fase 1 dari QFD

### 3.1.3 Formulasi respon teknis pada QFD fase 1

Selanjutnya, masuk ke fase 1 dari QFD (Gambar 3.1) dengan tahap sebagai berikut:

- a. Mengadopsi *what* yang telah dilengkapi dengan nilai bobot tingkat prioritas pada masing-masing variabel kebutuhannya yang diperoleh dari tahap ke 3.
- b. Menentukan *how* (persyaratan teknis) berupa langkah-langkah yang diambil oleh pihak KAI terkait tangga/bancik.
- c. Kemudian mengembangkan matriks hubungan antara *what* dan *how* dengan 4 level yaitu *strong* (●); *moderate* (○), *low* (▽); dan *no relationship* (∅) dengan skala 9-5-1 (untuk nilai maksimal per kolom).
- d. Selanjutnya, menentukan matriks korelasi yaitu ukuran hubungan tiap *how* (persyaratan teknis) dan seberapa berpengaruh antar tiap persyaratan teknis. Disimbolkan dengan 5 skala yaitu *strong positive correlation* (++) , *positive correlation* (+), *no correlation* (∅), *negative correlation* (-), *strong negative correlation* (—).

- e. Langkah selanjutnya yaitu mengevaluasi setiap persyaratan teknis dengan menentukan satuan pengukuran dan target (*part specification, column weight* dan target spesifikasi yang ingin dicapai pada proses pengembangan produk tersebut) serta menetapkan kepentingan absolut dan relatif pada tiap persyaratan teknis.
- f. *Benchmarking* dilakukan oleh pihak KAI dengan menentukan konsentrasi respon teknis serta membandingkan dengan produk sejenis dalam hal ini desain tangga/bancik lama.

Hal-hal yang dilakukan pada suara penumpang kereta api tersebut juga dilakukan pada hasil survei terhadap suara pihak KAI. Selanjutnya, dilakukan *cross-synthesis analysis* untuk menyelesaikan konflik yang muncul pada hasil HoQ antara pelanggan dan penyedia layanan. Matriks hubungan antara persyaratan ini membuktikan resolusi yang berkorelasi dan saling mendukung atau berlawanan. *Synthesis* diselesaikan dengan merata-rata peringkat relatif suatu pihak dan kepentingan relatif yang disimpulkan pihak lawan. Kemudian untuk melengkapi HoQ kombinasi dari dua perspektif dibutuhkan *feedback* dari *expert consultation* (Huang et al., 2020).

Kebutuhan Penumpang		Relative weight (bobot FAHP)	Pemilihan bahan baku	Desain yang ergonomis	Dilengkapi safety line	Dilengkapi pegangan	Dilengkapi pengunci	Permukaan tangga kasar	Total
	Tangga nyaman digunakan								
Tangga mudah dipasang									
Tangga kokoh									
Tangga Ringan									
Total									
Relative weight (bobot FAHP)									

Gambar 3.1 Contoh QFD Fase I

### 3.2 Perencanaan Komponen (*Part Planning*) dengan QFD fase 2

Persyaratan teknis serta target karakteristik komponen yang diperoleh dari HoQ kombinasi fase 1 pada pengukuran dan target. Berdasarkan persyaratan teknis dan karakteristik komponen dapat diperoleh karakteristik proses dari tangga/bancik desain baru. Pada tahap ini juga dilakukan analisis terhadap hubungan antara karakteristik proses dengan persyaratan teknis. *Part deployment* juga berbentuk rumah dan disebut dengan HoQ ke 2. Pada tahap ini juga mempertimbangkan antropometri masyarakat Indonesia sehingga desain tangga/bancik baru menjadi ergonomis. Dimensi tubuh yang akan digunakan untuk pertimbangan ukuran tangga/bancik kereta api (Tabel 3.1) antara lain:

Tabel 3. 1 Dimensi Tubuh yang Digunakan Sesuai Data Antropometri

No	Dimensi Tubuh	Bagian Tangga Kereta Api	Kode	Persentil
1.	Panjang Kaki	Lebar pijakan tangga	D30	95
2.	Lebar bahu	Panjang pijakan tangga	D18	95
3.	Tinggi lipat lutut	Jarak antar anak tangga	D16	5
4.	Tinggi siku posisi berdiri	Tinggi pegangan/ <i>handrail</i>	D4	5

Dimensi tubuh yang terpilih (nomer 1-3) pada Tabel 3.1 berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Hicks et al., 2013). Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa panjang pijakan tangga digunakan dimensi tubuh persentil 50 dari lebar bahu laki-laki, dan untuk lebar pijakan (*tread depth*) menggunakan dimensi tubuh persentil 95 panjang kaki laki-laki sementara untuk jarak antar anak tangga menggunakan persentil 5 tinggi lipat lutut/*popliteal* wanita.

Sedangkan untuk tinggi pegangan tangga/*handrail* menggunakan data dimensi tubuh tinggi siku pada saat posisi berdiri, data ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Hisham et al., 2014).

Tabel 3.1 menggunakan referensi yang telah disebutkan hanya untuk menentukan jenis dimensi tubuhnya, sementara untuk angka atau ukurannya, pada penelitian ini mempertimbangkan dimensi antropometri masyarakat Indonesia yang terdapat dalam *Antropometri Indonesia* .

	Relative Weight	Menentukan dimensi tangga (a x b x c)	Menggunakan plat bordes	Memilih pengunci yang sesuai	Memilih besi tabung yang ringan	Menggunakan sambungan standar	Total
Pemilihan bahan baku							
Desain yang ergonomis							
Dilengkapi dengan <i>safety line</i>							
Dilengkapi pegangan							
Dilengkapi pengunci							
Permukaan tangga kasar							
Total							
Relative Weight							

Gambar 3.2 Contoh QFD Fase II

### 3.3 Perencanaan Proses (*Process Planning*) dengan DFM

DFM merupakan salah satu metode perencanaan produk yang bertujuan untuk mengurangi biaya manufaktur. Tahap *part deployment* menghasilkan alternatif konsep desain tangga/bancik baru yang mempertimbangkan antropometri

masyarakat Indonesia. *Output* tersebut menjadi *input* dalam tahap DFM. Dengan menggunakan DFM maka tangga/bancik yang dihasilkan akan sesuai dengan kebutuhan penumpang dan pihak KAI yang fokus pada efisiensi dengan tetap mengutamakan fungsi dari tangga/bancik yang akan dilakukan *redesign*. Pada DFM terdapat beberapa langkah yaitu:

1. Memperkirakan biaya manufaktur, dengan spesifikasi komponen yang diperoleh pada tahap *part deployment* maka dapat diperkirakan biaya manufaktur pada produksi tangga/bancik baru.
2. Mengurangi biaya komponen, karena spesifikasi komponen, *column weight* dan target pada tahap sebelumnya maka dapat merancang ulang komponen dengan meminimalisir jumlah komponen yang digunakan pada produksi tangga/bancik baru.
3. Mengurangi biaya pendukung produksi, karena karakteristik proses produk sudah ditentukan, maka dapat dilakukan minimisasi kerumitan sistemik pada produk tangga/bancik baru
4. Analisa buat atau beli, analisa ini dapat menekan biaya produksi. Karena target karakteristik komponen sudah ditentukan maka dapat diputuskan kegiatan buat atau beli pada tiap komponen tangga/bancik baru.

Sementara itu, untuk mencapai langkah tersebut di atas diperlukan adanya aturan yang harus dilaksanakan, meliputi:

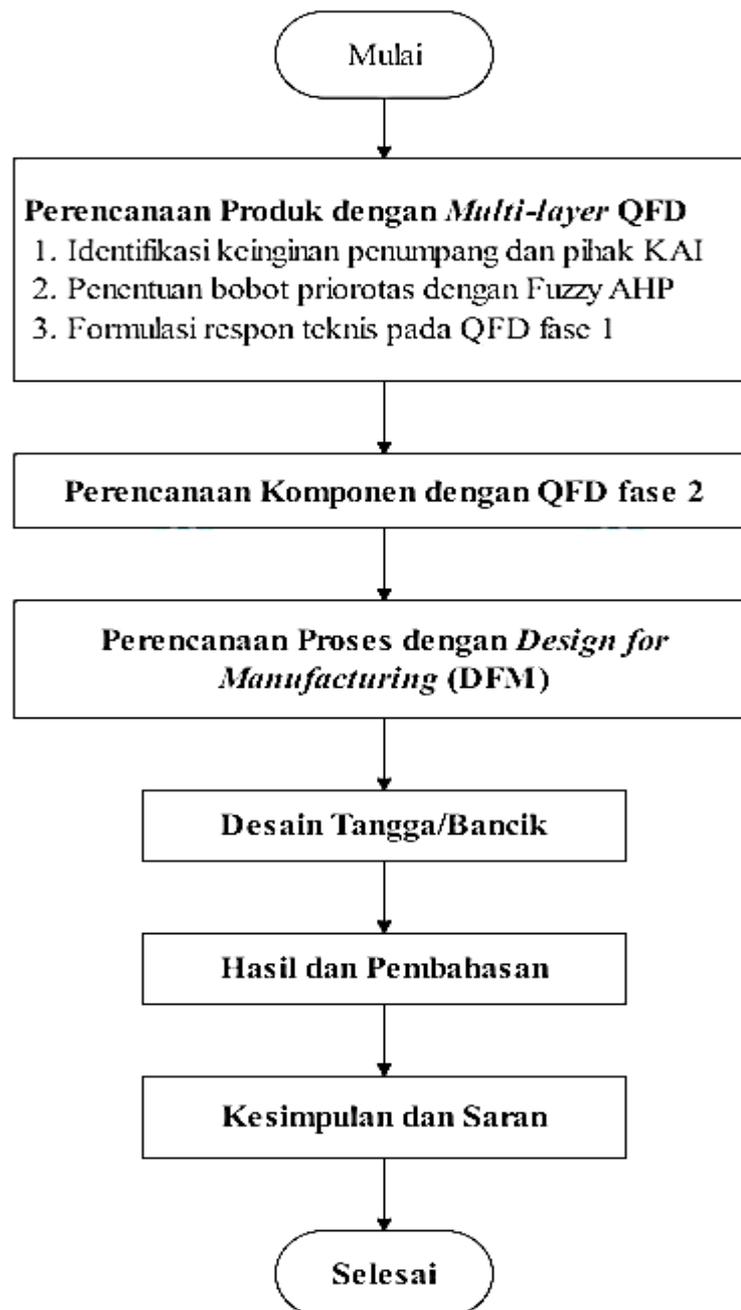
1. Membuat desain tangga/bancik yang mempertimbangkan kemudahan fabrikasi, dilakukan dengan memilih kombinasi yang optimal antara bahan dan proses fabrikasi.

### **3.4 Kesimpulan dan Saran**

Setelah melakukan analisis secara menyeluruh maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Selanjutnya penulis dapat memberikan saran kepada perusahaan sebagai tindak lanjut dari kesimpulan yang diperoleh.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Pada sub bab ini akan membahas tentang tahapan-tahapan penelitian yang dipaparkan dalam bentuk diagram alir penelitian seperti pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada penelitian ini, dilakukan pengumpulan data-data yang akan digunakan dalam perancangan desain tangga/bancik yang baru. Data tersebut diperoleh melalui wawancara langsung kepada para operator, serta menyebarkan pertanyaan berupa kuesioner.

#### **4.1 Pengumpulan Data Perencanaan Produk (*Product Planning*)**

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan pengumpulan data-data yang akan digunakan dalam *redesign* tangga/bancik kereta api. Data tersebut diperoleh melalui wawancara langsung kepada pihak KAI serta melakukan penyebaran pertanyaan kepada penumpang berupa kuesioner. Adapun data-data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut:

##### **4.1.1 Identifikasi Kebutuhan Penumpang dan Pihak KAI**

Identifikasi kebutuhan pengguna bertujuan untuk mengetahui pengguna dari tangga/bancik kereta api yaitu pihak KAI sebagai penyedia layanan serta pihak penumpang sebagai pengguna langsung yang memanfaatkan tangga/bancik. Identifikasi ini dilakukan dengan dua metode yaitu wawancara dan kuesioner baik dengan pihak KAI maupun penumpang kereta api.

Wawancara dilakukan kepada Kepala Stasiun yaitu Stasiun Sumbergempol dan Stasiun Tulungagung pada tanggal 5 Mei 2021 dengan tujuan untuk mengetahui kebutuhan dan harapan pihak KAI terhadap desain tangga baru. Daftar pertanyaan wawancara dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Daftar Pertanyaan Wawancara untuk Pihak KAI

No	Pertanyaan
1	Bagaimana kondisi akses penumpang untuk naik dan turun gerbong?
2	Apakah terdapat keluhan penumpang terkait akses naik dan turun gerbong?
3	Apakah pernah terjadi penumpang terjatuh saat menuruni gerbong kereta?
4	Bagaimana kondisi peron di stasiun?
5	Bagaimana kondisi tangga saat ini?
6	Apakah ada usulan terkait <i>improvement</i> yang diperlukan pada akses tangga/bancik
7	Apakah memungkinkan jika dilakukan penggantian tangga lama ke tangga portable dan ringan?
8	Apakah jumlah tangga yang saat ini tersedia sudah mencukupi?
9	Bagaimana jika terdapat <i>improvement</i> pada tangga kereta yang dapat dimasukkan ke dalam gerbong?
10	Apakah pernah dilakukan perbaikan terhadap desain tangga kereta api?

Daftar pertanyaan wawancara kepada penumpang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Wawancara dilakukan pada tanggal 5 Mei 2021 kepada penumpang kereta api yang berada di stasiun Tulungagung. Tujuan dari wawancara tersebut adalah mengetahui pendapat dan harapan penumpang terhadap tangga sebagai alat bantu penumpang untuk menaiki dan menuruni gerbong.

Tabel 4.2 Daftar Pertanyaan Wawancara untuk Pihak Penumpang

No	Pertanyaan
1	Apakah fasilitas di kereta nyaman digunakan?
2	Bagaimana akses untuk menaiki dan menuruni gerbong?
3	Apakah terdapat keluhan dari penumpang tentang fasilitas alat bantu untuk menaiki dan menuruni gerbong?
4	Tangga yang saat ini tersedia apakah sudah cukup nyaman digunakan?

Lanjutan Tabel 4.2

No	Pertanyaan
5	Bagaimana dengan jumlah dan kondisi tangga saat ini? Apakah perlu adanya penambahan atau perbaikan?
6	Jika dilakukan <i>redesign</i> pada tangga/bancik, apakah penumpang setuju?
7	Apakah terdapat usulan perbaikan terhadap tangga saat ini?
8	Bagaimana pendapat penumpang jika tangga kereta dapat masuk ke dalam gerbong?

Pertanyaan kuesioner yang ditujukan kepada petugas KAI dibuat berdasarkan literatur serta hasil wawancara. Kriteria-kriteria pada kuesioner tersebut diperoleh dari studi literatur dan studi lapangan yang mana telah melalui diskusi dengan pihak KAI yaitu kepala stasiun. Sehingga dihasilkan beberapa pertanyaan untuk mengetahui kebutuhan pihak KAI terhadap tangga akses naik dan turun penumpang yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Sebelum dilakukan penyebaran kuesioner baik untuk petugas KAI maupun penumpang, dilakukan diskusi dan validasi dengan Kepala stasiun dan 5 orang penumpang. Hal ini bertujuan untuk memastikan responden dapat memahami kuesioner yang telah dibuat serta untuk memastikan bahwa pertanyaan mampu memunculkan kebutuhan pihak KAI dan penumpang terhadap tangga/bancik.

Tabel 4.3 Pertanyaan Kuesioner untuk Pihak KAI

No	Pertanyaan	Referensi
1	Model tangga baru seperti apa yang Bapak/Ibu inginkan	
2	Material/bahan yang sesuai untuk bancik sehingga tangga lebih kokoh dan nyaman digunakan	Hasil diskusi dengan pihak KAI

Lanjutan Tabel 4.3

No	Pertanyaan	Referensi
3	Fitur tambahan apa yang Bapak/Ibu inginkan pada tangga baru	(Andrade et al., 2020)
4	Ukuran tangga baru seperti apa yang Bapak/Ibu inginkan	(Ningrum & Haqi, 2020)
5	Saran Bapak/Ibu untuk meningkatkan kualitas tangga baru	Hasil diskusi dengan pihak KAI
6	Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	Hasil diskusi dengan pihak KAI
7	Tangga ringan	Hasil diskusi dengan pihak KAI
8	Tangga kokoh	Hasil diskusi dengan pihak KAI
9	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	(Cohen & D, 2017)
9	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	(Susanti et al., 2018)
10	Tangga dapat dilipat	Penulis
11	Tangga dapat masuk ke gerbong kereta api	Penulis
12	Tangga dapat dibuka dan dilipat dengan lancar	Penulis
13	Sambungan las pada tangga tidak mudah lepas	Hasil diskusi dengan pihak KAI
14	Anak tangga tidak mudah memuai	Hasil diskusi dengan pihak KAI
15	Warna cat pada tangga tidak memudar	Hasil diskusi dengan pihak KAI
16	Tangga tidak mudah berkarat	Hasil diskusi dengan pihak KAI
17	Tangga berwarna selain hitam	Penulis
18	<i>Safety line</i> terlihat jelas	(Susanti et al., 2018)

Sedangkan pertanyaan untuk pihak penumpang dapat dilihat pada Tabel 4.4  
Tabel 4.4 Daftar Pertanyaan Kuesioner untuk Pihak Penumpang

No	Pertanyaan	Referensi
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	Hasil diskusi dengan penumpang
2	Tangga tidak licin	Hasil diskusi dengan penumpang
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang	(Ningrum & Haqi, 2020)
4	Tangga kokoh	Hasil diskusi dengan penumpang
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	(Cohen & D, 2017)
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	(Susanti et al., 2018)
7	Ketepatan posisi tangga di pintu gerbong	Hasil diskusi dengan penumpang
8	Tangga lebar muat untuk penumpang dan barang bawaan	(Ningrum & Haqi, 2020)
9	Anak tangga tidak mudah memuai	Hasil diskusi dengan pihak KAI
10	Tangga berwarna selain hitam	Penulis
11	<i>Safety line</i> terlihat jelas	(Susanti et al., 2018)

Kuesioner dibagikan kepada para petugas KAI yang memiliki tugas/bertanggung jawab terkait dengan penggunaan maupun pengadaan tangga. Penyebaran kuesioner dilakukan di dua stasiun yang ada di Kabupaten Tulungagung yaitu Stasiun Sumbergempol (DAOP 7) dan Tulungagung (DAOP 8) pada Tanggal 3 November 2021. Sebanyak 20 responden telah bersedia untuk mengisi kuesioner, Deskripsi responden dari pihak KAI dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Pada saat pengisian kuesioner, meskipun kuesioner diisi secara online melalui *google form* akan tetapi dalam pengisiannya didampingi langsung oleh penulis dengan responden tetap berada di bagian kerja masing-masing. Hal ini dimaksudkan agar responden dapat mengisi kuesioner dengan benar dan jika terdapat pertanyaan dari responden terkait kuesioner maka responden dapat menanyakan langsung pada penulis. Dengan perbedaan daerah operasi tersebut diharapkan info terkait kondisi dan kendala di lapangan lebih variatif, sehingga lebih luas cakupan informasi terkait kebutuhan pihak KAI terhadap tangga/bancik. Berikut tabel persebaran responden pihak KAI.

Tabel 4.5 Persebaran responden pihak KAI

No	Jabatan	JumlahTotal	DAOP 7	DAOP 8
1.	Kepala stasiun	2	√	
2.	Wakil Kepala stasiun	1	√	
3.	Operator PJL (Perlintasan Jalan)	7	√	
4.	Kondektur	2	√	√
5.	PPKA (Pemimpin Perjalanan Kereta Api)	3	√	√
6.	Operator KPJR (Kereta Perawatan Jalan Rel)	1	√	
7.	Pelaksana	1	√	
8.	Security	3	√	

Pendapat pihak KAI terhadap tangga/bancik yang saat ini tersedia di tiap stasiun yang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Keterangan:

STP : Sangat Tidak Puas

- TP : Tidak Puas  
 C : Cukup Puas  
 P : Puas  
 SP : Sangat Puas

Tabel 4.6 Pendapat pihak KAI terhadap Tangga Saat ini Tersedia di stasiun

No	Kriteria	Pendapat				
		STP	TP	C	P	SP
1	Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	1	3	9	6	1
2	Tangga ringan	1	8	6	5	0
3	Tangga kokoh	1	2	8	7	2
4	Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0	1	12	5	2
5	Tangga dilengkapi <i>safety line</i>	0	3	10	6	1
6	Tangga dapat dilipat	10	6	4	0	0
7	Tangga <i>include</i> gerbong	8	6	3	0	0
8	Tangga mudah dibuka dan dilipat	6	8	6	0	0
9	Sambungan las tidak mudah lepas	2	3	10	4	1
10	Anak tangga tidak memuai	1	4	9	6	0
11	Warna cat tidak mudah pudar	1	2	13	3	1
12	Tangga tidak mudah berkarat	1	5	8	6	0
13	Tangga berwarna selain hitam	0	0	14	6	0
14	<i>Safety line</i> terlihat jelas	0	1	9	9	1

Berdasarkan data yang telah terkumpul, sebanyak 10 orang responden (50%) menyatakan bahwa sangat tidak puas terhadap pernyataan tangga dapat dilipat, hal ini didasarkan bahwa tangga/bancik yang saat ini tersedia tidak dapat dilipat. Selanjutnya, sebanyak 8 responden (40%) menyatakan tidak puas terhadap pernyataan tangga mudah dibuka dan dilipat. Sebanyak 14 responden (70%) menyatakan cukup puas terhadap warna cat pada tangga/bancik yang saat ini

tersedia. Sementara itu, 9 responden menyatakan puas terhadap *safety line* tangga/bancik yang saat ini tersedia dan 2 responden sangat puas terhadap kondisi tangga/bancik dilengkapi dengan *handrail* dan kondisi tangga yang kokoh.

Selain pendapat pihak KAI yang dapat dilihat pada Tabel 4.62, pihak KAI juga memberikan usulan ide terkait beberapa aspek perbaikan yang dibutuhkan pada *redesign* tangga/bancik. Usulan-usulan tersebut diberikan oleh petugas KAI dengan berbagai jabatan. Sehingga usulan tersebut tidak hanya diberikan oleh salah satu pihak dari KAI. Adapun usulan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7. Usulan tersebut antara lain:

Tabel 4.7 Usulan Perbaikan dari Pihak KAI

No.	Pertanyaan	Rangkuman Usulan	Pemberi usulan
1.	Model Tangga Baru	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga ringan, praktis dan mudah dibawa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operator PJL</li> <li>Wakil Kepala Stasiun</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga kuat dan bisa dilipat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kepala stasiun</li> <li><i>Security</i></li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga otomatis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operator KPJR</li> <li>Pelaksana</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga yang dapat menyesuaikan tinggi peron</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kepala Stasiun</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga yang mudah diarahkan ke pintu kereta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PPKA</li> </ul>
2.	Material Tangga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plat bordes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wakil kepala stasiun</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aluminium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Security</i></li> <li>PPKA</li> <li>Kepala stasiun</li> </ul>

Lanjutan Tabel 4.7

No.	Pertanyaan	Rangkuman Usulan	Pemberi usulan
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja ringan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PPKA</li> <li>PJL</li> <li>Kondektur</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Stainless steel</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PPKA</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Besi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operator KPJR</li> <li>Kepala stasiun</li> <li>PJL</li> </ul>
3.	Fitur Tambahan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga dapat dimasukkan ke gerbong</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wakil Kepala stasiun</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga dilengkapi dengan pegangan tangan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kepala stasiun</li> <li>PJL</li> <li>PPKA</li> <li><i>Security</i></li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tangga dilengkapi dengan roda yang lebih besar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kondektur</li> <li>PJL</li> <li>PPKA</li> </ul>
4.	Ukuran Tangga Baru	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran yang sesuai dengan pintu gerbong</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PPKA</li> <li>Pelaksana</li> <li><i>Security</i></li> <li>PJL</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran dapat menyesuaikan antara peron tinggi, sedang dan rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pelaksana</li> <li>Operator KPJR</li> <li>Kepala stasiun</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Jarak antar anak tangga tidak terlalu tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Security</i></li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Desain tangga minimalis, sederhana, aman, kuat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PPKA</li> </ul>

Lanjutan Tabel 4.7

No.	Pertanyaan	Rangkuman Usulan	Pemberi usulan
5	Saran	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ringan dan anti slip</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PJL</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pijakan kaki harus kokoh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelaksana</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semua gerbong kereta ada tangga otomatis untuk naik turun penumpang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operator KPJR</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ditambah pengunci pada roda agar lebih aman</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PPKA</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemilihan material harus dipikirkan agar tangga baru bisa ringan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kepala stasiun</li> <li>• PJL</li> <li>• PPKA</li> </ul>

Untuk mengetahui keinginan penumpang KAI maka dilakukan penyebaran kuesioner kepada 50 penumpang kereta api. Responden dipilih dengan metode *convenience sampling*. Sehingga penumpang yang berada di stasiun Sumbergempol dan Tulungagung yang bersedia mengisi kuesioner adalah yang menjadi responden pihak penumpang. Penyebaran kuesioner dilakukan kepada penumpang kereta dengan tujuan untuk mengetahui kebutuhan penumpang selaku konsumen atau pengguna tangga. Pengisian kuesioner didampingi oleh penulis dengan tujuan untuk meminimalisir kesalahan dalam pengisian kuesioner tersebut.

Dari 50 responden yang telah mengisi kuesioner kebutuhan penumpang 27 diantaranya merupakan penumpang dengan kisaran umur 25-35 tahun dengan frekuensi menggunakan transportasi kereta api beragam. Frekuensi paling banyak adalah penumpang dengan frekuensi 1-3 kali dalam satu bulan menggunakan transportasi kereta api, yaitu sebanyak 18 responden. Sebaran umur dan frekuensi penumpang menggunakan transportasi kereta api dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Persebaran Umur Responden Pihak Penumpang

No	Umur	Jumlah Responden (orang)	Presentase
1.	<15 Tahun	-	-
2.	16-25 Tahun	21	41,2%
3.	25-35 Tahun	27	52,9%
4.	36-45 Tahun	-	-
5.	>45 Tahun	3	5,9%

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa pada penelitian ini tidak terdapat responden dengan umur dibawah 15 tahun dan tidak terdapat responden yang mempunyai rentang usia antara 36-45 tahun. Sementara itu, berikut merupakan data frekuensi penumpang menggunakan alat transportasi kereta api.

Tabel 4.9 Frekuensi Penggunaan Alat Transportasi Kereta Api

No	Frekuensi	Jumlah Responden
1.	1-3 kali dalam satu minggu	4
2.	> 3 kali dalam satu minggu	1
3.	1-3 kali dalam satu bulan	19
4.	> 3 kali dalam satu bulan	10
5.	1-3 kali dalam satu tahun	16

Data terbanyak menunjukkan bahwa responden adalah penumpang yang menggunakan kereta api sebanyak 1-3 kali dalam satu bulan. Frekuensi ini dapat dikategorikan cukup sering memanfaatkan transportasi kereta api, hal ini dapat menggambarkan pendapat atau kebutuhan yang dikemukakan penumpang adalah sesuai dengan kondisi di lapangan.

Selanjutnya, untuk mempermudah pengelompokan penelitian tentang tangga/bancik baru yang akan didesain ulang, maka penulis mengajukan pertanyaan tentang pendapat pihak penumpang terhadap tangga/bancik yang saat ini tersedia di tiap stasiun yang dapat dilihat pada Tabel 4.10

Keterangan:

STP : Sangat Tidak Puas

TP : Tidak Puas

C : Cukup Puas

P : Puas

SP : Sangat Puas

Tabel 4.10 Pendapat Penumpang terhadap Tangga Saat Ini

No	Kriteria	Pendapat				
		STP	TP	C	P	SP
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	0	10	26	14	0
2	Tangga tidak licin	2	8	21	17	2
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan	2	9	18	18	3
4	Tangga kokoh	1	5	18	22	4
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	2	9	19	15	5
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	3	8	18	18	3
7	Ketepatan posisi tangga	3	18	16	12	1
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menentang barang bawaan)	5	11	20	14	0
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	2	5	19	22	2

Lanjutan Tabel 4.10

No	Kriteria	Pendapat				
		STP	TP	C	P	SP
10	Tangga berwarna selain hitam	3	3	20	21	3
11	<i>Safety line</i> terlihat jelas	2	10	17	16	5

#### 4.1.2 Identifikasi *Customer Need* (WHATs)

Kebutuhan pelanggan disebut dengan istilah *customer need* yang diperoleh dari *voice of customer* merupakan informasi yang berasal dari pelanggan berupa informasi umum yang mana informasi tersebut sulit untuk langsung diimplementasikan sehingga diperlukan adanya penerjemahan informasi tersebut menjadi bahasa teknik. Karena pada penelitian kali ini mempertimbangkan kedua belah pihak yaitu pihak *service provider* dan *customer* maka terdapat dua kuesioner berbeda yang disebarakan.

Berdasarkan kuesioner yang disebarakan, dapat diketahui keinginan dari pihak KAI dan pihak penumpang seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Kriteria Kebutuhan Pihak KAI dan Pihak Penumpang

No	Kriteria kebutuhan	KAI	Penumpang
1	Tangga ringan	✓	-
2	Tangga kokoh	✓	✓
3	Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	✓	
4	Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	✓	✓
5	Tangga dapat dimasukkan gerbong	✓	
6	Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya	✓	✓
7	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang	✓	✓
8	Tangga berada tepat di pintu tiap gerbong		✓
9	<i>Safety line</i> pada tangga terlihat jelas		✓

Terdapat beberapa perbedaan antara kebutuhan pihak KAI dan pihak penumpang. Hal ini disebabkan karena perbedaan pemanfaatan tangga/bancik. Pihak penumpang memanfaatkan tangga sebagai alat bantu untuk masuk ke dan keluar dari memasuki gerbong kereta. Penumpang tidak mempertimbangkan segi pengadaan dan biaya produksi. Sebaliknya, pihak KAI sebagai pengguna yaitu petugas yang menempatkan tangga pada pintu gerbong dan sebagai penyedia layanan, akan memperhitungkan dari segi biaya produksi adalah yang paling utama dan kemudahan untuk dipindahkan dan dirawat.

Perbedaan ini yang akan dikombinasikan atau dicari jalan tengah pada penelitian ini sehingga akan diperoleh desain tangga/bancik baru yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan kedua belah pihak yaitu tangga/bancik yang nyaman dan aman digunakan penumpang dengan biaya produksi yang minimal sesuai dengan harapan pihak KAI.

Data yang diperoleh dari tahap pengumpulan data selanjutnya dilakukan pengolahan data yang meliputi penentuan respon teknis, penentuan bobot dengan FAHP serta penyelesaian konflik dengan *cross synthesis analysis* dan *Multi-layer QFD*.

#### 4.1.3 Penentuan HOWs

Selanjutnya adalah penentuan HOW yang merupakan sub-kriteria yang menunjang kriteria WHAT. HOW disebut juga sebagai respon teknis untuk melanjutkan desain tangga baru yang dapat memenuhi permintaan pihak KAI dan penumpang.

Tabel 4.12 Respon Teknis Kebutuhan KAI dan Penumpang

Kebutuhan Pihak (VOC) KAI dan Penumpang	Respon Teknis	Sumber
1. Tangga ringan 2. Tangga kokoh	a. Jenis bahan baku b. Berat bahan baku c. Harga bahan baku	(Sugianto et al., 2020)

Lanjutan Tabel 4.12

Kebutuhan Pihak (VOC) KAI dan Penumpang	Respon Teknis	Sumber
3. Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	d. Desain tangga baru e. Ukuran roda bantuan	
4. Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	f. Teknik pengelasan g. Jenis <i>filler</i> las	
5. Tangga dapat dimasukkan gerbong	h. Teknik pengecatan i. Warna cat	(Sugianto et al., 2020)
6. Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya	j. Tipe konektor k. Tipe pengunci	(Fareri, 2020)
7. Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang	l. Kesesuaian antropometri penumpang	(Irvine et al., 2010)
8. Tangga berada tepat di pintu tiap gerbong		
9. <i>Safety line</i> pada tangga terlihat jelas		

HOW atau respon teknis diperoleh dengan menerjemahkan dari kebutuhan pihak KAI dan penumpang. Respon Teknik sebagian berasal dari ide penulis dan selebihnya bersumber dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan tangga. Respon teknis pada kebutuhan pihak KAI dan penumpang dapat dilihat pada Tabel 4.12.

#### 4.1.4 *Relationship matrix* antara Kriteria *WHATs* dengan *HOWs*

*Relationship matrix* antara kriteria *WHATs* dan sub-kriteria *HOWs* menunjukkan seberapa kuat hubungan sub-kriteria *HOWs* terhadap kriteria *WHATs*. Eliminasi dilakukan terhadap subkriteria *HOWs* yang tidak memiliki hubungan dengan kriteria *WHATs*. Terdapat empat kategori hubungan antara kriteria *WHATs* dan sub-kriteria *HOWs* yaitu:

L (rendah) : nilai 1; M (sedang) : nilai 3; H(kuat) : nilai 9.

Tabel 4.13 *Relationship Matrix* Pihak KAI

No	Respon Teknis Kebutuhan Pihak KAI	Jenis bahan baku	Berat bahan baku	Harga bahan baku	Desain tangga baru	Teknik pengelasan	Jenis <i>filler</i> las	Teknik pengecatan	Warna cat	Tipe konektor	Ukuran roda bantuan	Tipe pengunci	Kesesuaian antropometri penumpang
		H	H	M	H					L			
1	Tangga ringan	H	H	M	H					L			
2	Tangga kokoh	H	L	H	H	H	M			H		H	
3	Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	L	M		H					L	M	L	
4	Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	L		M	H	H	M					H	H
5	Tangga dapat dimasukkan gerbong	M	M		H					M		M	
6	Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya				H								H
7	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang				H								H

Tabel 4.14 *Relationship Matrix* Pihak Penumpang

No	Kebutuhan Pihak Penumpang	Respon Teknis											
		Jenis bahan baku	Berat bahan baku	Harga bahan baku	Desain tangga baru	Teknik pengelasan	Jenis <i>filler</i> las	Teknik pengecatan	Warna cat	Tipe konektor	Ukuran roda bantuan	Tipe pengunci	Kesesuaian antropometri penumpang
1	Lebar tangga muat untuk orang dan barang bawaannya		H		H								H
2	Jarak antar anak tangga tidak terlalu tinggi		L		H								H
3	Tangga kokoh	H	M		H	M	M			H		H	
4	Tangga berada tepat di pintu tiap gerbong									M	M		
5	Tangga dilengkapi dengan handrail	M	M		H	L	L			M		M	H
6	Safety line pada tangga terlihat jelas				H			H	H				

#### 4.1.5 Correlation Matrix antar Sub-Kriteria HOWs

*Correlation matrix* menunjukkan adanya hubungan antar sub-kriteria. Hasil *correlation matrix* dapat dilihat pada Gambar 4.1. Penentuan *correlation matrix* berdasar pada *literatur review* dan wawancara dengan pihak KAI serta melihat kondisi langsung dilapangan. Selain itu juga melakukan wawancara kepada pemilik *home industry* pengelasan yang ada di daerah sekitar Tulungagung. Hal ini dilakukan karena pihak-pihak tersebut yang lebih mengetahui kondisi sesungguhnya yang ada dilapangan. Terdapat 15 hubungan antar sub-kriteria yang keseluruhan adalah mempunyai hubungan positif berarti saling mendukung antar sub-kriteria tersebut.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Jenis bahan baku	+											
Berat bahan baku		+										
Harga bahan baku			+									
Desain tangga baru				+								
Teknik pengelasan					+							
Jenis filler las						+						
Teknik pengecatan							+					
Warna cat								+				
Type konektor									+			
Ukuran roda bantuan										+		
Type pengunci											+	
Kesesuaian anthropometri penumpang												+

Gambar 4.1 *Correlation matrix* antar sub-kriteria

#### 4.1.3 Penentuan Bobot Tingkat Prioritas *Fuzzy Analysis Hierarchy Process* (FAHP)

Setelah tahap identifikasi *customer needs*, tahap selanjutnya adalah melakukan pengukuran tingkat kepentingan pada tiap-tiap kebutuhan baik pihak

KAI maupun penumpang dengan menggunakan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP). Menurut Duru et al, 2011 FAHP memiliki karakter yang dapat menangani masalah dari AHP jika dihadapkan dengan masalah yang tidak jelas dan kompleks. Pendekatan *fuzzy* pada AHP dapat mengatasi kesamaran, sehingga hasil pembobotan lebih obyektif. (Batuhan,2013).

Tahap pertama yang harus dilakukan adalah memproses data hasil kuesioner dengan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Pada tahap ini, nilai konsistensi ( $CR \leq 0,1$ ). Pada tahap ini dilakukan konversi dalam bentuk *Triangular Fuzzy Number* (TFN) dengan skala dapat dilihat pada Tabel 2.4 pada bab 2. Selanjutnya dilakukan perbandingan berpasangan antar kriteria dengan menggunakan skala TFN 1-5 (1, 2, 3, 4, 5).

Pada *fuzzy* AHP perbandingan berpasangan didasarkan pada lima istilah linguistik yang dapat dilihat Tabel 2.4 pada bab 2. Tiap skala TFN pada keanggotaan *fuzzy* didefinisikan oleh tiga parameter yaitu  $l, m$  dan  $u$ . ( $l$ ) merupakan batas bawah, ( $m$ ) adalah batas tengah sedangkan ( $u$ ) adalah batas atas.

Perbandingan berpasangan dilakukan dengan semua kebutuhan pelanggan dibandingkan dengan skala linguistik yang telah ditentukan sebelumnya. Tabel 4.15 menunjukkan hasil perbandingan berpasangan terhadap kebutuhan pihak KAI. Sedangkan perbandingan berpasangan untuk kebutuhan pihak penumpang dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.15 Perbandingan berpasangan kriteria pihak KAI

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>
<b>C1</b>	1	1/3	1/3	3	3	7	5
<b>C2</b>	3	1	1	5	9	9	5
<b>C3</b>	3	1	1	5	6	7	7
<b>C4</b>	1/3	1/5	1/5	1	1	5	3
<b>C5</b>	1/3	1/9	1/6	1	1	2	1
<b>C6</b>	1/7	1/9	1/7	1/5	1/2	1	1/2
<b>C7</b>	1/5	1/5	1/7	1/3	1	2	1

Keterangan:

- C1: Tangga ringan
- C2: Tangga kokoh
- C3: Tangga mudah dipasang di pintu gerbong
- C4: Tangga dilengkapi *handrail*
- C5: Tangga dapat dimasukkan gerbong (dapat dilipat/portable)
- C6: Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya
- C7: Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang

Tabel 4.16 Perbandingan berpasangan kriteria pihak penumpang

	C1	C2	C3	C4	C5	C67
C1	1	2	1/3	1/3	1	1
C2	1/2	1	1/3	1/2	1/2	1/2
C3	3	3	1	3	5	3
C4	3	2	1/3	1	3	3
C5	1	2	1/5	1/3	1	1
C6	1	2	1/3	1/3	1	1

Keterangan:

- C1: Lebar tangga
- C2: Jarak antar anak tangga
- C3: Tangga kokoh
- C4: Tangga tepat di pintu gerbong
- C5: Tangga dilengkapi *handrail*
- C6: Tangga berwarna selain hitam
- C7: *Safety line* terlihat jelas

### Perhitungan Rata-Rata Geometris Fuzzy untuk Kriteria Pihak KAI

Setelah melakukan perbandingan berpasangan antar kriteria, langkah selanjutnya adalah menentukan rata-rata geometris terhadap bilangan fuzzy yang

telah didapatkan. Rata-rata geometris fuzzy dihitung dengan persamaan 2.1 pada Bab 2. Sebagai contoh, nilai rata-rata geometris untuk kriteria 1. Tangga ringan, adalah sebagai berikut:

$$L = (1 \times 0,2 \times 0,2 \times 1 \times 1 \times 5 \times 3)^{(1/7)} = 0,992$$

$$M = (1 \times 0,33 \times 0,33 \times 3 \times 3 \times 7 \times 5)^{(1/7)} = 1,058$$

$$U = (1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 5 \times 9 \times 7)^{(1/7)} = 1,124$$

Perhitungan seperti yang dilakukan pada kriteria berlaku untuk kriteria-kriteria yang lain, sehingga diperoleh hasil nilai rata-rata geometris fuzzy untuk semua kriteria seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Nilai Rata-Rata *Geometris Fuzzy* pihak KAI

Kriteria	ri		
Tangga ringan	0,992	1,058	1,124
Tangga kokoh	1,101	1,148	1,170
Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	1,102	1,142	1,167
Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0,933	0,975	1,022
Tangga dapat dimasukkan gerbong	0,925	0,933	0,953
Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya	0,854	0,866	0,885
Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang	0,895	0,915	0,952
Total	6,802	7,038	7,273
Reverse	0,147	0,142	0,137
Ascending order	0,137	0,142	0,147

### Perhitungan bobot Fuzzy

Setelah rata-rata geometris fuzzy didapatkan, langkah selanjutnya adalah penentuan bobot fuzzy dengan persamaan 2.2 pada Bab 2. Sebagai contoh, bobot untuk kriteria 1. Tangga ringan adalah sebagai berikut:

$$L = (0,992 \times 0,137) = 0,136$$

$$M = (1,058 \times 0,142) = 0,150$$

$$U = (1,124 \times 0,147) = 0,165$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada semua kriteria sehingga diperoleh bobot batas atas, tengah dan bawah untuk masing-masing kriteria yang dapat dilihat pada table 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Bobot kriteria *fuzzy* pihak KAI

Kriteria	wi		
Tangga ringan	0,136	0,150	0,165
Tangga kokoh	0,151	0,163	0,172
Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	0,151	0,162	0,172
Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0,128	0,139	0,150
Tangga dapat dimasukkan gerbong	0,127	0,133	0,140
Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya	0,117	0,123	0,130
Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang	0,123	0,130	0,140

Perhitungan yang dilakukan pada Tabel 4.18 menghasilkan bobot untuk masing-masing kriteria berupa nilai *fuzzy* yang mana nilai tersebut untuk langkah selanjutnya harus dilakukan *defuzzifikasi* seperti contoh berikut yang dilakukan pada kriteria 1. Tangga ringan sebagai berikut:

$$M_i = \frac{0,137 + 0,151 + 0,166}{3} = 0,151$$

Perhitungan tersebut menghasilkan nilai *non-fuzzy* kriteria tangga ringan dengan ( $M_i$ ) sebesar 0,151. Selanjutnya, nilai tersebut harus dilakukan normalisasi sehingga diperoleh bobot akhir kriteria tangga ringan yaitu dengan perhitungan sebagai berikut:

$$N_i = \frac{0,151}{1,001} = 0,150$$

Langkah-langkah yang sama dilakukan pada setiap kriteria sehingga diperoleh bobot akhir seperti dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Tabel *defuzzifikasi* (Mi) dan Bobot akhir (Ni) pihak KAI

Kriteria	Mi	Ni
Tangga ringan	0,151	0,150
Tangga kokoh	0,162	0,162
Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	0,162	0,162
Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0,139	0,139
Tangga dapat dimasukkan gerbong	0,133	0,133
Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya	0,124	0,123
Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang	0,131	0,131

#### Perhitungan Rata-Rata Geometris Fuzzy untuk Kriteria Pihak Penumpang

Setelah melakukan perbandingan berpasangan antar kriteria, langkah selanjutnya adalah menentukan rata-rata geometris terhadap bilangan fuzzy yang telah didapatkan. Rata-rata geometris fuzzy dihitung dengan persamaan 2.1 pada Bab 2. Sebagai contoh, nilai rata-rata geometris untuk kriteria 1. Tangga ringan, adalah sebagai berikut:

$$L = (1 \times 2 \times 0,2 \times 0,2 \times 1 \times 5 \times 1)^{(1/6)} = 0,954$$

$$M = (1 \times 2 \times 0,33 \times 0,33 \times 1 \times 7 \times 1)^{(1/6)} = 0,973$$

$$U = (1 \times 21 \times 1 \times 1 \times 1 \times 9 \times 1)^{(1/6)} = 1,013$$

Perhitungan seperti yang dilakukan pada kriteria berlaku untuk kriteria-kriteria yang lain, sehingga diperoleh hasil nilai rata-rata geometris *fuzzy* untuk semua kriteria seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Nilai Rata-Rata *Geometris Fuzzy* Pihak Penumpang

Kriteria	ri		
Lebar tangga	0,954	0,973	1,013
Jarak antar anak tangga	0,922	0,931	0,950

Lanjutan Tabel 4.20

Kriteria	ri		
	Tangga kokoh	1,021	1,118
Tangga tepat di pintu gerbong	0,983	1,055	1,108
Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0,954	0,973	1,013
<i>Safety line</i> terlihat jelas	0,922	0,931	0,950
<b>Total</b>	<b>5,783</b>	<b>6,012</b>	<b>6,244</b>
Reverse	0,173	0,166	0,160
Ascending order	0,160	0,166	0,173

### Perhitungan bobot Fuzzy

Setelah rata-rata geometris fuzzy didapatkan, langkah selanjutnya adalah penentuan bobot fuzzy dengan persamaan 2.2 pada Bab 2. Sebagai contoh, bobot untuk kriteria 1. Tangga ringan adalah sebagai berikut:

$$L = (0,986 \times 0,137) = 0,153$$

$$M = (1,007 \times 0,142) = 0,162$$

$$U = (1,047 \times 0,147) = 0,175$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada semua kriteria sehingga diperoleh bobot batas atas, tengah dan bawah untuk masing-masing kriteria yang dapat dilihat pada table 4.21. sebagai berikut:

Tabel 4.21 Bobot Kriteria *Fuzzy* Pihak Penumpang

Kriteria	wi		
	Lebar tangga	0,153	0,162
Jarak antar anak tangga	0,148	0,155	0,164
Tangga kokoh	0,163	0,186	0,202
Tangga tepat di pintu gerbong	0,157	0,175	0,192

Lanjutan Tabel 4.21

Kriteria	wi		
	Tangga dilengkapi handrail	0,152	0,160
Safety line terlihat jelas	0,153	0,162	0,175

Perhitungan yang dilakukan pada Tabel 4.21 menghasilkan bobot untuk masing-masing kriteria berupa nilai *fuzzy* yang mana nilai tersebut untuk langkah selanjutnya harus dilakukan *defuzzifikasi* seperti contoh berikut yang dilakukan pada kriteria 1. Tangga ringan sebagai berikut:

$$Mi = \frac{0,135 + 0,143 + 0,154}{3} = 0,163$$

Perhitungan tersebut menghasilkan nilai *non-fuzzy* kriteria tangga ringan dengan (*Mi*) sebesar 0,144. Selanjutnya, nilai tersebut harus dilakukan normalisasi sehingga diperoleh bobot akhir kriteria tangga ringan yaitu dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Ni = \frac{0,144}{1,002} = 0,163$$

Langkah-langkah yang sama dilakukan pada setiap kriteria sehingga diperoleh bobot akhir seperti dapat dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4.22 Tabel *Defuzzifikasi* (*Mi*) dan Bobot Akhir (*Ni*) Pihak Penumpang

Kriteria	Mi	Ni
Lebar tangga	0,163	0,163
Jarak antar anak tangga	0,156	0,155
Tangga kokoh	0,184	0,183
Tangga tepat di pintu gerbong	0,175	0,174
Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0,161	0,161
<i>Safety line</i> terlihat jelas	0,163	0,163

#### **4.2 Perencanaan Komponen (Proses *Multi-layer QFD*)**

Setelah proses FAHP setiap kebutuhan pihak KAI dan pihak penumpang, selanjutnya diproses pada *Multi-layer QFD*. Nilai  $N_i$  (bobot FAHP) setiap kebutuhan dimasukkan pada matrik antara kebutuhan KAI dan penumpang seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Matriks Resolusi Konflik

<i>Conflict Resolution Matrix</i>														
Colum no.		1	2	3	4	5	6	7						
Max. Volume in Column (MVC)		9	9	9	9	3	9	9						
Relative Weight (RW)		0,151	0,162	0,163	0,139	0,133	0,124	0,128						
Row No	MVC	RW (Ni)		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Sum of Products	Relative Weight	Weight after Cross Synthesis	Penumpang_2
1	9	0,163	C1	3	1			1	9		1,864	0,202	0,182	
2	9	0,155	C2	1	1			1		9	1,598	0,173	0,164	
3	9	0,183	C3	3	9			1			2,044	0,221	0,202	
4	9	0,174	C4			9					1,467	0,159	0,166	
5	9	0,161	C5	3	1		9	3			2,265	0,245	0,203	
6	9	0,163	C6								0	0,000	0,082	
<b>Sum of Products</b>				1,676	2,126	1,566	1,449	0,984	1,467	1,395	9,238			
<b>Relative Weight</b>				0,157	0,199	0,147	0,136	0,092	0,138	0,131	10,663			
<b>Weight after Cross-Synthesis</b>				0,154	0,181	0,155	0,137	0,113	0,131	0,129				
<b>KAI_1</b>														

Tabel 4.23 menunjukkan gabungan matriks penilaian antara kebutuhan penumpang dengan kebutuhan pihak KAI. Sementara itu, bobot yang terdapat pada Tabel 4.23 menunjukkan prioritas akhir setelah dilakukan *cross synthesis analysis*. Sementara itu, perbandingan bobot sebelum dan setelah *cross synthesis analysis* dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Bobot Kebutuhan Pihak KAI dan Penumpang Sebelum dan Setelah *Cross Synthesis Analysis*

No	Kebutuhan	Bobot Awal	Bobot Relatif	Bobot Setelah CSA
1	Tangga ringan	0,151	0,157	0,154
2	Tangga kokoh	0,161	0,199	0,181
3	Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	0,163	0,147	0,155
4	Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0,139	0,136	0,137
5	Tangga dapat dimasukkan gerbong (dapat dilipat/ <i>portable</i> )	0,133	0,092	0,113
6	Lebar tangga muat untuk penumpang dan barangnya	0,124	0,138	0,131
7	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang	0,128	0,131	0,129
8	Lebar tangga	0,163	0,202	0,182
9	Jarak antar anak tangga	0,155	0,173	0,164
10	Tangga kokoh	0,183	0,221	0,202
11	Tangga tepat di pintu gerbong	0,174	0,159	0,166
12	Tangga dilengkapi <i>handrail</i>	0,161	0,245	0,203
13	<i>Safety line</i> terlihat jelas	0,163	0	0,082

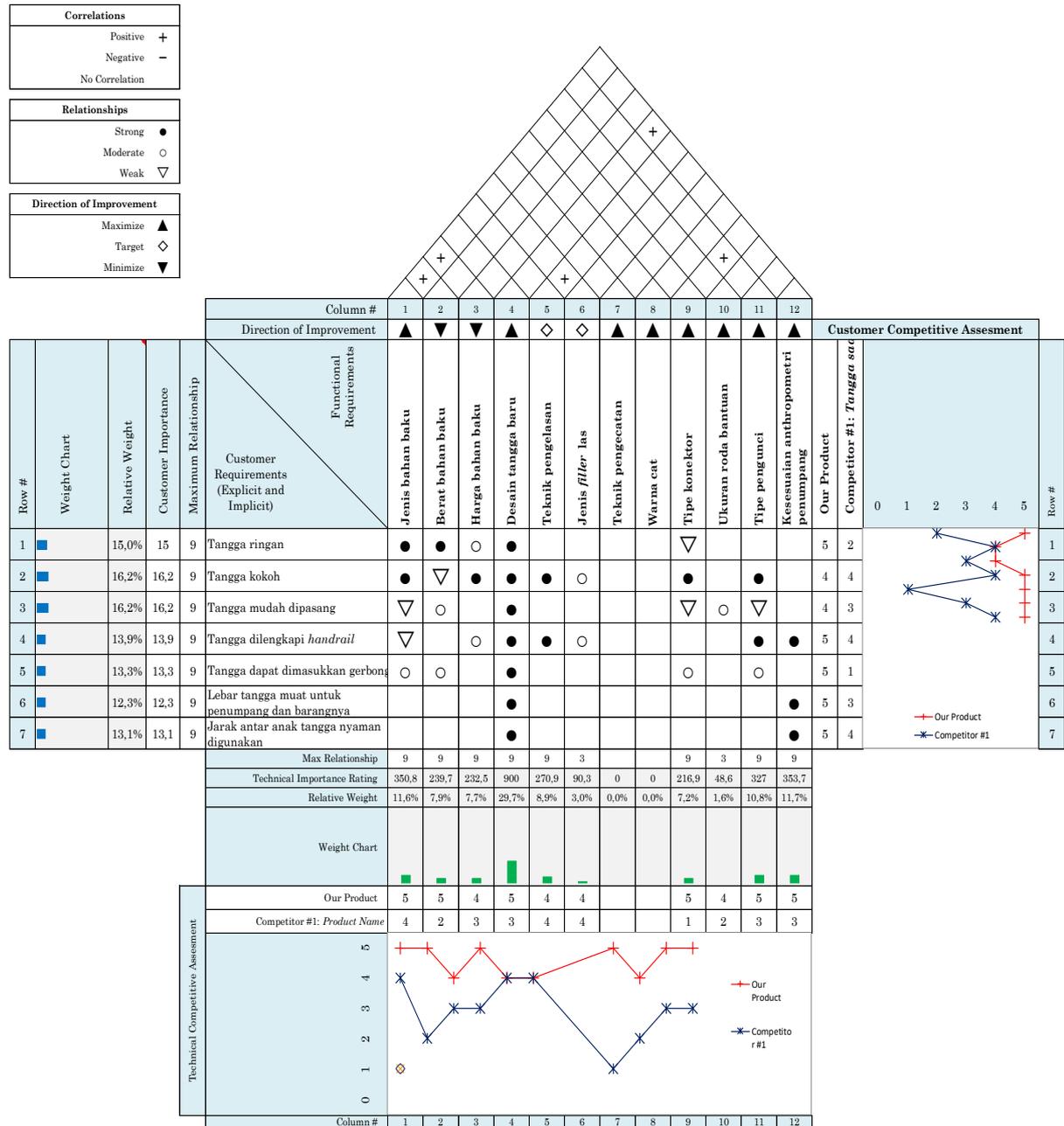
Kebutuhan KAI pada nomor 1,2,6, dan 7 mempunyai bobot relatif yang lebih tinggi dari pada bobot awal, hal ini menunjukkan kebutuhan tersebut dirasa penting oleh penumpang. Dapat dilihat pada Tabel 4.24, setelah dilakukan *cross synthesis analysis*, kebutuhan 1,2,6 dan 7 juga dianggap penting oleh penumpang karena mengalami kenaikan bobot dari bobot awal. Pada kebutuhan nomor 1 yaitu tangga ringan, penumpang menganggap penting sehingga bobot setelah dilakukan CSA naik menjadi 0,154 dari bobot awal sebesar 0,151. Sedangkan untuk kebutuhan nomor 3,4 dan 5 tidak mengalami kenaikan bobot sehingga dapat diartikan kebutuhan tersebut dianggap tidak penting oleh penumpang. Berikut adalah urutan kebutuhan KAI:

1. Tangga kokoh
2. Tangga mudah dipasang di pintu gerbong
3. Tangga ringan
4. Tangga dilengkapi *handrail*
5. Tangga muat untuk penumpang dan barangnya
6. Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang
7. Tangga dapat dimasukkan gerbong (dapat dilipat/*portable*)

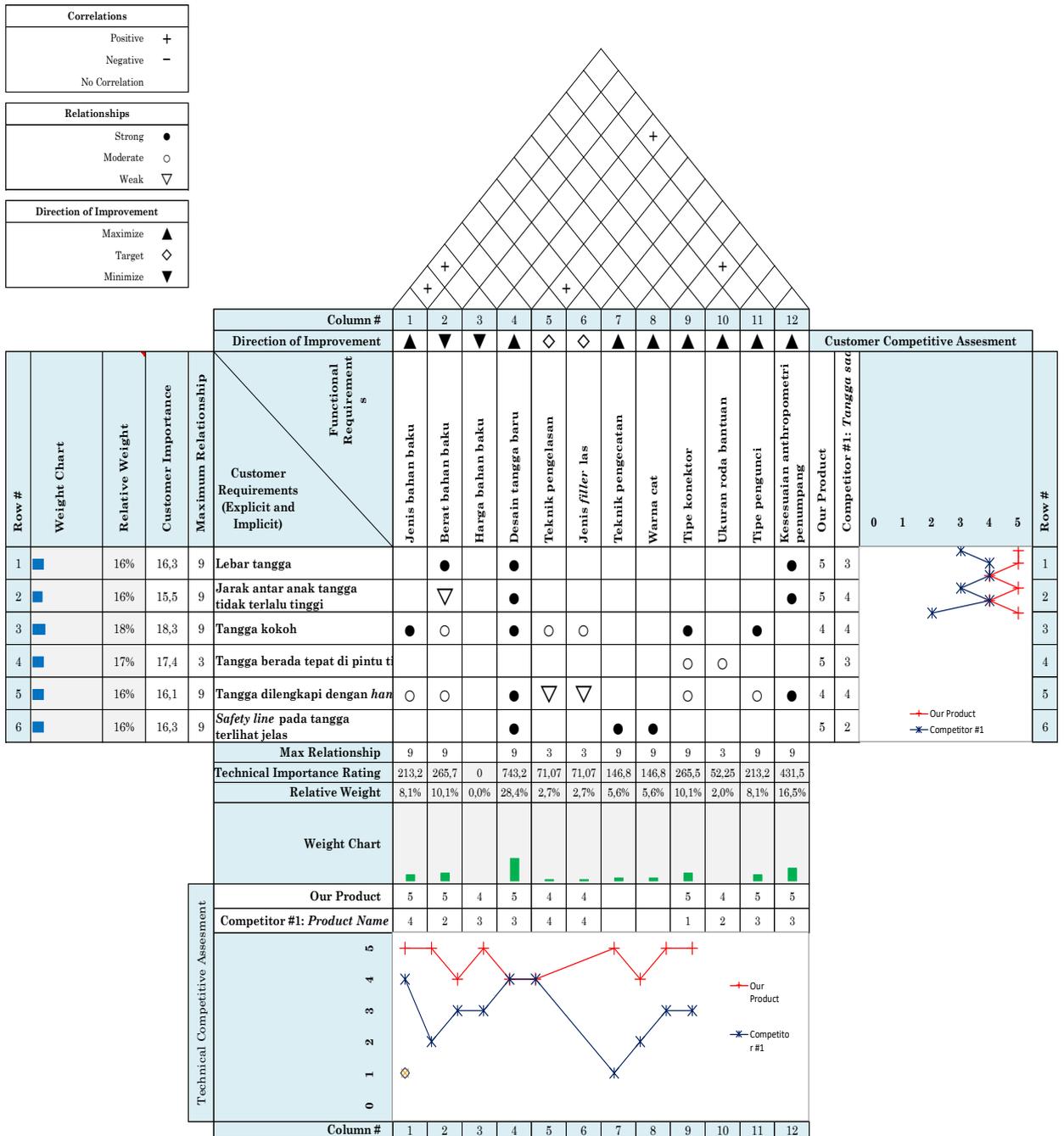
Demikian juga untuk kebutuhan penumpang nomor 8,9,10, dan 12 mengalami kenaikan bobot relatif dari bobot awal. Hal ini menunjukkan bahwa KAI menganggap kebutuhan tersebut penting. Untuk bobot setelah *cross synthesis analysis* pada nomor 8,9,10, dan 12 juga mengalami kenaikan. Sebagai contoh pada kebutuhan tangga kokoh bobot awal adalah sebesar 0,183 dan naik menjadi 0,202 pada bobot setelah CSA. Sedangkan pada kebutuhan nomor 11 dan 13 baik pada bobot *relative* maupun bobot setelah CSA nilainya menurun, hal ini dapat diartikan bahwa pihak KAI menganggap kebutuhan tersebut tidak penting. Berikut merupakan urutan kebutuhan penumpang:

- 1) Tangga dilengkapi *handrail*
- 2) Tangga kokoh
- 3) Lebar tangga
- 4) Tangga tepat di pintu gerbong
- 5) Jarak antar anak tangga
- 6) *Safety line* terlihat jelas

Hasil pembobotan setelah dilakukan *cross synthesis analysis* ini kemudian digunakan sebagai pembobotan pada *House of Quality* (HoQ) baik dari pihak KAI maupun penumpang. HoQ dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *House of Quality* Kebutuhan Pihak KAI



Gambar 4.3 House of Quality Kebutuhan Pihak Penumpang

Kedua House of Quality pada Gambar 4.2 dan 4.3 kemudian dilakukan sintesa untuk menggabungkan keinginan pihak KAI dan penumpang, hasil sintesa dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut ini:

Tabel 4.25 Tabel Hasil Sintesa

		Jenis bahan baku	Berat bahan baku	Harga bahan baku	Desain tangga baru	Teknik pengelasan	Jenis <i>filler</i> las	Teknik pengecatan	Warna cat	Tipe konektor	Ukuran roda bantuan	Tipe pengunci	Kesesuaian antropometri
Pihak KAI	Max. Value in Row	9	9	9	9	9	3	0	0	9	3	9	9
	Sum Product	350,8	239,7	232,5	900,0	270,9	90,3	0,0	0,0	216,9	48,6	327,0	353,7
	Relative Weight	0,116	0,079	0,077	0,297	0,089	0,030	0,000	0,000	0,072	0,016	0,108	0,117
Pihak penumpang	Max. Value in Row	9	9	0	9	3	3	9	9	9	3	9	9
	Sum Product	213,2	265,7	0,0	743,2	71,1	71,1	146,8	146,8	265,5	52,3	213,2	431,5
	Relative Weight	0,081	0,101	0,000	0,284	0,027	0,027	0,056	0,056	0,101	0,020	0,081	0,165
<i>Synthesis</i>	Max. Value in Row	9	9	9	9	9	3	9	9	9	3	9	9
	Mean Relative Weight	0,099	0,090	0,039	0,291	0,058	0,029	0,028	0,028	0,087	0,018	0,095	0,141

Tabel 4.25 menggambarkan bahwa baik pihak KAI maupun penumpang berpendapat bahwa sub-kriteria desain tangga baru merupakan yang terpenting, karena desain merupakan kunci terciptanya tangga baru yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan kedua belah pihak. Desain akan menerjemahkan keinginan kedua belah pihak akan sebuah tangga/bancik sehingga dapat melanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu proses produksi sebuah tangga/bancik baru.

Sub kriteria terpenting nomor dua adalah kesesuaian dengan antropometri penumpang merupakan yang paling penting. Hal ini semakin menegaskan bahwa KAI konsen pada kepentingan dan kenyamanan penumpang dalam penyediaan fasilitas dan pelayanannya. Karena kesesuaian antropometri penumpang merupakan hal yang dianggap penting, maka diperlukan adanya penentuan dimensi tubuh dapat dilihat pada Tabel 4.26, dimensi ini bersumber pada (*Antropometri Indonesia*, n.d.) dan digunakan dalam penentuan ukuran tangga/bancik baru sehingga tangga yang dihasilkan akan ergonomis.

Tabel 4.26 Dimensi Tubuh yang digunakan dalam penentuan ukuran

No	Dimensi Tubuh	Bagian Tangga Kereta Api	Kode	Persentil	Dimensi
1.	Panjang Kaki	Lebar pijakan tangga	D30	95	30,87 cm
2.	Dua kali lebar bahu	Panjang pijakan tangga	D18	95	94,4 cm
3.	Setengah tinggi lipat lutut	Jarak antar anak tangga	D16	5	15,5 cm
4.	Tinggi siku posisi berdiri	Tinggi pegangan/ <i>handrail</i>	D4	5	73,13 cm

Sumber: (*Antropometri Indonesia*, n.d.)

Berdasarkan data pada Tabel 4.26, pada penentuan lebar pijakan tangga mempertimbangkan dimensi tubuh panjang kaki (D30) dengan persentil 95%

dengan persentil tersebut penumpang dengan Panjang kaki di atas rata-rata tetap nyaman menggunakan tangga. Hal serupa juga terjadi pada pemilihan persentil pada penentuan panjang pijakan tangga yang merupakan penentuan lebar tangga. Dipilih dua kali lebar bahu (D18) persentil 95% agar penumpang dengan lebar bahu di atas rata-rata tetap nyaman menggunakan tangga baru, sedangkan dikali 2 karena tangga baru didesain agar penumpang dengan nyaman menaiki tangga dan membawa barang bawaannya.

Sementara itu, pada penentuan dimensi jarak antar anak tangga dipilih setengah kali persentil 5% tinggi lipat lutut (D16) bertujuan agar penumpang dengan ukuran tinggi lipat lutut dibawah rata-rata atau rata-rata kecil nyaman menggunakan tangga baru dan penumpang yang di atas rata-rata tetap nyaman menggunakan tangga baru. Selain itu, menurut (Prastawa et al., 2018) tangga yang nyaman adalah tangga dengan jarak antar anak tangga tidak lebih dari 20 cm dengan rekomendasi ukuran adalah 15-18 cm.

Untuk ukuran ketinggian *handrail* terpilih dimensi tubuh tinggi siku posisi berdiri pada persentil 5% karena dengan persentil 5% penumpang dengan ketinggian yang termasuk pada persentil 5% nyaman berpegangan dan penumpang dengan ketinggian diluar persentil 5% tetap nyaman digunakan. Selain itu, ketinggian *handrail* tersebut menjadi lebih ramah anak-anak mengingat penumpang kereta juga terdiri dari anak-anak.

(Ningrum & Haqi, 2020) menjelaskan bahwa ketinggian *handrail* yang direkomendasikan adalah 65-80 cm, dengan diameter sebesar 5 cm. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Ningrum & Haqi tersebut dijelaskan bahwa kedalaman tapak atau lebar pijakan tangga sebesar 29-30 cm akan membuat pengguna tangga lebih ringan saat menuruni tangga, sehingga momen yang bekerja pada sendi panggul. Lutut dan pergelangan kaki menjadi sedikit. Penjelasan tersebut sesuai dengan pemilihan dimensi tubuh yang digunakan dalam penentuan beberapa dimensi tangga baru.

Ditinjau dari segi ergonomi, menurut (Ningrum & Haqi, 2020) tangga ergonomis tidak hanya mempertimbangkan dimensi berdasarkan antropometri, akan tetapi juga mempertimbangkan kemiringan tangga, pencahayaan tangga, permukaan tangga dan pendaratan. Pencahayaan pada tangga yang minimum dapat

mengakibatkan pengguna terjatuh saat melewati tangga. Pencahayaan tangga ini dapat ditunjang dengan pemilihan warna dari tangga. Pemilihan warna yang cerah dapat membantu penerangan pada tangga, sementara itu standar minimum pencahayaan yang direkomendasikan adalah sebesar 100 lux.

Sebuah studi yang dilakukan di Amerika Serikat terkait evaluasi bangunan tangga, diperoleh hasil bahwa 355 dari 578 (61%) tangga memiliki minimal satu bahaya desain yang diklasifikasikan sebagai ada bahaya dan tidak aman. *Handrail* yang hilang atau tidak memadai adalah bahaya desain yang paling banyak ditemukan. Keberadaan *handrail* sangat dibutuhkan terlebih lagi pengguna tangga mempunyai rentang usia yang bervariasi. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Hisham et al., 2014) dijelaskan bahwa *handrail* sangat dibutuhkan oleh penumpang lansia sebagai salah satu alat pengaman ketika penumpang lansia menggunakan tangga untuk memasuki bus, *handrail* dipasang dengan ukuran sesuai dengan antropometri dan warna didesain kontras (kuning cerah) dengan tujuan untuk memberikan kemudahan penglihatan bagi lansia.

Berdasarkan penjelasan di atas, keberadaan *handrail* pada sebuah tangga adalah sangat penting karena *handrail* merupakan salah satu pengaman yang dibutuhkan pengguna tangga ketika melewati atau menggunakan tangga tersebut. Terlebih lagi bagi pengguna tangga dengan usia lanjut, keberadaan *handrail* sangat dibutuhkan sebagai tumpuan ketika menaiki tangga. Sementara, terkait keberadaan *handrail* yang dapat menjadi penghalang penumpang yang sedang menenteng barang bawaan mereka, hal ini berlawanan dengan pengertian dari *handrail* itu sendiri. *Handrail* merupakan rel yang diaplikasikan sebagai penambah kestabilan pengguna ketika menaiki atau menuruni tangga. Jadi jika penumpang membawa barang ketika melewati tangga, maka penumpang akan membutuhkan *handrail* tersebut untuk menjaga kestabilan mereka karena berjalan dengan membawa barang bawaan akan mengurangi kestabilan saat berjalan.

Dengan urutan kepentingan baik kebutuhan maupun sub-kriteria yang telah melalui *cross synthesis analysis* tersebut akan menjadi *input* pada proses selanjutnya yaitu *process planning* dengan menggunakan pendekatan metode *Design for Manufacturing (DFM)*

### 4.3 Perencanaan Proses (*Process Planning*) dengan *Design for Manufacturing (DFM)*

*Design for Manufacturing* atau biasa disebut dengan DFM merupakan metode perancangan produk dengan tujuan utama adalah mengurangi biaya manufaktur. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengurangi jumlah total komponen. Pada tangga/bancik yang saat ini tersedia di stasiun terdiri dari komponen yang di buat dan beberapa komponen yang dibeli. Untuk proses produksi membutuhkan beberapa tahap yaitu:

1. *Cutting*, merupakan proses pemotongan bahan-bahan baku sesuai ukuran yang diperlukan. Bahan baku yang digunakan sebagian besar merupakan *generic low carbon steel*.
2. *Welding*, merupakan proses menggabungkan bahan baku dengan cara mencairkan Sebagian logam induk dan logam pengisi sehingga membentuk sambungan dan dapat membentuk suatu komponen. Bahan baku yang hampir seluruhnya dari logam membutuhkan proses ini untuk menyusun komponen-komponen tersebut.
3. *Painting*, merupakan proses pewarnaan logam yang bertujuan untuk melindungi logam agar tidak mudah berkarat serta membuat tampilan logam lebih menarik.

#### 4.3.1 Analisa pada Tangga Saat Ini

Sementara itu, untuk mengetahui komponen pada tangga saat ini, dapat dilihat Tabel 4.27. Tabel tersebut juga berisi informasi komponen apa saja yang dibuat dan dibeli.

Tabel 4.27 Daftar Komponen Tangga Saat Ini

No	Nama Komponen	Ukuran	Jumlah	Ket.
1	Pijakan tangga	80 cm x 25 cm	4	Buat
2	<i>Handrail</i>	80 cm x 90 cm x 80 cm	1	Buat

Lanjutan Tabel 4.27

No	Nama Komponen	Ukuran	Jumlah	Ket.
3	Tiang penyangga	80 cm	4	Buat
		100 cm	3	Buat
4	Tiang penyangga miring	128 cm	2	Buat
5	Penyangga miring	96 cm	2	Buat
6	Tiang pendek bagian bawah	10 cm	2	Buat
7	<i>Stamp plate</i>	20 cm x 20 cm	1	Buat
8	<i>Elbow</i>	1,5inch, 90 <sup>0</sup>	1	Beli
		1,5inch, 45 <sup>0</sup>	1	
9	Roda bantuan	3 inch	2	Beli
10	<i>Nut dan bolt</i>	8	8	Beli
<b>Total komponen</b>			<b>31</b>	

Setelah mengetahui komponen-komponen tangga saat ini, maka yang harus dideskripsikan adalah material dari komponen-komponen tersebut. Material ini yang akan menentukan Teknik *cutting* atau *welding* mana yang cocok dilakukan. Daftar material komponen tangga saat ini dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Daftar Material Komponen Tangga Saat Ini

No	Nama Komponen	Jenis Material
1	Pijakan tangga	Plat bordes <i>low carbon steel</i>
2	<i>Handrail</i>	Pipa <i>carbon steel</i> 1,5 inch
3	Tiang penyangga 80 cm	<i>Generic low carbon steel</i> Hollow 40 x 40
	Tiang penyangga 100 cm	<i>Generic low carbon steel</i> Hollow 40 x 40
4	Tiang penyangga miring	<i>Generic low carbon steel</i> Hollow 40 x 40
5	Penyangga miring	<i>Generic low carbon steel</i> Hollow 40 x 40
6	Tiang pendek bagian bawah	<i>Generic low carbon steel</i> Hollow 40 x 40

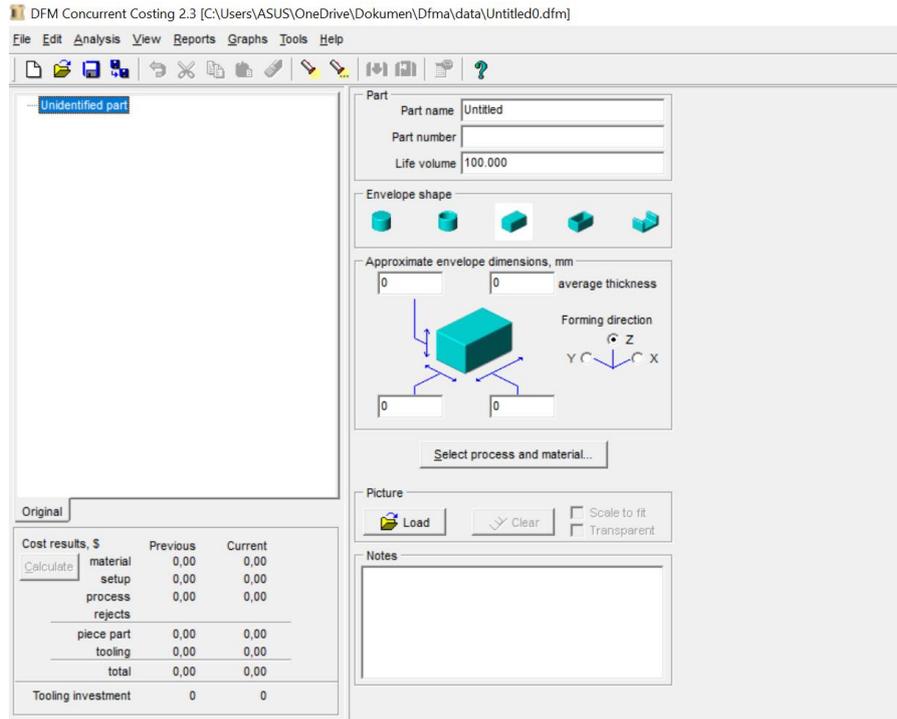
Lanjutan Tabel 4.28

No	Nama Komponen	Jenis Material
7	<i>Stamp plate</i>	Plat <i>low carbon steel</i>
8	<i>Elbow 90<sup>0</sup> 1,5 inch</i>	<i>Carbon steel</i>
	<i>Elbow 45<sup>0</sup> 1,5 inch</i>	<i>Carbon steel</i>
9	Roda bantuan	<i>Caster wheel</i>
10	<i>Nut dan bolt</i>	Besi

#### 4.3.1.1 Input Data pada *software DFMA* untuk Desain Tangga Saat Ini

Tahap pertama adalah memasukkan data desain tangga saat ini pada *software DFM*. Beberapa informasi yang harus diinput pada *software* tersebut antara lain:

1. Pada kotak bagian *part*
  - a. *Part name* yaitu memasukkan nama dari komponen yang akan dianalisis
  - b. *Part number* yaitu mengisikan komponen yang telah dimasukkan pada *part name* nomor berapa pada gambar
2. Memilih bentuk material pada *envelope shape* terdapat 5 pilihan bentuk material yang dapat dipilih, dan harus memilih salah satu dari 5 pilihan tersebut.
3. Memasukkan ukuran pada *approximate envelope dimension*. Pada bagian ini dapat menentukan ukuran komponen menggunakan satuan inch atau diubah menjadi mm dengan cara memilih *Tools* kemudian *set units* memilih *metric*. Ukuran yang dimasukkan meliputi Panjang, lebar, tinggi dan ketebalan material.
4. Selanjutnya adalah klik tombol *select process and material* untuk memilih material dan proses pengerjaan yang sesuai.
5. Jika dibutuhkan proses tambahan dalam pembuatan komponen tersebut maka dapat ditambahkan dengan klik menu *insert operation*. Apabila ada tambahan pengoperasian mesin maka dapat ditambahkan pada menu *insert machine tools set up*.

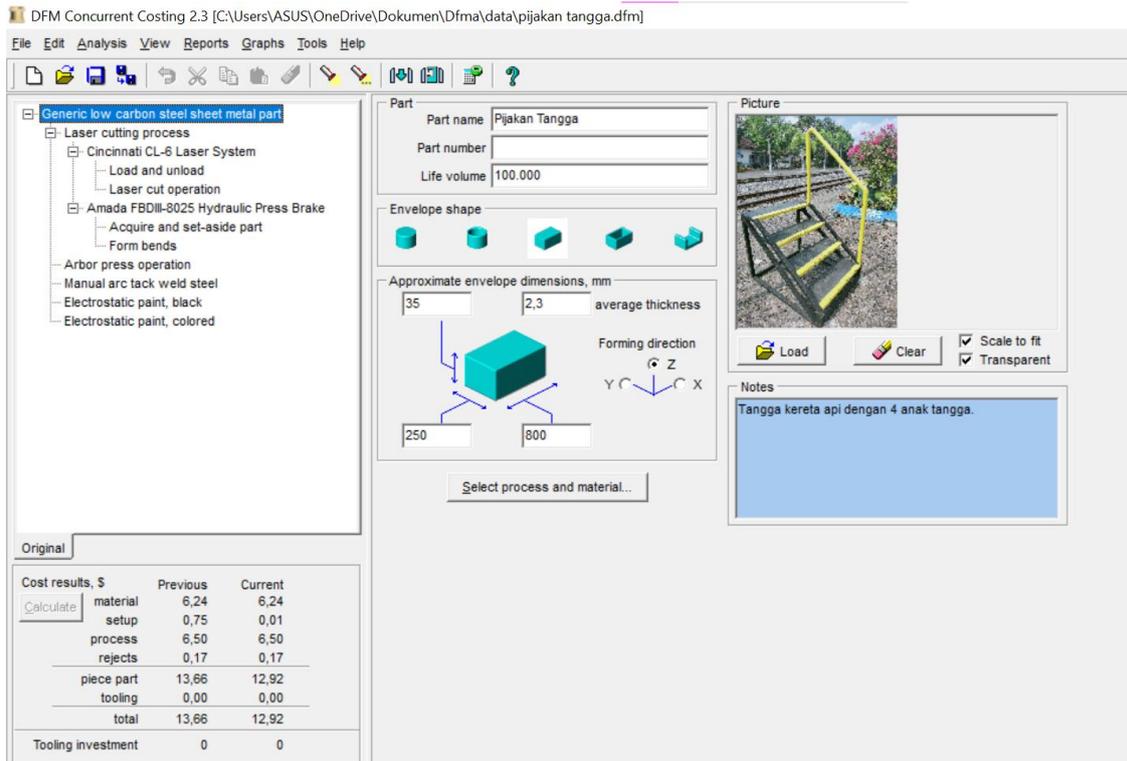


Gambar 4.4 Tampilan Halaman Awal *Software* DFM

#### 4.3.1.2 Hasil Analisa Desain Tangga saat ini

Berikut merupakan *report totals* yang akan memberikan informasi tentang biaya tiap komponen dengan *breakdown* menjadi 6 bagian yaitu biaya material, biaya *set-up*, biaya proses, biaya *rejects*, biaya *piece part* dan biaya tooling. Sebagai contoh pada Tabel 4.29 dapat diketahui analisis biaya pembuatan pijakan tangga. Biaya total adalah sebesar \$12,92 yang terdiri dari:

- a. Biaya material : \$ 6,24
- b. Biaya *set-up* : \$ 0,01
- c. Biaya proses : \$ 6,50
- d. Biaya *reject* : \$ 0,17
- e. Biaya *piece part* : \$ 12,92
- f. Biaya *tooling* : \$ 0,00



Gambar 4.5 Tampilan Halaman *Software* DFM Setelah Dilakukan *Input* Data

Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 4.5 merupakan tampilan *software* DFM setelah dilakukan *input* data untuk komponen pijakan tangga. Pada komponen tersebut material yang digunakan adalah material plat bordes *low carbon steel* dalam bentuk lembaran. Proses *cutting* dilakukan dengan menggunakan *laser cutting process*. Selanjutnya dilakukan proses pengelasan untuk menggabungkan pijakan dengan tiang penyangga menggunakan SMAW *tack weld steel* dan dilakukan pengecatan dengan cara *electrostatic* dengan menggunakan dua warna yaitu warna hitam dan kuning sebagai *safety line*.

Tabel 4.29 *Report Analysis Totals Costing* komponen pijakan tangga



**DFM Concurrent Costing Totals**  
Boothroyd Dewhurst, Inc.

13 January 2022 13:20

pijakan tangga.dfm

Part Name: Pijakan Tangga  
Part Number:

Process: Sheet metal laser cutting  
Material: Generic low carbon steel

Life volume	Batch size	Cost per part, \$							Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total	
100000	12.500	6,24	0,01	6,50	0,17	12,92	0,00	12,92	0

Berdasarkan analisis dengan menggunakan *software* DFM diketahui biaya produksi tangga kereta api saat ini dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Total biaya produksi untuk tangga saat ini

No	Nama Komponen	Biaya (\$)
1	Pijakan tangga	12,92
2	<i>Handrail</i>	12,26
3	Tiang penyangga 80 cm	16,75
	Tiang penyangga 100 cm	16,55
4	Tiang penyangga miring	16,76
5	Penyangga miring	23,94
6	Tiang pendek bagian bawah	6,68
7	<i>Stamp plate</i>	2,15
8	<i>Elbow 90<sup>0</sup> 1,5 inch</i>	1,33
	<i>Elbow 45<sup>0</sup> 1,5 inch</i>	1,33
9	Roda bantuan	1,96
10	<i>Nut dan bolt</i>	0,69
<b>Total</b>		<b>113,32</b>

Total biaya produksi tangga saat ini adalah sebesar \$113,32 atau sekitar Rp. 1.618.000. Biaya tersebut 68,67 % merupakan biaya material, sedangkan untuk biaya proses sebesar 27,61%, sisanya sebanyak 0,34% merupakan *reject cost*. Sedangkan berdasarkan wawancara dengan pemilik usaha pengelasan (*home industry*) yang berada di Desa Kiping, Gondang untuk memproduksi tangga saat ini menghabiskan biaya sekitar Rp. 2.000.000. Perbedaan biaya ini dapat dipengaruhi oleh mesin, lama waktu dan kurs mata uang antara analisis dengan *software* dibanding dengan informasi langsung dari produsen.

#### **4.3.2 Analisa pada Tangga Baru**

Desain tangga baru dibuat berdasarkan hasil kebutuhan pihak KAI dan penumpang yang telah dianalisa pada sub-bab 4.2. Terdapat beberapa temuan berdasarkan hasil kuesioner dari kedua belah pihak yaitu kenyamanan, kemudahan dan ringan. Kenyaman dalam hal ini dapat diwujudkan dengan dimensi tangga yang disesuaikan dengan dimensi tubuh atau mempertimbangkan dari segi antropometri. Tidak hanya itu, posisi tangga yang tepat berada di depan pintu gerbong juga dapat menambah kenyamanan penumpang ketika menggunakan tangga. Pemilihan warna tangga yang *eye catching* dan dilengkapi dengan *safety line* menambah kenyamanan penumpang.

Sementara itu, dari segi kemudahan yang diharapkan kedua belah pihak dapat diwujudkan dengan desain tangga baru yang ringan, dilengkapi dengan roda dan pegangan untuk memindahkan tangga dengan didorong atau ditarik. Sedangkan ringan diwujudkan dengan pemilihan material dari tangga baru.

Pemilihan material dilakukan dengan cara mencari informasi terkait sifat-sifat dari material yang biasa digunakan sebagai bahan baku pembuatan tangga seperti *carbon steel*, besi, aluminium, galvanis, dsb. Informasi diperoleh dari katalog-katalog dan penelitian terdahulu yang mengulas tentang material tersebut. Beberapa perbandingan material dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Perbandingan Material

No	Perbedaan	Aluminium	Galvanis	Ref.
1	Massa jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	2,70	7,8	(Merajul Haque et al., 2019)
2	Sifat / Karakteristik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ulet</li> <li>• Fleksibel</li> <li>• Tahan korosi</li> <li>• Tahan cuaca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permukaan berpori</li> <li>• Kuat</li> <li>• Cepat panas</li> </ul>	(Merajul Haque et al., 2019)
3	Umur pakai	• 41 tahun	32 tahun	(Marcell et al., 2021)
4	Laju korosi	• 0,02592 mmpy	0,03726 mmpy	(Marcell et al., 2021)
5	Harga (uk 3mm)	• Rp. 1.890.000	Rp. 1.838.000	(HargaTokoBesi, n.d.)

Berdasarkan perbedaan yang dapat dilihat pada Tabel 4.31 dapat ditentukan pemilihan material tangga baru yang bertujuan menciptakan tangga sesuai keinginan pihak KAI dan penumpang dengan asumsi adanya keterbatasan biaya karena pengadaan kebutuhan tangga banyak dan juga adanya keterbatasan pada ketersediaan *space* atau ruang untuk menempatkan tangga tersebut maka tangga baru dilengkapi dengan fitur *foldable*. Material aluminium mempunyai massa jenis lebih ringan dari pada galvanis, selain itu umur pakai aluminium lebih lama dibanding galvanis. Jika ditinjau dari segi harga di pasaran aluminium mempunyai harga yang lebih tinggi, akan tetapi berbeda dengan hasil analisa *software* DFM yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.

26 January 2022 14:53  
Original

Pijakan tangga 01.dfm  
Part weight: 2,832 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
AL1100 aluminum, annealed sheet metal part		19,12	0,01	5,58	0,26	24,97		24,97	195,54	
Plasma cutting process	12.500	18,94	0,00	2,65	0,10	21,69		21,69	169,74	
Komatsu Rasor KCR-9714 Fine Plasma System			0,00	2,65	0,10	2,75		2,75	169,74	
Load and unload			0,00	0,56		0,56		0,56	36,05	
Plasma cut operation				2,08		2,08		2,08	133,69	
Generic horizontal boring machine	12.500		0,01	0,59	0,11	0,71		0,71	25,80	
Setup/load/unload			0,01	0,59		0,60		0,60	25,80	
Electrostatic paint, black		0,08	0,00	1,17	0,02	1,27		1,27		
Electrostatic paint, colored		0,10	0,00	1,17	0,02	1,30		1,30		

## Gambar 4.6 Harga Komponen dengan Material Aluminium

26 January 2022 14:51  
Original

Untitled0.dfm  
Part weight: 8,437 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Low carbon steel, hot dipped galvanized sheet metal part		18,44	0,01	7,24	0,28	25,97		25,97	313,32	
Plasma cutting process	12.500	18,26	0,00	4,48	0,11	22,86		22,86	287,52	
Komatsu Rasor KCR-9714 Fine Plasma System			0,00	4,48	0,11	4,60		4,60	287,52	
Load and unload			0,00	0,56		0,56		0,56	36,05	
Plasma cut operation				3,92		3,92		3,92	251,48	
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00	0,42	0,12	0,54		0,54	25,80	
Setup/load/unload			0,00	0,42		0,42		0,42	25,80	
Electrostatic paint, black		0,08	0,00	1,17	0,02	1,28		1,28		
Electrostatic paint, colored		0,10	0,00	1,17	0,03	1,30		1,30		

## Gambar 4.7 Harga Komponen dengan Material Galvanis

Dapat dilihat pada Gambar 4.6 merupakan hasil analisa dari komponen pijakan tangga dengan menggunakan material aluminium, total biaya adalah sebesar \$24,97 dan berat komponen adalah 2,832 kg. Sementara pada Gambar 4.7 merupakan komponen yang sama dengan ukuran sama tetapi materialnya adalah galvanis, total biaya adalah sebesar \$25,97. Lebih mahal \$1 pada komponen tersebut. Jika dijumlahkan dengan semua komponen maka selisih biaya antara dua material tersebut besar. Mengingat adanya asumsi keterbatasan biaya, maka hal ini menjadi pertimbangan penulis memilih aluminium sebagai material pada desain tangga baru. Aluminium yang dipilih adalah Al 1100 Aluminium *Annealed* karena aluminium jenis ini sangat tahan terhadap serangan kimia dan pelapukan. Biaya rendah, ulet untuk *deep drawing*, dan mudah dilas. (Schweitzer, 2003)

Berdasarkan asumsi-asumsi dan kebutuhan kedua belah pihak, maka desain tangga baru dibuat dengan tambahan fitur seperti, lebih ringan, *foldable* atau dapat dilipat, sehingga memungkinkan untuk masuk ke gerbong kereta api, serta dilengkapi dengan fitur *adjustable* yang mana tangga ini dapat diatur ketinggian sesuai dengan kebutuhan atau disesuaikan dengan ketinggian peron. Ketinggian tangga dapat diatur dengan melipat dua anak tangga paling atas jika peron yang tersedia adalah peron sedang. Sementara jika peron tinggi maka tidak membutuhkan bantuan tangga karena sudah selevel dengan lantai gerbong.

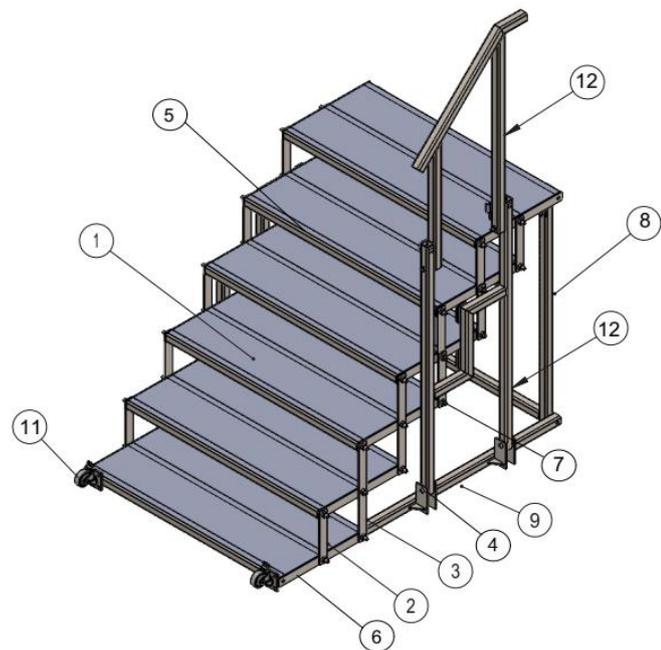
Kelebihan lain dari tangga baru adalah dilengkapi roda bantuan sehingga dalam pemindahannya dapat digunakan sistem koper, yaitu bagian tiang penyangga dapat difungsikan sebagai pegangan untuk mendorong atau menarik tangga. Hal ini dapat mempercepat dan sangat memudahkan pekerjaan petugas KAI dalam memosisikan tangga di depan pintu gerbong.

Berikut merupakan desain tangga saat ini beserta ukuran dan komponen-komponen pendukungnya.

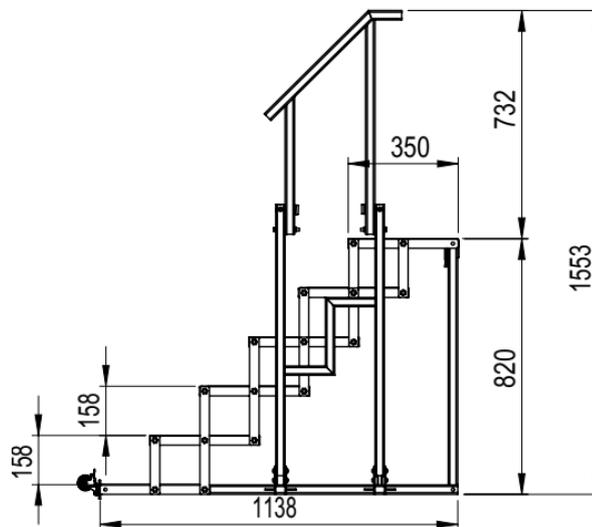
Keterangan:

**No Nama Komponen**

- 1 Pijakan tangga
- 2 *Plate strip* pendek
- 3 *Plate strip* panjang
- 4 *Nut seal* M10
- 5 *Hollow square*
- 6 *Plate strip* mendatar
- 7 Beton eser
- 8 Tiang penyangga tegak
- 9 Penyangga bawah
- 10 Penyangga mendatar
- 11 Roda bantuan
- 12 *Handrail*

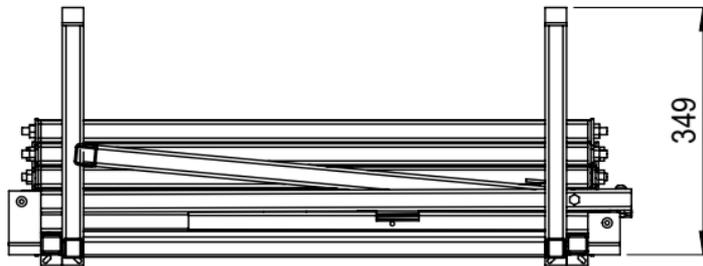


Gambar 4.8 Desain Tangga Baru dan Nama Komponen

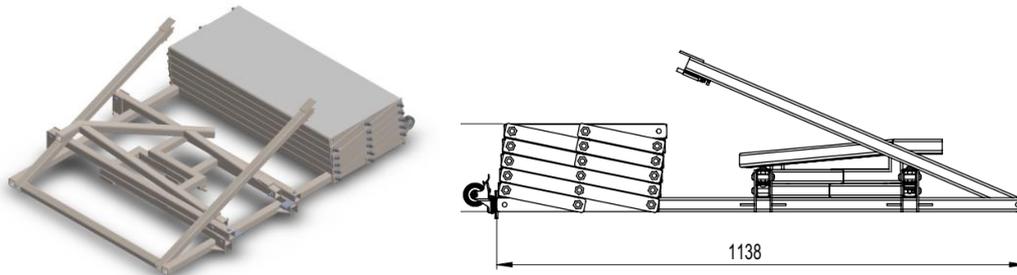


Gambar 4.9 Ukuran Tangga Baru

Gambar 4.10 dan 4.11 merupakan tampilan tangga ketika dalam kondisi terlipat penuh. Pada kondisi ini tidak hanya memungkinkan dapat dibawa ke dalam gerbong, akan tetapi juga dapat meminimalkan tempat penyimpanan tangga di tiap stasiun. Tangga dapat diringkas sehingga asumsi adanya keterbatasan *space* dapat diwujudkan dengan fitur tangga *foldable* ini.

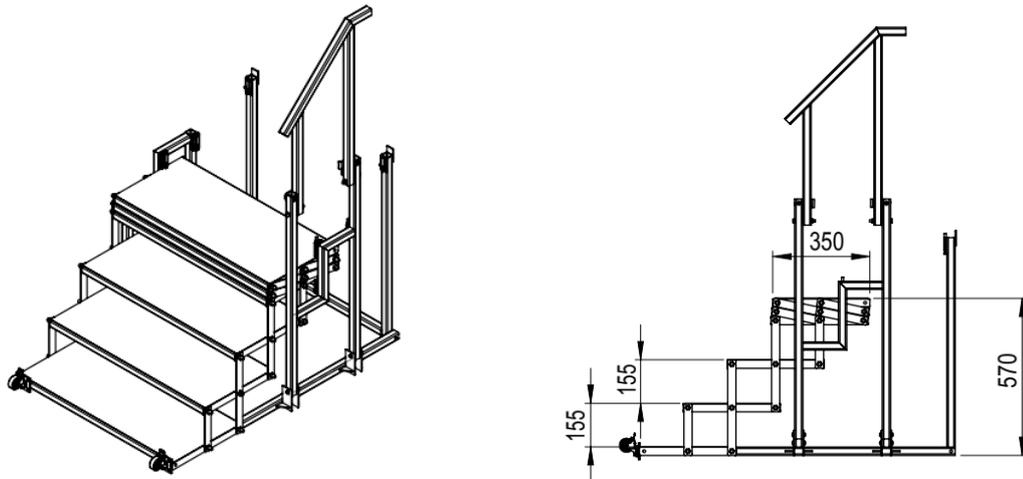


Gambar 4.10 Tangga Terlipat Penuh Tampak Depan



Gambar 4.11 Tangga Posisi Terlipat Penuh Tampak Atas dan Samping

Sedangkan Gambar 4.12 merupakan tampilan tangga ketika diterapkan fitur *adjustable*. Dua buah anak tangga yang paling atas dapat ditutup ketika peron pada stasiun yang tersedia adalah peron sedang dengan ketinggian 430 mm. Ketinggian tangga ketika 2 anak tangga tertutup adalah 570mm.



Gambar 4.12 Tangga Posisi Dua Anak Tangga Terlipat (*Fitur Adjustable*)

Tabel 4.32 Komponen-Komponen Penyusun Tangga Baru

No	Nama Komponen	Ukuran	Jumlah	Ket.
1	Pijakan tangga	94,4 cm x 31 cm	6	Buat
2	<i>Handrail</i>	73,2 cm x 123 cm x 73,2 cm	1	Buat
3	<i>Plate strip</i>	18,8 cm x 3 cm x 0,4 cm	4	Buat
		34,6 cm x 3 cm x 0,4 cm	8	Buat
		35 cm x 3 cm x 0,4 cm	13	Buat
4	Hollow square 40 x 40	3 cm x 3 cm x 767 (t: 4)	18	Buat
5	Beton eser	Dia 10 x 80,5 cm	16	Buat
6	<i>Nut seal M10</i>	1,96 cm x 1,7 cm x 0,8 cm	32	Beli
7	Penyangga dasar	93,5 cm x 3 cm x 3 cm	2	Buat
9	Tiang penyangga tegak	82 cm x 3 cm x 3 cm	2	Buat
10	Penyangga mendatar	80 cm x 3 cm x 3 cm	1	Buat
11	Roda bantuan	Dia 3 inch	2	Beli
Total komponen			<b>105</b>	

Setelah mengetahui komponen-komponen penyusun tangga baru, maka yang harus dideskripsikan adalah material dari komponen-komponen tersebut. Material ini yang akan menentukan proses manufaktur apa saja yang dibutuhkan untuk memproduksi tangga baru tersebut. Daftar material komponen tangga saat ini dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.33 Daftar Material Tangga Baru

No	Nama Komponen	Material
1	Pijakan tangga	<i>AL 1100 Aluminium, annealed</i>
2	<i>Handrail</i>	<i>Generic high strength aluminum</i>
3	<i>Plate strip</i>	<i>AL 1100 Aluminium, annealed</i>
4	Hollow square 40 x 40	<i>Generic high strength aluminum</i>
5	Beton eser	<i>White iron</i>
6	<i>Nut seal M10</i>	<i>Grade 8 steel</i>
7	Tiang penyangga	<i>Generic high strength aluminum</i>
8	Roda bantuan	<i>vulcanised wheels with steel sheet bracket</i>

Material pada tangga baru dipilih aluminium karena salah satu tujuan dari *redesign* tangga kereta api adalah membuat tangga ringan dan kokoh. Aluminium merupakan logam yang ringan dan mempunyai ketahanan korosi yang baik (Diyanto, 2014). Karakter tersebut yang diperlukan pada desain tangga baru. Dari keterangan mengenai tangga baru, berikut merupakan perbedaan antara tangga saat ini dengan tangga baru baik dari segi tampilan fisik dan fitur. Dapat dilihat pada Tabel 4.34.

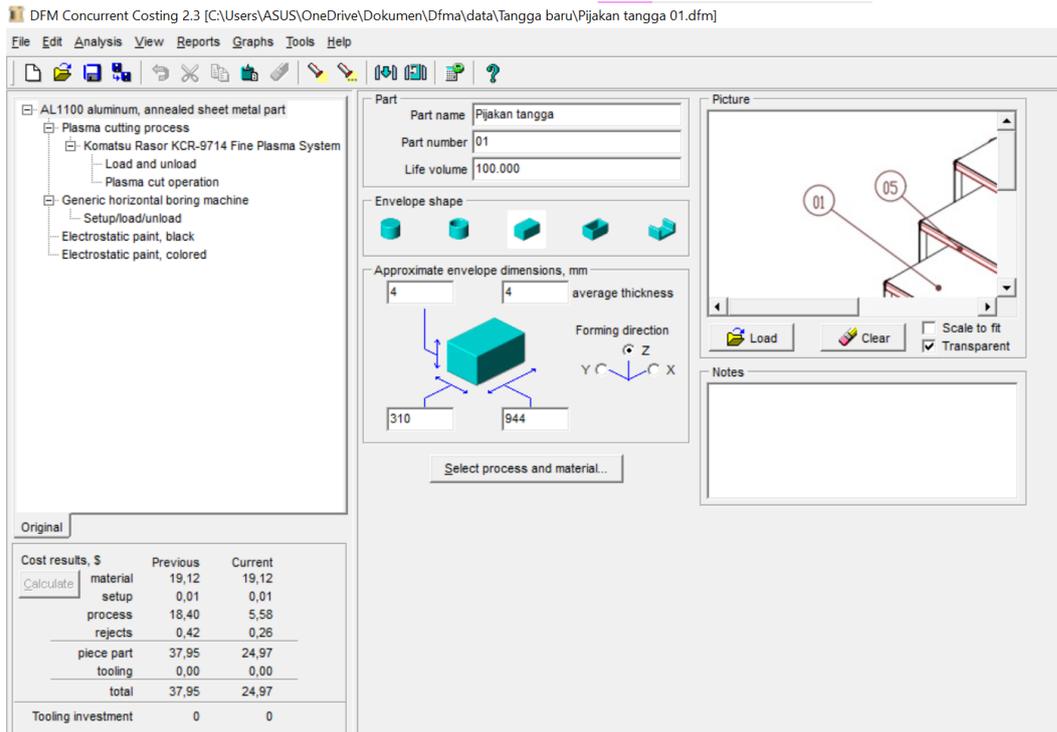
Tabel 4.34 Perbedaan Tangga Baru dengan Tangga Saat Ini

No	Perbedaan	Tangga Baru	Tangga Saat Ini
1	Material	Aluminium	<i>Carbon steel</i>
2	Dimensi	Mempertimbangkan antropometri	Tidak mempertimbangkan antropometri
3	Fitur	a. <i>Foldable</i> b. <i>Adjustable</i>	Tangga fix atau tetap
4	Roda bantuan	Dilengkapi pengunci	Tanpa pengunci
5	Massa tangga	Ringan	Berat

#### 4.3.2.1 Input Data pada software DFMA untuk Desain Tangga Baru

Proses manufaktur yang dilakukan pada pembuatan tangga baru meliputi *cutting* material, *drilling* dan pengecatan. Tidak seperti proses manufaktur pada tangga saat ini yang keseluruhan proses penyambungan material menggunakan proses *welding*, tangga baru memanfaatkan beton eser dan *nut* dalam proses penyambungan material. Hal ini disebabkan karena desain tangga saat ini merupakan tangga *foldable*. Proses *welding* hanya dilakukan pada penyambungan *hollow square* dengan pijakan tangga. Karena material yang digunakan adalah aluminium, maka Teknik pengelasan yang digunakan adalah MIG (*Metal Inert Gas*).

Berikut merupakan salah satu contoh *input* data pada software DFMA untuk desain tangga baru yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.13 Tampilan *software* DFMA untuk pijakan tangga baru

#### 4.3.2.2 Hasil Analisa Desain Tangga Baru

Salah satu hasil analisa komponen dengan *software* DFM adalah Analisa pijakan tangga baru yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. Total biaya produksi untuk pijakan tangga adalah sebesar \$ 24,97. Total ini terdiri dari biaya-biaya sebagai berikut:

1. Biaya material : \$ 19,12
2. Biaya *set-up* : \$ 0,01
3. Biaya proses : \$ 5,58
4. Biaya *reject* : \$ 0,26
5. Biaya *piece part* : \$ 24,97



## DFM Concurrent Costing Totals

Boothroyd Dewhurst, Inc.

14 January 2022 06:42

Pijakan tangga 01.dfm

Part Name: Pijakan tangga  
Part Number: 01

Process: Sheet metal plasma cutting  
Material: AL1100 aluminum, annealed

Life volume	Batch size	Cost per part, \$							Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total	
100000	12.500	19,12	0,01	5,58	0,26	24,97	0,00	24,97	0

Gambar 4.14 Total Biaya untuk pembuatan pijakan tangga baru

Total biaya yang tercantum pada Gambar 4.13 merupakan biaya untuk memproduksi komponen pijakan tangga. Bukan biaya keseluruhan untuk memproduksi satu tangga. Berikut detail komponen yang dalam prosesnya dipilih untuk beli dari pada buat, yaitu komponen *Nut* M10 dan roda bantuan.



Gambar 4.15 Roda Bantuan Tipe *Vulcanized Rubber* (Katalog *Brand Elsa*)

Untuk mengetahui total biaya pembuatan tangga baru secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.35 Total Biaya Produksi Tangga Baru

No	Nama Komponen	Biaya (\$)
1	Pijakan tangga	24,97
2	<i>Plate strip</i> pendek	1,26
3	<i>Plate strip</i> panjang	1,87
4	<i>Nut</i> M10	1,90
5	<i>Hollow square</i>	8,46
6	<i>Plate strip</i> mendatar	2,17
7	Beton eser	0,18
8	Penyangga dasar	12,99
9	Tiang penyangga tegak	14,80
10	Penyangga mendatar	14,74
11	<i>Handrail</i>	14,80
12	Roda bantuan	2,38
<b>Total</b>		<b>102,67</b>

Total biaya produksi tangga baru adalah sebesar \$102,67. Total ini lebih murah dibandingkan dengan biaya produksi tangga saat ini. Selisih tersebut sangat berarti dalam hal biaya produksi karena mengingat jumlah tangga yang cukup banyak, sehingga selisih sekitar \$10,65 dikalikan dengan jumlah tangga yang diproduksi maka akan menjadi banyak. Hal ini dapat menjadi pertimbangan penyedia layanan kereta untuk memperhitungkan desain tangga baru.

Berdasarkan Tabel 4.33 diketahui bahwa total komponen pada tangga baru adalah sebanyak 105 komponen, hal ini terjadi karena tangga baru merupakan tangga *foldable* sehingga paling banyak komponen penyusunnya adalah sambungan dan pengunci. Meskipun pada umumnya cara yang digunakan untuk meminimasi biaya produksi adalah dengan menyederhanakan komponen sebuah produk, akan tetapi pada kenyataan untuk desain tangga baru, biaya produksi tetap lebih rendah meskipun total komponen lebih banyak. Hal ini disebabkan karena keputusan

penulis memilih beli untuk komponen sambungan dan pengunci (*nut*). Keputusan ini benar dengan dibuktikan analisis biaya produksi dengan *software* DFM diperoleh hasil biasa produksi tangga baru lebih murah dari pada tangga saat ini.

## **BAB V**

### **ANALISA DAN PEMILIHAN DESAIN**

Pada bab ini berisi tentang analisa data yang telah diolah pada bab 4 disertai dengan pemilihan desain yang lebih baik dan memenuhi tujuan dari penelitian ini.

#### **5.1 Analisa**

Pada sub-bab ini dijelaskan mengenai analisa data yang telah didapat dari pengolahan data yang telah dilakukan.

##### **5.1.1 Analisa Desain Tangga Saat Ini**

Berdasarkan hasil pengolahan dengan *software* DFM, desain tangga saat ini mempunyai total komponen sebanyak 31 komponen dan berat total tangga adalah 32,429 Kg. Untuk ukuran tangga yang dipindahkan oleh tenaga manusia dan dibantu dengan roda bantuan, berat tersebut masih terhitung sangat berat. Pengaruh utama berat tangga tersebut adalah jenis material yang dipilih oleh pihak KAI yaitu *carbon steel*.

Sedangkan biaya yang diperlukan untuk memproduksi tangga saat ini menurut *software* DFM adalah sebesar \$113,32. Biaya tersebut terdiri dari *material cost*, *reject cost* dan *process cost*.

##### **5.1.2 Analisa Desain Tangga Baru**

Berdasarkan hasil pengolahan dengan *software* DFM, desain tangga baru mempunyai total komponen sebanyak 105 komponen dan berat total tangga adalah 12,581 Kg. Berat ini jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan berat tangga saat ini. Meskipun jumlah komponen pada tangga baru lebih banyak, tetapi pada hasil akhir total berat tangga lebih ringan tangga baru. Hal ini dipengaruhi oleh pemilihan material. Pada tangga baru material yang digunakan adalah aluminium, yang mana material ini mempunyai sifat ringan.

Sedangkan biaya pada produksi tangga baru menurut *software* DFM adalah sebesar \$102,67. Biaya total juga lebih rendah jika dibandingkan dengan desain tangga saat ini. Hal ini terjadi karena *process cost* pada tangga baru lebih rendah

meskipun harga material bahan baku aluminium jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan *carbon steel*.

## 5.2 Perbandingan Desain Tangga Saat Ini dengan Tangga Baru

Untuk mengetahui desain terbaik maka dilakukan perbandingan antara kedua desain yaitu desain tangga saat ini dengan desain tangga baru. Tabel 5.1 berikut menunjukkan hasil dari masing-masing desain dari segi jumlah komponen, biaya dan berat.

Tabel 5.1 Perbandingan Hasil *Software* DFM Desain Tangga Saat Ini dengan Desain Tangga Baru

Parameter	Desain Tangga Saat ini	Desain Tangga Baru
Total Biaya (\$)	113,32	102,67
Berat Total (Kg)	32,429	12,581

Berdasarkan Tabel 4.35 dapat diketahui biaya produksi tangga baru lebih murah dibandingkan dengan tangga saat ini. Berat total tangga baru juga lebih rendah jika dibandingkan dengan berat total tangga saat ini. Hal ini dapat menunjukkan bahwa desain tangga baru sesuai dengan tujuan dari penelitian ini.

Sehingga desain tangga baru yang *foldable*, ringan dan kokoh dapat diperhitungkan oleh pihak KAI dalam rencana perbaikan dan peremajaan fasilitas serta layanan oleh PT.KAI Persero.

Adapun perbandingan desain tangga saat ini dengan desain tangga baru pada aspek kenyamanan penumpang, meliputi:

Tabel 4.36 Perbedaan Tangga Menurut Aspek Kenyamanan

No	Perbedaan	Tangga Saat Ini	Tangga Baru
1	Lebar tangga	80 cm	94,4 cm
2	Ketinggian tangga	81 cm	<i>Adjustable</i>
3	Jarak antar anak tangga	25 cm	15,5 cm
4	Roda bantuan	Tanpa pengunci	Dilengkapi pengunci

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan. Adapun kesimpulan dan saran tersebut adalah sebagai berikut.

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan *voice of customer* kebutuhan kedua belah pihak adalah tangga baru yang nyaman dan ringan.
2. Tangga saat ini mempunyai berat sebesar 32,429 Kg dan biaya produksi mencapai \$113,32. Sedangkan tangga baru mempunyai berat 12,581 kg dengan biaya produksi \$100,29
3. Dari hasil pengolahan data dengan *software* DFM disimpulkan bahwa tangga baru mempunyai biaya produksi lebih rendah, serta bobot yang lebih ringan. Meskipun dari segi komponen, desain tangga saat ini mempunyai komponen yang jauh lebih sedikit.

#### **6.2 Saran**

Saran untuk penelitian kedepannya adalah *redesign* tangga kereta api dapat dilakukan kembali dengan menambah aspek-aspek sebagai pertimbangan *redesign* nya. Salah satunya yaitu mempertimbangkan dari segi penumpang yang mempunyai kebutuhan khusus.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adriantantri, E. (2018). Aplikasi Metode Quality Function Deployment ( Qfd ) Dalam Usaha Memenuhi Kepuasan Pelanggan Terhadap Produk Aqua Gelas 240 Ml Pada Pt . Tirta Investama Pandaan. *Prosiding Seminar Nasional Tknoin* 2008, 37–44. <https://journal.uii.ac.id/Teknoin/article/download/2091/1900>
- Andrade, P., Santos, J., & Maia, L. (2020). Improvement of Staircases Vibration Serviceability to Human Improvement of Staircases Vibration Serviceability to Human Ergonomics : A Case Study. *Procedia Structural Integrity*, 28(2019), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.034>
- Antropometri Indonesia*. (n.d.). Retrieved July 7, 2021, from [https://antropometriindonesia.org/index.php/detail/sub/3/4/0/dimensi\\_antropometri](https://antropometriindonesia.org/index.php/detail/sub/3/4/0/dimensi_antropometri)
- Basuki, K. (2020). Company Profile KAI 2020. In *ISSN 2502-3632 (Online) ISSN 2356-0304 (Paper) Jurnal Online Internasional & Nasional Vol. 7 No.1, Januari – Juni 2019 Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta* (Vol. 53, Issue 9). [www.journal.uta45jakarta.ac.id](http://www.journal.uta45jakarta.ac.id)
- Begini Cara Melacak Posisi KRL Secara Real Time - Metro Tempo.co*. (n.d.). Retrieved June 13, 2021, from <https://metro.tempo.co/read/464489/begini-cara-melacak-posisi-krl-secara-real-time>
- Cahyaditha, A. A., Nazlina, & Tambunan, M. M. (2013). Perbaikan Fasilitas Penumpang Kereta Api Pada Stasiun X Dengan Pendekatan Ergonomi Makro. *Jurnal Teknik Industri USU*, 3(1), 22–29.
- Chan, L., & Wu, M. (2020). Quality Function Deployment : A Comprehensive Review of Its Concepts and Quality Function Deployment : A Comprehensive Review of Its Concepts and Methods. *Quality Engineering, September 2002*. <https://doi.org/10.1081/QEN-120006708>
- Cohen, H. H., & D, P. (2017). OBSERVATIONAL STUDY OF STAIRCASE HANDRAIL USE. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 2017-October*, 1502–1506.
- Direksi PT. KAI. (2015). *Maklumat Direksi PT. KAI Nomor : 6/LL/006/KA-2015*

(p. 14).

- Diyanto, R. I. (2014). *KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT ALUMINIUM YANG DIPERKUAT SERBUK BESI YANG MENGALAMI PERLAKUAN PANAS*. 1–4.
- Duru, O., Galvao, C. B., Mileski, J., Robles, L. T., & Gharehgozli, A. (2020). Developing a comprehensive approach to port performance assessment. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 36(4), 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2020.03.001>
- Duru, O., Huang, S. T., Bulut, E., & Yoshida, S. (2013). Multi-layer quality function deployment (QFD) approach for improving the compromised quality satisfaction under the agency problem: A 3D QFD design for the asset selection problem in the shipping industry. *Quality and Quantity*, 47(4), 2259–2280. <https://doi.org/10.1007/s11135-011-9653-4>
- Fareri, B. (2020). *Rancang Bangun Trolley Multifungsi pada Perpustakaan* (Vol. 2, Issue 1).
- Ficalora, J. P., & Cohen, L. (2013). Quality Function Deployment and Six Sigma A QFD Handbook. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Second Edi, Vol. 53, Issue 9). Prentice Hall.
- Ginting, R., & Indi, B. V. B. A. (2019). Perbaikan Produk Pakaian Pelindung Dingin Menggunakan Metode DFM Pada PT.XXX. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 21(2), 63–69. <https://doi.org/10.32734/jsti.v21i2.1221>
- Ginting, R., Ishak, A., & Malik, A. F. (2020). *Product development and design with a combination of design for manufacturing or assembly and quality function deployment : A literature review*. June. <https://doi.org/10.1063/5.0000739>
- Ginting, R., Siregar, I., & Nasution, A. B. (2013). Rancangan Perbaikan Produk Saklar Dengan Integrasi Metode Qfd Dan Dfma Di Pt Xxx. *J@Ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 8(3), 203–208. <https://doi.org/10.12777/jati.8.3.203-208>
- HargaTokoBesi. (n.d.). *Harga Plat Bordes Per Lembar Terbaru [Harga 2021] / Harga Toko Besi ASIA*. Retrieved January 27, 2022, from <https://hargatokobesi.com/harga-plat-bordes-per-lembar-terbaru/>
- Hauser, J. R., Griffin, A., Klein, R. L., Katz, G. M., & Gaskin, S. P. (2010). Quality

- Function Deployment (QFD). In *Wiley International Encyclopedia of Marketing*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444316568.wiem05023>
- Hicks, C. L., Jensen, R. C., & Adams, J. M. (2013). Stairway step dimensions: Replication of a measurement system study. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 575–579. <https://doi.org/10.1177/1541931213571123>
- Hisham, N., Othman, H., & Suri, M. (2014). ERGONOMIC BUS STAIRCASE DESIGN FOR ELDERLY. *STEMAN*, 3–7.
- Huang, S. T., Chang, K. Y., Su, I. H., Chiou, A. S., & Yin-Chi, C. (2020). Service quality assessment of free trade port zone using multilayer quality function deployment: An empirical study in Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology (Taiwan)*, 28(1), 1–9. [https://doi.org/10.6119/JMST.202002\\_28\(1\).0001](https://doi.org/10.6119/JMST.202002_28(1).0001)
- Irvine, C. H., Snook, S. H., & Sparshatt, J. H. (2010). Stairway risers and treads: acceptable and preferred dimensions. *Applied Ergonomics*, 21(3), 215–225. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(90\)90005-I](https://doi.org/10.1016/0003-6870(90)90005-I)
- Kayapinar Kaya, S., & Erginel, N. (2020). Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123880>
- Kementerian Perhubungan Republik, I. (2011). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 29 Tahun 2011 Tentang Persyaratan Teknis Bangunan Stasiun Kereta Api. In *Kementerian Perhubungan*. [https://djka.dephub.go.id/uploads/201908/pm.\\_no.\\_29\\_tahun\\_2011.pdf](https://djka.dephub.go.id/uploads/201908/pm._no._29_tahun_2011.pdf)
- Kementerian Perhubungan Republik, I. (2014). *PM. 47 Standar Pelayanan Minimum untuk Angkutan Orang dengan Kereta Api*. 13. [http://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2015/PM\\_180\\_Tahun\\_2015.pdf](http://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2015/PM_180_Tahun_2015.pdf)
- Kementerian Perhubungan Republik, I. (2019). PM 63 tahun 2019 Standar Pelayanan Minimum Angkutan Orang dengan Kereta Api. *Jakarta*, 3, 13.
- Kereta Api Kita di Instagram “Marhaban ya Ramadhan Selamat menunaikan*

- ibadah puasa Ramadhan 1441 H untuk kamu yg berpuasa. Mari hiasi setiap langkah kita di bulan suci....”* (n.d.). Retrieved June 13, 2021, from [https://www.instagram.com/p/B\\_VuOGOFbEw/](https://www.instagram.com/p/B_VuOGOFbEw/)
- Kereta Api Kita di Instagram “Natal 2019 Kehangatan dan kemeriahan suasana Natal akan semakin lengkap jika kita selalu berbagi kasih dan memiliki hati yang melayani....”* (n.d.). Retrieved June 13, 2021, from <https://www.instagram.com/p/B6eRdaeArJw/>
- Lu, T., & Zhang, Y. (2012). QFD&DFMA application on an oil/water separation product. *Applied Mechanics and Materials*, 163, 211–216. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.163.211>
- Marcell, M. R. R., Supomo, H., & Arif, S. (2021). *Analisis Teknis dan Ekonomis Perbandingan Laju Korosi Material Galvanis dan Aluminium untuk Memprediksi Umur dan Biaya Reparasi*. 10(2).
- Mattie, J. L., Borisoff, J. F., Leland, D., & Miller, W. C. (2015). Development of an integrated staircase lift for home access. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 2(May 2016), 205566831559407. <https://doi.org/10.1177/2055668315594076>
- Merajul Haque, M., Limon, S. A., Moniruzzaman, M., & Mohar Ali Bepari, M. (2019). Corrosion comparison of galvanized steel and aluminum in aqueous environments. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 9(June), 1758–1767. <https://doi.org/10.15282/ijame.9.2013.24.0146>
- Mulatsih, R., & Sulistyowati. (2016). Studi Kepuasan Penumpang Kereta Api Kamandaka Jurusan Semarang-Purwokerto. *Jurnal Dinamika Ekonomi Dan Bisnis*, 13(2), 119–130.
- Ningrum, D. P., & Haqi, D. N. (2020). Ergonomics Aspects of the Architectural Design of the Staircase in Universitas Airlangga Public Health Faculty Building , Surabaya. *Malaysian Journal of Medecine and Health Science*, 16(10), 211–217.
- Nurcahyanto, H., & Marom, A. (2015). Analisis Kepuasan Pelanggan Pada Stasiun Kereta Api Semarang Poncol (Daop IV Semarang). *Journal of Public Policy and Management Review*, 4(2), 276–286.

- <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jppmr/article/view/8253/8022>
- Nurmianto, E. (2003). Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya Edisi Pertama. In *Guna Widya, Surabaya*.
- Pei, E. (2012). Design for manufacturing. *Assembly Automation*, 32(2), 130–131. <https://doi.org/10.1108/aa.2012.03332baa.001>
- Persyaratan Teknis Peron Stasiun Kereta Api | keretapedia*. (n.d.). Retrieved June 1, 2021, from <https://keretapedia.com/2020/06/14/persyaratan-teknis-peron-stasiun-kereta-api/>
- Pousette, A. (2013). Full-scale test and finite element analysis of a wooden spiral staircase. *Holz Als Roh- Und Werkstoff* 61, 61, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00107-002-0345-6>
- Prasad, S., Zacharia, T., & Babu, J. (2014). Design for Manufacturing (DFM) approach for Productivity Improvement in Medical Equipment Manufacturing. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(4), 79–85.
- Prastawa, H., Mahachandra, M., Purwaningsih, R., & Satriyo, E. (2018). Redesain Fasilitas Tangga Sebagai Evaluasi Ergonomi dengan Kerangka Ideas dan Analisis Posture Evaluation Index pada Objek Wisata Muria Kudus. *Jurnal Ergonomi Dan K3*, 3(2), 17–23. <https://doi.org/10.5614/j.ergo.2018.3.2.3>
- Purnomo, H. (2013). Antropometri Dan Aplikasinya. *Dengan Mengetahui Ukuran Dimensi Tubuh Pekerja, Dapat Dibuat Rancangan Peralatan Kerja, Stasiun Kerja Dan Produk Yang Sesuai Dengan Dimensi Tubuh Pekerja Sehingga Dapat Menciptakan Kenyamanan, Kesehatan, Keselamatan Kerja*, c, 2.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). Human Factors in Engineering and Design (7th Edition). In *Psychology series* (Vol. 1).
- Schweitzer, P. (2003). Aluminum and Aluminum Alloys. *Metallic Materials*, 351–416. <https://doi.org/10.1201/9780203912423.ch19>
- Sugianto, A., Yuwono, I. N., & Satriawan, K. (2020). Perancangan Kursi Tangga dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment. 4(2), 229–236.
- Sugiyono. (2015). Metode Penelitian dan Pengembangan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D. *Metode Penelitian Dan Pengembangan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, Dan R&D*.

- Susanti, A., Aryani Soemitro, R. A., & Suprayitno, H. (2018). Identifikasi Kebutuhan Fasilitas Bagi Penumpang di Stasiun Kereta Api Berdasarkan Analisis Pergerakan Penumpang. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2(1), 23–34. <https://doi.org/10.12962/j26151847.v2i1.3765>
- Tarwaka, & Bakri, S. H. A. (2016). *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*. <http://shadibakri.uniba.ac.id/wp-content/uploads/2016/03/Buku-Ergonomi.pdf>
- Trenggonowati, D. L., Singgih, M. L., & Karningsih, P. D. (2013). Pengembangan Model Empat Fase Qfd Dengan. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVII*, 17, 1–10.
- Tutuhatunewa, A. (2015). Aplikasi Metode Quality Function Deployment Dalam Pengembangan Produk Air Minum Kemasan. *Arika*, 4(1), 1–13.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). Product Design and Development: Fifth Edition. In *McGraw-Hill*. <http://www.ulrich-eppinger.net/>
- Zairi, M., & Youssef, M. A. (1995). Quality function deployment: A main pillar for successful total quality management and product development. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 12(6), 9–23. <https://doi.org/10.1108/02656719510089894>
- Zaman, A. N., Anityasari, M., & Surjani, R. M. (2016). Metodologi Desain Product Service System (PSS) Dengan QFD Multi Layer Di Perusahaan Karoseri. *Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXIV*, 1–8.

## BIODATA PENULIS



**Citra Dwi Kusumawardani**, lahir di kota kecil Tulungagung pada 14 Januari 1996. Anak ke 2 dari 3 bersaudara. Dibesarkan di keluarga yang berlatar belakang sebagai seorang pendidik. Hal ini yang menginspirasi penulis untuk melanjutkan Pendidikan di jenjang Magister. Sebelum memutuskan untuk kembali ke dunia Pendidikan, penulis bekerja beberapa perusahaan kontraktor di Gresik sebagai HSE Engineer karena latar belakang pendidikan penulis yaitu lulusan D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja Tahun 2018 dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pada tahun pertama bekerja, penulis memilih untuk *off/resign* dan melanjutkan pendidikan Magister Teknik di DTSI-ITS mengambil konsentrasi Manajemen Kualitas dan Manufaktur di tahun 2019 dan menyelesaikan studi pada sidang tesis tanggal 21 Januari 2022. Penulis dapat dihubungi melalui email [citrakusumma@gmail.com](mailto:citrakusumma@gmail.com) atau 085736221045 jika terdapat pertanyaan terkait materi pada penelitian ini dapat menghubungi kontak tersebut. “Semua akan indah pada waktunya”.



# **LAMPIRAN**



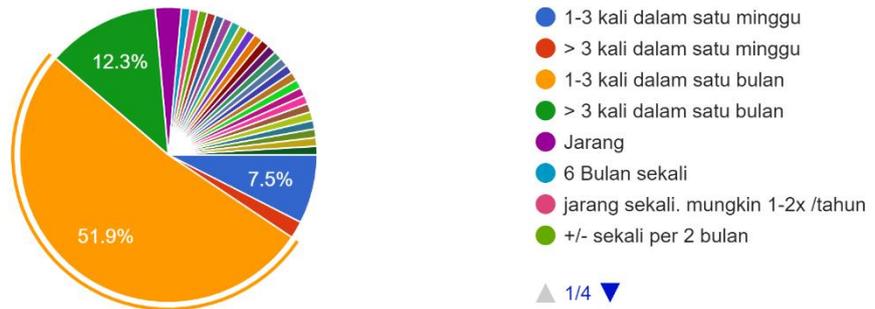
## Lampiran 1.

### HASIL KUESIONER PELANGGAN KERETA API

#### Studi Pendahuluan

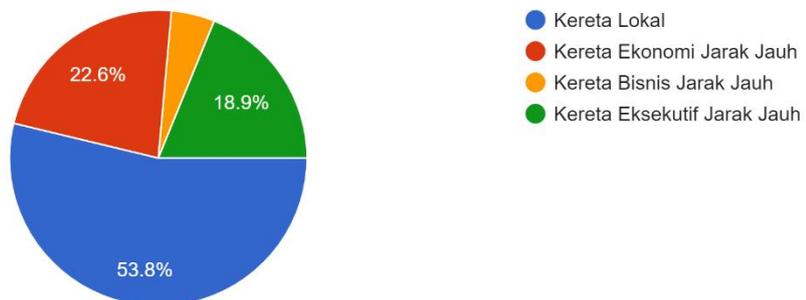
Seberapa sering menggunakan moda transportasi umum kereta api?

106 responses



Apakah jenis kereta api yang biasa digunakan?

106 responses



Keterangan:

1 : sangat tidak setuju

2 : tidak setuju

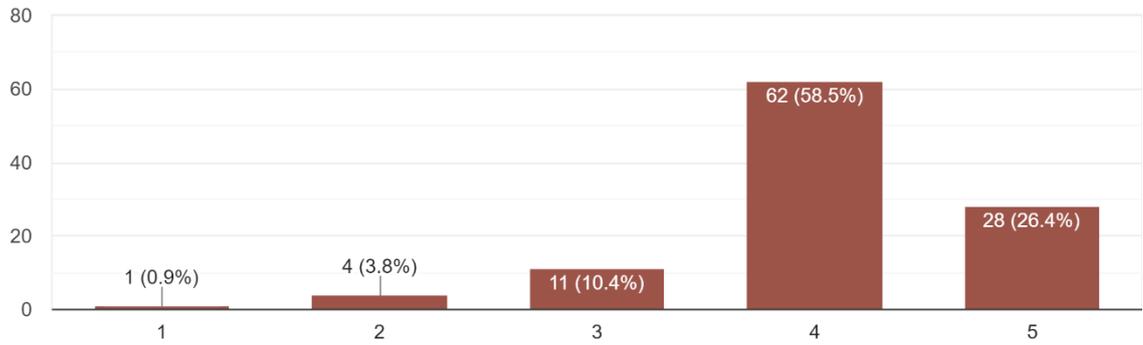
3 : cukup setuju

4 : setuju

5 : sangat setuju

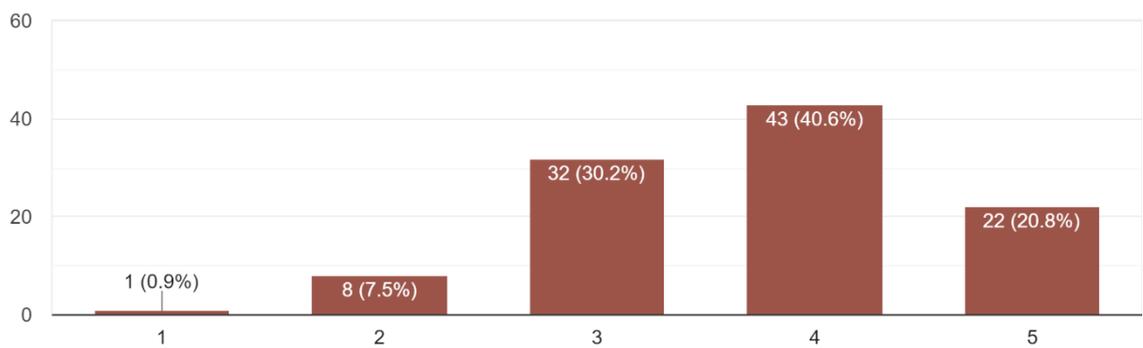
### Fasilitas di kereta nyaman digunakan

106 responses



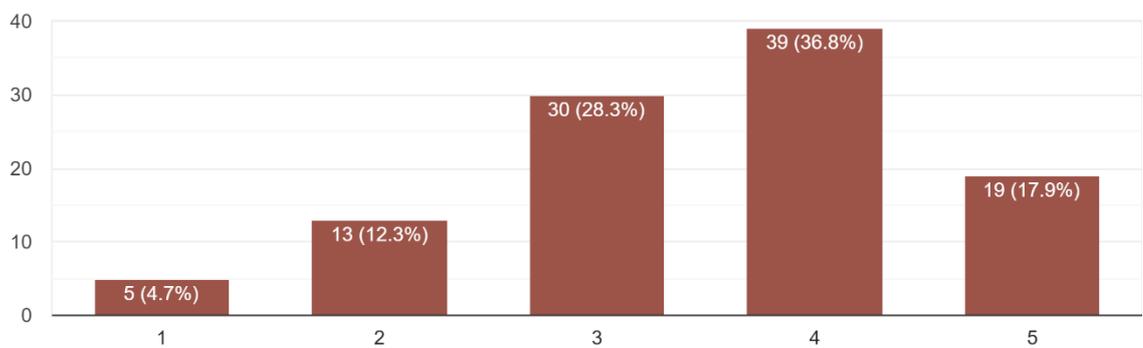
### Akses keluar dan masuk gerbong belum memadai

106 responses



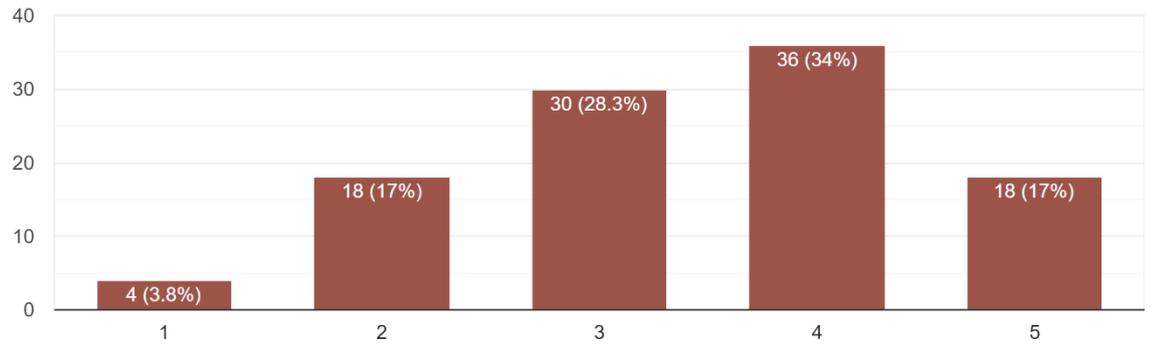
### Akses naik dan turun gerbong belum memadai

106 responses



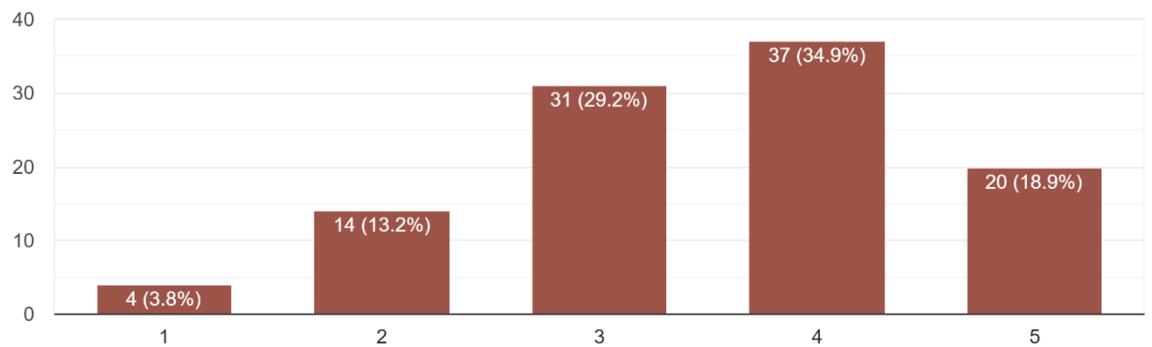
### Tangga untuk naik dan turun gerbong kurang nyaman digunakan

106 responses



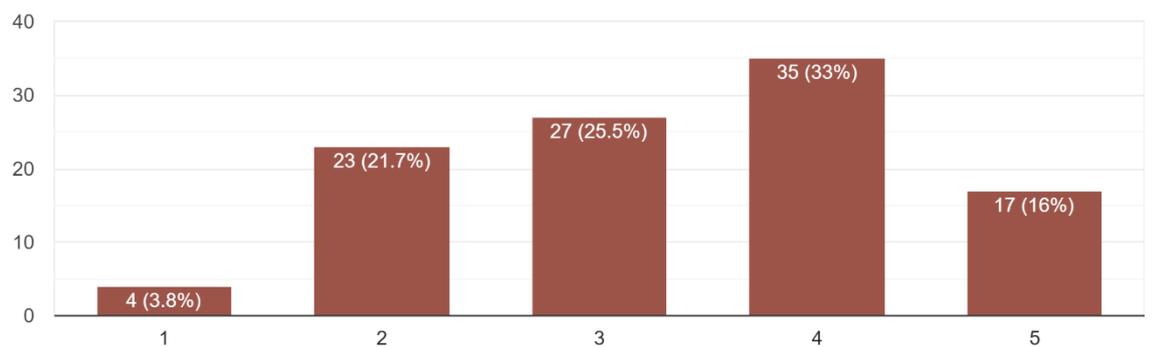
### Anak tangga mempunyai tinggi yang pas

106 responses



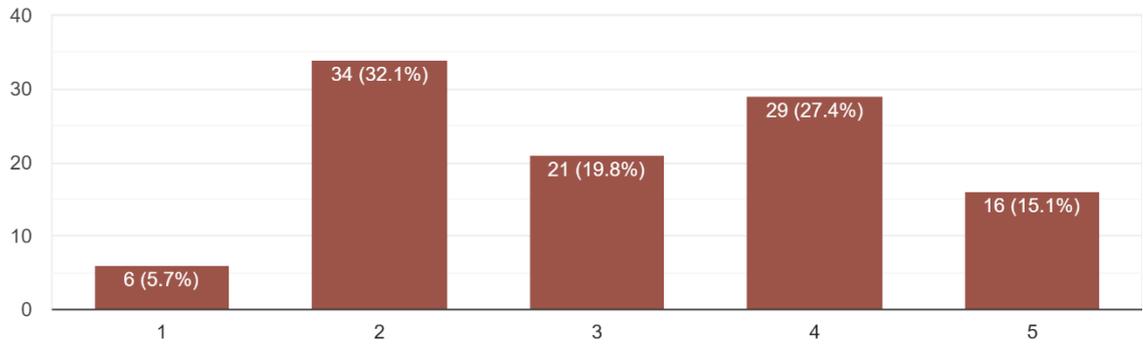
### Tangga untuk naik dan turun gerbong susah diakses

106 responses



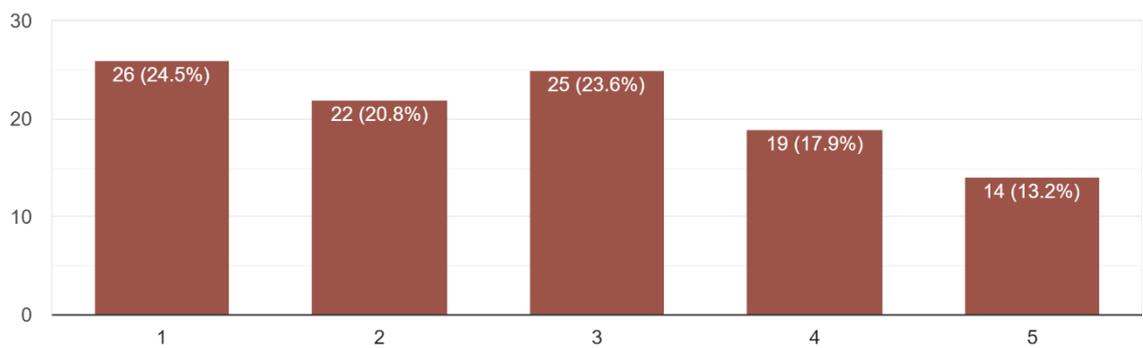
### Tangga untuk naik dan turun gerbong sudah memadai (jumlah, kondisi fisik)

106 responses



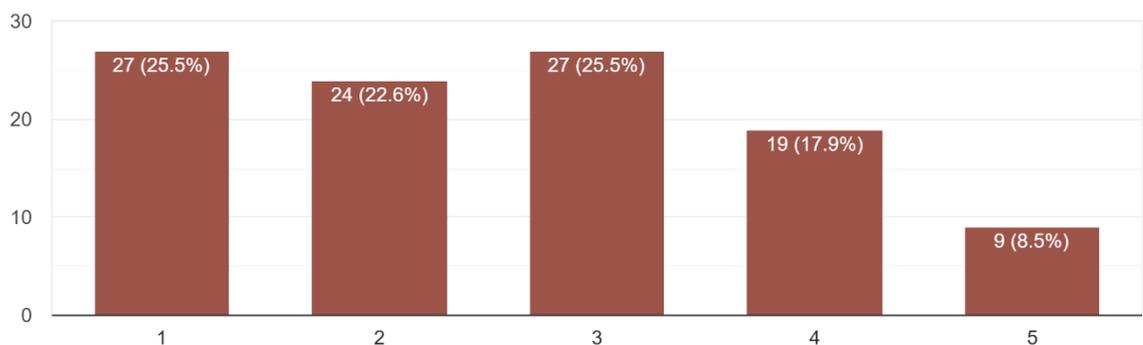
### Terdapat tangga untuk difabel (pengguna kursi roda)

106 responses



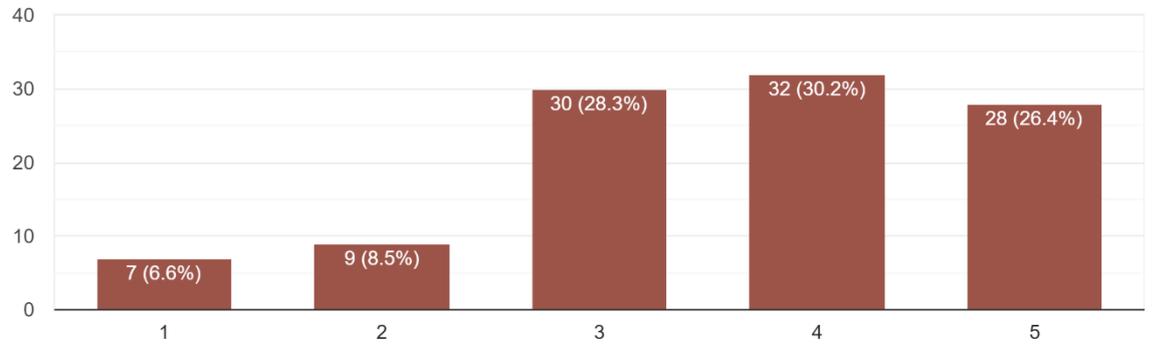
### Akses naik dan turun gerbong untuk difabel (pengguna kursi roda) cukup memadai

106 responses



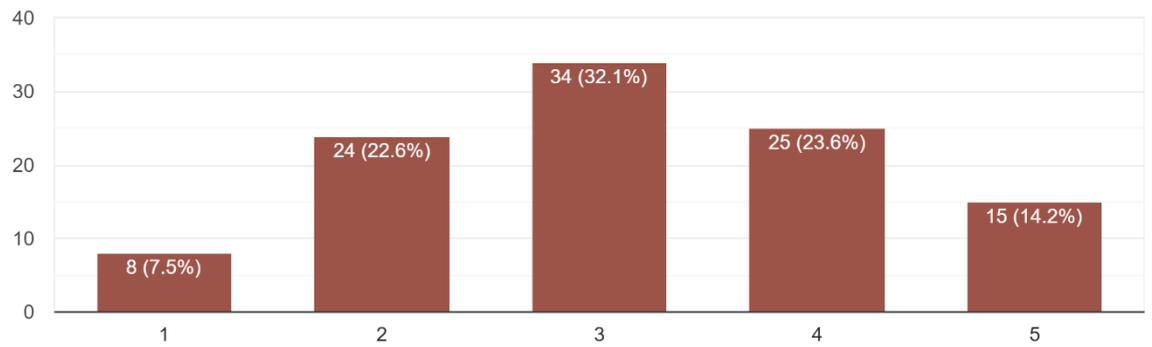
Semua stasiun mempunyai peron (pelataran tempat tunggu penumpang sebelum naik ke kereta) yang memadai

106 responses



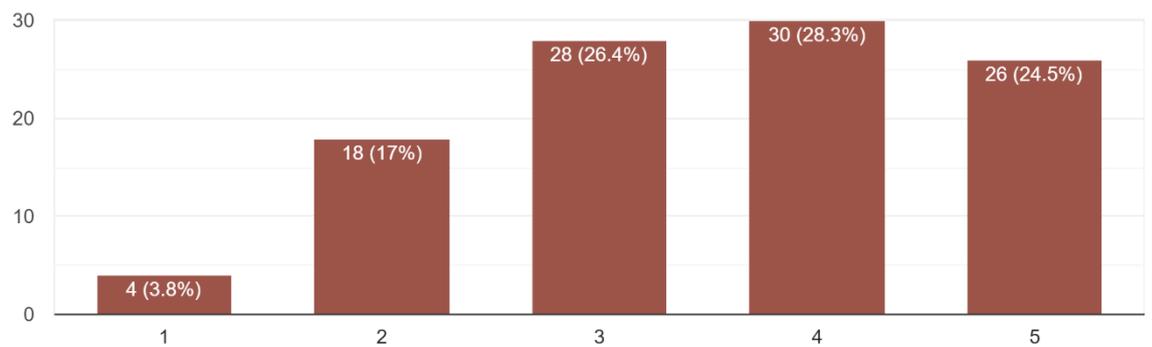
Panjang peron dapat menjangkau semua gerbong rangkaian kereta

106 responses



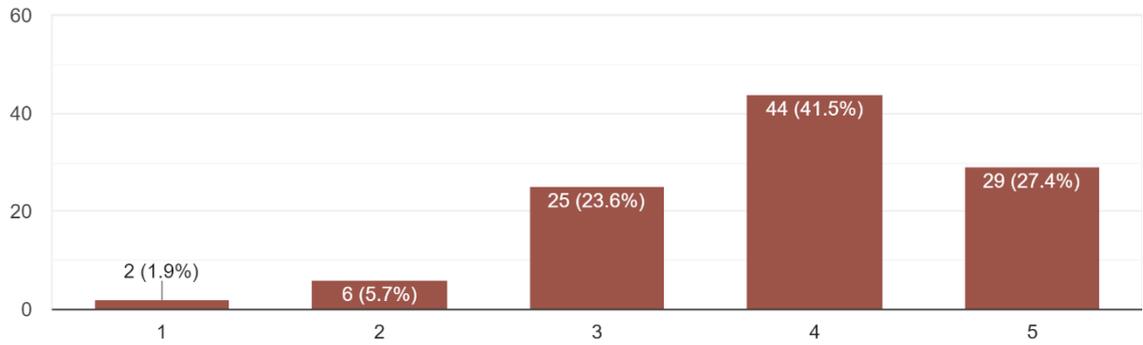
Tinggi peron sesuai dengan tinggi pintu gerbong

106 responses



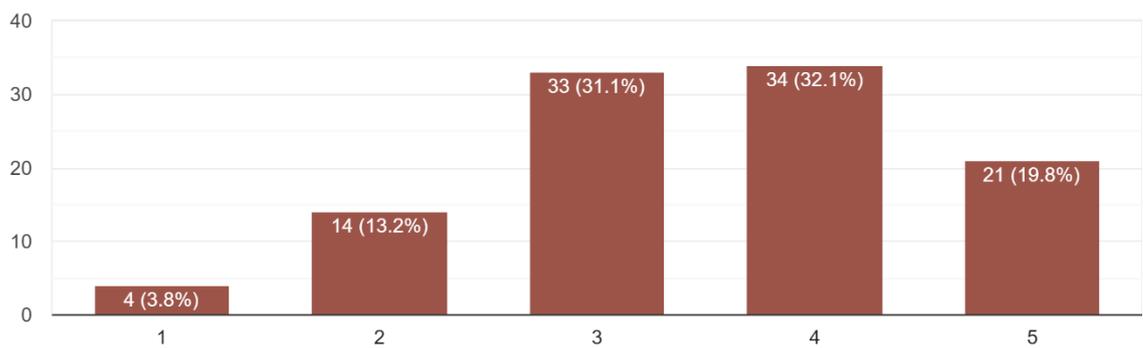
### Permukaan atau lantai peron tidak licin

106 responses



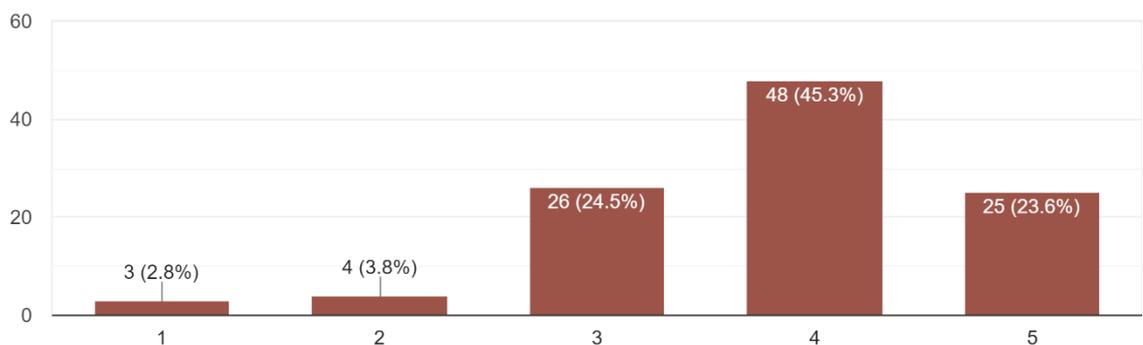
### Peron dilengkapi dengan akses untuk difabel (pengguna kursi roda)

106 responses



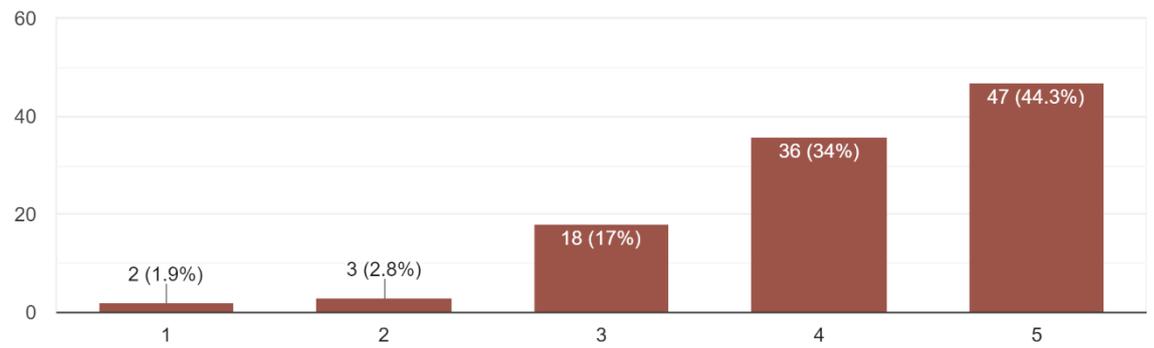
### Lebar peron sesuai sehingga tidak membahayakan penumpang saat kereta melintas

106 responses



### Terdapat garis atau batas aman penumpang untuk diperbolehkan berdiri di Peron

106 responses



**Lampiran 2.**

**KUESIONER UNTUK PIHAK KAI**

**LEMBAR KUESIONER PENELITIAN**

***REDESIGN TANGGA KERETA API DENGAN PENDEKATAN MULTI-LAYER QFD DAN DESIGN FOR MANUFACTURING***

**(untuk Pihak KAI)**

Bersamaan dengan ini, Saya selaku peneliti memohon kepada Bapak/Ibu agar berkenan untuk mengisi kuesioner sebagai bahan analisis data dalam penyelesaian penelitian tentang *Redesign* Tangga Kereta Api.

I. Identitas Responden

Nama :

Jabatan :

DAOP :

II. Pada bagian ini, Bapak/Ibu diminta untuk menuliskan jawaban atas beberapa pertanyaan yang berkaitan dengan keinginan Bapak/Ibu terhadap *Redesign* Tangga Kereta Api dengan mengisi beberapa pertanyaan di bawah ini:

1. Model tangga baru yang seperti apa yang Bapak/Ibu inginkan?

.....  
.....

2. Terbuat dari bahan apa yang Bapak/Ibu inginkan sehingga tangga baru lebih kokoh dan nyaman digunakan?

.....  
.....

3. Fitur tambahan apa yang Bapak/Ibu inginkan pada tangga baru?

.....  
.....



Lanjutan

No	Karakteristik Kualitas	PERSEPSI					HARAPAN				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
6	Tangga dapat dilipat										
7	Tangga dapat <i>include</i> atau masuk ke gerbong kereta										
<b>Kehandalan (<i>Reliability</i>)</b>											
8	Tangga dapat dibuka dan dilipat dengan lancar										
9	Sambungan las tidak mudah lepas										
10	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)										
<b>Ketahanan (<i>Durability</i>)</b>											
11	Warna cat pada tangga tidak mudah pudar										
12	Tangga tidak mudah berkarat										
<b>Keindahan (<i>Aesthetic</i>)</b>											
13	Tangga berwarna selain hitam										
14	<i>Safety line</i> terlihat jelas										

**Lampiran 3.**  
**KUESIONER UNTUK PIHAK PENUMPANG**

**LEMBAR KUESIONER PENELITIAN**  
**REDESIGN TANGGA KERETA API DENGAN PENDEKATAN *MULTI-LAYER QFD* DAN *DESIGN FOR MANUFACTURING***  
**(untuk Pihak Penumpang)**

Bersamaan dengan ini, Saya selaku peneliti memohon kepada Saudara/i agar berkenan untuk mengisi kuesioner sebagai bahan analisis data dalam penyelesaian penelitian tentang *Redesign* Tangga Kereta Api.

1. Identitas Responden

Nama :  
Umur :  
Jenis Kelamin :  
Frekuensi naik kereta api :

2. Petunjuk pengisian pertanyaan: pilihlah jawaban yang sesuai dengan pendapat Saudara dengan cara memilih salah satu pilihan jawaban yang tersedia.

**Persepsi (*perception*)** adalah kesan Saudara terhadap kondisi tangga/bancik yang saat ini tersedia di stasiun.

**Harapan (*Expectation*)** adalah opini Saudara terhadap hal-hal yang berkaitan dengan tangga/bancik kereta api

Kriteria:

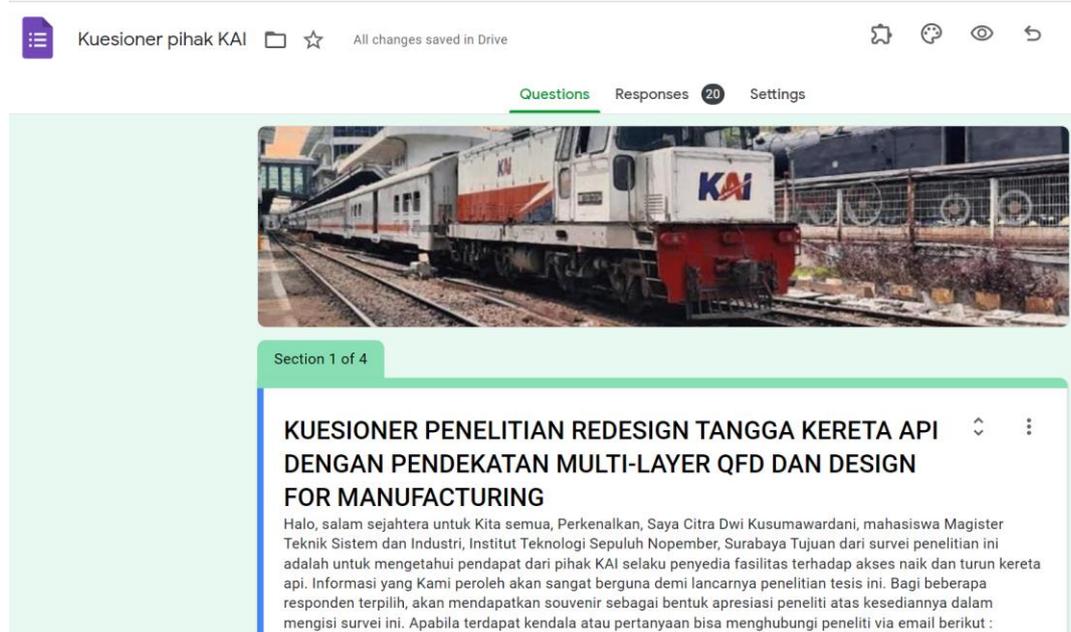
1 = Sangat Tidak Puas	4 = Puas
2 = Tidak Puas	5 = Sangat Puas
3 = Cukup	

No	Karakteristik Kualitas	PERSEPSI					HARAPAN				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Kinerja (<i>Performance</i>)</b>											
1	Tangga tidak goyang saat digunakan										
2	Tangga tidak licin										
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan penumpang										
4	Tangga kokoh										
<b>Tampilan (<i>Features</i>)</b>											
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>										
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>										
<b>Kehandalan (<i>Reliability</i>)</b>											
7	Ketepatan posisi tangga										
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menenteng barang bawaan)										
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)										
<b>Keindahan (<i>Aesthetic</i>)</b>											
10	Tangga berwarna selain hitam										
11	<i>Safety line</i> terlihat jelas										

## **Lampiran 4.** **HASIL KUESIONER KEDUA BELAH PIHAK**

a. Pihak KAI

Halaman awal *google form* yang menjadi media pengisian kuesioner untuk pihak KAI. Link yang digunakan untuk pengisian kuesioner tersebut adalah <https://intip.in/KuesionerTanggaKAI>



Kuesioner disebar di stasiun Tulungagung pada tanggal 3 November 2021. Dan petugas KAI mengisi kuesioner dalam rentang waktu tanggal 3-4 November 2021.

Tabel Hasil kuesioner pendapat pihak KAI terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
<b>Kinerja (Performance)</b>																					
1	Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	5	3	4	4	3	3	3	3	4	2	3	4	4	3	1	2	3	2	3	3
2	Tangga ringan	4	3	3	4	3	3	4	3	4	2	3	4	2	1	2	3	2	2	3	2
3	Tangga kokoh	4	3	3	4	5	3	5	4	4	1	4	3	4	3	2	4	3	2	3	3
<b>Tampilan (Features)</b>																					
4	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	5	3	3	4	4	3	5	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	2	3
5	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	4	3	4	4	3	3	5	3	4	2	3	3	4	3	2	4	3	3	3	2
6	Tangga dapat dilipat	2	3	2	4	3	1	5	3	3	1	3	4	4	1	3	1	2	1	1	2
7	Tangga dapat <i>include</i> atau masuk ke gerbong kereta	2	3	3	4	3	1	5	3	3	1	4	3	2	2	1	1	3	1	1	3
<b>Kehandalan (Reliability)</b>																					
8	Tangga dapat dibuka dan dilipat dengan lancar	3	3	3	4	4	1	5	3	3	1	4	3	4	2	1	2	1	1	1	2

Lanjutan Tabel Hasil kuesioner pendapat pihak KAI terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	
9	Sambungan las tidak mudah lepas	4	3	4	4	5	3	2	3	4	1	3	3	3	1	2	3	2	3	3	3	
10	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	4	3	4	4	4	3	3	3	4	2	3	3	4	2	1	3	3	2	2	3	
<b>Ketahanan (<i>Durability</i>)</b>																						
11	Warna cat pada tangga tidak mudah pudar	3	3	3	4	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	2	4	4	2	5	3	
12	Tangga tidak mudah berkarat	4	3	2	4	4	3	2	3	4	1	4	3	4	3	2	3	3	2	3	2	
<b>Keindahan (<i>Aesthetic</i>)</b>																						
13	Tangga berwarna selain hitam	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3
14	<i>Safety line</i> terlihat jelas	5	3	4	4	4	4	4	3	4	2	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3

Tabel Hasil kuesioner harapan pihak KAI terhadap kondisi tangga saat ini

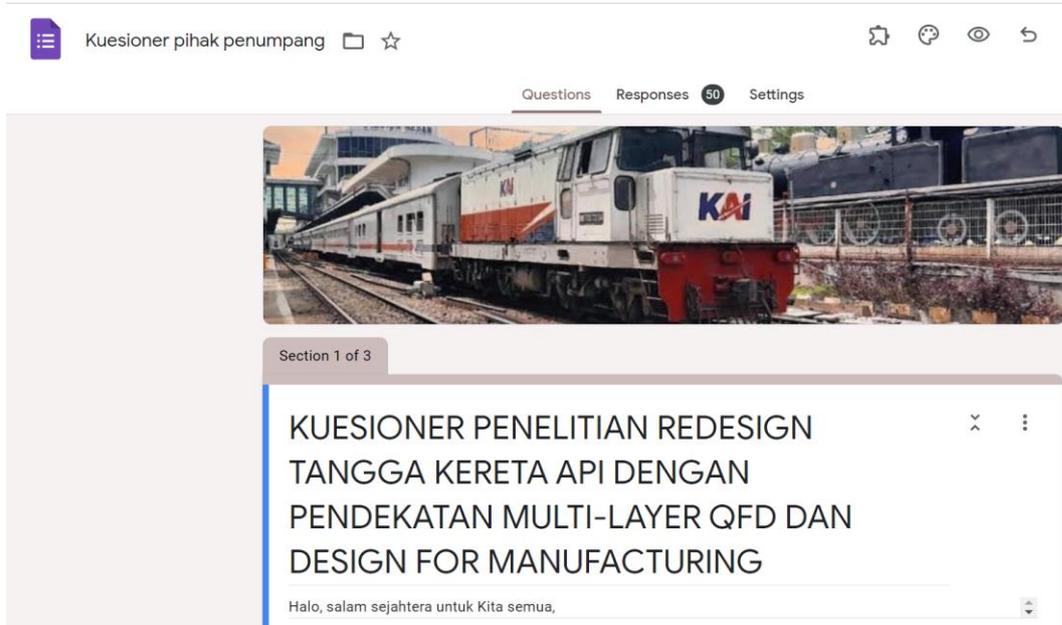
No	Kriteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
<b>Kinerja (Performance)</b>																					
1	Tangga mudah dipasang di pintu gerbong	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	3	3	4	3	5	3
2	Tangga ringan	4	5	4	4	4	5	5	5	4	5	4	5	5	4	3	5	4	3	5	4
3	Tangga kokoh	4	5	4	4	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	3	5	4	3	5	4
<b>Tampilan (Features)</b>																					
4	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	5	5	3	4	4	5	5	5	4	5	4	4	5	5	4	4	3	3	5	4
5	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	4	5	4	4	3	5	5	5	4	5	3	4	5	4	4	4	4	4	5	3
6	Tangga dapat dilipat	2	5	2	4	3	5	5	4	3	5	3	5	5	4	4	4	4	4	5	4
7	Tangga dapat <i>include</i> atau masuk ke gerbong kereta	2	5	3	4	3	5	5	5	3	5	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4
<b>Kehandalan (Reliability)</b>																					
8	Tangga dapat dibuka dan dilipat dengan lancar	3	5	4	4	4	5	5	5	3	5	4	5	5	5	4	3	4	5	5	3

Lanjutan Tabel Hasil kuesioner harapan pihak KAI terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
9	Sambungan las tidak mudah lepas	4	3	4	4	5	3	2	3	4	1	3	3	3	1	2	3	2	3	3	3
10	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	4	3	4	4	4	3	3	3	4	2	3	3	4	2	1	3	3	2	2	3
<b>Ketahanan (<i>Durability</i>)</b>																					
11	Warna cat pada tangga tidak mudah pudar	4	5	4	4	5	5	5	5	4	5	3	4	5	4	3	5	4	3	4	3
12	Tangga tidak mudah berkarat	4	5	4	4	4	5	5	5	4	5	3	4	5	4	4	4	3	3	4	4
<b>Keindahan (<i>Aesthetic</i>)</b>																					
13	Tangga berwarna selain hitam	3	5	4	4	3	5	5	5	3	4	4	4	5	3	3	3	3	3	5	3
14	<i>Safety line</i> terlihat jelas	5	5	4	4	4	5	5	5	4	5	4	4	5	4	4	3	3	3	4	3

b. Pihak Penumpang

Halaman awal *google form* yang menjadi media pengisian kuesioner untuk pihak KAI. Link yang digunakan untuk pengisian kuesioner tersebut adalah <https://intip.in/KuesionerTanggaPenumpang>



Kuesioner disebarakan kepada pihak penumpang secara acak pada tanggal 6 November 2021. Dan petugas KAI mengisi kuesioner dalam rentang waktu tanggal 6-10 November 2021

Tabel Hasil kuesioner pendapat pihak Penumpang terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	3	3	4	2	3	4	3	3	2	4	2	3	3	3	4	3	4	2	4	4
2	Tangga tidak licin	3	4	4	2	3	4	3	3	2	5	3	4	3	3	3	3	4	3	5	3
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan	3	4	5	2	3	4	2	3	4	5	4	3	2	4	2	4	4	3	5	4
4	Tangga kokoh	4	4	4	3	3	4	4	4	2	4	3	4	3	3	3	4	5	4	5	4
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	1	5	4	3	3	4	2	4	3	3	4	4	2	3	3	2	3	3	5	4
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	1	5	3	2	3	4	2	4	3	3	3	4	4	4	3	2	5	3	5	4
7	Ketepatan posisi tangga	2	2	4	2	3	4	3	2	2	4	2	2	2	4	4	3	5	2	2	3
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menenteng barang bawaan)	2	4	4	1	3	4	2	3	3	4	3	3	2	3	4	3	4	4	1	4
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	3	4	4	3	3	4	3	4	4	4	2	3	2	3	4	4	5	4	5	4
10	<i>Safety line</i> terlihat jelas	3	4	3	3	3	4	5	5	3	3	2	4	2	3	4	3	5	2	5	4

Lanjutan Tabel Hasil kuesioner pendapat pihak Penumpang terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34	R35	R36	R37	R38	R39	R40
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	2	3	3	3	4	3	3	4	3	3	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3
2	Tangga tidak licin	3	4	4	3	4	2	4	4	4	3	2	2	1	3	2	3	3	4	2	2
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan	3	1	4	3	4	2	4	4	3	2	3	3	3	3	2	2	4	4	2	3
4	Tangga kokoh	2	1	4	3	3	4	4	4	4	3	2	3	3	3	2	3	5	3	3	3
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	2	1	4	2	4	2	3	4	3	3	3	4	2	3	2	2	5	3	4	4
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	2	1	4	3	3	2	4	4	4	3	2	3	2	3	2	3	3	4	4	3
7	Ketepatan posisi tangga	2	1	4	1	2	4	4	4	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menenteng barang bawaan)	2	1	3	1	2	2	3	3	4	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	4
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	3	1	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	2	3	2	3	4	3	3	3
10	<i>Safety line</i> terlihat jelas	3	1	4	3	4	2	4	4	4	3	2	2	2	4	2	2	3	5	3	4

Lanjutan Tabel Hasil kuesioner pendapat pihak Penumpang terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	4	4	4	3	3	3	2	3	4	4
2	Tangga tidak licin	4	4	4	3	3	3	1	3	4	4
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan	4	4	3	3	3	3	1	3	4	4
4	Tangga kokoh	4	4	3	2	4	3	5	4	4	4
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	4	4	3	3	3	5	5	4	3	3
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	4	4	4	4	3	4	1	4	3	3
7	Ketepatan posisi tangga	4	4	4	3	3	3	1	3	3	2
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menenteng barang bawaan)	4	4	3	3	3	3	1	4	3	4
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	4	4	3	3	3	2	1	4	4	4
10	<i>Safety line</i> terlihat jelas	4	4	2	3	3	3	1	4	3	4

Tabel Hasil kuesioner harapan pihak Penumpang terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	2	4	4	5	4	4	4	5	5	5
2	Tangga tidak licin	5	4	5	5	4	4	5	5	4	5	3	4	4	5	4	4	5	5	5	4
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan	5	4	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	4
4	Tangga kokoh	5	5	5	5	4	4	4	5	4	5	3	4	5	5	3	4	5	5	5	4
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	5	5	5	4	4	4	4	5	4	3	4	4	5	5	3	4	5	5	5	5
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	5	5	5	5	4	4	4	5	4	5	3	4	5	5	3	4	5	5	5	4
7	Ketepatan posisi tangga	5	5	4	5	4	4	4	5	4	5	2	3	5	5	4	4	5	5	5	5
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menenteng barang bawaan)	5	4	4	5	4	4	4	5	4	5	3	3	5	5	4	4	5	5	5	5
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	5	4	5	5	4	4	4	5	4	5	3	3	5	5	4	4	5	5	5	5
10	<i>Safety line</i> terlihat jelas	5	4	4	5	4	4	4	5	3	5	4	4	5	5	4	4	5	5	1	4

Lanjutan Tabel Hasil kuesioner harapan pihak Penumpang terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34	R35	R36	R37	R38	R39	R40
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	3	3	5	4	5	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	3	5	3
2	Tangga tidak licin	4	5	5	4	5	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4	5	4	4	3
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan	4	4	5	3	5	5	4	4	4	3	5	4	4	5	4	4	5	4	3	3
4	Tangga kokoh	3	4	5	3	5	5	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	3	4	3
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	3	4	5	4	5	5	5	4	3	4	5	4	4	5	4	4	5	3	5	5
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	3	4	5	3	5	5	5	4	4	3	5	4	4	4	4	4	5	4	4	4
7	Ketepatan posisi tangga	3	4	5	4	5	5	5	4	3	4	5	4	4	3	4	4	5	3	4	3
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menenteng barang bawaan)	3	4	5	4	5	5	4	3	4	4	5	4	4	5	4	4	5	3	5	5
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	3	4	5	3	5	5	4	4	4	3	5	4	4	5	4	4	5	3	4	5
10	<i>Safety line</i> terlihat jelas	3	4	5	3	5	5	4	4	3	3	5	4	4	5	4	4	5	5	4	5

Lanjutan Tabel Hasil kuesioner harapan pihak Penumpang terhadap kondisi tangga saat ini

No	Kriteria	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50
1	Tangga tidak goyang saat digunakan	5	5	4	4	3	4	5	4	4	4
2	Tangga tidak licin	5	5	4	4	3	4	5	4	4	4
3	Jarak antar anak tangga nyaman digunakan	5	5	3	3	3	5	5	4	4	4
4	Tangga kokoh	5	5	3	3	4	5	5	4	5	4
5	Tangga dilengkapi dengan <i>handrail</i>	5	5	4	4	3	4	5	4	5	3
6	Tangga dilengkapi dengan <i>safety line</i>	5	5	4	4	3	4	5	4	5	3
7	Ketepatan posisi tangga	5	5	4	4	3	4	5	4	5	4
8	Tangga lebar (muat untuk penumpang dengan menenteng barang bawaan)	5	5	4	3	3	4	5	4	5	4
9	Anak tangga tidak memuai (tidak melengkung)	5	5	4	3	3	4	5	4	4	4
10	<i>Safety line</i> terlihat jelas	5	5	4	4	3	4	5	4	4	5

**Lampiran 5.**  
**HASIL PENILAIAN MATRIKS PAIRWISE COMPARISON**

a. *Pairwise comparison* pihak KAI

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>
<b>C1</b>	1,00	0,33	0,33	3,00	3,00	7,00	5,00
<b>C2</b>	3,00	1,00	1,00	5,00	9,00	9,00	5,00
<b>C3</b>	3,00	1,00	1,00	5,00	6,00	7,00	7,00
<b>C4</b>	0,33	0,20	0,20	1,00	1,00	5,00	3,00
<b>C5</b>	0,33	0,11	0,17	1,00	1,00	2,00	1,00
<b>C6</b>	0,14	0,11	0,14	0,20	0,50	1,00	0,50
<b>C7</b>	0,20	0,20	0,14	0,33	1,00	2,00	1,00

b. *Pairwise comparison* pihak Penumpang

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C7</b>
<b>C1</b>	1,00	2,00	0,33	0,33	1,00	1,00
<b>C2</b>	0,50	1,00	0,33	0,50	0,50	0,50
<b>C3</b>	3,00	3,00	1,00	3,00	5,00	3,00
<b>C4</b>	3,00	2,00	0,33	1,00	3,00	3,00
<b>C5</b>	1,00	2,00	0,20	0,33	1,00	1,00
<b>C7</b>	1,00	2,00	0,33	0,33	1,00	1,00

## Lampiran 6. HASIL ANALISA SOFTWARE DFM

### a. DFM Tangga Saat Ini 1. Handrail



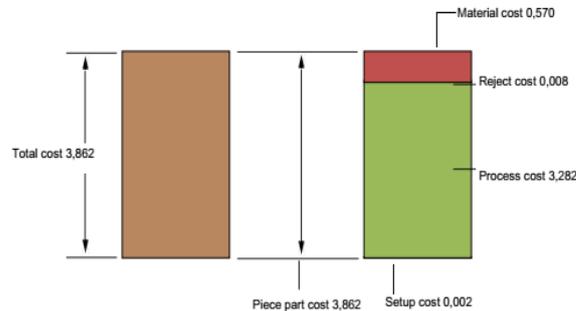
#### DFM Concurrent Costing Executive Summary *Boothroyd Dewhurst, Inc.*

13 January 2022 20:55  
Part name: Handrail  
Material: Generic low carbon steel  
Process: Machined/cut from stock

handrail.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	3,86
Piece part cost, \$	3,86
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



#### DFM Concurrent Costing Results *Boothroyd Dewhurst, Inc.*



16 January 2022 23:23  
Original

handrail.dfm  
Part weight: 0,164 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel machined/cut from stock part		0,57	0,00	3,28	0,01	3,86		3,86	249,09	
Stock process	12.500	0,43	0,00	0,03		0,46		0,46	6,19	
Workpiece		0,43				0,43		0,43		
Abrasive cutoff			0,00	0,03		0,03		0,03	6,19	
Manual arc butt weld steel (one side)		0,13		3,18	0,00	3,31		3,31	242,90	
Electrostatic paint, colored		0,00	0,00	0,08	0,00	0,09		0,09		

# Tiang handrail

## DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

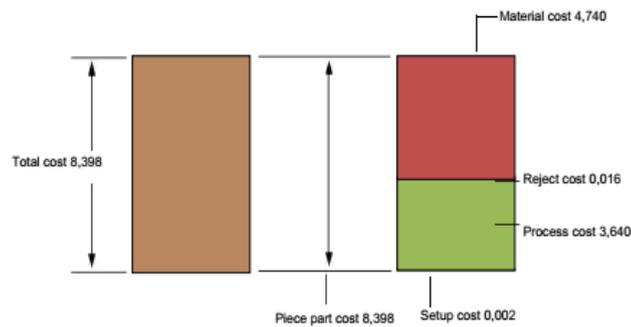


13 January 2022 21:01  
 Part name: Tiang handrail  
 Material: Generic low carbon steel  
 Process: Machined/cut from stock

tiang handrail.dfm  
 Original  
 Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	8,40
Piece part cost, \$	8,40
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



## DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:26  
 Original

tiang handrail.dfm  
 Part weight: 1,457 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel machined/cut from stock part		4,74	0,00	3,64	0,02	8,40		8,40	251,51	
Stock process	12.500	4,57	0,00	0,04		4,61		4,61	8,61	
Workpiece		4,57				4,57		4,57		
Abrasive cutoff			0,00	0,04		0,04		0,04	8,61	
Manual arc butt weld steel (one side)		0,13		3,18	0,01	3,32		3,32	242,90	
Electrostatic paint, colored		0,04	0,00	0,42	0,01	0,47		0,47		

## 2. Tiang penyangga 80 cm



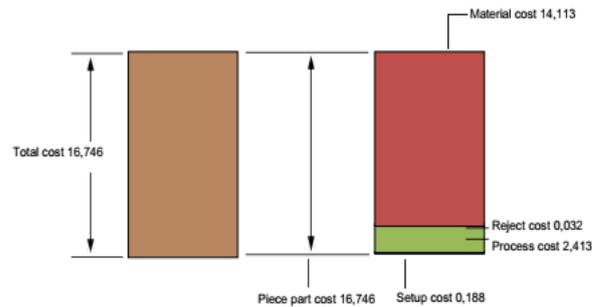
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

13 January 2022 21:03  
Part name: Tiang penyangga 80 cm  
Material: Generic low carbon steel  
Process: Machined/cut from stock

tiang penyangga 80 cm.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	100
Total cost, \$	16,75
Piece part cost, \$	16,75
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:28  
Original

tiang penyangga 80 cm.dfm  
Part weight: 5,013 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel machined/cut from stock part		14,11	0,19	2,41	0,03	16,75		16,75	163,06	
Stock process	100	14,03	0,04	0,10		14,16		14,16	19,86	
Workpiece		14,03				14,03		14,03		
Abrasive cutoff			0,04	0,10		0,13		0,13	19,86	
Manual arc fillet weld steel		0,05		1,87	0,02	1,94		1,94	143,20	
Electrostatic paint, black		0,03	0,15	0,44	0,02	0,64		0,64		

### 3. Penyangga 100 cm

#### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

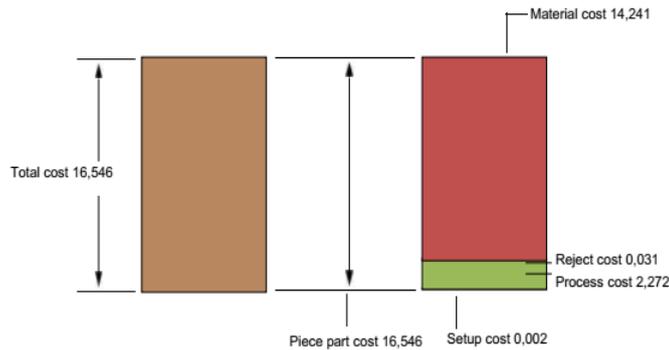


13 January 2022 21:07  
Part name: tiang penyangga 100 cm  
Material: Generic low carbon steel  
Process: Machined/cut from stock

tiang penyangga 100 cm.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	16,55
Piece part cost, \$	16,55
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



#### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:31  
Original

tiang penyangga 100 cm.dfm  
Part weight: 6,267 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel machined/cut from stock part		14,24	0,00	2,27	0,03	16,55		16,55	163,06	
Stock process	12.500	14,17	0,00	0,10		14,26		14,26	19,86	
Workpiece		14,17				14,17		14,17		
Abrasive cutoff			0,00	0,10		0,10		0,10	19,86	
Manual arc fillet weld steel		0,05		1,87	0,02	1,94		1,94	143,20	
Electrostatic paint, black		0,02	0,00	0,30	0,02	0,34		0,34		

#### 4. Penyangga miring



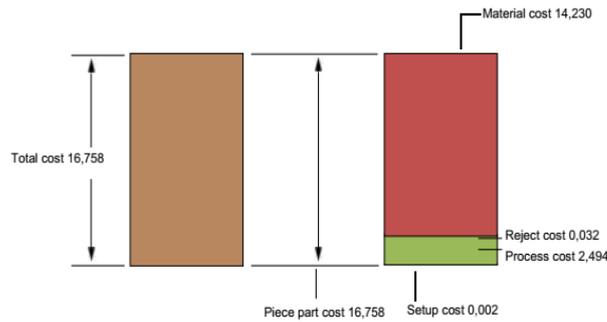
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

13 January 2022 20:56  
Part name: Penyangga miring  
Material: Generic low carbon steel  
Process: Machined/cut from stock

Penyangga miring.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	16,76
Piece part cost, \$	16,76
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:32  
Original

Penyangga miring.dfm  
Part weight: 6,016 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel machined/cut from stock part		14,23	0,00	2,49	0,03	16,76		16,76	163,06	
Stock process	12.500	14,14	0,00	0,10		14,24		14,24	19,86	
Workpiece		14,14				14,14		14,14		
Abrasive cutoff			0,00	0,10		0,10		0,10	19,86	
Manual arc fillet weld steel		0,05		1,87	0,02	1,94		1,94	143,20	
Electrostatic paint, black		0,04	0,00	0,53	0,02	0,58		0,58		

## 5. Penyangga bagian bawah

### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

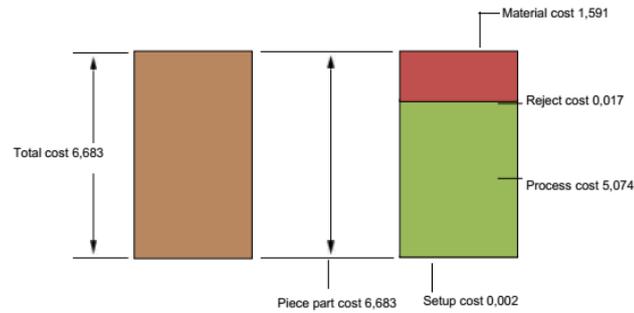


13 January 2022 21:08  
Part name: Penyangga bagian bawah  
Material: Generic low carbon steel  
Process: Machined/cut from stock

penyangga bagian bawah.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	6,68
Piece part cost, \$	6,68
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:34  
Original

penyangga bagian bawah.dfm  
Part weight: 0,407 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel machined/cut from stock part		1,59	0,00	5,07	0,02	6,68		6,68	388,00	
Stock process	12.500	1,44	0,00	0,05		1,49		1,49	10,00	
Workpiece		1,44				1,44		1,44		
Abrasive cutoff			0,00	0,05		0,05		0,05	10,00	
Manual arc fillet weld steel		0,05		1,87	0,00	1,93		1,93	143,20	
Manual arc butt weld steel (one side)		0,09		3,07	0,01	3,17		3,17	234,80	
Electrostatic paint, black		0,00	0,00	0,08	0,01	0,10		0,10		

## 6. Pijakan tangga



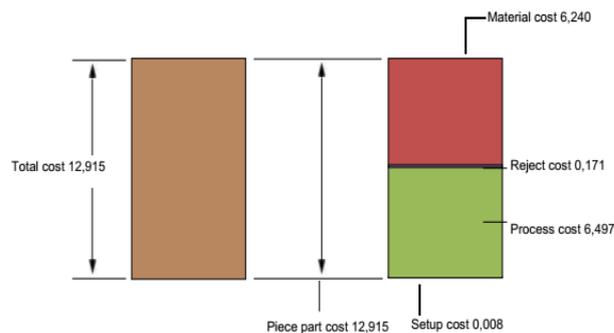
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

13 January 2022 20:56  
Part name: Pijakan Tangga  
Material: Generic low carbon steel  
Process: Sheet metal laser cutting

pijakan tangga.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100,000
Batch size	12,500
Total cost, \$	12,92
Piece part cost, \$	12,92
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:36  
Original

pijakan tangga.dfm  
Part weight: 4,519 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel sheet metal part		6,24	0,01	6,50	0,17	12,92		12,92	316,38	
Laser cutting process	12,500	6,10	0,00	4,13	0,09	10,33		10,33	271,78	
Cincinnati CL-6 Laser System			0,00	3,07	0,04	3,12		3,12	199,08	
Load and unload			0,00	0,87		0,87		0,87	56,53	
Laser cut operation				2,20		2,20		2,20	142,55	
Amada FBDIII-8025 Hydraulic Press Brake			0,00	1,06	0,05	1,11		1,11	72,71	
Acquire and set-aside part			0,00	0,11		0,11		0,11	7,27	
Form bends				0,96		0,96		0,96	65,44	
Arbor press operation			0,00	0,31	0,05	0,36		0,36	31,40	

## 7. Stamp plate

### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

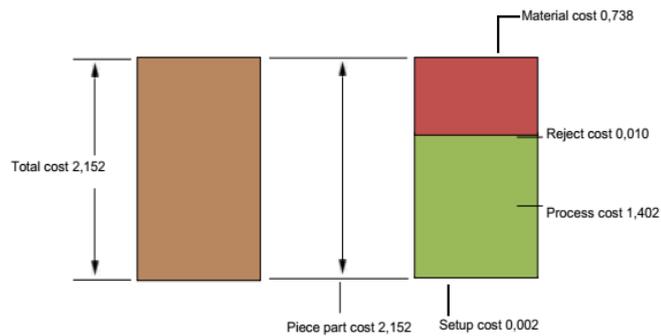


13 January 2022 20:57  
Part name: Stamp plate  
Material: Generic low carbon steel  
Process: Sheet metal laser cutting

Stamp plate.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	2,15
Piece part cost, \$	2,15
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:38  
Original

Stamp plate.dfm  
Part weight: 0,565 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic low carbon steel sheet metal part		0,74	0,00	1,40	0,01	2,15		2,15	92,88	
Laser cutting process	12.500	0,74	0,00	1,23	0,01	1,98		1,98	79,68	
Cincinnati CL-6 Laser System			0,00	1,23	0,01	1,24		1,24	79,68	
Load and unload			0,00	0,06		0,07		0,07	4,12	
Laser cut operation				1,17		1,17		1,17	75,56	
Manual arc tack weld steel				0,17		0,17		0,17	13,20	

b. DFM Tangga Baru  
 1. Beton eser



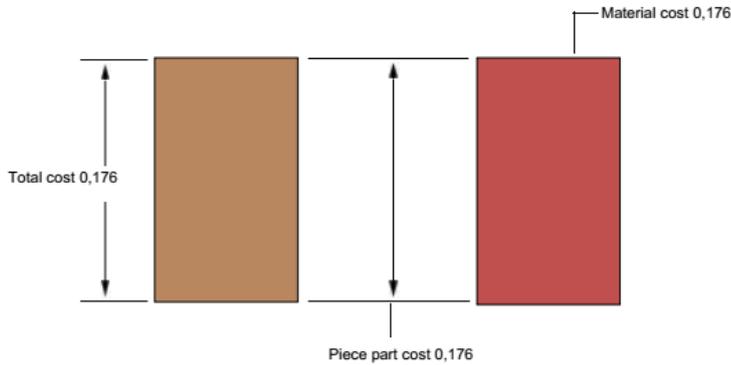
**DFM Concurrent Costing Executive Summary**  
 Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:44  
 Part name: Beton eser  
 Material: Ni-hard type 1 (white iron)  
 Process: Machined/cut from stock

Beton eser 07.dfm  
 Original  
 Part number: 07

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	0,18
Piece part cost, \$	0,18
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



**DFM Concurrent Costing Results**  
 Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:45  
 Original

Beton eser 07.dfm  
 Part weight: 0,469 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Ni-hard type 1 (white iron) machined/cut from stock part		0,18				0,18		0,18		
Stock process	12.500	0,18				0,18		0,18		
Workpiece		0,18				0,18		0,18		

## 2. Hollow square



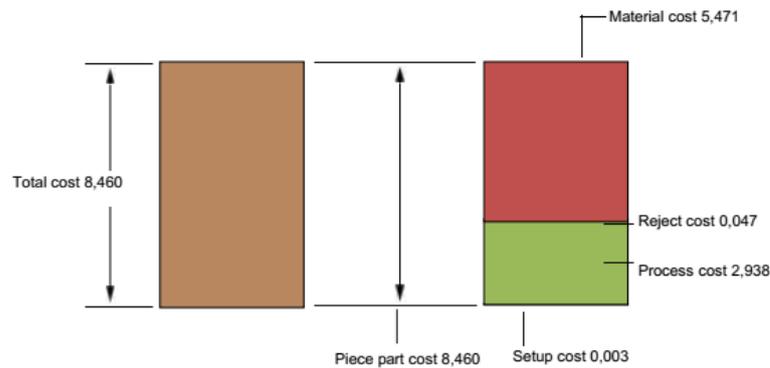
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:44  
Part name: Hollow square  
Material: Generic high strength aluminum  
Process: Sheet metal plasma cutting

Hollow square 05.dfm  
Original  
Part number: 05

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	8,46
Piece part cost, \$	8,46
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:45  
Original

Hollow square 05.dfm  
Part weight: 0,835 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooting	Total		
Generic high strength aluminum sheet metal part		5,47	0,00	2,94	0,05	8,46		8,46	179,49	
Plasma cutting process	12.500	5,40	0,00	1,60	0,03	7,03		7,03	102,49	
Komatsu Rasor KCR-9714 Fine Plasma System			0,00	1,60	0,03	1,63		1,63	102,49	
Load and unload			0,00	0,06		0,06		0,06	3,76	
Plasma cut operation				1,54		1,54		1,54	98,73	
Manual MIG/TIG fillet weld		0,05		1,01	0,01	1,07		1,07	77,00	
Electrostatic paint, black		0,02	0,00	0,33	0,01	0,36		0,36		

### 3. Tiang penyangga tegak



## DFM Concurrent Costing Executive Summary

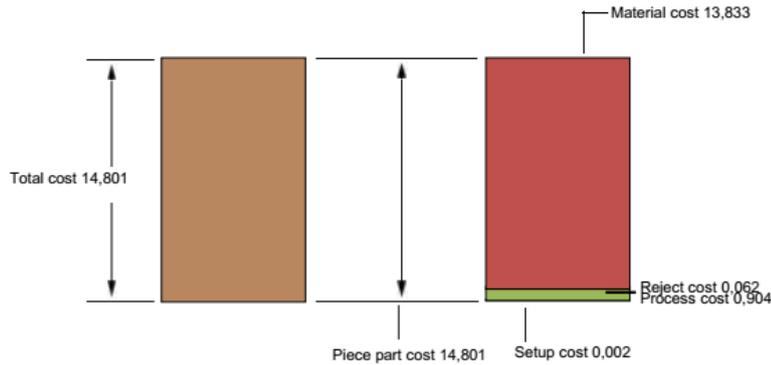
Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:56  
 Part name: Tiang penyangga tegak  
 Material: Generic high strength aluminum  
 Process: Cell machining

Tiang penyangga tegak 08.dfm  
 Original  
 Part number: 08

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	14,80
Piece part cost, \$	14,80
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



## DFM Concurrent Costing Results

Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:56  
 Original

Tiang penyangga tegak 08.dfm  
 Part weight: 1,981 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic high strength aluminum machined part		13,83	0,00	0,90	0,06	14,80		14,80	41,97	
Stock process	12.500	13,81	0,00	0,58	0,06	14,45		14,45	9,53	
Workpiece		13,81				13,81		13,81		
Abrasive cutoff			0,00	0,05		0,05		0,05	9,53	
Machining cell results				0,53	0,06	0,59		0,59		
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00			0,00		0,00	32,44	
Setup/load/unload			0,00			0,00		0,00		
Electrostatic paint, black		0,02	0,00	0,33		0,35		0,35		

#### 4. Tiang penyangga dasar



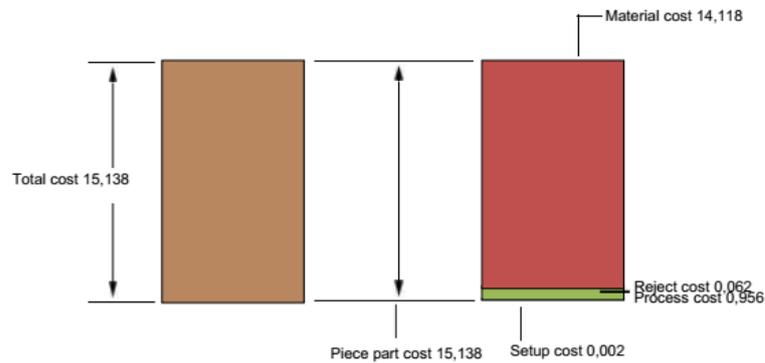
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:49  
Part name: Penyangga bawah  
Material: Generic high strength aluminum  
Process: Cell machining

Penyangga dasar 09.dfm  
Original  
Part number: 09

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	15,14
Piece part cost, \$	15,14
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:49  
Original

Penyangga dasar 09.dfm  
Part weight: 2,259 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic high strength aluminum machined part		14,12	0,00	0,96	0,06	15,14		15,14	42,52	
Stock process	12.500	14,09	0,00	0,59	0,06	14,74		14,74	9,53	
Workpiece		14,09				14,09		14,09		
Abrasive cutoff			0,00	0,05		0,05		0,05	9,53	
Machining cell results				0,54	0,06	0,60		0,60		
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00			0,00		0,00	33,00	
Setup/load/unload			0,00			0,00		0,00		
Electrostatic paint, black		0,03	0,00	0,37		0,40		0,40		

## 5. Tiang penyangga mendatar



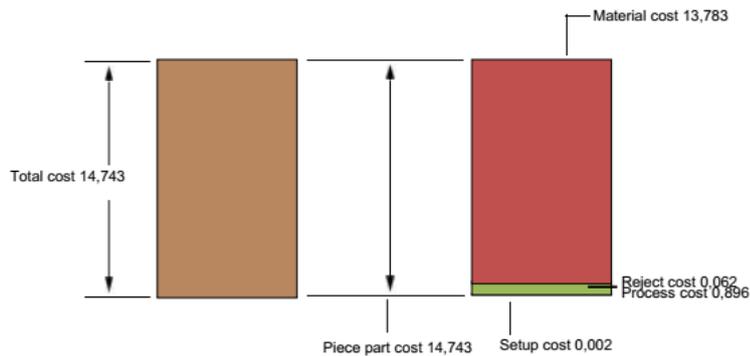
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:50  
Part name: Penyangga mendatar 10  
Material: Generic high strength aluminum  
Process: Cell machining

Penyangga mendatar 10.dfm  
Original  
Part number: 10

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	14,74
Piece part cost, \$	14,74
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:50  
Original

Penyangga mendatar 10.dfm  
Part weight: 1,933 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$						Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling		
Generic high strength aluminum machined part		13,78	0,00	0,90	0,06	14,74		14,74	41,87
Stock process	12.500	13,76	0,00	0,58	0,06	14,40		14,40	9,53
Workpiece		13,76				13,76		13,76	
Abrasive cutoff			0,00	0,05		0,05		0,05	9,53
Machining cell results				0,53	0,06	0,59		0,59	
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00			0,00		0,00	32,34
Setup/load/unload			0,00			0,00		0,00	
Electrostatic paint, black		0,02	0,00	0,32		0,34		0,34	

## 6. Pijakan tangga



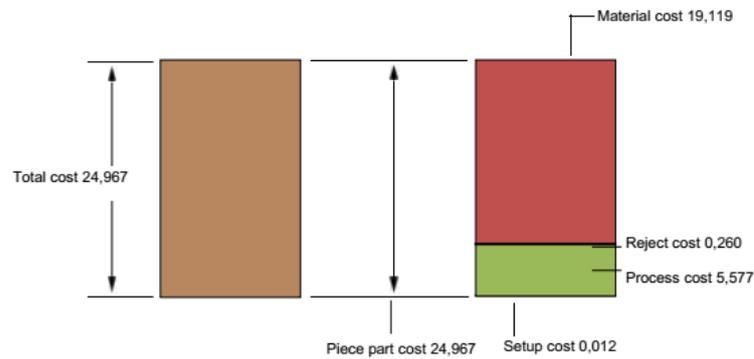
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:51  
Part name: Pijakan tangga  
Material: AL1100 aluminum, annealed  
Process: Sheet metal plasma cutting

Pijakan tangga 01.dfm  
Original  
Part number: 01

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	24,97
Piece part cost, \$	24,97
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:51  
Original

Pijakan tangga 01.dfm  
Part weight: 2.832 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
AL1100 aluminum, annealed sheet metal part		19,12	0,01	5,58	0,26	24,97		24,97	195,54	
Plasma cutting process	12.500	18,94	0,00	2,65	0,10	21,69		21,69	169,74	
Komatsu Rasor KCR-9714 Fine Plasma System			0,00	2,65	0,10	2,75		2,75	169,74	
Load and unload			0,00	0,56		0,56		0,56	36,05	
Plasma cut operation				2,08		2,08		2,08	133,69	
Generic horizontal boring machine	12.500		0,01	0,59	0,11	0,71		0,71	25,80	
Setup/load/unload			0,01	0,59		0,60		0,60	25,80	
Electrostatic paint, black		0,08	0,00	1,17	0,02	1,27		1,27		
Electrostatic paint, colored		0,10	0,00	1,17	0,02	1,30		1,30		

## 7. Plate strip 02



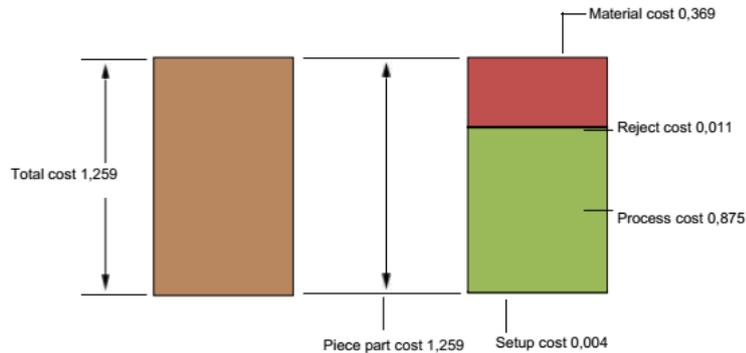
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:52  
Part name: Plate strip pendek  
Material: AL1100 aluminum, annealed  
Process: Sheet metal plasma cutting

Plate strip 02.dfm  
Original  
Part number: 02

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	1,26
Piece part cost, \$	1,26
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:52  
Original

Plate strip 02.dfm  
Part weight: 0,055 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
AL1100 aluminum, annealed sheet metal part		0,37	0,00	0,88	0,01	1,26		1,26	50,92	
Plasma cutting process	12.500	0,37	0,00	0,39	0,00	0,76		0,76	25,12	
Komatsu Rasor KCR-9714 Fine Plasma System			0,00	0,39	0,00	0,40		0,40	25,12	
Load and unload			0,00	0,01		0,02		0,02	0,87	
Plasma cut operation				0,38		0,38		0,38	24,25	
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00	0,42	0,01	0,43		0,43	25,80	
Setup/load/unload			0,00	0,42		0,42		0,42	25,80	
Electrostatic paint, black		0,00	0,00	0,06	0,00	0,07		0,07		

## 8. Plate strip 03



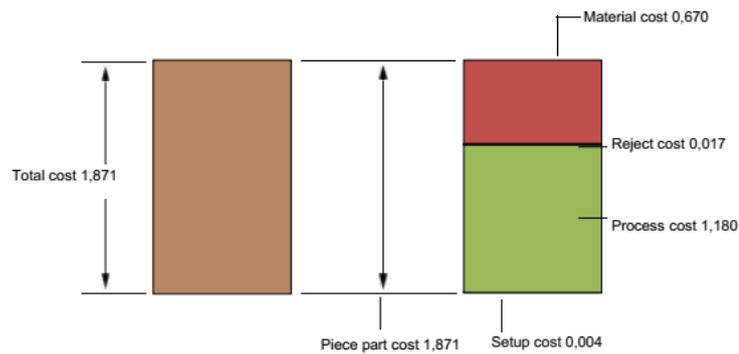
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:53  
Part name: Plate strip panjang  
Material: AL1100 aluminum, annealed  
Process: Sheet metal plasma cutting

Plate strip 03.dfm  
Original  
Part number: 03

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	1,87
Piece part cost, \$	1,87
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.



16 January 2022 23:53  
Original

Plate strip 03.dfm  
Part weight: 0,100 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
AL1100 aluminum, annealed sheet metal part		0,67	0,00	1,18	0,02	1,87		1,87	68,19	
Plasma cutting process	12.500	0,67	0,00	0,66	0,01	1,34		1,34	42,39	
Komatsu Razor KCR-9714 Fine Plasma System			0,00	0,66	0,01	0,67		0,67	42,39	
Load and unload			0,00	0,02		0,02		0,02	1,47	
Plasma cut operation				0,64		0,64		0,64	40,92	
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00	0,42	0,01	0,43		0,43	25,80	
Setup/load/unload			0,00	0,42		0,42		0,42	25,80	
Electrostatic paint, black		0,00	0,00	0,10	0,00	0,10		0,10		

## 9. Plate strip 06



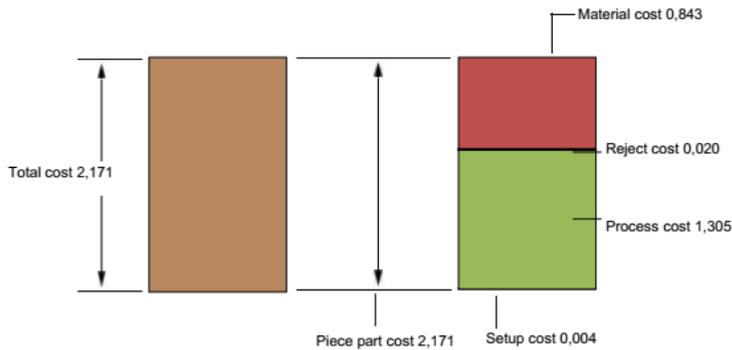
### DFM Concurrent Costing Executive Summary Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:54  
Part name: Plate strip  
Material: AL1100 aluminum, annealed  
Process: Sheet metal plasma cutting

Plate strip 06.dfm  
Original  
Part number: 06

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	2,17
Piece part cost, \$	2,17
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



### DFM Concurrent Costing Results Boothroyd Dewhurst, Inc.

16 January 2022 23:54  
Original

Plate strip 06.dfm  
Part weight: 0,135 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
AL1100 aluminum, annealed sheet metal part		0,84	0,00	1,30	0,02	2,17		2,17	75,17	
Plasma cutting process	12.500	0,84	0,00	0,77	0,01	1,62		1,62	49,37	
Komatsu Rasor KCR-9714 Fine Plasma System			0,00	0,77	0,01	0,78		0,78	49,37	
Load and unload			0,00	0,04		0,04		0,04	2,28	
Plasma cut operation				0,73		0,73		0,73	47,09	
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00	0,42	0,01	0,43		0,43	25,80	
Setup/load/unload			0,00	0,42		0,42		0,42	25,80	
Electrostatic paint, black		0,00	0,00	0,11	0,00	0,12		0,12		

10. Handrail



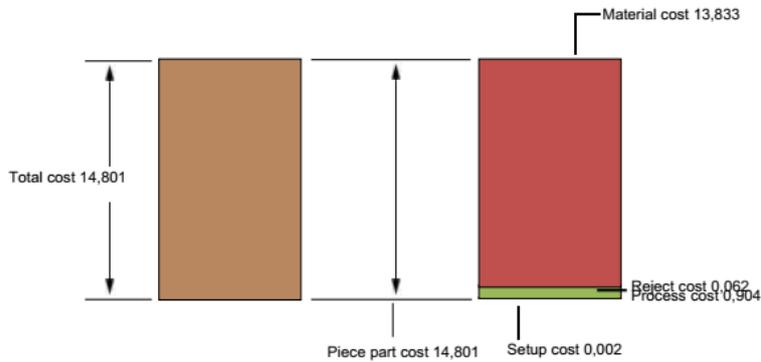
**DFM Concurrent Costing Executive Summary**  
Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 January 2022 14:44  
Part name: Bottom handrail  
Material: Generic high strength aluminum  
Process: Cell machining

Untitled1.dfm  
Original  
Part number:

Product life volume	100.000
Batch size	12.500
Total cost, \$	14,80
Piece part cost, \$	14,80
Initial tooling investment, \$	0

The chart shows a breakdown of the costs, \$



**DFM Concurrent Costing Results**  
Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 January 2022 14:44  
Original

Untitled1.dfm  
Part weight: 1.981 kg

Process Chart	Batch Size	Cost per part, \$							Operation time per part, s	Initial tooling investment
		Material	Setup	Process	Rejects	Piece part	Tooling	Total		
Generic high strength aluminum machined part		13,83	0,00	0,90	0,06	14,80		14,80	41,97	
Stock process	12.500	13,81	0,00	0,58	0,06	14,45		14,45	9,53	
Workpiece		13,81				13,81		13,81		
Abrasive cutoff			0,00	0,05		0,05		0,05	9,53	
Machining cell results				0,53	0,06	0,59		0,59		
Generic multi-spindle manual drill	12.500		0,00			0,00		0,00	32,44	
Setup/load/unload			0,00			0,00		0,00		
Electrostatic paint, black		0,02	0,00	0,33		0,35		0,35		

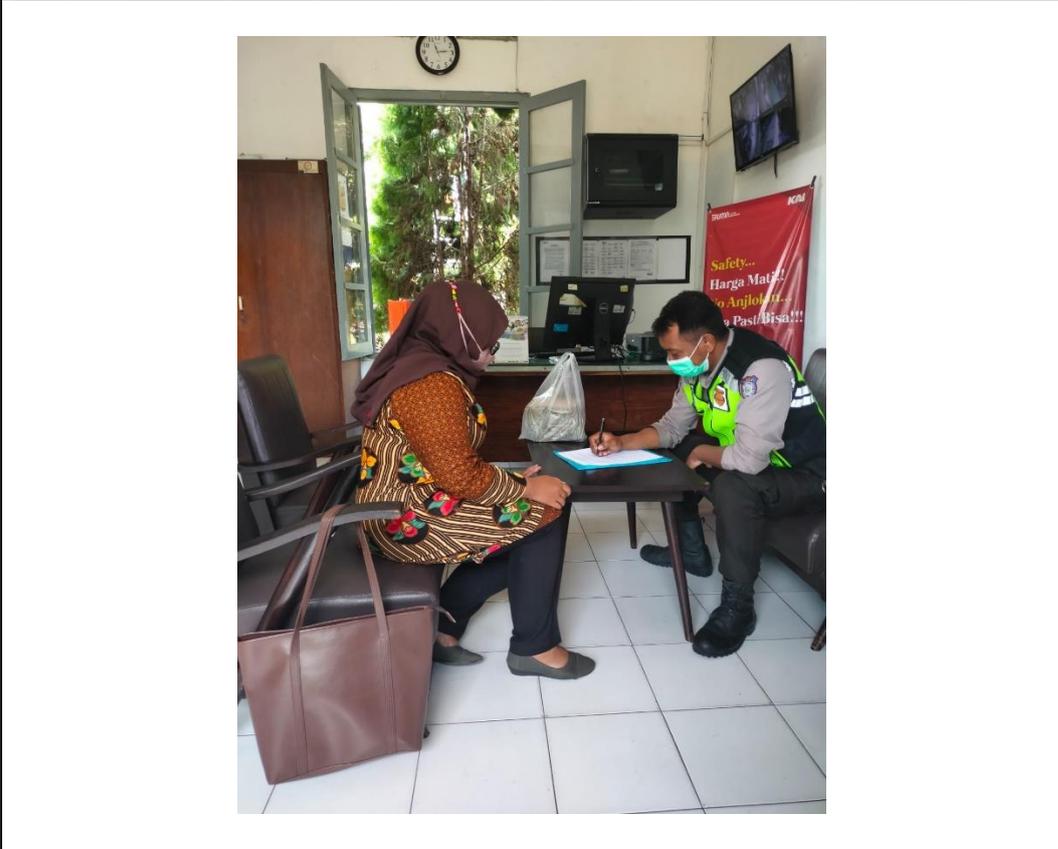
## Lampiran 6. DOKUMENTASI

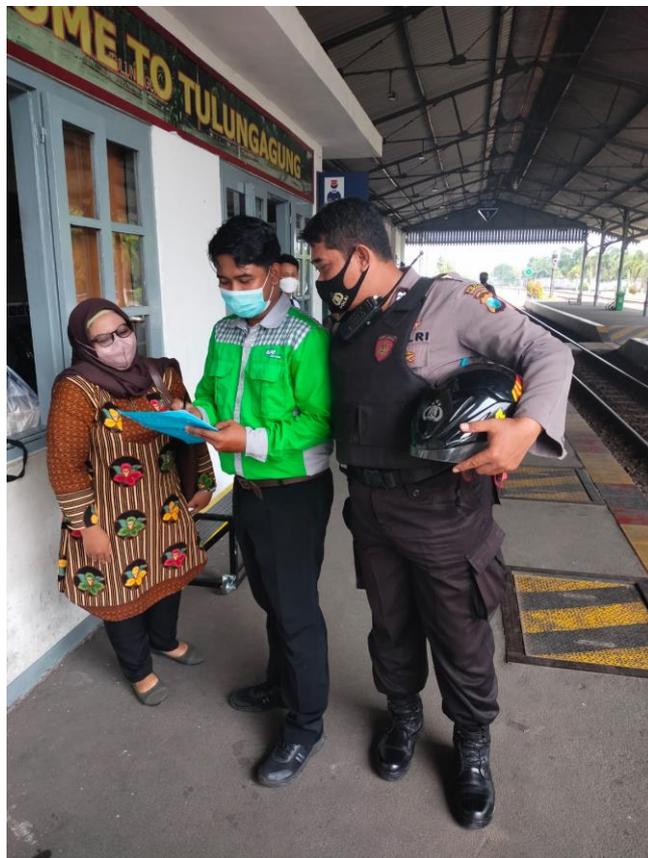
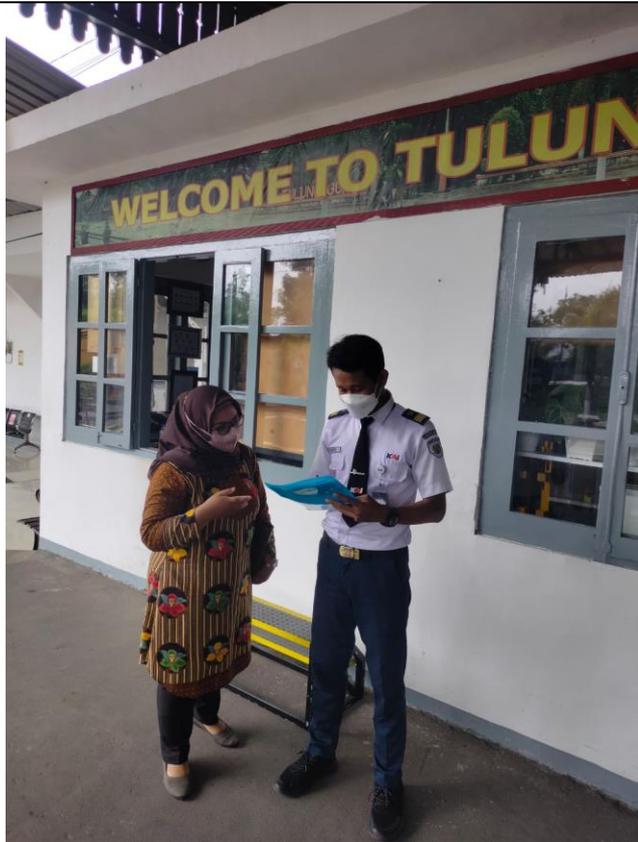
Dokumentasi wawancara dengan kepala stasiun Tulungagung dan Sumbergempol



Dokumentasi pengisian kuesioner oleh pihak KAI









Dokumentasi wawancara dengan penumpang KAI





