



TUGAS AKHIR - TI 091324

**ANALISA DESAIN PERBAIKAN WINGLET
PESAWAT ABC DI PT. X DENGAN PENDEKATAN
DESIGN FOR ASSEMBLY**

NIKEN YOLANDA WAHYU PUTRI
25.10.100.147

DOSEN PEMBIMBING :
Putu Dana Karningsih, ST, M.Sc, Ph.D

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TI 091324

**REDESIGN ANALYSIS OF WINGLET ABC AT PT. X
WITH DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) APPROACH**

NIKEN YOLANDA WAHYU PUTRI
25.10.100.147

SUPERVISOR :
Putu Dana Karningsih, ST, M.Sc, Ph.D

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014

LEMBAR PENGESAHAN

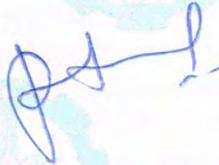
ANALISA DESAIN PERBAIKAN WINGLET PESAWAT ABC DI PT. X DENGAN PENDEKATAN DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
NIKEN YOLANDA WAHYU PUTRI
NRP. 2510 100 147

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Putu Dana Karningsih, ST, M.Sc, Ph.D



ANALISA DESAIN PERBAIKAN WINGLET PESAWAT ABC DI PT. X DENGAN PENDEKATAN DESIGN FOR ASSEMBLY

Nama Mahasiswa : Niken Yolanda Wahyu Putri
NRP : 2510100147
Pembimbing : Putu Dana Karningsih, ST, M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Proses perakitan merupakan salah satu hal penting pada pengembangan produk, terutama jika produk tersebut memiliki banyak komponen seperti Winglet Pesawat ABC milik PT. X. Biaya dan lamanya proses perakitan serta biaya tenaga kerja yang dikeluarkan untuk merakit sebuah produk sangat bergantung pada tingkat kesulitan dan jumlah komponen penyusun, dimana hal tersebut sangat bergantung pada fase perancangan desain. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa desain sangat berpengaruh pada keseluruhan aspek produk, salah satunya pada efisiensi perakitan sebuah produk.

Analisa yang dilakukan pada penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan analisa Design for Assembly (DFA) pada *software* DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) Boothroyd dan Dewhurst. Yang pertama dilakukan adalah mempelajari komponen penyusun dan cara merakit sebuah *winglet* serta referensi-referensi lain yang terkait. Kemudian menganalisa desain *winglet* terkini yang diproduksi oleh perusahaan. Sehingga didapatkan data mengenai *minimum part criteria, labor time, labor cost, assembly tool* atau *fixture, item costs, total cost* dan DFA index. Yang selanjutnya adalah menganalisa beberapa alternatif desain perbaikan *winglet* yang dimiliki oleh perusahaan berdasarkan aspek-aspek seperti pada analisa desain awal. Kemudian membandingkannya keseluruhannya untuk mendapatkan desain yang paling optimal berdasarkan konsep DFA.

Hasil analisa menunjukkan bahwa desain awal masih dapat dioptimalkan, terbukti dengan peningkatan DFA Index pada kedua hasil desain perbaikan, yaitu yang awalnya bernilai 1,1 menjadi 1,3 dan 1,5 untuk desain perbaikan alternatif pertama dan kedua. Untuk waktu pengerjaan dan biaya tenaga kerja dapat direduksi sebanyak 23,8%. Hal ini membuktikan bahwa konsep yang digunakan pada perancangan desain sebuah produk sangat mempengaruhi kemampuan komponen tersebut untuk dirakit dan diproduksi.

KATA KUNCI : *concurrent engineering, CE, DFA, DFMA, Boothroyd and Dewhurst.*

REDESIGN ANALYSIS OF WINGLET ABC AT PT. X WITH DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) APPROACH

Name : Niken Yolanda Wahyu Putri
NRP : 2510100147
Supervisor : Putu Dana Karningsih, ST, M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

Assembly process is one of important thing in product development, especially if the product has many components such as winglets ABC owned by PT. X. The cost and duration of the assembly process, also the labor costs incurred to assemble a product depends on the level of difficulty and the number of constituent components, where it is highly dependent on the design phase. This research aims to prove that the design is very influential in all aspects of product, such as on the efficiency of assembling a product.

Analysis in this study is done by using DFA analysis on Boothroyd and Dewhurst DFMA software. The first thing to do is to learn how to assemble the components of a winglet-references and other relevant references. Then analyze the current winglet designs produced by the company to obtain data like the minimum part criteria, labor time, labor cost, assembly tool or fixture, item costs, total cost and DFA index. The next one is analyze several alternatives for improvement design winglets owned by the company based on aspects such as the analysis of the initial design. Then compare its entirety to get the most optimal design based on the DFA concept.

The results show that the initial design can still be optimized, as evidenced by an increase in both the DFA Index redesign results, which were originally worth 1.1 to 1.3 and 1.5 for the first and second redesign. For the processing time and labor costs can be reduced as much as 23.8%. It is proved that the concepts used in the design of a product design greatly affect the ability of the components to be assembled and manufactured.

KEYWORDS: *Concurrent Engineering, CE, DFA, DFMA, Boothroyd and Dewhurst.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat yang diberikan sehingga Penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Desain Perbaikan Winglet Pesawat ABC di PT. X Dengan Pendekatan Design for Assembly”.

Laporan penelitian Tugas Akhir ini ditulis untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan jenjang sarjana (S1) di Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Pada kesempatan ini Penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang berperan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Kedua Orangtua Penulis, Anthony Barend dan Endah Wahjoerini atas doa, dukungan, perhatian yang tiada hentinya untuk Penulis mulai dari awal kuliah hingga saat ini. Juga untuk Devi Andarini dan Andre T. Nugroho yang selalu memberi semangat dan dukungan kepada Penulis.
2. Ibu Putu Dana Karningsih, ST, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberikan wawasan, kritik, saran, waktu dan kesabaran serta jalan keluar saat Penulis menemukan kesulitan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc, Ir. Hari Supriyanto, M.S.I.E dan Dewanti Anggrahini, ST., MT., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran serta kritik yang sangat membangun sehingga penelitian ini menjadi lebih baik lagi.
4. Pihak Perusahaan yang telah memberikan ijin dan membantu dalam pengambilan data yang dibutuhkan dalam penelitian.
5. Segenap Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Industri ITS yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman yang sangat berjasa luar biasa.
6. Teman-teman “C2C”, Sophia, Evi, dan Nabila yang memberikan bahan gosip sebagai *intermezzo* disela-sela kesuntukan, serta Dewi Saragih yang selalu

memberikan inspirasi bagi Penulis. Kepada teman-teman “BAMS”, Della, Diyan, Ika A atas kesediaan kalian mendengarkan keluh kesah Penulis disela-sela kesibukan kalian.

7. Nina Kenangan, Timotius, Christine, Yohan, Tutuz, Christian, Intan, Lia, dan Yolanda, mohon maaf sebesar-besarnya atas pelayanan yang agak terbengkalai akibat pengerjaan penelitian ini.
8. Resa, Imam, dan Mbak Wiwin, selaku teman seperjuangan Penulis, yang menggilanya bersama saat pengambilan data dan yang sama-sama penggemar nasi padang kantin Perusahaan. Kepada Bu Ratih dan Iman Tirta yang menyediakan tempat tinggal dan menjadi pemandu wisata saat Penulis melakukan pengambilan data. Mansur, Risal, Ketut, Ratri, Issam, Adit, Ipe, Dewie, Arrad dan semua asisten LSCM, terimakasih atas tempat yang telah disediakan untuk mengerjakan Laporan ini.
9. Teman-teman PROVOKASI atas kebersamaan, dukungan, suka duka, dan semua cerita manis pahit yang dialami bersama mulai dari jaman Maba hingga saat ini. Tetap semangat buat teman-teman semuanya. Kepada tTeman-teman asisten dan peneliti BALITBANG SOSKELING Kementrian Pekerjaan Umum 2014, atas pengertiannya dan mohon maaf kalau pengerjaan tugas kantor kurang maksimal.
10. Serta semua pihak yang tidak bisa Penulis sebutkan satu persatu, atas segala bantuan baik doa maupun dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Tiada gading yang tak retak, begitupun pada penulisan laporan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pembaca maupun bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	7
1.5.1 Batasan	7
1.5.2 Asumsi	8
1.6 Sistematika Penulisan	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 <i>Concurrent Engineering</i> (CE)	11
2.1.1 Definisi <i>Concurrent Engineering</i> (CE)	11
2.1.2 Elemen <i>Concurrent Engineering</i> (CE)	13
2.2 <i>Design for Manufacturing Assembly</i> (DFMA)	13
2.3 <i>Design for Assembly</i> (DFA)	14
2.3.1 Definisi <i>Design for Assembly</i> (DFA)	14
2.3.2 Metode Boothroyd-Dewhurst Untuk Evaluasi DFA	15
2.3.3 <i>Guidelines</i> DFA	17

2.4	<i>Design for Manufacture (DFM)</i>	18
2.4.1	Definisi <i>Design for Manufacture (DFM)</i>	18
2.4.2	<i>Guidelines DFM</i>	19
2.5	<i>DFMA Software</i>	19
2.5.1	<i>DFA Software</i>	20
2.6	<i>Case Study</i>	22
2.7	<i>Winglet dan Ujung Sayap Pesawat</i>	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		29
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		33
4.1	Pengumpulan Data	33
4.1.1	Proses Pengembangan <i>Winglet Pesawat ABC</i>	33
4.1.2	Data Komponen Penyusun Produk	35
4.1.3	Deskripsi Proses Produksi.....	40
4.1.4	Deskripsi Proses Perakitan	45
4.1.5	Biaya Perakitan	48
4.2	Pengolahan Data.....	48
4.2.1	<i>Input Data Pada Software</i>	48
4.2.2	Identifikasi Komponen.....	53
4.2.3	Waktu, Biaya Perakitan dan <i>Assembly Efficiency Design Awal</i>	54
4.2.4	Rancangan Perbaikan	55
4.2.5	Waktu, Biaya Perakitan dan <i>Assembly Efficiency Desain Perbaikan Alternatif</i>	57
4.2.6	<i>Assembly Sequence</i>	59
BAB 5 ANALISA DAN INTERPRETASI DATA.....		65
5.1	Analisa Desain Perbaikan Alternatif 1	65
5.1.1	Analisa Identifikasi Komponen.....	65
5.1.2	Analisa <i>Suggestion for Redesign</i>	65

5.1.3	Analisa Waktu, Biaya dan <i>Assembly Efficiency</i>	67
5.2	Analisa Desain Perbaikan Alternatif 2.....	69
5.2.1	Analisa Identifikasi Komponen	69
5.2.2	Analisa <i>Suggestion for Redesign</i>	69
5.2.3	Analisa Waktu, Biaya dan <i>Assembly Efficiency</i>	71
5.3	Analisa Perbandingan Desain Awal dan Hasil Desain Perbaikan Alternatif.....	72
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		79
6.1	Kesimpulan	79
6.2	Saran	80
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN.....		85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh <i>Worksheet</i> Boothroyd-Dewhurst DFA	16
Tabel 2.2	Perbandingan biaya DFA/DFM dari beberapa Automotive Steering Gears Globally	25
Tabel 4.1	Daftar Komponen TR3T	34
Tabel 4.2	Daftar Komponen Penyusun Winglet Pesawat ABC Desain Awal	35
Tabel 4.3	Keterangan Kode Satuan Komponen <i>Winglet</i>	39
Tabel 4.4	Bahan Baku Komponen Penyusun Winglet Pesawat ABC.....	40
Tabel 4.5	Komponen Yang Dapat Digabung atau Dieliminasi.....	53
Tabel 4.6	Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Awal	54
Tabel 4.7	Waktu dan Biaya Produk Winglet Pesawat ABC hasil Perbaikan Desain Alternatif 1	58
Tabel 4.8	Waktu dan Biaya Produk Winglet Pesawat ABC hasil Perbaikan Desain Alternatif 2	59
Tabel 4.9	Komponen Utama Penyusun <i>Winglet</i> untuk <i>Assembly Sequence</i>	60
Tabel 4.10	<i>Precedence Constraint</i>	61
Tabel 5.1	Perbandingan Perakitan Desain Awal dan Desain Perbaikan Alternatif 1 dan 2.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perbedaan Antara Konsep “Over-the-wall” dan CE (Hashemipour, 2009)	2
Gambar 1.2 Pengaruh Tiap Bagian Pengembangan Produk Pada Biaya Produksi (Boothroyd et al., 2002)	3
Gambar 1.3 Pengaruh DFMA Pada Biaya Produksi HP	4
Gambar 1.4 (a) <i>Wingtip</i> . (b) <i>Winglet</i>	5
Gambar 1.5 (a) <i>Front Spar Winglet</i> . (b) <i>Front Skin Winglet</i>	6
Gambar 2.1 Filosofi Pengembangan Produk Secara Seri (Garza et al., 2009)	12
Gambar 2.2 Filosofi <i>Concurrent Engineering</i>	12
Gambar 2.3 Tahapan DFMA pada <i>DFMA Software</i>	14
Gambar 2.4 Tampilan <i>DFA Software</i>	22
Gambar 2.5 Contoh Penggunaan <i>Software DFA</i>	23
Gambar 2.6 Contoh Penggunaan <i>DFM Concurrent Costing</i>	24
Gambar 2.7 <i>Blended Winglet</i>	27
Gambar 2.8 <i>Winglet</i> Pada BBJ dan B737.....	28
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian Tugas Akhir	32
Gambar 4.1 (a) <i>Front Spar Winglet</i> . (b) <i>Front Skin Winglet</i>	34
Gambar 4.2 <i>Winglet</i> Pesawat ABC.....	35
Gambar 4.3 <i>Rear Skin Assembly Winglet</i>	45
Gambar 4.4 <i>Front Skin Assembly Winglet</i>	46
Gambar 4.5 <i>Winglet Assy</i>	46
Gambar 4.6 <i>Rib End Assembly</i>	47
Gambar 4.7 <i>Tip Winglet</i>	47
Gambar 4.8 <i>Position Light Cover Winglet</i>	48

Gambar 4.9	<i>Add Part dan Add Subassembly</i>	49
Gambar 4.10	Tampilan Input Data Pada DFA <i>Software</i>	51
Gambar 4.11	<i>Add Operation</i> Pada Tip	52
Gambar 4.12	Komponen Penyusun <i>Subassembly</i> Tip	52
Gambar 4.13	<i>Rear Skin</i> dan <i>Front Skin Winglet</i> Desain Awal	56
Gambar 4.14	Lower Skin dan Upper Skin Desain Perbaikan Alternatif 1	56
Gambar 4.15	<i>Lower Skin</i> dan <i>Upper Front</i> dan <i>Rear Skin</i> Desain Perbaikan Alternatif 2	57
Gambar 4.16	<i>Liasion Diagram Winglet</i>	61
Gambar 4.17	Urutan Perakitan <i>Winglet</i> Perbaikan Desain Alternatif 1 berdasarkan <i>Assembly Sequence</i>	62
Gambar 5.1	Perbandingan Waktu Perakitan Hasil Desain Perbaikan Alternatif 1	68
Gambar 5.2	Perbandingan Waktu Perakitan Desain Desain Perbaikan Alternatif 2	71
Gambar 5.3	Perbandingan Jumlah Komponen Penyusun <i>Winglet</i>	73
Gambar 5.4	Perbandingan Waktu Perakitan Komponen Penyusun <i>Winglet</i>	74
Gambar 5.5	Perbandingan <i>Assembly Efficiency</i>	75
Gambar 5.6	<i>Labor Cost</i> Perakitan <i>Winglet</i>	75
Gambar 5.7	<i>Tools and Fixture Cost</i> Perakitan <i>Winglet</i>	76
Gambar 5.8	Perbandingan <i>Total Cost</i> Perakitan <i>Winglet</i>	76

BAB 1

PENDAHULUAN

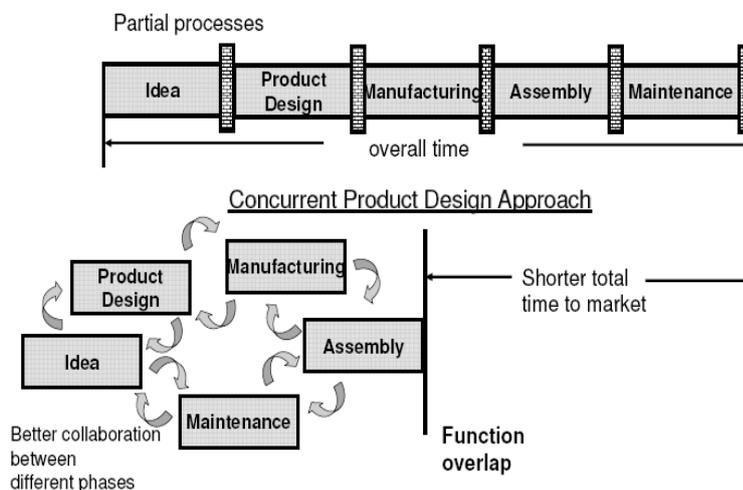
Pada Bab 1 ini akan dibahas mengenai pendahuluan yang mendasari dilakukannya penelitian Tugas Akhir. Beberapa hal yang terkait dengan penelitian yang akan dibahas meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan dilakukannya penelitian, manfaat yang didapat dari penelitian, ruang lingkup penelitian, baik batasan maupun asumsi dan yang terakhir adalah sistematika penulisan laporan penelitian.

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya teknologi, semakin menuntut para pelaku industri untuk mampu bertahan pada persaingan yang semakin ketat ini. Ditambah lagi dengan adanya permintaan pasar yang semakin bervariasi dan meningkat, maka perusahaan harus mencari cara agar dapat memenuhi permintaan tersebut sehingga mampu menguasai pasar. Xie (2003) menyatakan bahwa untuk memperoleh produk yang kompetitif di pasar dibutuhkan suatu produk yang cepat tersedia di pasar dan memiliki kehandalan yang tinggi namun dengan biaya yang rendah. Semakin cepat produk yang dikembangkan oleh suatu perusahaan sampai ke pasar maka akan semakin baik karena akan mampu merebut pasar lebih cepat dibandingkan dengan perusahaan lain. Begitu juga jika biaya produksi rendah, maka akan berpengaruh pada harga produk sehingga pasar akan memilih produk tersebut dan hal itu akan menguntungkan perusahaan.

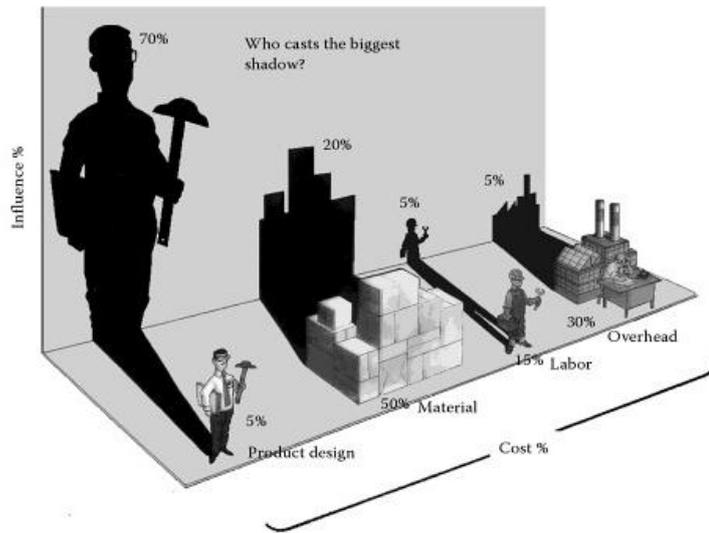
Untuk memenangkan pelanggan, perusahaan perlu mengimplementasikan sebuah strategi yang mampu mengoptimalkan produk yang sedang dikembangkan. Pendekatan paling efektif yang terjadi saat ini adalah perubahan dari filosofi “*over-the-wall*” dimana pengembangan produk terjadi secara seri seperti terhalang tembok dari tahap pertama diselesaikan terlebih dahulu tanpa adanya komunikasi lalu diserahkan pada tahap selanjutnya, menjadi filosofi desain secara paralel (*concurrent*) (Meeker and Rousmaniere, 1996). Filosofi

keserempakan tersebut dikenal dengan nama *concurrent engineering* (CE), yaitu pendekatan sistematis yang terintegrasi antara sebuah desain dari produk dan proses yang berkaitan, baik proses produksi maupun pendukungnya. Pendekatan ini bertujuan untuk membuat perusahaan yang sedang mengembangkan produk mempertimbangkan dari awal semua elemen pada siklus hidup produk, mulai dari penggambaran desain hingga akhir proses produksi, termasuk kualitas, biaya, penjadwalan dan kebutuhan pengguna (Winner et al., 1988). Perbedaan antara pengembangan produk dengan menggunakan konsep “*over-the-wall*” dan CE dapat dilihat pada Gambar 1.1 dibawah ini:



Gambar 1.1 Perbedaan Antara Konsep “Over-the-wall” dan CE (Hashemipour, 2009)

Pendekatan CE menekankan seberapa pentingnya fase desain pada pengembangan produk. Biaya yang dibutuhkan pada fase desain hanya menghabiskan biaya sebesar 5% tapi fase desain ini mampu mengunci mendekati 70% hingga 95% dari keseluruhan biaya produksi (Symon and Dangerfield, 1996), seperti ilustrasi Gambar 1.2 dibawah ini:

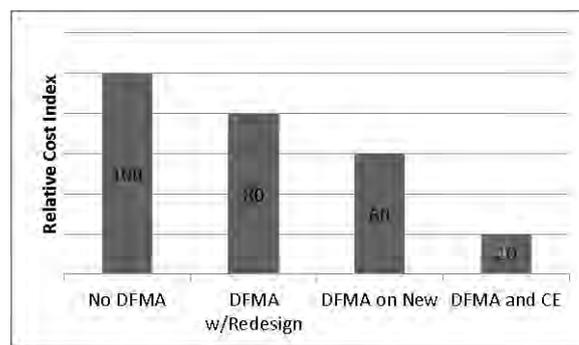


Gambar 1.2 Pengaruh Tiap Bagian Pengembangan Produk Pada Biaya Produksi (Boothroyd et al., 2002)

Ruang lingkup CE sangat luas, salah satu teknik spesifik yang ada pada pendekatan CE adalah *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA). DFMA adalah proses desain produk yang proaktif dan serempak yang memungkinkan untuk mempertimbangkan aspek manufaktur dan perakitan dari awal. Dewasa ini banyak perusahaan yang menemukan bahwa DFMA adalah teknik yang baik sekali untuk mereduksi biaya total produk (Bolton, 2007). Yang perlu diperhatikan dalam mengaplikasikan teknik ini adalah bagaimana mendesain suatu produk dengan tujuan agar dapat dirakit dan dimanufaktur dengan optimal, sehingga terjadi pengurangan jumlah komponen, waktu perakitan dan penentuan proses manufaktur difase desain. Penerapan DFMA ini dipermudah dengan adanya bantuan beberapa *software*, salah satunya adalah *software* yang dikembangkan oleh Boothroyd and Dewhurst Inc. yang telah sukses digunakan lebih dari 25 tahun dan memberikan hasil yang konsisten.

Beberapa perusahaan di dunia telah menggunakan DFMA, salah satunya adalah General Motors (GM). Seorang *Executive* GM mengeluarkan pernyataan bahwa DFM/DFA adalah pengendali utama dari perbaikan kualitas dan biaya. Hal tersebut mempengaruhi semua sistem dari kendaraan. DFM/DFA merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pelatihan rekayasa dan manufaktur untuk karyawan, menyediakan pengetahuan dan kemampuan untuk individual dan

organisasi, menyediakan perbaikan teknik untuk produk dan proses, dan DFMA bukan pilihan namun kebutuhan (Boothroyd et al., 2002). Perusahaan lain yang mengaplikasikan DFMA adalah Hewlett Packard Loveland. HP Loveland mulai menggunakan pendekatan ini pada pertengahan tahun 1980 dengan melakukan desain ulang produk eksisting dan mengembangkannya dengan mendesain produk baru. Peningkatan perbaikan yang terjadi pada proses produksi dan biaya perakitan pada HP Loveland terlihat pada Gambar 1.3 berikut:



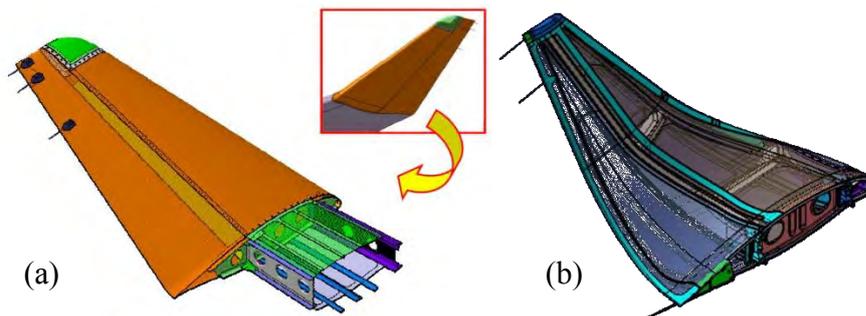
Gambar 1.3 Pengaruh DFMA Pada Biaya Produksi HP (Boothroyd et al., 2002)

Salah satu perusahaan di Indonesia yang telah mengaplikasikan konsep CE adalah PT. X. Perusahaan ini bergerak dibidang produksi pesawat terbang dimana pendekatan CE telah diterapkan pada beberapa divisi perencanaan dan pengembangan produksi beberapa tipe pesawat terbang, seperti belly radome, *winglet*, N-219 dan PUNA Wulung. Banyaknya jumlah komponen pada pesawat terbang serta kemampuan komponen untuk diproduksi dan dirakit membuat CE sangat diperlukan pada fase desain, dan dengan menggunakan *software* DFMA diharapkan mampu memberikan nilai tambah dan memberikan solusi dengan mengurangi jumlah komponen yang harus dirakit dan lamanya waktu produksi total.

Salah satu pesawat terbang yang saat ini dalam proses pengembangan adalah Pesawat ABC. Proses pengembangan yang dilakukan adalah pembentukan kembali struktur pesawat untuk bobot operasi yang lebih tinggi, pengembangan aerodinamik pada tepi depan sayap dan kemudi belok, pengurangan panjang

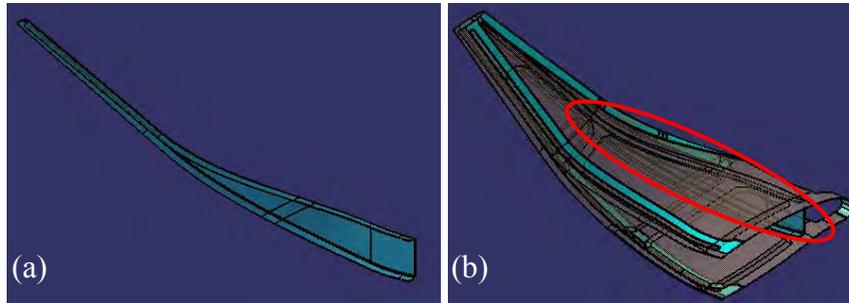
landasan yang dibutuhkan dan penambahan jarak tempuh dengan beban maksimum (MTOW=Maximum Take Off Weight) (Liners, 2014).

Awalnya, Pesawat ABC menggunakan wingtip sebagai penyeimbang badan pesawat, namun pada produksi selanjutnya dilakukan pengembangan yaitu dengan memodifikasi *wingtip* (Gambar 1.4a) menjadi *winglet* (Gambar 1.4b). *Winglet* merupakan tambahan vertikal pada ujung sayap yang mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar pesawat terbang dan jangkauan jelajah. Dirancang sebagai *airfoils* kecil, *winglet* mampu mengurangi *aerodynamic drag* atau hambatan udara terkait dengan perputaran udara yang terjadi pada ujung pesawat saat pesawat bergerak diudara, akibat perbedaan tekanan pada sayap bagian atas dan bawah. Dengan mengurangi hambatan yang terjadi pada ujung sayap, maka konsumsi bahan baku juga akan menurun serta jangkauan jelajah akan bertambah (NASA, 2004).



Gambar 1.4 (a) *Wingtip*. (b) *Winglet*.

Berdasarkan informasi yang didapat saat melakukan wawancara secara langsung dengan salah satu karyawan PT. X dibagian Manufacturing Planning, terdapat sejumlah permasalahan dalam pengembangan produk ini. Salah satu permasalahan yang terjadi pada perakitan produk ini yaitu pada pemasangan komponen *front spar* (Gambar 1.5a) dengan *front skin winglet* (Gambar 1.5b). Permasalahan tersebut terjadi karena perakitan kedua komponen tidak dapat diakses dengan mudah karena bentuk *skin winglet* yang tidak terbuka, ditambah lagi dengan bentuk komponen *front spar* dan *skin winglet* sendiri yang berkontur sehingga proses penempatan penjajaran komponen tidak mudah.



Gambar 1.5 (a) *Front Spar Winglet*. (b) *Front Skin Winglet*.

Kesalahan teknis tersebut terjadi selain karena adanya *human error*, juga karena pada saat fase desain, tim CE hanya mempertimbangkan pengaruh komponen terhadap aerodinamik pesawat serta kemampuan untuk memproduksi komponen tersebut namun tidak mempertimbangkan desain dari sisi kemampuan komponen untuk dirakit. Sedangkan teori dari CE sendiri adalah mengintegrasikan keseluruhan bagian pengembangan produk untuk menentukan desain terbaik bagi masing-masing bagian, termasuk bagian perakitan.

Akibat kegagalan desain *winglet* untuk dirakit, maka PT. X membuat dua alternatif desain. Kedua alternatif desain ini sudah mempertimbangkan sisi *manufacturability* namun belum mempertimbangkan sisi perakitan. PT. X ingin memilih desain mana yang lebih baik. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi pada desain *winglet* yang telah dibuat PT. X dengan menggunakan pendekatan Design for Assembly atau DFA, yaitu dengan mempertimbangan bentuk, jumlah komponen, serta efisiensi proses perakitan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah menentukan desain terbaik berdasarkan pendekatan DFA dengan menganalisa desain awal dan desain perbaikan alternatif Winglet Pesawat ABC di PT. X.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuktikan pengaruh perancangan desain pada efisiensi perakitan sebuah produk dengan menganalisa kemampuan desain awal komponen *winglet* untuk dirakit lalu membandingkannya dengan alternatif desain perbaikan, baik dari waktu dan biaya perakitan, biaya tenaga kerja dan biaya total perakitan, serta peningkatan indeks *assembly efficiency* komponen tersebut.
2. Menganalisa keterkaitan antara jumlah komponen, waktu proses, dan biaya total, terhadap *assembly efficiency*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini bagi PT. X adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan analisa perbandingan serta menghitung peningkatan efisiensi dari desain awal komponen dengan desain perbaikan.
2. Dapat menjadi dasar pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam hal perencanaan dan pengembangan produk dengan menggunakan sudut pandang perakitan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk lebih memfokuskan penelitian dan untuk menyederhanakan permasalahan dengan tujuan agar permasalahan dapat diselesaikan dengan metode ilmiah, peneliti menentukan ruang lingkup dari penelitian. Adapun ruang lingkup penelitian terdiri dari batasan dan asumsi

1.5.1 Batasan

Batasan yang dipergunakan dalam penelitian Tugas Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada *winglet* pesawat ABC.
2. Desain perbaikan yang dianalisa merupakan desain perbaikan dari PT. X dan tidak ada keterkaitan dengan konsumen ataupun Penulis.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang dipergunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu perakitan yang digunakan adalah waktu standard berdasarkan metode Boothroyd dan Dewhurst.
2. Tidak terjadi perubahan regulasi dan kebijakan perusahaan dalam hal pengembangan produk selama penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Langkah-langkah sistematis yang dipergunakan dalam pembuatan laporan penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada Bab 1 ini akan dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan laporan penelitian Tugas Akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 berisi penjelasan mengenai literatur pustaka yang menjadi dasar dan acuan dalam penelitian Tugas Akhir untuk memperkuat pemahaman.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 ini akan dijelaskan mengenai tahap-tahap dalam penelitian Tugas Akhir. Tahapan tersebut berupa kerangka berpikir sistematis penulis sehingga dapat mencapai tujuan penelitian.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab 4 berisi penjelasan mengenai data-data yang dikumpulkan selama dilakukannya penelitian, kemudian dilakukan pengolahan data terhadap data yang diperoleh.

BAB 5 ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

Pada Bab 5 ini akan dijelaskan mengenai analisa data yang telah didapatkan serta analisa dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 6 ini berisi kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan, dimana kesimpulan dapat menjadi referensi bagi perusahaan. Selain itu juga berisi saran-saran yang berkaitan dengan permasalahan yang diamati.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisi sumber-sumber referensi yang dipergunakan dalam penulisan penelitian Tugas Akhir ini.

LAMPIRAN

Bagian ini berisi data-data, informasi, dokumentasi, dan segala hal yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 berisi penjelasan mengenai literatur pustaka yang menjadi dasar dan acuan dalam penelitian Tugas Akhir untuk memperkuat pemahaman, antara lain *Concurrent Engineering (CE)*, *Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)*, *DFMA Software*, dan *Design for Quality (DFQ)*.

2.1 *Concurrent Engineering (CE)*

Dalam subbab ini terdapat beberapa penjelasan terkait dengan konsep *concurrent engineering*, antara lain definisi, elemen, dan implementasi *concurrent engineering*.

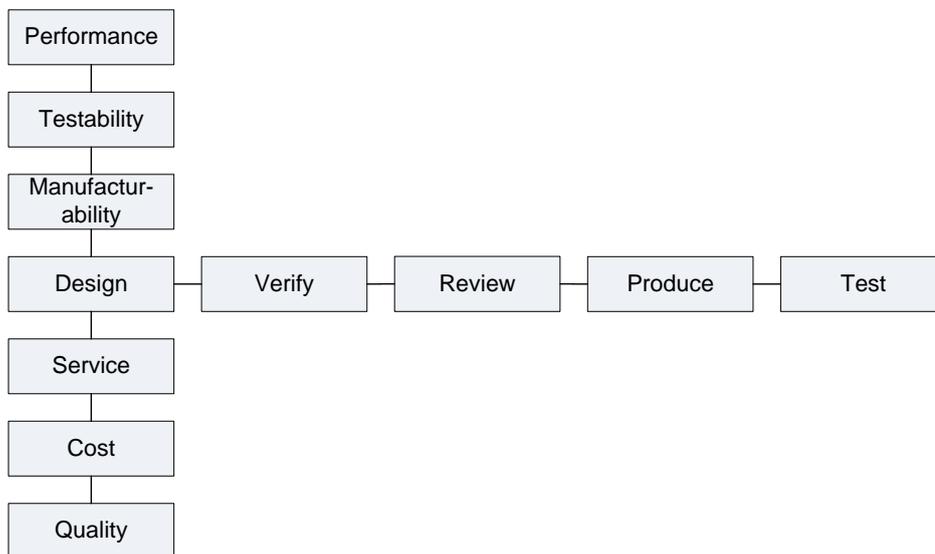
2.1.1 Definisi *Concurrent Engineering (CE)*

Pengembangan produk dewasa ini telah menggunakan pendekatan dimana setiap bagian melakukan *cross function* sehingga metode yang dulunya tiap proses dilakukan secara seri seperti Gambar 2.1, kini dilakukan secara paralel. Filosofi tersebut dikenal dengan nama *concurrent engineering (CE)*, yaitu pendekatan sistematis yang terintegrasi antara sebuah desain dari produk dan proses yang berkaitan, baik proses produksi maupun pendukungnya. Pendekatan ini bertujuan untuk membuat perusahaan yang sedang mengembangkan produk mempertimbangkan dari awal semua elemen pada siklus hidup produk, mulai dari penggambaran desain hingga akhir proses produksi, termasuk kualitas, biaya, penjadwalan dan kebutuhan pengguna (Winner et al., 1988). Definisi lain dari *concurrent engineering* menurut John Izuchukwu (1992) adalah sebuah metodologi yang melakukan pekerjaan terpisah secara simultan dalam pengembangan produk baru, dan juga mendesain produk serta sistem manufakturnya agar diselesaikan secara baik. Dan masalah-masalah yang potensial dalam proses fabrikasi, perakitan, *support*, dan *quality* diselesaikan di awal proses desain.



Gambar 2.1 Filosofi Pengembangan Produk Secara Seri (Garza et al., 2009)

Dari Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa tiap tahap pada proses pengembangan produk diteruskan ke tahap selanjutnya jika tahap tersebut telah selesai dilakukan. Bersifat *orderly steps*, dimana proses tersebut dikenal dengan sifat mentransfer tanggung jawab dari satu bagian ke bagian lain, dengan sedikit koordinasi (Brown and Karagozoglu, 1993). Hal tersebut sangat kontras sekali dengan filosofi dari CE. Dapat dilihat dari Gambar 2.2 bahwa beban kerja yang sangat signifikan terjadi pada proses desain, karena filosofi CE menjawab pertanyaan “apakah itu yang terbaik?” dan “apakah itu akan sukses?” sebelum produk tersebut benar-benar diproduksi (Garza et al., 2009).



Gambar 2.2 Filosofi *Concurrent Engineering*

Metode CE dikembangkan karena beberapa alasan, selain untuk meningkatkan *market competitiveness* dengan mengurangi *time to market*, CE juga dapat meminimalisir biaya produksi, karena dalam CE juga memperhitungkan

kerumitan produk, karena semakin rumit produk maka semakin besar juga biaya produksinya.

2.1.2 Elemen *Concurrent Engineering* (CE)

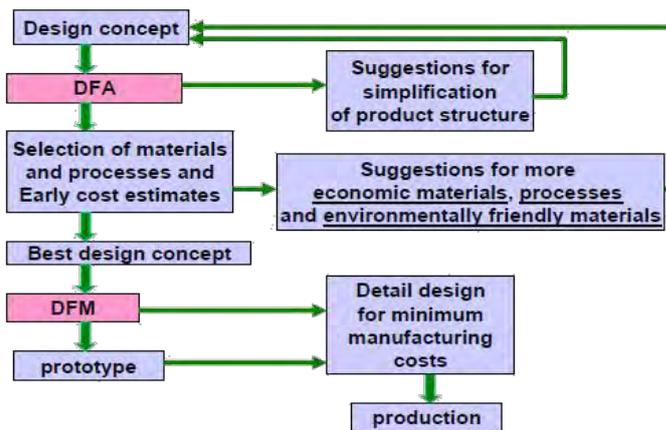
Adapun elemen yang terdapat pada CE yaitu teknologi informasi, proses, dan kolaborasi (Salomone, 1995). Kolaborasi yang dimaksud adalah lintas fungsi dari tim, dimana tim tersebut harus didukung dari perusahaan dalam hal struktur organisasi dan *skill* orang-orang yang ada didalamnya karena tim ini merupakan ujung tombak dalam pelaksanaan CE. Teknologi informasi juga mempermudah dan mengefektifkan CE dalam hal komunikasi, serta *software-software* pendukung seperti CAD, CAE, dan DFMA. Proses juga mendukung CE, yaitu untuk menciptakan produk yang baik dan sederhana namun tetap memperhitungkan kualitas.

2.2 *Design for Manufacturing Assembly* (DFMA)

Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) merupakan gabungan dari *Design for Manufacturing* (DFM) dan *Design for Assembly* (DFA), dimana DFM adalah merancang untuk memudahkan manufaktur dari seluruh komponen yang akan dibentuk setelah dirakit, dan DFA adalah merancang produk untuk memudahkan perakitan (Boothroyd et al., 2002). DFMA digunakan untuk tiga aktivitas utama:

1. Dasar pada studi *concurrent engineering* untuk mengarahkan tim desain dalam menyederhanakan struktur produk, mengurangi biaya manufaktur dan perakitan, dan untuk mengukur perbaikan.
2. Sebagai alat untuk melakukan perbandingan produk sejenis milik kompetitor dan menghitung hambatan dalam manufaktur dan perakitan.
3. Untuk alat bantu dalam melakukan negosiasi dengan *supplier*.

Adapun tahapan yang akan dilakukan pada analisa DFMA seperti yang digambarkan pada Gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3 Tahapan DFMA pada DFMA *Software*
(Boothroyd et al., 2002)

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa konsep desain dianalisa menggunakan DFA, sehingga didapatkan rekomendasi untuk penyederhanaan struktur produk, sehingga dilakukan kembali proses pembuatan konsep desain. Setelah konsep desain melalui proses DFA, maka selanjutnya adalah memilih material dan proses serta memperkirakan biaya awal. Pada tahap tersebut, dapat membuat rekomendasi untuk material yang lebih murah dan proses yang ramah lingkungan. Selanjutnya didapat konsep desain yang paling baik, kemudian dianalisa menggunakan DFM untuk menghitung detail desain untuk biaya produksi minimum, dan kemudian di produksi.

2.3 Design for Assembly (DFA)

Dalam subbab ini terdapat beberapa penjelasan terkait dengan metode DFA, antara lain definisi DFA, perbandingan metode perakitan, metode Boothroyd-Dewhurst untuk evaluasi DFA, dan *guidelines* DFA.

2.3.1 Definisi Design for Assembly (DFA)

Metode DFA digunakan untuk menyederhakan produk sehingga biaya perakitannya juga berkurang. Hal lain yang terpengaruh dengan penyederhanaan produk yaitu perbaikan kualitas dan ketahanan, serta pengurangan peralatan

produksi serta penyimpanan komponen (Salustri and Chan, 2005). DFA merupakan metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi desain komponen dan keseluruhan desain perakitan. DFA adalah sebuah cara yang dapat dihitung untuk mengidentifikasi komponen yang tidak diperlukan dalam sebuah perakitan dan untuk menentukan waktu serta biaya perakitan (Boothroyd Dewhurst, 2012a).

2.3.2 Metode Boothroyd-Dewhurst Untuk Evaluasi DFA

Boothroyd dan Dewhurst telah memformulasikan salah satu metode yang sangat terkenal ini, yaitu metodologi DFA (Boothroyd and Dewhursts, 1989). Metode Boothroyd dan Dewhurst ini didasarkan pada dua langkah prosedur yang diaplikasikan untuk tiap komponen dalam perakitan, yaitu (Stone et al., 2003):

1. Mengevaluasi tiap komponen untuk ditentukan apakah komponen tersebut dibutuhkan atau menjadi kandidat untuk dieliminasi atau dikombinasikan dengan komponen lain dalam perakitan.
2. Memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk memegang, menggerakkan, dan memasukkan komponen selama proses perakitan.

Secara umum, metode ini memiliki tahapan sebagai berikut (Salustri and Chan, 2005):

1. Pilih metode perakitan untuk tiap komponen.
2. Analisa komponen berdasarkan metode perakitan yang telah dipilih.
3. Perhalus desain untuk menjawab kekurangan yang telah teridentifikasi pada analisis.
4. Ulangi ke langkah kedua sampai menghasilkan analisa yang cukup baik.

Analisa dengan metode ini menggunakan *worksheet* (Gambar 2.1) untuk memperkirakan waktu *handling* dan *insertion* komponen. Operasi *non-assembly* juga dipertimbangkan dalam *worksheet*, misalnya waktu tambahan yang dialokasikan untuk tiap *assembly* diorientasikan. Berikut ini adalah tabelnya:

maka pada kolom (i) diisi dengan 1. Selanjutnya hasil dari tabel tersebut dihitung dengan menggunakan rumus:

$$E_m = \frac{N_m \times t_a}{t_{ma}}, \quad (2.1)$$

Dengan E_m efisiensi desain manual, N_m adalah jumlah minimum komponen secara teoritis, T_M adalah total waktu perakitan manual, dan t_a adalah nilai kondisi ideal, yaitu sebesar 3 detik.

2.3.3 Guidelines DFA

Terdapat beberapa panduan dasar dalam penggunaan metode DFA. Tiap panduan ini dapat digunakan untuk pembuatan konsep desain, putuskan mana yang dapat diaplikasikan dan tidak, serta memodifikasi konsep untuk memenuhi panduan. Namun, tidak ada jaminan yang menyatakan bahwa pedoman akan berlaku untuk masalah desain tertentu. Berikut ini adalah pedomannya (Salustri and Chan, 2005):

1. Minimalisir jumlah komponen, dengan menyatukan beberapa fungsi komponen ke dalam satu komponen
2. Modularisasi beberapa komponen menjadi satu *sub-assembly*
3. Desain agar dapat dirakit di tempat terbuka, bukan tempat tertutup dan jangan mendesain komponen yang penting di paling bawah
4. Komponen harus mudah diorientasi ketika akan dirakit untuk *insertion*, dan komponen harus memiliki fitur *self-locking* atau diberi tanda agar mempermudah orientasi
5. Membuat standarisasi komponen untuk mengurangi variasi dan memudahkan proses perakitan
6. Mendesain komponen agar tidak menempal dan tersangkut satu sama lainnya
7. Membedakan komponen yang memiliki bentuk yang sama dengan cara non-geometris (kode warna)
8. Mendesain komponen agar tidak terjadi *nesting*, yaitu komponen tersangkut diatas komponen yang lain

9. Desain komponen dengan orientasi yang mudah, sehingga mudah untuk disambungkan
10. Memberikan fitur *alignment* dalam produk agar mudah diorientasikan
11. Desain komponen yang berpasangan agar mudah dimasukan, berikan *allowance* pada setiap komponen agar memberikan kompensasi pada variasi dimensi komponen
12. Desain komponen utama agar lebih besar dari komponen-komponen penyusunnya agar stabil ketika dilakukan perakitan, dan lakukan perakitan dari atas ke bawah.
13. Apabila tidak dapat mendesain komponen dari atas ke bawah, maka minimalisir arah dalam memasukan perakitan.
14. Menyambungkan komponen dapat dilakukan menggunakan mur, baut, atau sistem *snap-fit*

2.4 Design for Manufacture (DFM)

Pada subbab ini akan dibahas hal terkait dengan DFM, antara lain definisi, serta *guideline* DFM.

2.4.1 Definisi Design for Manufacture (DFM)

Design for Manufacture adalah pendekatan sistematis yang memungkinkan para *engineer* untuk mengantisipasi biaya manufaktur lebih awal pada proses desain, bahkan ketika hanya gambaran kasar yang tersedia pada produk yang dikembangkan. Banyaknya macam teknologi dalam proses produksi serta bahan-bahan yang tersedia membuat para pendesain tidak mungkin memiliki pengetahuan tersebut secara keseluruhan, akibatnya para pendesain akan cenderung memilih proses yang familiar. Metodologi DFM membuat para pendesain individual maupun tim CE 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 yang mampu bersaing dan memutuskan mana yang terbaik. DFM memberikan

DFM memberikan panduan dalam pemilihan material dan proses serta menghasilkan komponen dan perkiraan biaya peralatan pada tahap desain. DFM juga merupakan bagian penting dalam proses DFMA karena DFM menyediakan informasi tentang manufaktur kedalam analisa pengurangan biaya pada DFA (Boothroyd Dewhurst, 2012b).

2.4.2 Guidelines DFM

Inti dari sistem *design for manufacturing* apapun adalah panduan atau prinsip yang merupakan untuk membantu pendesain mereduksi biaya dan kesulitan dalam memproduksi sebuah produk. Dibawah ini adalah daftar peraturannya (Tien-Chang et al., 1998):

1. Mengurangi jumlah *part*.
2. Mengembangkan desain modular.
3. Menggunakan komponen yang standard.
4. Mendesain *part* yang memiliki banyak fungsi.
5. Medesain *part* dengan banyak kegunaan.
6. Mendesain yang mudah untuk fabrikasi.
7. Menghindari pengencang yang terpisah.
8. Meminimalkan arah perakitan.
9. Memaksimalkan pemenuhan.
10. Meminimalkan *handling*.

2.5 DFMA Software

Dalam proses perancangan dan pengembangan desain, dapat menggunakan *software* yang dikembangkan oleh Boothroyd and Dewhurst Inc. *Software* yang diluncurkan pada tahun 1982 ini memberikan kemudahan dalam menganalisa desain dan beberapa alternatif desain perbaikan produk, misalnya perhitungan DFA *index*, waktu serta biaya tenaga kerja, dan biaya perakitan. Dengan begitu, dapat memberi gambaran bagi *designer* untuk melakukan perbaikan serta estimasi biaya dari rancangan yang dibuat. *Software* ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu DFA *Software* dan DFM *Software/DFM Concurrent Costing*, berikut ini penjelasan dari DFA *Software*:

2.5.1 DFA Software

Pendesain produk mengetahui bahwa 85% dari biaya produksi ditentukan dari tahap awal dalam desain (Boothroyd Dewhurst, 2012a). Oleh karena itu, sangat penting sekali jika pada tahap tersebut telah menggunakan alat bantu dalam menentukan biaya produksi. Keuntungan lain yang didapat dengan menggunakan *software* DFA antara lain sebagai berikut:

1. Memperkirakan kesulitan perakitan

Dengan menggunakan *software* ini, dapat diperkirakan tingkat kesulitan dalam proses perakitan, mulai dari bagaimana cara komponen tersebut dipegang, bagaimana orientasinya, dan bagaimana pemindahan untuk memasukkan dan pengencangan ke produk.

2. Mendukung pembuatan keputusan

Software ini memberikan tujuan serta informasi sehingga tim pengembangan produk mampu memeriksa semua desain yang berpotensi dan memilih pendekatan yang paling efektif.

3. Membandingkan dengan produk yang telah ada

DFA indeks merupakan pengukuran dari efisiensi perakitan, merupakan dasar untuk perhitungan perbandingan alternatif desain perbaikan secara internal atau dengan produk kompetitor. *Software* ini menghasilkan pengukuran sasaran yang tidak bergantung dari ukuran dan kompleksitas produk.

4. Menambah fokus untuk *review* desain

Analisa DFA mampu mengarahkan perkembangan desain, membuktikan perbaikan sejalan dengan perkembangannya. Dengan mengeliminasi komponen atau operasi yang berlebihan dan menghilangkan kesulitan dalam perakitan, nilai efisiensi perakitan secara langsung akan meningkat.

5. Menajamkan kemampuan desain

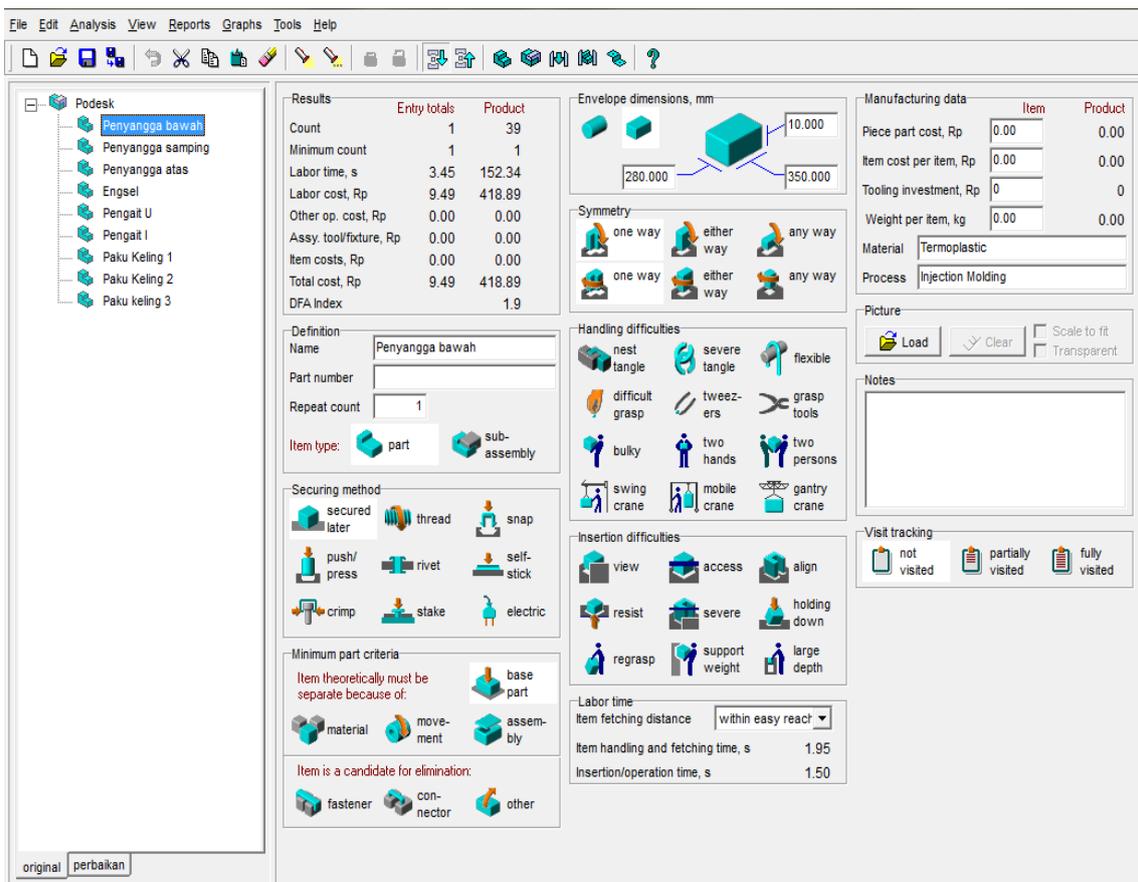
Software ini membantu pendesain menciptakan nilai minimum komponen untuk sebuah produk secara teoritis. Dalam proses pengembangan,

engineer mengidentifikasi konsep desain yang mampu mengurangi kompleksitas serta biaya yang tidak diperlukan.

6. Mengintegrasikan desain dan produksi

Pendekatan DFA memberikan pertimbangan struktur keseluruhan untuk membuat perubahan desain pada material dan biaya manufaktur yang lebih sesuai. DFA dan DFM yang digunakan bersama memungkinkan *engineer* untuk memilih bentuk serta proses pembentukan yang tepat dan biaya yang hemat untuk komponen.

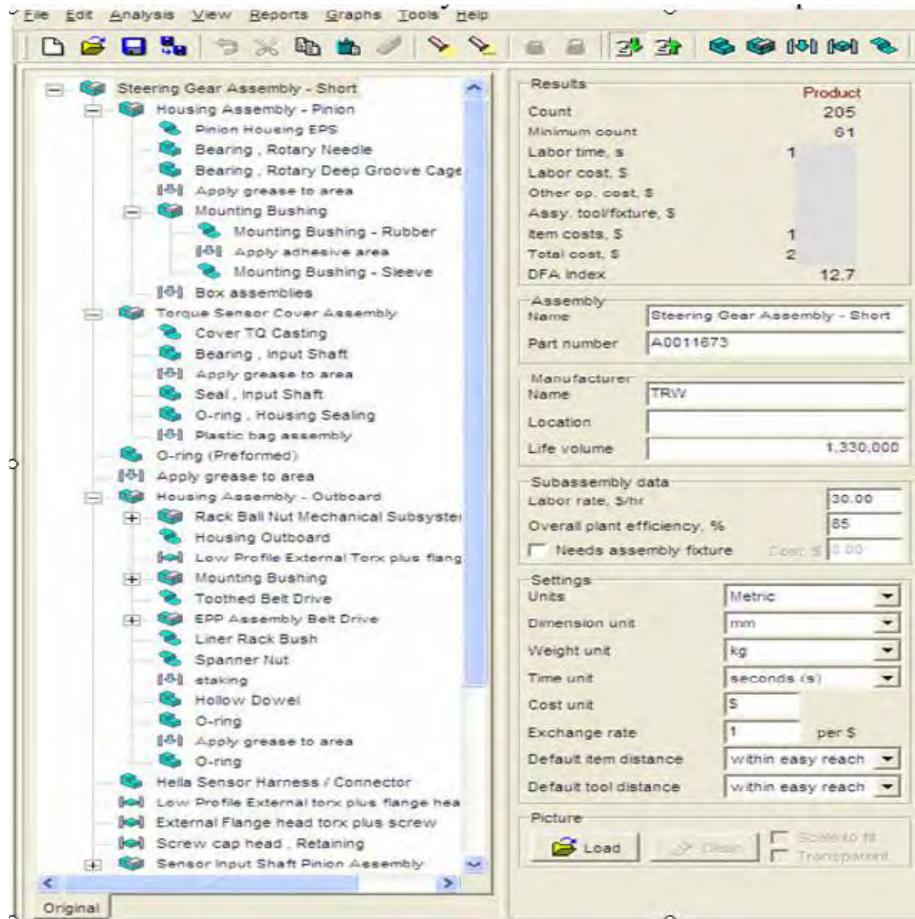
Data yang diperlukan dalam pengolahan data *software* ini antara lain Definition yang terdiri dari *name*, *part number*, *repeat count*, dan *item type* apakah merupakan *part* atau *sub-assembly*. Selanjutnya adalah *securing method* yang terdiri dari pilihan *secured later*, *thread*, *snap*, *push/press*, *rivet*, *self-stick*, *crimp*, *stake*, dan *electric*. Lalu ada *minimum part criteria*, apakah perlu dipisahkan atau merupakan kandidat untuk dieliminasi (misal karena merupakan *fastener*, *conector*, atau lainnya). Kolom lainnya yang perlu diisi misalnya dimensi komponen, simetri, *handling difficulties*, *insertion difficulties*, *labor time*, dan *manufacturing data* seperti *piece per part*, *item cost per item*, *tooling investment*, *weight per item*, material serta prosesnya. Gambar 2.4 dibawah ini adalah tampilan DFA *software*:



Gambar 2.4 Tampilan DFA Software

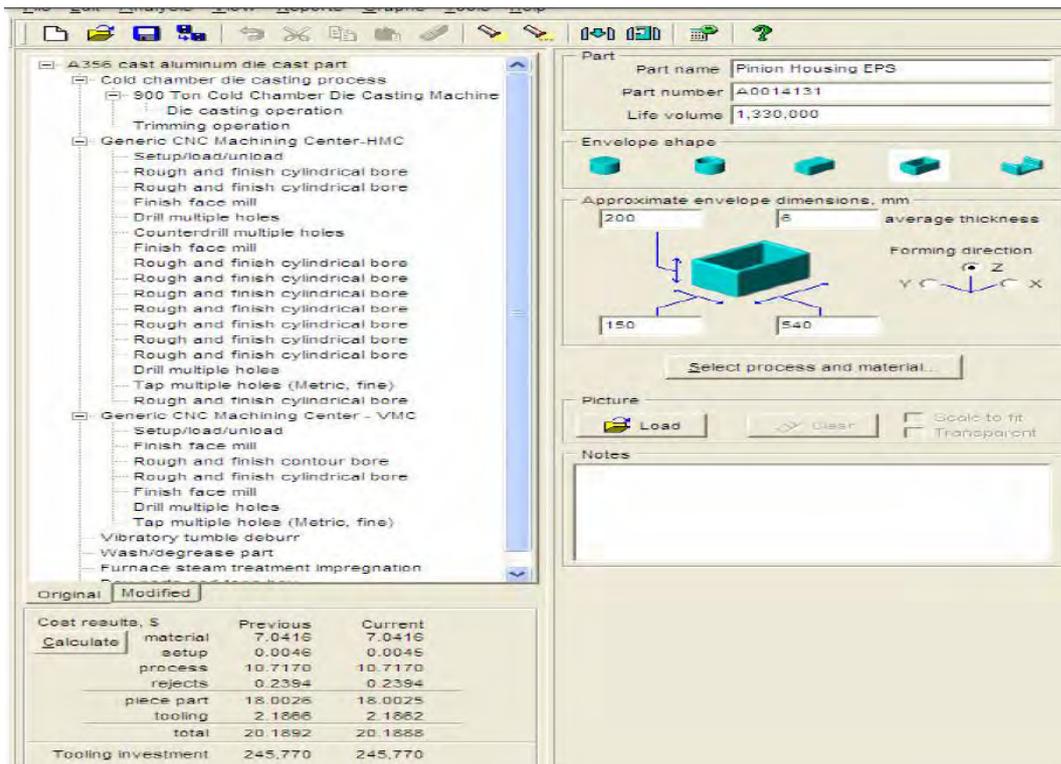
2.6 Case Study

Software DFMA Boothroyd and Dewhurst Inc. telah digunakan lebih dari 25 tahun oleh banyak perusahaan. *Software* ini merupakan *tools* yang mampu menghasilkan analisa yang konstan, selama pengguna memahami *software* dengan baik. Salah satu contoh penggunaan *software* DFMA pada sebuah perusahaan terdapat pada sebuah jurnal yang ditulis oleh Bolton (2007). Bolton menggunakan *software* DFMA untuk membantu sebuah organisasi perusahaan dalam memahami posisi perusahaan dipasar dengan membandingkannya terhadap produk kompetitor. Yang pertama dilakukan adalah membuat perincian struktur produk berdasarkan komponen-komponen penyusunnya menggunakan *worksheet* yang disediakan *software* DFA. Gambar 2.6 dibawah ini merupakan contoh pembuatan analisa DFA pada *software*.



Gambar 2.5 Contoh Penggunaan *Software DFA*

Pada Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa data komponen penyusun produk dimasukkan satu per satu dalam *software DFA* sesuai dengan *assembly sequence*-nya. Selanjutnya yang perlu dilakukan adalah membuat DFM untuk setiap komponen produk yang ada di DFA. Gambar 2.7 dibawah ini adalah penggunaan *software DFM*.



Gambar 2.6 Contoh Penggunaan DFM *Concurrent Costing*

Software tersebut akan secara otomatis menghitung biaya manufaktur dari semua tipe komponen menggunakan referensi tentang semua proses dan material yang dimiliki dalam *software* tersebut. Dengan menghitung menggunakan DFM, maka dapat dilakukan rekap perbandingan untuk desain-desain selanjutnya, dan juga membandingkan dengan kompetitor lain, seperti yang dapat dilihat dalam Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Perbandingan biaya DFA/DFM dari beberapa Automotive Steering Gears Globally

DFA/DFM Cost Comparison of Various Automotive Steering Gears Globally						
	Gear Description	Hyundai	Toyota	Honda	VW Jetta	Chery QQ
		Sonata CA#834	Camry CA#832	Odyssey CA#862	CA#838	CA#875
	Manufacturer	Mando	JTEKT	Hitachi	ZF	Henglong
	Part Description					
1	Rack Assembly					
1.a	Rack	9.03	8.35	7.13	7.42	6.70
1.b	Rack Piston	0.35	0.34	0.38	0.32	0.29
1.c	Piston Rack Seal - O-Ring	0.06	0.06	0.04	0.06	0.06
1.d	Piston Rack Seal - Square	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
1.e	Inner Rack Seal	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
1.f	Rack Piston C-Ring	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1.g	Inner Rack Seal Backer			0.05		
1.h						
	Rack Assembly Cost	1.19	1.19	1.67	1.19	1.19
	Total Rack Cost	11.15	10.46	9.80	9.51	8.76
	DFA Index	15.5	15.5	18.2	15.5	15.5
2	Pinion Assembly					
2.a	Pinion	2.20	2.29	4.29	2.01	2.14
2.b	Torsion Bar	1.57	0.91	1.35	1.64	0.98
2.c	Valve Sleeve	2.71	2.66		3.42	2.70
2.d	Input Shaft	3.13	3.26	4.06		3.53
2.e	Valve Sleeve Seals	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
2.f	Torsion Bar Hitch Pin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2.g	Torsion Bar O-Ring	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
2.h	Pinion Hitch Pin	0.03	0.03		0.03	0.03
2.i	Upper Pinion Lipseal	0.36	0.36	0.47	0.36	0.36
2.j	Upper Pinion Support Bushing/Bearing	0.47	0.47	0.19	0.47	0.47
2.k	Input Shaft Support Bearing/Bushing	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
2.l	Input Shaft C-Clip/Snap Ring	0.02				0.02
2.m	Input Shaft O-ring	0.02	0.02			0.02
2.n	Lower Pinion Seal					
2.o	Lower Pinion Support Bearing	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
2.p	Lower Pinion Lock Nut/Bolt		0.04			0.04
2.q	Lower Pinion Lock Plug		0.17			0.17
2.r	Input Shaft Seal	0.39	0.39		0.39	0.39
2.s	Snap Bearing @ Base of T-Bar/ Input Shaft		0.47			
2.t	Wave Washer		0.01			
2.u	Input Shaft Spool Valve				0.01	
	Pinion/Valve Assembly Cost	3.26	3.26	2.25	3.12	3.3
	Total Valve Cost	15.07	15.22	13.51	12.35	15.05
	DFA Index	13.5	13.5	18.5	14.3	13.5

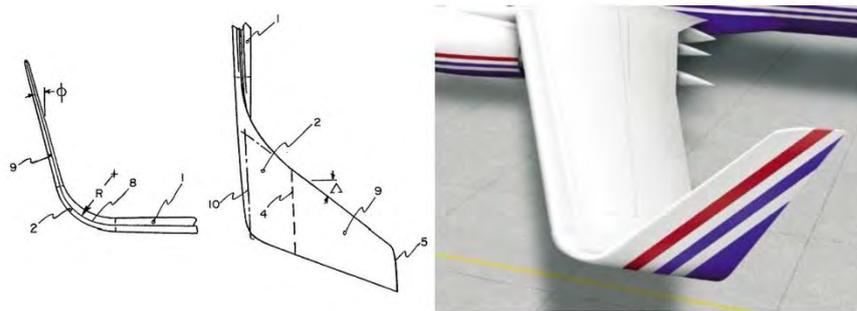
Adapun penelitian dengan menggunakan pendekatan DFMA telah dilakukan sebelumnya, salah satunya dilakukan oleh Nasrullah Jamalludin (2006) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengembangan Produk Industri *Boiler* Menggunakan Konsep *Design for Manufacture and Assembly*”. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah penghematan komponen sebesar 0.2-16.2%, penghematan waktu perakitan 0.04-2.1% dan penghematan biaya total manufaktur

sebesar 0.9-1.76%. Penelitian lainnya dilakukan oleh Oki Agung Setiyanto (2007) dengan judul “Penerapan *Design for Manufacture and Assembly* Pada Produk Mesin Gilas Tipe MGD-4 di PT Barata Indonesia (PERSERO)”. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah penurunan waktu komponen pada desain perbaikan alternatif pertama sebanyak 0,23%, penambahan waktu perakitan pada *redesign* kedua sebanyak 5,2%, dan pada desain perbaikan alternatif ketiga terjadi penambahan sebanyak 4,9%. Sedangkan untuk jumlah komponen mengalami pengurangan sebanyak 11-48 komponen, dan biaya penghematan biaya manufaktur sebesar 0,11%-0,61%.

2.7 Winglet dan Ujung Sayap Pesawat

Konsep penggunaan *winglet* pertama kali dimunculkan dan dipatenkan oleh Fredrick W. Lanchester, British Aerodynamicist, tahun 1897 dengan nama Teori Endplate. Namun teori tersebut tidak dapat mengurangi *induced drag* dari sayap pesawat. Kemudian di Juli 1976, Dr. Whitcomb membuat penelitian di NASA Langley Research Center dan mengembangkan konsep teknologi *winglet* (Rajendran, 2012). Dr. Whitcomb dalam risetnya menyatakan bahwa penggunaan *winglet* mampu mereduksi 20% *induced drag* dan mampu meningkatkan rasio *lift-to-drag* (Whitcomb, 1976).

Salah satu tipe *winglet* yang dikembangkan adalah *blended winglet*. *Winglet* ini dikembangkan oleh Grazter dari Seattle tahun 1994. Desain unik dari *winglet* ini adalah tidak adanya ujung yang tajam pada sayap dan titik potong dan diganti dengan garis yang halus (Gambar 2.8). *Winglet* ini dipasang pada Boeing Business Jet (BBJ) dan juga di B737 (Faye et al., 2002). Selain memperindah penampilan pesawat, *winglet* juga mampu membuat penerbangan menjadi lebih efisien jika dibandingkan dengan pesawat yang tidak menggunakan *winglet*.



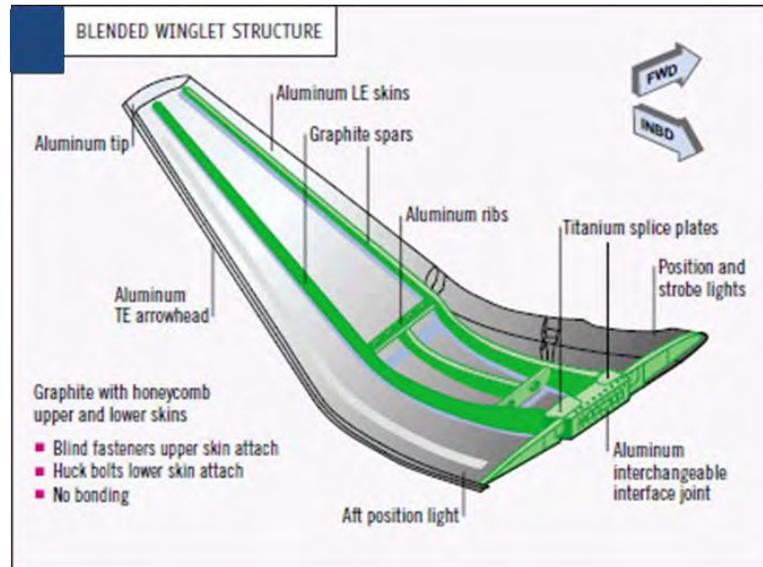
Gambar 2.7 *Blended Winglet*

Penggunaan bahan bakar pada pesawat BBJ dan B737 mengalami peningkatan efisiensi sebanyak 4% – 6%. Jarak jelajah juga mengalami peningkatan sebanyak 200 nmi untuk BBJ, dan 130 nmi dengan jumlah bahan bakar yang sama. Selain itu juga mampu meningkatkan kemampuan pesawat untuk lepas landas, menambah daya angkut, dan hanya sedikit mempengaruhi biaya perawatan pesawat karena *winglet* diperiksa setiap enam bulan sekali untuk bagian luar dan setiap satu tahun sekali untuk bagian dalam, sedangkan *winglet* yang bersifat *built-in* diperiksa setiap lima tahun sekali (Admin, 2009). Manfaat lingkungan yang didapat dengan penggunaan *winglet* adalah pengurangan sebesar 6,5% tingkat kebisingan disekitar bandara saat lepas landas dan pengurangan sebesar 4% emisi nitrogen dioksida dalam penerbangan 2000 nmi.

Untuk produksi pesawat terbang, sayap diperkuat dengan menggunakan *wingbox* untuk mengakomodasi beban *winglet* dengan penggunaan kecepatan rem dalam posisi penerbangan yang diinginkan. Penguatan secara struktural dilakukan dengan meningkatkan ukuran *spars*, *stringers*, *ribs*, dan *panels*. Rib 27 menggabungkan pola lubang baut yang memungkinkan penambahan baik *winglet* ataupun *wingtip*. *Winglet* dipasang pada perakitan akhir. Navigasi dan *strobe light* dipasang pada *leading edge* (LE) *winglet* dengan cara yang sama pada pemasangan *basic wingtip* untuk produksi. Penggantian lampu depan *winglet*, *strobe light*, dan lensa membutuhkan pemindahan perakitan LE dari *winglet*. Lampu belakang *winglet* sangat mudah diakses untuk keperluan pemeliharaan. Berbeda dengan lampu depan dan *strobe lights winglet*, dua komponen tersebut mempengaruhi perawatan pesawat. Dan pembuatan desain *winglet* itu sendiri

memungkinkan untuk perbaikan struktural secara luas. Gambar 2.9 dibawah ini adalah gambar struktur *blended winglet* pada pesawat BBJ dan B737.

Gambar 2.8 *Winglet* Pada BBJ dan B737



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 ini akan dijelaskan mengenai tahap-tahap dalam penelitian Tugas Akhir. Tahapan tersebut berupa kerangka berpikir sistematis penulis (Gambar 3.1) sehingga dapat mencapai tujuan penelitian. Adapun penelitian ini terdiri dari tiga tahapan utama, yang pertama yaitu tahap identifikasi dan perumusan masalah, yang kedua adalah tahapan pengumpulan dan pengolahan data, dan yang terakhir adalah tahapan analisa dan pengambilan kesimpulan. Berikut ini adalah rincian langkah-langkah tiap tahapan tersebut:

1. Studi Pustaka dan Studi Lapangan

Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan studi pustaka dan studi lapangan. Studi pustaka dilakukan untuk mencari dan mempelajari literatur yang menjadi landasan dalam penelitian ini, yaitu konsep DFMA serta penggunaan DFMA *software*. Sedangkan pada tahap studi lapangan dilakukan untuk melakukan identifikasi masalah yang terjadi pada implementasi CE pada PT. X, lalu mengolah dan merumuskan masalah yang terjadi serta menentukan tujuan dilakukannya penelitian, dan yang terakhir adalah pembuatan ruang lingkup penelitian sehingga penelitian menjadi lebih terfokus dan tepat sasaran.

2. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan spesifikasi produk, maksudnya adalah untuk menentukan bagaimana spesifikasi produk secara riil, misalnya bagaimana dan apa saja komponen pembangun produk, data waktu proses produksi, dan biaya perakitan, serta menelaah bagaimana konsep DFMA diterapkan pada PT. X.

3. Input Data Desain awal

Setelah data terkumpul, maka selanjutnya adalah memasukkan data desain awal pada *software*. Data-data yang dibutuhkan pada *software* ini antara lain: *product definition, securing method, minimum part criteria, envelope dimension, symetry, handling difficulties, insertion difficulties, labor time, manufacturing data, picture*. Langkah pengerjaan pada *software* adalah dengan memasukkan data-data yang telah disebutkan diatas satu persatu dari komponen penyusun produk sesuai dengan urutan awal hingga akhir perakitan, selanjutnya memasukkan operasi tambahan yang dibutuhkan dalam merakit, misalnya *fastening* dan *riveting*.

4. Analisa Desain Awal Produk

Pada tahap ini desain awal produk dianalisa menggunakan data yang didapat dari pengolahan DFA *software* pada tahap sebelumnya. Analisa dilakukan terhadap jumlah komponen, waktu perakitan, biaya perakitan, yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan DFA *index*.

5. Input Data Desain Perbaikan

Setelah analisa desain awal sudah didapat, maka selanjutnya adalah menganalisa desain perbaikan produk. Sebelum melakukan analisa, data kedua desain perbaikan terlebih dahulu dimasukkan kedalam *software*. Langkah-langkahnya sama seperti desain awal. Setelah data dimasukkan, maka selanjutnya dalah menganalisa desain perbaikan.

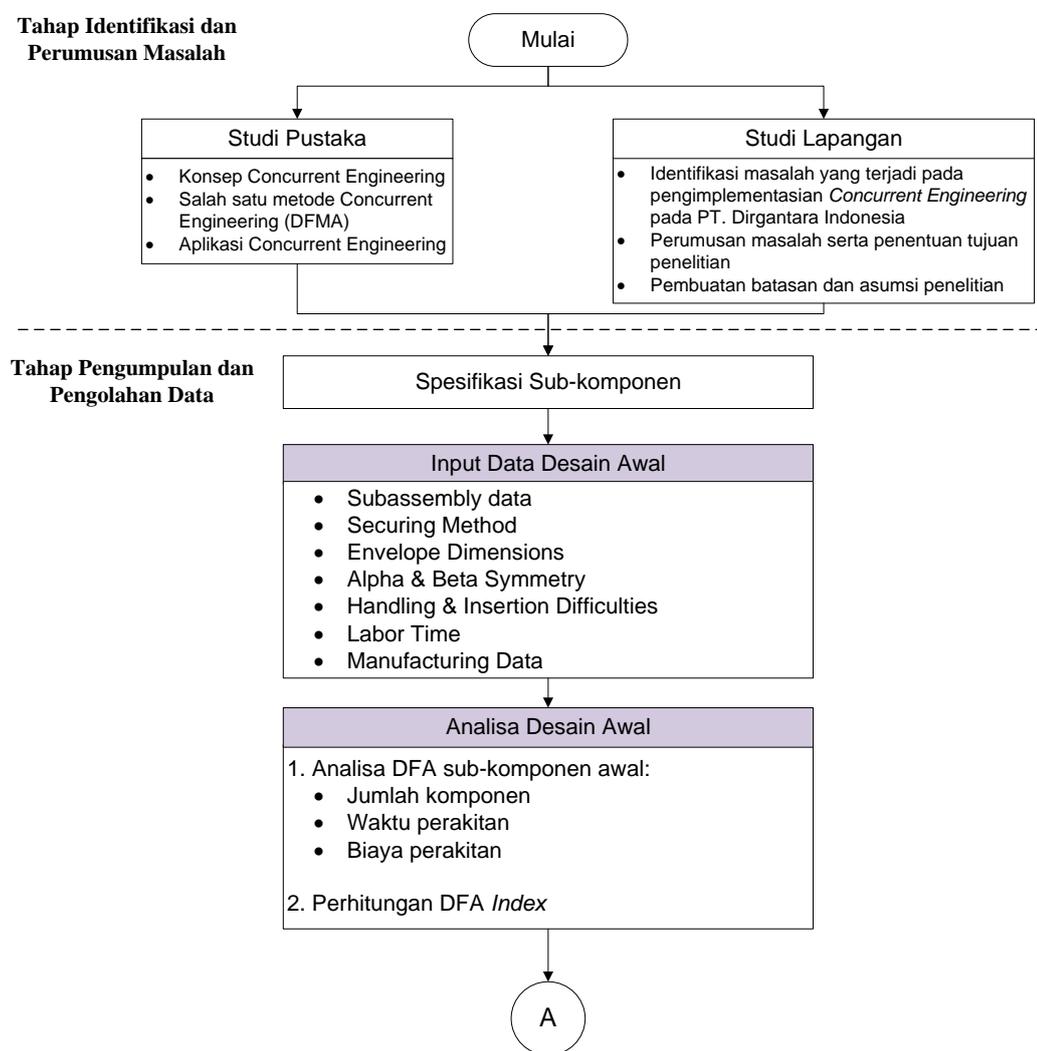
6. Analisa Desain Perbaikan Produk

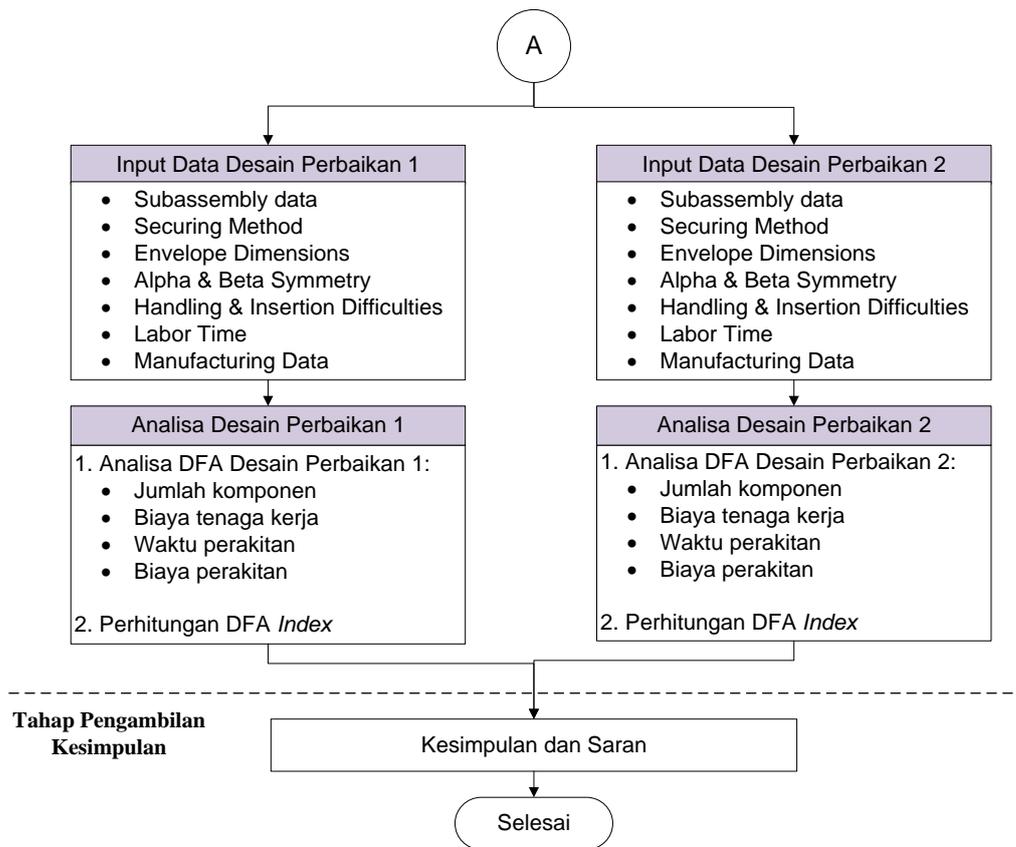
Desain perbaikan yang akan dianalisa adalah perbaikan dari PT. X. Pada tahap ini akan dilakukan analisa seperti pada desain awal, desain tersebut dianalisa menggunakan DFA *software* berdasarkan jumlah komponen, waktu perakitan, biaya perakitan, yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan DFA *index*. Yang terakhir adalah membandingkan desain perbaikan produk terhadap desain awal.

7. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian dan pengolahan serta interpretasi data. Selain itu, pemberian saran dilakukan agar berguna bagi penelitian yang lebih lanjut.

Berikut ini adalah *flowchart* metodologi penelitian Tugas Akhir:





Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian Tugas Akhir

BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab 4 ini akan dijelaskan mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian.

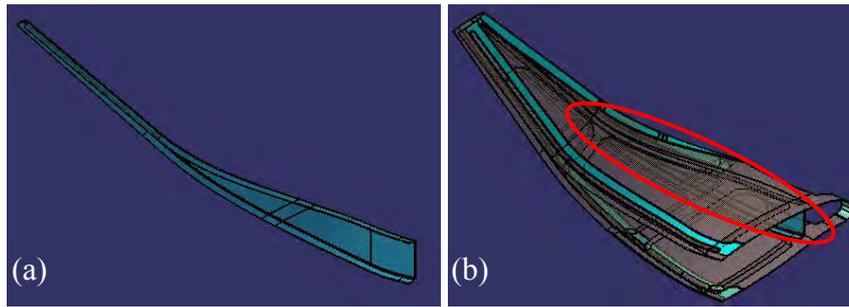
4.1 Pengumpulan Data

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Data yang dibutuhkan meliputi proses pengembangan *winglet* pesawat ABC, data komponen penyusun *winglet*, termasuk dimensi komponen, deskripsi proses produksi, dan deskripsi proses perakitan, serta biaya perakitan.

4.1.1 Proses Pengembangan *Winglet* Pesawat ABC

Berdasarkan informasi yang didapat saat melakukan wawancara secara langsung dengan salah satu karyawan PT. X dibagian Manufacturing Planning, yaitu Bapak Eddy Utomo, terdapat sejumlah permasalahan dalam pengembangan *winglet* ini. Salah satu permasalahan yang terjadi pada perakitan produk ini yaitu pada pemasangan komponen *front spar* (Gambar 4.1a) dengan *front skin winglet* (Gambar 4.1b). Permasalahan tersebut terjadi karena perakitan kedua komponen tidak dapat diakses dengan mudah karena bentuk *skin winglet* yang tidak terbuka, ditambah lagi dengan bentuk komponen *front spar* dan *skin winglet* sendiri yang berkontur sehingga proses *alignment* komponen tidak mudah.

Hal tersebut terjadi karena pada saat fase desain, tim CE pada PT. X belum menggunakan pendekatan DFA, tetapi hanya mengikutsertakan bagian produksi, dan rancang bangun untuk mempertimbangkan pengaruh komponen terhadap aerodinamik pesawat serta kemampuan untuk memproduksi komponen tersebut namun tidak mempertimbangkan kemampuan komponen untuk dirakit.



Gambar 4.1 (a) *Front Spar Winglet*. (b) *Front Skin Winglet*.

Selain itu juga terjadi beberapa kesalahan teknis pada komponen yang dihasilkan dari cetakan *bonding* seperti yang tercantum dalam TR3T (Tool Rejection – Rework – Release Tag) karena *human error*. Komponen tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.1 Daftar Komponen TR3T

NO.	PART NUMBER	NAMA KOMPONEN	DESKRIPSI
1.	35-11052-0001/02	FRONT SKIN	Hasil <i>part contour</i> tidak <i>acc contour jig</i>
2.	35-11053-0001/02	RIBT SIT A	Hasil <i>part</i> terlalu besar ± 7 mm terhadap <i>spare part</i>
3.	35-11054-0001/02	RIBS SIT B	Hasil <i>part</i> terlalu besar ± 4 mm terhadap <i>spare part</i>
4.	35-11055-0001/02	FRONT SPAR	Terdapat gap pada hasil <i>part area contour</i> ± 4 mm terhadap <i>contuour jig</i>
5	35-11057-0001/02	REAR SKIN	Hasil <i>part contour</i> tidak <i>acc contour jig</i>
6.	35-11058-0001/02	REAR SPAR	Hasil <i>part contour</i> tidak <i>acc contour jig</i>

*Dokumen TR3T dapat dilihat pada Lampiran.

Dari kesalahan-kesalahan yang telah didapatkan, yang menjadi permasalahan kritis adalah perancangan desain *winglet*, karena pada fase tersebut sangat ditentukan sekali berbagai aspek yang akan dibutuhkan oleh *winglet*, salah satunya yaitu perakitan, sedangkan untuk permasalahan teknis dapat diatasi

dengan membuat cetakan yang lebih presisi serta melakukan inspeksi pada komponen.

4.1.2 Data Komponen Penyusun Produk

Produk yang dijadikan sebagai obyek pengamatan adalah *winglet* pada pesawat terbang ABC milik PT. X, seperti pada Gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2 *Winglet* Pesawat ABC

Komponen penyusun *winglet* dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini, terdiri dari nomor komponen, nama komponen serta jumlah unit yang dibutuhkan, sedangkan data komponen lengkap beserta dimensi dan bahan pembuatnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.2 Daftar Komponen Penyusun *Winglet* Pesawat ABC Desain Awal

No. Komponen	Nama Komponen	Jumlah	
35-11040-0001	WINGLET ASSY	1	EA
35-11040-0101	• PLATE BAND	1	EA
35-11040-0201	• PLATE BAND	1	EA
35-11040-0301	• PLATE BAND	1	EA
35-11040-0401	• FWD. UPR. L-PROFILE	1	EA
35-11040-0501	• FRONT LWR.L-PROFILE	1	EA
35-11040-0601	• CENTER UPR. L-PROFILE	1	EA
35-11040-0701	• CENTER LWR.L-PROFILE	1	EA
35-11040-0801	• REAR UPR. L-PROFILE	1	EA
35-11040-0901	• REAR LWR.L-PROFILE	1	EA
35-11040-1001	• SHIM	1	EA

No. Komponen	Nama Komponen		Jumlah	
35-11040-1101	•	SHIM	1	EA
35-11040-1201	•	SHIM	1	EA
35-11040-1301	•	SHIM	2	EA
35-11044-0001	1.1	POSITION LIGHT COVER	1	EA
35-11044-0101	1.1.1	GLASS COVER	1	EA
35-11065-0001	1.1.2	INNER FRAME	1	EA
35-11065-0101	1.1.2.1	PREPREG	1	EA
Z-18.170	1.1.2.2	EPOXY RESIN	0	GR
35-11066-0001	1.1.3	OUTER FRAME	1	EA
35-11066-0101	1.1.3.1	PREPREG	1	EA
Z-12.113	1.1.3.2	EPOXY PRIMER	0	ML
Z-12.211	1.1.3.3	FILLER	0	KG
Z-12.506	1.1.3.4	ANTISTATIC PAINT	0	ML
Z-18.170	1.1.3.5	EPOXY RESIN	0	GR
Z-12.506	1.1.4	ANTISTATIC PAINT	0	ML
Z-15.237	1.1.5	ADHESIVE	0	GR
Z-15.610	1.1.6	ACRILIC ADHESIVE	0	ML
35-11043-0001	1.2	TIP	1	EA
35-11043-0101	1.2.1	OUTER TIP	1	EA
35-11043-0201	1.2.2	INNER TIP	1	EA
35-11043-0301	1.2.3	TRAILING EDGE	1	EA
DIN1732L0363	1.2.4	FILLER WIRE	0	GR
NAS1097AD5	1.2.5	RIVET, FLUSH CSK HEAD	2	EA
Z-16.171	1.2.6	SEALANT	0	GR
Z-16.176	1.2.7	SEALANT	0	GR
Z-16.177	1.2.8	SEALANT	0	GR
35-11041-0001	1.3	WINGLET	1	EA
35-11041-0101	1.3.1	GLASS FIBER	1	EA
35-11041-0201	1.3.2	GLASS FIBER	1	EA
35-11050-0001	1.3.3	FRONT SKIN ASSY	1	EA
35-11050-0101	1.3.3.1	FWD DIVENTER	1	EA
35-11050-0201	1.3.3.2	FWD DIVENTER	1	EA
35-11050-0301	1.3.3.3	FWD DIVENTER	1	EA
35-11050-0401	1.3.3.4	FWD DIVENTER	1	EA
35-11050-0501	1.3.3.5	FWD DIVENTER SPLICE	1	EA
35-11050-0601	1.3.3.6	FWD DIVENTER SPLICE	1	EA
35-11050-0701	1.3.3.7	MIDDLE DIVENTER	1	EA
35-11050-0801	1.3.3.8	MIDDLE DIVENTER	1	EA
35-11052-0003	1.3.3.9	FRONT SKIN	1	EA
35-11052-0103	1.3.1.9.1	ARAMID OX CORE .0-1/4	1	EA
35-11052-0203	1.3.1.9.2	ARAMID OX CORE .0-1/4	1	EA

No. Komponen	Nama Komponen		Jumlah	
35-11052-0303		1.3.1.9.3	ARAMID OX CORE .0-1/4	1 EA
35-11052-0403		1.3.1.9.4	ARAMID OX CORE .0-1/4	1 EA
35-11052-0503		1.3.1.9.5	ARAMID OX CORE .0-1/4	1 EA
35-11052-0603		1.3.1.9.6	ARAMID OX CORE 3.0-1/4	1 EA
35-11052-0701		1.3.1.9.7	GLASS FIBER	1 EA
35-11052-0801		1.3.1.9.8	ARAMIDE FIBER (KEVLAR)	1 EA
35-11052-0901		1.3.1.9.9	TEDLAR	1 EA
Z-15.429		1.3.1.9.10	EPOXY ADHESIVE FILM	1 EA
35-11053-0001		1.3.3.10	RIB A	1 EA
35-11054-0001		1.3.3.11	RIB B	1 EA
35-11055-0003		1.3.3.12	FRONT SPAR	1 EA
35-11056-0001		1.3.3.13	RIB LE	1 EA
35-11067-0001		1.3.3.14	ANGLE	1 EA
Z-15.237		1.3.3.15	ADHESIVE	0 GR
35-11068-0001	1.3.4		ANGLE	1 EA
35-11051-0001	1.3.5		REAR SKIN ASSY	1 EA
35-11051-0101		1.3.3.1	AFT INNER DIVERTER	1 EA
35-11051-0201		1.3.3.2	AFT OUTER DIVERTER	1 EA
35-11051-0301		1.3.3.3	GLASS FIBER	1 EA
35-11051-0401		1.3.3.4	GLASS FIBER	1 EA
35-11057-0003A01		1.3.3.5	REAR SKIN	1 EA
35-11057-0103		1.3.3.5.1	ARAMID OX CORE .0-1/4	1 EA
35-11057-0301		1.3.3.5.2	GLASS FIBER	1 EA
35-11057-0401		1.3.3.5.3	ARAMIDE FIBER (KEVLAR)	1 EA
35-11057-0501		1.3.3.5.4	TEDLAR	1 EA
Z-15.429		1.3.3.5.5	EPOXY ADHESIVE FILM	0 SM
35-11057-0003B01		1.3.3.6	REAR SKIN	1 EA
35-11057-0203		1.3.3.6.1	ARAMID OX CORE .0-1/4	1 EA
35-11057-0301		1.3.3.6.2	GLASS FIBER	1 EA
35-11057-0401		1.3.3.6.3	ARAMIDE FIBER (KEVLAR)	1 EA
35-11057-0501		1.3.3.6.4	TEDLAR	1 EA
Z-15.429		1.3.3.6.5	EPOXY ADHESIVE FILM	0 SM
35-11058-0003		1.3.3.7	REAR SPAR	1 EA
35-11069-0001		1.3.3.8	ANGLE	2 EA
NAS1097AD3		1.3.3.9	RIVET	46 EA
Z-15.237		1.3.3.10	ADHESIVE	0 GR
Z-16.176		1.3.3.11	SEALANT	1 GR
Z-16.177		1.3.3.12	SEALANT	2 GR
Z-18.115		1.3.3.13	EPOXY RESIN	3 GR
Z-18.170		1.3.3.14	EPOXY RESIN	4 GR
Z-12.117	1.3.6		POLYURETHANE PRIMER	0 ML

No. Komponen	Nama Komponen			Jumlah		
Z-12.211		1.3.7	FILLER	0	KG	
Z-12.506		1.3.8	ANTISTATIC PAINT	0	ML	
Z-15.237		1.3.9	ADHESIVE	0	GR	
Z-18.170		1.3.10	EPOXY RESIN	0	GR	
35-11042-0001	1.4	RIB END		1	EA	
35-11042-0101		1.4.1	FRONT RIB	1	EA	
35-11042-0201		1.4.2	CENTER RIB	1	EA	
35-11042-0301		1.4.3	REAR RIB	1	EA	
35-11042-0401		1.4.4	RIB T.E	1	EA	
35-11042-0501		1.4.5	ANGLE	1	EA	
35-11059-0001A01		1.4.6	FRONT SPAR FITTING ASSY		1	EA
35-11059-0101			1.4.6.1	FRONT SPAR FITTING	1	EA
35-11059-0201			1.4.6.2	SPECIAL BUSHING	2	EA
CAN64214-05-14			1.4.6.3	BUSHING, FLANGE	1	EA
Z-16.176			1.4.6.4	SEALANT	0	GR
35-11060-0001A01		1.4.7	REAR SPAR FITTING ASSY		1	EA
35-11059-0201			1.4.7.1	SPECIAL BUSHING	2	EA
35-11060-0101			1.4.7.2	REAR SPAR FITTING	1	EA
CAN64214-05-14			1.4.7.3	BUSHING, FLANGE	1	EA
Z-16.176			1.4.7.4	SEALANT	0	GR
MS20470AD4		1.4.8	RIVET		15	EA
MS20470AD5		1.4.9	RIVET		24	EA
Z-16.176		1.4.10	SEALANT		0	GR
35-62075-0401		•	SUPPORT		1	EA
35-62075-0501	•	SUPPORT		1	EA	
35-62075-0601	•	SUPPORT		1	EA	
35-62075-0701	•	SUPPORT		1	EA	
35-63767-0001	•	HARNESS 1M (LH WINGLET)		1	EA	
AC118106	•	POSITION LIGHT (RED)		1	EA	
AC300145	•	BASE		3	EA	
CAN43017	•	RIVET, PROTRUDING HEAD		2	EA	
CAN43110PB5-4	•	PIN		20	EA	
CAN43110PB5-5	•	PIN		36	EA	
CAN43111PB5-4	•	HI-LOK		6	EA	
CAN43111PB5-5	•	HI-LOK		32	EA	
CAN43111PB5-7	•	HI-LOK		2	EA	
CAN43114-5	•	COLLAR		96	EA	
CAN60046A4	•	IDENTIFICATION PLATE		1	EA	
MS20426DA3	•	RIVET, SOLID, COUNTERSHUNK 100 DEG		22	EA	
MS20426DA4	•	RIVET		20	EA	
MS20426DA5	•	RIVET, SOLID, COUNTERSHUNK 100 DEG		171	EA	

No. Komponen	Nama Komponen	Jumlah	
MS20470DA3	• RIVET, PROTRUDING HEAD	12	EA
MS20470DA4	• RIVET	21	EA
MS20470DA5	• RIVET	24	EA
MS21059-08	• NUT	10	EA
MS21059L08	• NUT, FLOATING	23	EA
MS21059L3	• NUT	3	EA
MS21061-08	• NUT, SELF-LOCKING	1	EA
MS21061L08	• NUT, SELF-LOCKING	4	EA
MS21919WDG2	• CLAMP	4	EA
NAS1097AD3	• RIVET	106	EA
NAS1102-08-10	• SCREW, FLUSH CSK HEAD	1	EA
NAS1102-08-28	• SCREW	3	EA
NAS1102-08-8	• SCREW, FLUSH CSK HEAD	30	EA
NAS1102-3-10	• SCREW, FLUSH CSK HEAD	2	EA
NAS1102-3-8	• SCREW, FLUSH CSK HEAD	6	EA
NAS1149DN832J	• WASHER, PLAIN	8	EA
NAS1291C3M	• NUT	8	EA
NAS17398-3	• RIVET, FLUSH CSK HEAD	18	EA
NAS17398-4	• RIVET, FLUSH CSK HEAD	10	EA
NAS1801-08-8	• SCREW, HEXAGON HEAD	4	EA
NAS43-3-10	• SPACER	1	EA
NAS43-3-80	• SPACER	3	EA
Z-16.171	• SEALANT	0	GR
Z-16.176	• SEALANT	0	GR
Z-16.177	• SEALANT	0	GR
Z-18.186	• EPOXY RESIN	0	GR
		636	

Keterangan:

Tabel 4.3 Keterangan Kode Satuan Komponen *Winglet*

KODE	KETERANGAN	KODE	KETERANGAN
EA	Each	SM	Square Meter
GR	Gram	KG	Kilogram
ML	Mililiter		

Jumlah total komponen penyusun utama *winglet* pesawat ABC ini adalah 51 komponen dengan *sub-assembly* didalamnya dengan total keseluruhan

komponen sebanyak 636 komponen. Proses perakitan menggunakan *rivet, nut, screw, bolt, bushing, clamp, sealant* dan *adhesive*.

4.1.3 Deskripsi Proses Produksi

Pembuatan Winglet Pesawat ABC dari kedatangan bahan baku sampai proses perakitan ke sayap utama pesawat mengikuti alur proses produksi seperti penjelasan dibawah ini (RantauJaya, 2013):

1. *Receiving and warehouse raw material*

Tahap awal dari proses produksi winglet ini adalah memasok bahan baku. Bahan baku didapat dengan membeli dari supplier atau mengambil dari gudang material. Pada gudang bahan baku ini juga dilakukan proses inspeksi, sehingga bahan baku yang digunakan memiliki kualitas yang baik. Tabel 4.4 dibawah ini adalah material yang digunakan pada komponen penyusun winglet.

Tabel 4.4 Bahan Baku Komponen Penyusun Winglet Pesawat ABC

PART NAME	PART NUMBER	I_PART	N_PART
LH WING LET ASSY	35-11040-0001A01		
PLATE BAND	35-11040-0101	LN9073-LP-3140-O-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
PLATE BAND	35-11040-0201	LN9073-LP-3140-O-1X1220X3660MM	SHEET, AL.
PLATE BAND	35-11040-0301	LN9073-LP-3140-O-1X1220X3660MM	SHEET, AL.
FWD. UPR. L-PROFILE	35-11040-0401	LN9496-020-L-3140-T3511X3660MM	L-PROFIL
FRONT LWR. L-PROFILE	35-11040-0501	LN9496-080-L-3140-T3511X3660MM	L-PROFILE, AL.
CENTER UPR. L-PROFILE	35-11040-0601	LN9496-020-L-3140-T3511X3660MM	L-PROFIL
CENTER LWR. L-PROFILE	35-11040-0701	LN9496-020-L-3140-T3511X3660MM	L-PROFIL
REAR UPR. L-PROFILE	35-11040-0801	LN9496-020-L-3140-T3511X3660MM	L-PROFIL
REAR LWR. L-PROFILE	35-11040-0901	LN9496-020-L-3140-T3511X3660MM	L-PROFIL

PART NAME		PART NUMBER	I_PART	N_PART
	SHIM	35-11040-1001	LN9073-LP-3140-O-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	SHIM	35-11040-1101	LN29557-L-3051-H14A1.2-50X600X1200MM	SHIM LAMINATED
	SHIM	35-11040-1201	LN29557-L-3051-H14A1.2-50X600X1200MM	SHIM LAMINATED
	SHIM	35-11040-1301	LN9073-L-3140-T3-6X1220X3660MM	SHEET, ALUMINIUM
	FRONT RIB	35-11042-0101	LN9073-LP-3140-O-1.2X1220X3660MM	SHEET, AL.
	CENTER RIB	35-11042-0201	LN9073-LP-3140-O-1.6X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	REAR RIB	35-11042-0301	LN9073-LP-3140-O-1.2X1220X3660MM	SHEET, AL.
	RIB T.E.	35-11042-0401	LN9073-LP-3140-O-1.2X1220X3660MM	SHEET, AL.
	ANGLE	35-11042-0501	LN9073-LP-3140-T3-1.2X1220X3660MM	SHEET,AL
	TIP	35-11043-0001		
	INNER TIP	35-11043-0101	LN9073-L-3420-O-1.6X1220X3660MM	SHEET,AL
	OUTER TIP	35-11043-0201	LN9073-L-3420-O-1.6X1220X3660MM	SHEET,AL
	TRAILING EDGE	35-11043-0301	LN9073-L-3140-T351-16X1220X3660MM	PLATE, AL
	POSITION LIGHT COVER	35-11044-0001		
	GLASS COVER	35-11044-0101	CAN36064-10-3	FLEXIGLASS
	FRONT SKIN ASSY	35-11050-0001		
	FWD DIVENTER	35-11050-0101	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	FWD DIVENTER	35-11050-0201	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	FWD DIVENTER	35-11050-0301	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	FWD DIVENTER	35-11050-0401	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	FWD DIVENTER SPLICE	35-11050-0501	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET

PART NAME		PART NUMBER	I_PART	N_PART
	FWD DIVENTER SPLICE	35-11050-0601	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	MIDDLE DIVENTER	35-11050-0701	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	MIDDLE DIVENTER	35-11050-0801	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	REAR SKIN ASSY	35-11051-0001A01		
	AFT INNER DIVERTER	35-11051-0101	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	AFT OUTER DIVERTER	35-11051-0201	LN9073-LP-3140-T3-0.8X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET
	FRONT SPAR FITTING ASSY	35-11059-0001A01		
	FRONT SPAR FITTING	35-11059-0101	LN9073-L-3767-T7451-140X1220X3660MM	PLATE ,ALUMINIUM
	SPECIAL BUSHING	35-11059-0201	LN668-F-0381-SH1025-DIA20X3660MM	ROUND BAR
	REAR SPAR FITTING ASSY	35-11060-0001A01		
	REAR SPAR FITTING	35-11060-0101	LN9073-L-3767-T7451-120X1220X3660MM	ALUMINUM PLATE
	SUPPORT	35-62075-0401	LN9073-LP-3140-O-1.2X1220X3660MM	SHEET, AL.
	SUPPORT	35-62075-0501	LN9073-LP-3140-O-1.2X1220X3660MM	SHEET, AL.
	SUPPORT	35-62075-0601	LN9073-LP-3140-O-1X1220X3660MM	SHEET, AL.
	SUPPORT	35-62075-0701	LN9073-LP-3140-T3-1X1220X3660MM	ALUMINUM SHEET

2. Pra-pemotongan

Bahan baku yang telah diinspeksi selanjutnya dipotong sesuai dengan kebutuhan bagian produksi agar material yang digunakan tidak berlebihan, sehingga dapat menghemat material.

3. Aerostructure

Selanjutnya adalah memproduksi komponen winglet, beberapa proses yang dilakukan antara lain:

a. Machining Shop

Tahap ini dilakukan untuk pembuatan komponen *winglet* menggunakan mesin CNC, proses ini dilakukan untuk bahan baku logam blok, komponen tersebut antara lain: trailing edge 35-11043-0301, center rib 35-11042-0201, fitting front spar 35-11059-0101, fitting rear spar 35-11060-0101, special bushing 35-11059-0201.

b. *Sheet metal forming*

Tahap ini dilakukan untuk pembuatan komponen winglet dengan bahan baku lembaran logam atau pipa menggunakan proses *rubber press*, *folding*, *bonding stretch forming*. Komponen yang diproduksi dengan proses ini adalah angle 35-11067-0001, rib lading edge 35-11056-0001, rib sit a 35-11053-0001, rib sit b 35-11054-0001, angle 35-11069-0001, angle 35-11042-0501, front rib 35-11042-0101, rear rib 35-11042-0301, rib trailing edge 35-11042-0401.

c. *Bonding Composite*

Pembuatan komponen pesawat dengan bahan baku material seperti *pregregated*, *honeycomb core*, *adhesive*, *epoxy resin* menggunakan mesin *autoclave*. Komponen yang diproduksi dengan menggunakan proses ini adalah glass cover 35-11044-0101, inner frame 35-11065-0001, outer frame 35-11066-0001, inner tip 35-11043-0201, outer tip 35-11043-0101, front skin 35-11052-0001, front spar 35-11055-0001, rear skin 35-11057-0001, rear spar 35-11058-0001, fwd diverter 35-11050-0101, fwd diverter 35-11050-0201, fwd diverter 35-11050-0301, fwd diverter 35-11050-0401, fwd diverter splice 35-11050-0501, fwd diverter splice 35-11050-0601, middle diverter 35-11050-0701, middle diverter 35-11050-0801, aft inner diverter 35-11051-0101, aft outer diverter 35-11051-0201.

4. *Heat treatment*

Perlakuan ini bertujuan untuk memudahkan proses produksi. Proses yang dilakukan antara lain pemanasan dengan tujuan untuk pengerasan, pendinginan dengan tujuan untuk pelunakan dan kombinasi untuk penormalan kembali.

5. *Surface treatment*

Proses ini merupakan pelapisan komponen secara kimiawi sehingga komponen tahan korosi. Selain itu terdapat pelapisan dengan cara *chemical milling* yaitu dengan cara mencelupkan komponen kedalam cairan kimia. Proses ini dilakukan pada komponen yang dibuat dari *sheet metal forming* dan *machining*.

6. *Pengecatan*

Selain untuk memperindah penampilan, pengecatan ini dilakukan untuk membuat komponen jadi lebih tahan korosi.

7. Inspeksi

Sebelum komponen dirakit, diadakan pengujian final oleh bagian *quality assurance* sesuai dengan spesifikasi yang diberikan.

8. Perakitan

Tahap selanjutnya adalah perakitan dari seluruh komponen penyusun *winglet* dengan menggunakan perekat dan fastener hingga siap untuk dirakit pada sayap utama pesawat.

Dalam melakukan proses produksi serta merakit Winglet Pesawat ABC, PT. X menggunakan beberapa mesin dan *tool jig*, antara lain:

1. Perakitan Winglet

Jig MTPQ-01-35-11040-0001

Tool TLPL-01-35-11051-0001

Tool TLFV-01-35-11040-0001

Tool TLAP-02-35-11044-0001

2. Perakitan Rib End

Jig MTPQ-01-35-11042-0001

3. Perakitan TIP

Tool Jig SDAG01 -35-11043-0001

Jig Welding SDAG01 -35-11043-0001

4. Perakitan Position Light Cover

Tool PEAU-01-35-11044-0001

Tool TLFV-01-35-11044-0001

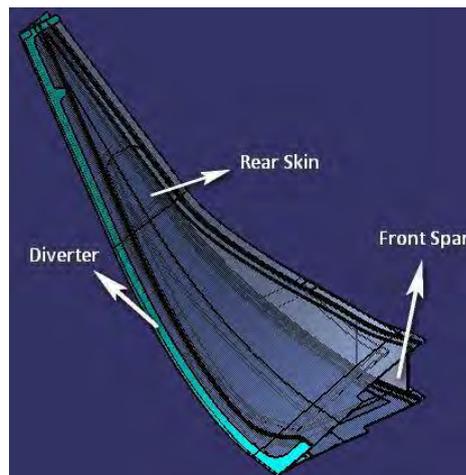
4.1.4 Deskripsi Proses Perakitan

Proses perakitan yang dilakukan pada Winglet Pesawat ABC dilakukan dengan menggunakan *jig* yang diproduksi sendiri oleh PT. X. *Jig* ini berfungsi untuk membantu menempatkan komponen-komponen yang akan dirakit menjadi bentuk utuh *winglet*, sehingga didapat bentuk winglet yang memenuhi standar. Proses perakitan Winglet Pesawat ABC secara detail terdapat pada Lampiran *assembly chart*. Berikut ini urutan perakitan secara garis besar:

1. Perakitan *rear skin*.

Perakitan *rear skin* dengan *rear spar*, *angle*, *aft inner & outer diverter*, dengan perekat (*adhesive*) dan rivet NAS1097AD3 sebanyak 46 buah.

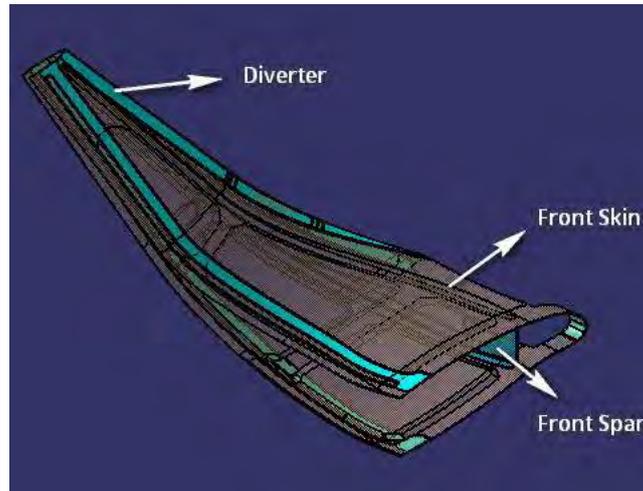
Gambar 4.3 *Rear Skin Assembly Winglet*



2. Perakitan *front skin*.

Perakitan *front skin* dengan *front spar*, *rib sit A*, *rib sit B*, *rib L/E*, dan *angle* dengan menggunakan perekat (*adhesive*).

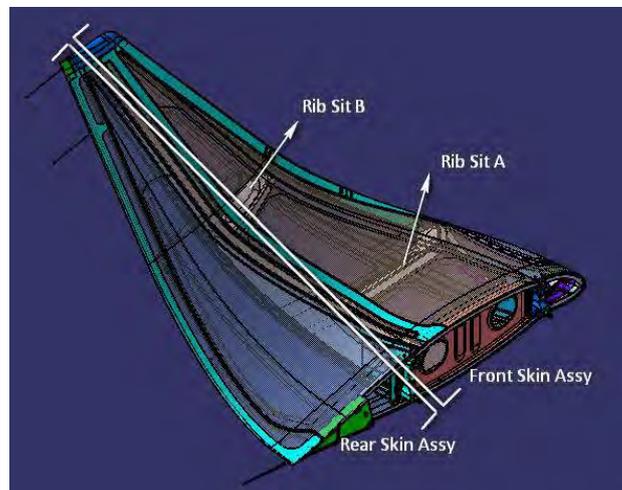
Gambar 4.4 *Front Skin Assembly Winglet*



3. Perakitan *winglet*.

Perakitan *front skin assy* dan *rear skin assy* menggunakan *adhesive* dan *filler* yang diproses dengan *welding*.

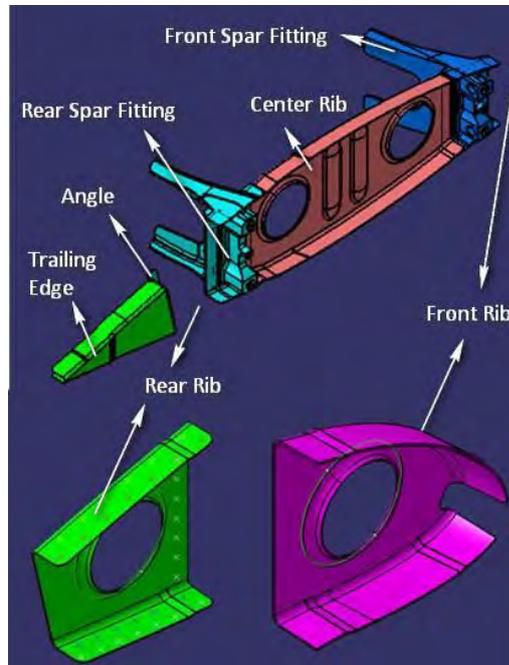
Gambar 4.5 *Winglet Assy*



4. Perakitan *rib end*.

Perakitan komponen *front rib*, *center rib*, *rear rib*, *trailing edge rib* dan *angle* serta *front* dan *rear fitting spar*, dengan menggunakan rivet MS20470AD4 dan MS20470AD5 masing-masing sebanyak 15 dan 24 buah, serta menggunakan *sealant*.

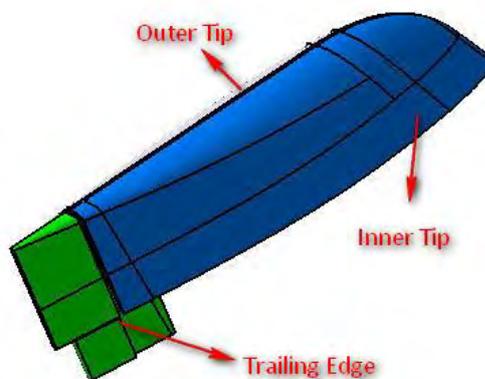
Gambar 4.6 *Rib End Assembly*



5. Perakitan *tip*.

Perakitan komponen *outer tip* dengan *inner tip* dan *trailing edge*, menggunakan rivet, flush csk head NAS1097AD5 sebanyak 2 buah, dan *sealant* dengan proses *welding*.

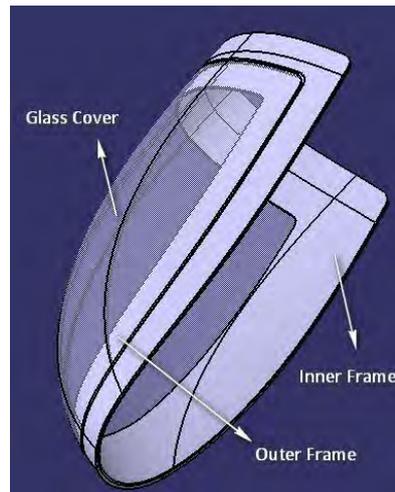
Gambar 4.7 *Tip Winglet*



6. Perakitan *position light cover*.

Perakitan komponen *glass cover* dengan *inner* dan *outer frame* dengan menggunakan *adhesive*.

Gambar 4.8 *Position Light Cover Winglet*



4.1.5 Biaya Perakitan

Biaya perakitan terdiri atas biaya tenaga kerja dan biaya untuk alat yang digunakan selama proses perakitan. Berdasarkan informasi yang didapat dari PT. X, perakitan membutuhkan biaya sebesar Rp. 922.350 dan untuk *tools* dan *jig* perakitan sebesar Rp 3.445.310 untuk perakitan 1 unit *winglet*.

4.2 Pengolahan Data

Berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan, maka selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi desain awal berdasarkan komponen penyusun serta estimasi biaya. Berikut adalah pengolahan data pada penelitian Tugas Akhir ini:

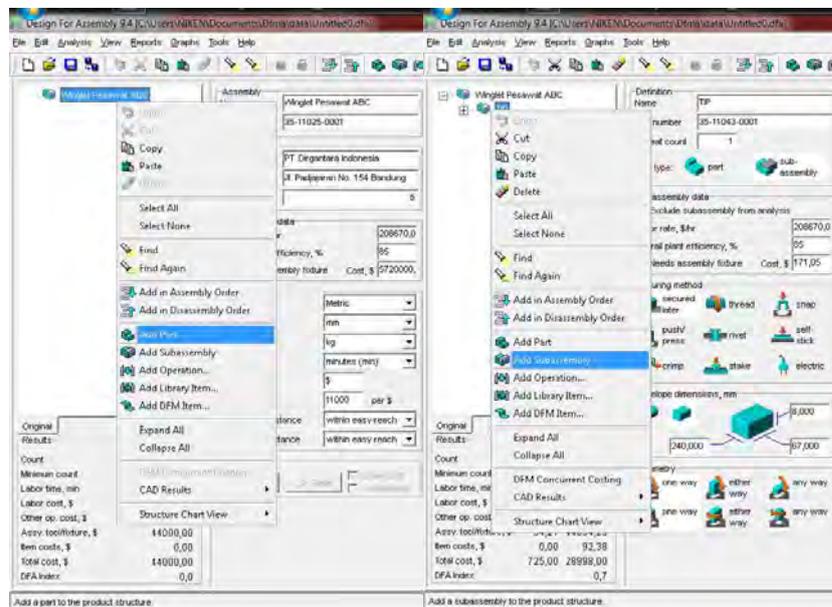
4.2.1 Input Data Pada Software

Pengolahan data diawali dengan memasukkan data dari desain awal dan kedua desain perbaikan alternatif pada *software*. Berikut ini adalah langkah-

langkah dalam memasukkan data dengan menggunakan Tip sebagai contoh komponen:

1. *Add Part* dan *Add Subassembly*

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat *form part* untuk Tip dan *form subassembly* untuk komponen penyusun Tip seperti pada Gambar 4.9 dibawah. Tip terdiri dari tiga komponen penyusun, antara lain Outer Tip, Inner Tip, dan Trailing Edge, sehingga dilakukan penambahan *part* pada *subassembly* Tip sebanyak tiga kali.



Gambar 4.9 *Add Part* dan *Add Subassembly*

2. Masukkan seluruh data komponen penyusun TIP.

Data yang diinputkan antara lain *definition*, *securing method*, *minimum part criteria*, *envelope dimensions*, *alpha and beta symmetry*, *handling and insertion difficulties*, *labor time*, *manufacturing data* dan gambar komponen seperti pada Gambar 4.10 dibawah.

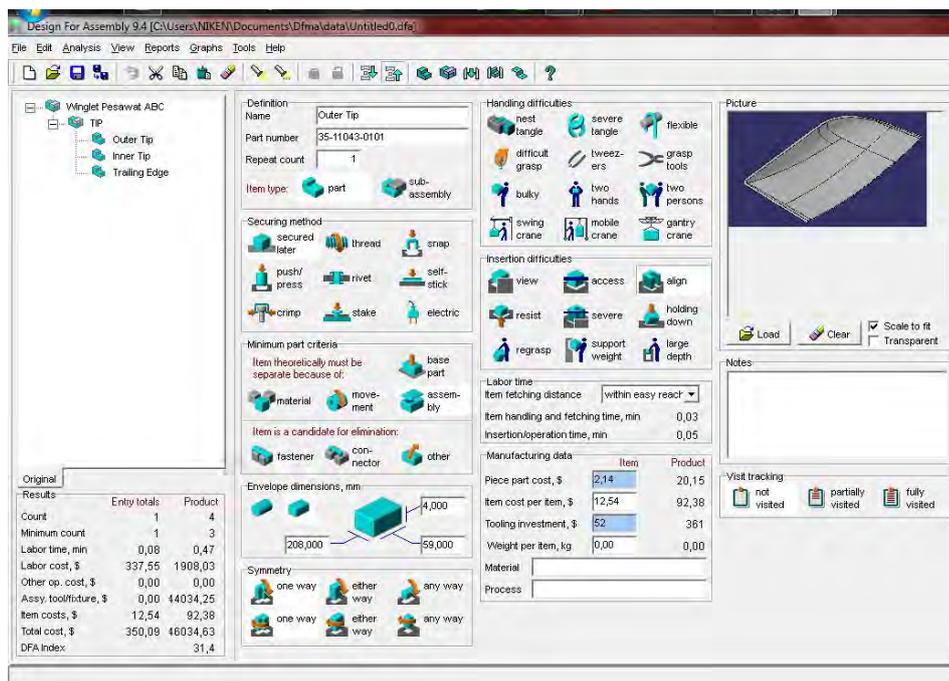
- *Definition* berisikan data mengenai nama, *part number*, jumlah yang dibutuhkan, serta tipe komponen tersebut, apakah berupa *subassembly* atau komponen.
- *Securing Method* berisikan data mengenai bagaimana komponen tersebut akan ditangani, untuk Outer Tip dipilih *secured later* karena akan ditangani setelah keseluruhan komponen digabungkan.
- *Minimum Part Criteria* merupakan opsi untuk komponen apakah komponen termasuk dalam kandidat yang dapat dieliminasi atau tidak dengan menggunakan tiga pertanyaan dasar dalam DFA, yaitu:
 - 1) Apakah komponen mempunyai pergerakan relatif terhadap part-part lain yang telah dirakit sebelumnya?
 - 2) Apakah material dari komponen tersebut harus berbeda dari material komponen lain?
 - 3) Apakah komponen perlu dipisahkan dalam perakitan?

Jika jawaban dari salah satu pertanyaan tersebut “ya” maka komponen tersebut tidak dapat dieliminasi. Outer Tip merupakan komponen yang tidak dapat dieliminasi karena komponen ini mempunyai hubungan dengan part lain yang telah dirakit sebelumnya. Kandidat komponen yang dapat dieliminasi adalah komponen yang tergolong *fastener*, *connector* atau lainnya.

- *Alpha Symmetri* adalah arah rotasi perakitan komponen dengan arah 90° dari poros penyisipannya. Sedangkan *Beta Symmetri* adalah arah rotasi perakitan sejajar dengan porosnya. Untuk Outer Tip, memiliki satu arah rotasi baik untuk *alpha* ataupun *beta symmetry*.
- *Handling Difficulties* merupakan kesulitan dalam memegang komponen pada saat perakitan. Untuk Outer Tip tidak mengalami kesulitan dalam

handling. Sedangkan *Insertion Difficulties* adalah kesulitan dalam penyisipan komponen saat perakitan. Kesulitan penyisipan dalam merakit Outer Tip ini adalah *alignment* dengan komponen lainnya. Sehingga dibutuhkan ketelitian yang tinggi saat merakit.

- *Manufacturing Data* adalah data mengenai *piece part cost*, *item cost per item*, dan *tooling investment*.



Gambar 4.10 Tampilan Input Data Pada DFA Software

Data komponen penyusun Tip lainnya juga dimasukkan seperti yang dilakukan pada Outer Tip.

3. Add Operation

Setelah keseluruhan data komponen penyusun Tip dimasukkan, maka selanjutnya adalah dengan menambahkan operasi pada ketiga komponen tersebut, yaitu operasi *riveting*, *mark label* dan inspeksi seperti pada Gambar 4.11 dibawah ini.

4.2.2 Identifikasi Komponen

Untuk mengetahui komponen mana yang dapat dieliminasi atau digabungkan dengan komponen lainnya maka perlu dilakukan identifikasi komponen. Penyusun komponen diidentifikasi berdasarkan tiga kriteria teori DFA sebagai *minimum part*, jika tidak maka komponen tersebut dapat dieliminasi atau digabung dengan komponen lain.

Data-data komponen penyusun seperti identitas, dimensi komponen, *handling difficulties*, *insertion difficulties*, serta biaya dimasukkan pada *software* DFA, sehingga didapatkan data pada *executive summary* DFA mengenai *minimum part count* secara teori. Pada Winglet Pesawat ABC, didapatkan jumlah *minimum part count* secara teori yaitu sebanyak 45 komponen. Tabel 4.5 dibawah ini adalah detail komponen yang tidak memenuhi kriteria konsep DFA:

Tabel 4.5 Komponen Yang Dapat Digabung atau Dieliminasi

PART NAME	PART NUMBER	REPEAT COUNT	REMARK
RIVET, PROTRUDING HEAD	CAN43017	2	Fasteners
PIN	CAN43110PB5-4	20	Fasteners
PIN	CAN43110PB5-5	36	Fasteners
HI-LOK	CAN43111PB5-4	6	Fasteners
HI-LOK	CAN43111PB5-5	32	Fasteners
HI-LOK	CAN43111PB5-7	2	Fasteners
COLLAR	CAN43114-5	96	Fasteners
IDENTIFICATION PLATE	CAN60046A4	1	Fasteners
RIVET, SOLID, COUNTERSHUNK 100 DEG	MS20426DA3	22	Fasteners
RIVET	MS20426DA4	20	Fasteners
RIVET, SOLID, COUNTERSHUNK 100 DEG	MS20426DA5	171	Fasteners
RIVET, PROTRUDING HEAD	MS20470DA3	12	Fasteners
RIVET	MS20470DA4	21	Fasteners
RIVET	MS20470DA5	24	Fasteners
NUT	MS21059-08	10	Fasteners
NUT, FLOATING	MS21059L08	23	Fasteners
NUT	MS21059L3	3	Fasteners
NUT, SELF-LOCKING	MS21061-08	1	Fasteners
NUT, SELF-LOCKING	MS21061L08	4	Fasteners
CLAMP	MS21919WDG2	4	Fasteners
RIVET	NAS1097AD3	106	Fasteners

PART NAME	PART NUMBER	REPEAT COUNT	REMARK
SCREW, FLUSH CSK HEAD	NAS1102-08-10	1	Fasteners
SCREW	NAS1102-08-28	3	Fasteners
SCREW, FLUSH CSK HEAD	NAS1102-08-8	30	Fasteners
SCREW, FLUSH CSK HEAD	NAS1102-3-10	2	Fasteners
SCREW, FLUSH CSK HEAD	NAS1102-3-8	6	Fasteners
WASHER, PLAIN	NAS1149DN832J	8	Fasteners
NUT	NAS1291C3M	8	Fasteners
RIVET, FLUSH CSK HEAD	NAS17398-3	18	Fasteners
RIVET, FLUSH CSK HEAD	NAS17398-4	10	Fasteners
SCREW, HEXAGON HEAD	NAS1801-08-8	4	Fasteners
SPACER	NAS43-3-10	1	Fasteners
SPACER	NAS43-3-80	3	Fasteners
SHIM	35-11040-1301	2	Unnecessary Items
SHIM	35-11040-1001	1	Unnecessary Items
SHIM	35-11040-1101	1	Unnecessary Items
SHIM	35-11040-1201	1	Unnecessary Items

4.2.3 Waktu, Biaya Perakitan dan *Assembly Efficiency Design Awal*

Berikut ini akan dijelaskan mengenai data waktu operasi perakitan tiap komponen yang terdiri dari *handling time*, *insertion time* dan *library operation time* seperti *apply adhesive area*, *mark label* dan inspeksi. Waktu operasi perakitan didapatkan dari pengolahan data menggunakan *software* DFA. Tabel 4.6 dibawah ini menampilkan hasil pengolahan data waktu dan biaya tenaga kerja selama proses perakitan berlangsung:

Tabel 4.6 Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Awal

Per product data						
	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, min	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, g
Parts	62	55	7.78	2.89	8621.83	0.00
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	8	8	1.89	0.70	-67535024.00	43606.65
Named only	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Excluded	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Operations:						
Standard	546	21	88.04	25.31	-	-
Library	20	3	147.73	54.95	-	0.00
Column Totals	636	87	225.44	83.85*	-67526400.00**	43606.65

Tabel 4.6 Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Awal (lanjutan)

Cost totals based on a product life volume of 5

	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	83.85	0.00	6995.00	7428.07	313.21	1277.81	9018.90
Production life cost	419	0	34,975	37,140	1,566	6,388	45,094

*Note: Manufacturing piece part costs not given for some items. Total cost may be incomplete.

**Note: Weight not given for some items. Total weight may be incomplete.

Assembly efficiency dari desain awal adalah:

$$E_{ma} = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{t_{ma}}$$

$$= \frac{51 \times 3 \times 100}{60 \times 225,44} = 1,1$$

Keterangan:

E_{ma} = Assembly efficiency

N_{min} = Jumlah part minimum secara teori

t_{ma} = Jumlah waktu perakitan (menit)

t_a = Waktu perakitan ideal untuk satu komponen (3 detik)

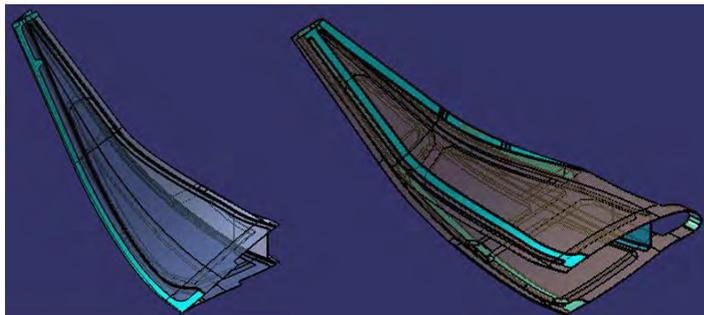
4.2.4 Rancangan Perbaikan

Dalam melakukan perbaikan desain, tidak dapat dengan sembarangan melakukan eliminasi komponen *winglet* karena perlu dilakukan uji kelayakan terlebih dahulu, oleh karena itu, rancangan yang akan dianalisa adalah rancangan yang telah lulus uji kelayakan yang dibuat oleh PT. X. Terdapat dua desain yang dibuat, kedua desain tersebut berfokus pada kemudahan dalam melakukan perakitan khususnya dalam merakit *front spar* dengan *front skin*. *Front spar* adalah salah satu komponen ujung sayap pesawat yang berfungsi sebagai kerangka pembentuk dan penguat *winglet*. Oleh karena itu, kesulitan dalam pemasangan komponen ini harus dihindari sehingga perlu dilakukan perbaikan desain. Berikut ini adalah penjelasan mengenai masing-masing desain:

a. Desain Perbaikan Alternatif 1

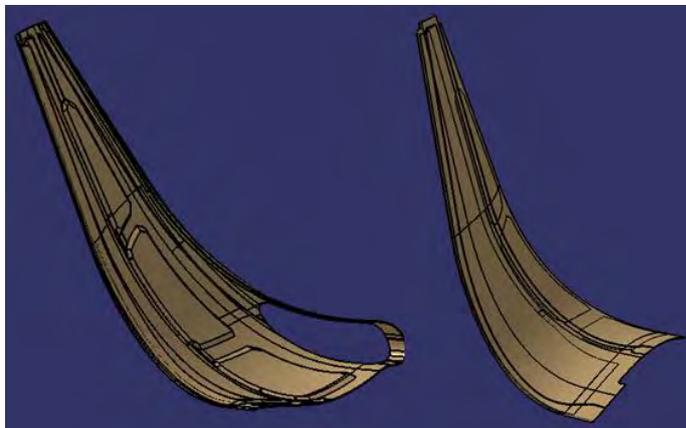
Pada desain pertama ini akan dilakukan perbaikan dengan mengubah cara membelah kedua *skin winglet*, yang awalnya skin dibagi menjadi *front* dan *rear* (Gambar 4.13), diubah menjadi *lower* dan *upper skin* (Gambar 4.14). Sehingga akan mengurangi kendala dalam merakit *front spar*.

Before



Gambar 4.13 Rear Skin dan Front Skin Winglet Desain Awal

After

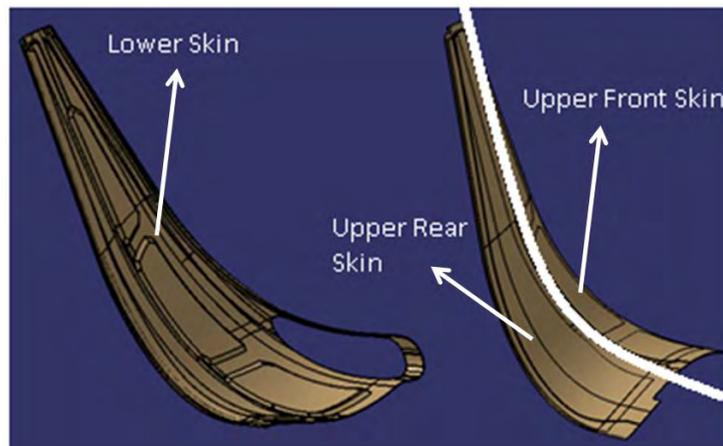


Gambar 4.14 Lower Skin dan Upper Skin Desain Perbaikan Alternatif 1

Tidak terlalu banyak perubahan pada komponen penyusun *winglet*, hanya mempengaruhi cara melakukan perakitan komponen, oleh karena itu proses manufakturnya juga tidak terlalu banyak mengalami perubahan. Perubahan hanya terjadi pada ukuran *skin winglet* yang diproduksi.

b. Desain Perbaikan Alternatif 2

Pada perbaikan desain kedua dilakukan perubahan dengan membelah *winglet* yang awalnya dibelah jadi *rear* dan *front skin*, menjadi *lower skin* dan *upper rear skin* dan *upper front skin* (Gambar 4.15).



Gambar 4.15 *Lower Skin* dan *Upper Front* dan *Rear Skin*
Desain Perbaikan Alternatif 2

Pada desain perbaikan alternatif 2 juga tidak terlalu banyak terjadi perubahan sama seperti pada desain perbaikan alternatif 1, hal tersebut dikarenakan komponen-komponen pada *winglet* sifatnya penting dan tidak bisa digantikan dengan komponen lain tanpa melewati uji kelayakan. Manfaat yang didapat adalah mempermudah perakitan *front spar*, yang awalnya komponen tersebut harus dipotong terlebih dahulu saat akan dipasang, maka dengan desain perbaikan ini, *front spar* tidak perlu dipotong terlebih dahulu.

4.2.5 Waktu, Biaya Perakitan dan *Assembly Efficiency* Desain Perbaikan Alternatif

Data-data kedua desain perbaikan alternatif tersebut diolah pada *software* DFMA. Untuk melihat desain mana yg lebih baik berdasarkan konsep DFA, maka data diolah dan dibandingkan berdasarkan beberapa aspek. Hasil pengolahan data desain perbaikan alternatif 1 tercantum pada Tabel 4.7, sedangkan hasil pengolahan data desain perbaikan alternatif 2 tercantum pada Tabel 4.8. Berikut

adalah hasil pengolahan data waktu dan biaya selama proses perakitan untuk perbaikan desain.

Tabel 4.7 Waktu dan Biaya Produk Winglet Pesawat ABC hasil Perbaikan Desain Alternatif 1

Per product data

	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, min	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, g
Parts	62	55	7.52	2.80	8621.83	0.00
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	6	6	1.36	0.50	67535024.00	0.00
Named only	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Excluded	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Operations:						
Standard	546	21	88.04	25.31	-	-
Library	15	3	104.41	38.84	-	0.00
Column Totals	629	85	181.33	67.45*	67526400.00	** 0.00

Cost totals based on a product life volume of 5

	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	67.45	0.00	6995.00	7005.91	214.41	1683.37	8903.69
Production life cost	337	0	34,975	35,029	1,072	8,416	44,518

*Note: Manufacturing piece part costs not given for some items. Total cost may be incomplete.

**Note: Weight not given for some items. Total weight may be incomplete.

Assembly efficiency dari desain perbaikan alternatif 1 adalah:

$$E_{ma} = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{t_{ma}}$$

$$= \frac{50 \times 3 \times 100}{60 \times 181,33} = 1,3$$

Tabel 4.8 Waktu dan Biaya Produk Winglet Pesawat ABC hasil Perbaikan Desain Alternatif 2

Per product data

	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, min	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, g
Parts	63	55	7,59	2,82	8698,68	0,00
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	6	6	1,36	0,50	67535024,00	0,00
Named only	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Excluded	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Operations:						
Standard	546	21	58,42	21,73	-	-
Library	15	3	104,41	38,84	-	0,00
Column Totals	630	85	171,78	63,90*	67526320,00	** 0,00

Cost totals based on a product life volume of 5

	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	63,90	0,00	7021,21	7020,60	214,41	1741,97	8976,99
Production life cost	319	0	35,106	35,103	1,072	8,709	44,884

*Note: Manufacturing piece part costs not given for some items. Total cost may be incomplete.

**Note: Weight not given for some items. Total weight may be incomplete.

Assembly efficiency dari desain perbaikan alternatif 2 adalah:

$$E_{ma} = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{t_{ma}}$$

$$= \frac{51 \times 3 \times 100}{60 \times 171,78} = 1,5$$

4.2.6 Assembly Sequence

Assembly Sequence merupakan urutan langkah-langkah melakukan proses perakitan komponen sehingga menjadi sebuah produk. Metode ini dikenalkan oleh De Fazio dan Whitney (1987). Langkah awal dalam membuat assembly sequence adalah membuat *liasion diagram*, yaitu diagram yang menunjukkan hubungan antara dua komponen. Desain yang digunakan adalah hasil desain perbaikan alternatif 2 karena memiliki DFA index yang lebih baik dibandingkan dengan desain lainnya. Komponen penyusun dalam *liasion diagram* tercantum pada Tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4.9 Komponen Utama Penyusun *Winglet* untuk *Assembly Sequence*

HURUF	NAMA KOMPONEN	HURUF	NAMA KOMPONEN
A	WINGLET ASSY	Y	ANGLE FRONT SKIN
B	POSITION LIGHT COVER	Z	UPPER REAR SKIN
C	GLASS COVER	AA	ANGLE
D	INNER FRAME	AB	LOWER SKIN ASSY
E	OUTER FRAME	AC	AFT INNER DIVERTER
F	TIP	AD	AFT OUTER DIVERTER
G	OUTER TIP	AE	REAR SKIN
H	INNER TIP	AF	REAR SPAR
I	TRAILING EDGE	AG	ANGLE REAR SKIN
J	WINGLET	AH	RIB END
K	UPPER SKIN ASSY	AI	FRONT RIB
L	FWD DIVENTER	AJ	CENTER RIB
M	FWD DIVENTER	AK	REAR RIB
N	FWD DIVENTER	AL	RIB T.E
O	FWD DIVENTER	AM	ANGLE RIB END
P	FWD DIVENTER SPLICE	AN	FRONT SPAR FITTING ASSY
Q	FWD DIVENTER SPLICE	AO	FRONT SPAR FITTING
R	MIDDLE DIVENTER	AP	SPECIAL BUSHING
S	MIDDLE DIVENTER	AQ	BUSHING, FLANGE
T	UPPER FRONT SKIN	AR	REAR SPAR FITTING ASSY
U	RIB A	AS	SPECIAL BUSHING
V	RIB B	AT	REAR SPAR FITTING
W	FRONT SPAR	AU	BUSHING, FLANGE
X	RIB LE		

Dalam penggambaran *liasion diagram*, huruf di dalam lingkaran merupakan penandaan nama komponen, sedangkan angka di luar lingkaran menunjukkan nomor *liasion*. *Liasion diagram winglet* dapat dilihat pada Gambar 4.16 dibawah ini:

Liasion	Precedence	Liasion	Precedence
H	G	AF	AE
I	H	AG	AF
J	K, AB, AA	AH	AL
K	Z, W, T, U, V, X, Y, L, M, N, O, P, R, S	AI	J
L	Y	AJ	AN
M	L	AK	AR
N	M	AL	AM
O	N	AM	AK
P	O	AN	AO, AP, AQ
Q	P	AO	AI
R	Q	AP	AO
S	R	AQ	AP
T	W	AR	AS, AT, AU
U	T	AS	AJ
V	U	AT	AS
W	Z	AU	AT
X	V		

Hasil dari *assembly sequence* ditunjukkan pada Tabel 4.17 dibawah ini:

Gambar 4.17 Urutan Perakitan *Winglet* Perbaikan Desain Alternatif 1 berdasarkan *Assembly Sequence*

URUTAN	OPERASI
1	Memasang REAR SKIN
2	Memasang REAR SPAR
3	Memasang ANGLE REAR SKIN
4	Memasang AFT INNER DIVERTER
5	Memasang AFT OUTER DIVERTER
6	Merakit LOWER SKIN ASSY
7	Memasang UPPER REAR SKIN
8	Memasang FRONT SPAR
9	Memasang UPPER FRONT SKIN
10	Memasang RIB A
11	Memasang RIB B
12	Memasang RIB LE
13	Memasang ANGLE FRONT SKIN
14	Memasang FWD DIVENTER
15	Memasang FWD DIVENTER
16	Memasang FWD DIVENTER

URUTAN	OPERASI
17	Memasang FWD DIVENTER
18	Memasang FWD DIVENTER SPLICE
19	Memasang FWD DIVENTER SPLICE
20	Memasang MIDDLE DIVENTER
21	Memasang MIDDLE DIVENTER
22	Merakit UPPER SKIN ASSY
23	Memasang ANGLE
24	Merakit WINGLET
25	Memasang FRONT RIB
26	Memasang FRONT SPAR FITTING
27	Memasang SPECIAL BUSHING
28	Memasang BUSHING, FLANGE
29	Merakit FRONT SPAR FITTING ASSY
30	Memasang CENTER RIB
31	Memasang SPECIAL BUSHING
32	Memasang REAR SPAR FITTING
33	Memasang BUSHING, FLANGE
34	Merakit REAR SPAR FITTING ASSY
35	Memasang REAR RIB
36	Memasang ANGLE RIB END
37	Memasang RIB T.E
38	Merakit RIB END
39	Memasang OUTER TIP
40	Memasang INNER TIP
41	Memasang TRAILING EDGE
42	Merakit TIP
43	Memasang GLASS COVER
44	Memasang INNER FRAME
45	Memasang OUTER FRAME
46	Merakit POSITION LIGHT COVER
47	Merakit WINGLET ASSY

BAB 5

ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

Pada Bab 5 ini akan dijelaskan mengenai analisa data yang telah didapatkan serta analisa dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

5.1 Analisa Desain Perbaikan Alternatif 1

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai analisa dari desain perbaikan alternatif 1 Winglet Pesawat ABC, meliputi analisa identifikasi komponen, analisa *suggestion for redesign*, dan analisa waktu, biaya serta *assembly efficiency*.

5.1.1 Analisa Identifikasi Komponen

Kesulitan dalam melakukan perakitan terjadi karena letak komponen *front spar* yang tertutup oleh *front skin*, ditambah lagi dengan bentuk yang tidak lurus (berkontur) sehingga perlu dilakukan pemotongan pada *front spar* sebelum dirakit. Dengan perbaikan pemotongan bentuk *skin winglet*, diharapkan mampu mengurangi kesulitan (*accessibility* dan *alignment*) yang muncul. Pada desain ini, pemotongan desain winglet diubah menjadi *lower skin* dan *upper skin winglet*. Dari hasil desain perbaikan yang telah dilakukan, didapat waktu serta biaya perakitan yang lebih rendah dan dengan *assembly efficiency* yang lebih tinggi.

Dengan menganalisa jumlah komponen berdasarkan konsep DFA, maka dapat diketahui berapakah jumlah komponen yang seharusnya ada untuk menyusun sebuah *winglet*. Dari desain perbaikan alternatif 1 dapat diketahui bahwa terdapat sebanyak 629 komponen, dimana 579 komponen diantaranya adalah komponen yang dapat dieliminasi atau digabung dengan berdasarkan konsep DFA. Sebagian besar komponen tersebut adalah *fastener*.

5.1.2 Analisa Suggestion for Redesign

Analisa *suggestion for redesign* digunakan untuk melihat komponen yang harus diperhatikan dalam membuat rancangan perbaikan desain sehingga

aspek seperti penggunaan *fastener* yang berlebih dapat dihindari. *Software DFA* ini dapat memberikan saran perbaikan, dimana akan ditampilkan jenis komponen apa saja yang harus diperhatikan dalam membuat rancangan desain perbaikan. Komponen-komponen winglet yang termasuk dalam *suggestion for redesign* antara lain:

1. *Fasteners*

Komponen ini berfungsi sebagai pengencang antar komponen lainnya, contohnya *screw*, *bolt*, *nut*, dan *washer*. Jumlah total komponen fastener ini sebanyak 4 komponen dengan waktu yang dapat direduksi 0,92 menit (0,51%). Untuk *fastener* seperti yang tercantum pada Tabel 4.1 termasuk pada *separate operations* karena bukan bagian dari komponen utama penyusun *winglet*.

2. *Unnecessary items*

Komponen ini adalah komponen yang tidak memenuhi *minimum part criteria*. Pada desain awal terdapat 5 komponen yang tidak memenuhi kriteria, seperti *shim* sebanyak 4 buah dan *angle* 1 buah. Dengan waktu yang dapat direduksi sebesar 0,47 menit (0,27%).

3. *Separate Operations*

Merupakan operasi penyambungan komponen, seperti pengelasan. Operasi dengan menggunakan *fastener* seperti *rivet* termasuk dalam *separate operations* ini. Jumlah total operasi pada perakitan winglet terdapat 38 proses, dengan waktu operasi selama 172,46 menit (95,11%).

4. *Handling difficulties*

Merupakan kesulitan dalam memegang komponen saat melakukan perakitan. Yang termasuk dalam kategori ini adalah:

- *Bulky or awkward*, yaitu komponen yang berat, membutuhkan dua tangan saat memegang karena ukuran terlalu besar. Dengan jumlah komponen sebanyak 13 dan waktu yang dapat direduksi sebesar 0,45 menit (0,25%).
- *Severe handling difficulties*, dengan jumlah 1 komponen dan waktu yang dapat direduksi sebesar 0,07 menit (0,04%).

- *Nest or tangle and/or difficult to grasp*, terdapat 14 komponen dengan reduksi waktu sebesar 0,24 menit (0,12%).

5. *Insertion difficulties*

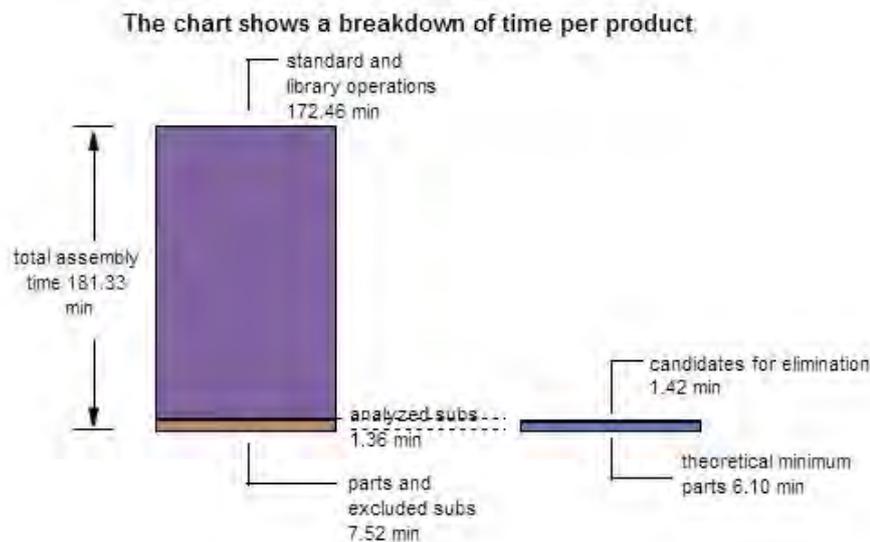
Merupakan kesulitan dalam memasukkan atau menyatukan komponen saat melakukan perakitan. Yang termasuk dalam kategori ini adalah:

- *Alignment*, yaitu kesulitan karena saat proses perakitan diperlukan orientasi yang tepat agar dapat memposisikan komponen dengan benar pada komponen utama. Terdapat 25 komponen yang mengalami kesulitan seperti ini. Waktu yang dapat direduksi sebesar 0,93 menit (0,02%).
- *Access & vision*, yaitu kesulitan karena adanya komponen lain yang menjadi penghalang dalam merakit sebuah komponen yang disebabkan karena letak komponen sulit dijangkau. Terdapat 41 komponen yang mengalami kesulitan jenis ini. Dengan waktu yang dapat direduksi sebesar 26,09 menit (0,24%).

Adapun saran perbaikan berdasarkan konsep DFA tersebut memang tidak dapat langsung diaplikasikan pada perancangan desain *winglet* karena untuk memproduksi desain yang dibuat harus melewati beberapa uji kelayakan seperti uji keamanan dan kekuatan untuk penerbangan.

5.1.3 Analisa Waktu, Biaya dan *Assembly Efficiency*

Dalam identifikasi proses perakitan, terdapat tiga aspek penyusun waktu perakitan, yaitu operasi perakitan untuk komponen, operasi perakitan untuk *subassemblies* dan *standard and library operation*.



Gambar 5.1 Perbandingan Waktu Perakitan Hasil Desain Perbaikan Alternatif 1

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa total waktu perakitan dilakukan selama 181,33 menit. *Standard and library operation* dilakukan selama 172,46 menit atau 95,09% dari keseluruhan waktu perakitan. Sedangkan perakitan untuk komponen seperti *insertion* membutuhkan waktu sebesar 1,42 menit atau 1,3%. Dapat diketahui bahwa sebagian besar waktu perakitan digunakan untuk melakukan *standard* dan *library operation*, seperti proses pengencangan dan pengelasan, dengan memperbaiki rancangan desain dengan menggunakan pendekatan DFA, diharapkan mampu mengurangi proses tersebut sehingga waktu perakitan juga akan menjadi lebih singkat dan tentunya biaya tenaga kerja juga akan menjadi lebih rendah. Untuk nilai *assembly efficiency* semakin meningkat yang awalnya bernilai 1,1 menjadi 1,3. Yang artinya, perbaikan yang diberikan mampu meningkatkan performansi perakitan *winglet* jika dibandingkan dengan desain awal. Untuk biaya tenaga kerja juga mengalami penurunan menjadi 67,46, dimana terjadi penghematan sebesar \$ 16,38.

5.2 Analisa Desain Perbaikan Alternatif 2

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai analisa dari desain perbaikan alternatif 1 Winglet Pesawat ABC, meliputi analisa identifikasi komponen, analisa *suggestion for redesign*, dan analisa waktu, biaya serta *assembly efficiency*.

5.2.1 Analisa Identifikasi Komponen

Pada perbaikan desain kedua, dilakukan perbaikan dengan tujuan yang sama, yaitu untuk memudahkan perakitan *front spar* pada *skin winglet*. Namun yang membedakan pada perancangan desain ulang ini yaitu pada cara pemotongan *upper skin winglet* menjadi *upper front* dan *upper rear skin winglet*. Dari hasil perbaikan desain yang telah dilakukan, didapat waktu serta biaya perakitan yang lebih rendah dan dengan *assembly efficiency* yang lebih tinggi baik dari desain awal dan hasil desain perbaikan alternatif 1.

Jumlah komponen pada alternatif 2 ini juga dianalisa berdasarkan konsep DFA. Dapat diketahui bahwa jumlah komponen yang seharusnya ada untuk menyusun sebuah *winglet* terdiri dari 51 komponen, dengan total keseluruhan komponen sebanyak 630 buah, dimana 579 komponen diantaranya adalah komponen yang dapat dieliminasi atau digabung.

5.2.2 Analisa *Suggestion for Redesign*

Analisa *suggestion for redesign* digunakan untuk melihat komponen yang harus diperhatikan dalam membuat rancangan perbaikan desain sehingga aspek seperti penggunaan *fastener* yang berlebih dapat dihindari. *Software* DFA ini dapat memberikan saran perbaikan, dimana akan ditampilkan jenis komponen apa saja yang harus diperhatikan dalam membuat rancangan desain perbaikan. Komponen-komponen winglet yang termasuk dalam *suggestion for redesign* antara lain:

1. *Fasteners*

Komponen ini berfungsi sebagai pengencang antar komponen lainnya, contohnya *screw*, *bolt*, *nut*, dan *washer*. Jumlah total komponen fastener ini sebanyak 4 komponen dengan waktu yang

dapat direduksi 0,92 menit (0,51%). Untuk *fastener* seperti yang tercantum pada Tabel 4.1 termasuk pada *separate operations* karena bukan bagian dari komponen utama penyusun *winglet*.

2. *Unnecessary items*

Komponen ini adalah komponen yang tidak memenuhi *minimum part criteria*. Pada desain awal terdapat 5 komponen yang tidak memenuhi kriteria, seperti *shim* sebanyak 4 buah dan *angle* 1 buah. Dengan waktu yang dapat direduksi sebesar 0,47 menit (0,27%).

3. *Separate Operations*

Merupakan operasi penyambungan komponen, seperti pengelasan. Operasi dengan menggunakan *fastener* seperti *rivet* termasuk dalam *separate operations* ini. Jumlah total operasi pada perakitan *winglet* terdapat 39 proses, dengan waktu operasi selama 172,46 menit (95,07%).

4. *Handling difficulties*

Merupakan kesulitan dalam memegang komponen saat melakukan perakitan. Yang termasuk dalam kategori ini adalah:

- *Bulky or awkward*, yaitu komponen yang berat, membutuhkan dua tangan saat memegang karena ukuran terlalu besar. Dengan jumlah komponen sebanyak 13 dan waktu yang dapat direduksi sebesar 0,45 menit (0,26%).
- *Severe handling difficulties*, dengan jumlah 1 komponen dan waktu yang dapat direduksi sebesar 0,07 menit (0,04%).
- *Nest or tangle and/or difficult to grasp*, terdapat 12 komponen dengan reduksi waktu sebesar 0,21 menit (0,11%).

5. *Insertion difficulties*

Merupakan kesulitan dalam memasukkan atau menyatukan komponen saat melakukan perakitan. Yang termasuk dalam kategori ini adalah:

- *Alignment*, yaitu kesulitan karena saat proses perakitan diperlukan orientasi yang tepat agar dapat memposisikan

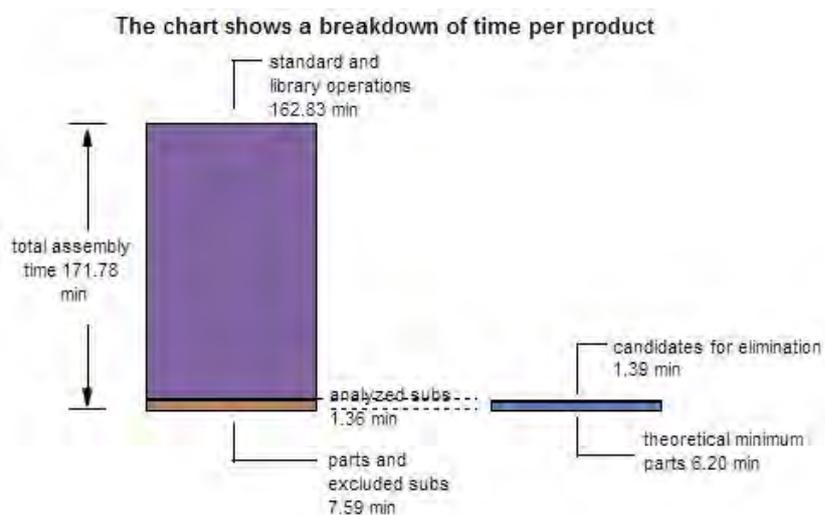
komponen dengan benar pada komponen utama. Terdapat 25 komponen yang mengalami kesulitan seperti ini. Waktu yang dapat direduksi sebesar 0,94 menit (0,01%).

- *Access & vision*, yaitu kesulitan karena adanya komponen lain yang menjadi penghalang dalam merakit sebuah komponen yang disebabkan karena letak komponen sulit dijangkau. Terdapat 41 komponen yang mengalami kesulitan jenis ini. Dengan waktu yang dapat direduksi sebesar 26,09 menit (0,24%).

Adapun saran perbaikan berdasarkan konsep DFA tersebut memang tidak dapat langsung diaplikasikan pada perancangan desain *winglet* karena untuk memproduksi desain yang dibuat harus melewati beberapa uji kelayakan seperti uji keamanan dan kekuatan untuk penerbangan.

5.2.3 Analisa Waktu, Biaya dan *Assembly Efficiency*

Tiga aspek waktu perakitan yang dianalisa antara lain operasi perakitan untuk komponen, operasi perakitan untuk *subassemblies* dan *standard and library operation*. Gambar 5.2 dibawah ini menampilkan grafik total waktu perakitan pada desain perbaikan alternatif 2.



Gambar 5.2 Perbandingan Waktu Perakitan Desain Perbaikan Alternatif 2

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa total waktu perakitan dilakukan selama 171,76 menit. *Standard and library operation* dilakukan selama 162,83 menit atau 94,81% dari keseluruhan waktu perakitan. Sedangkan perakitan untuk komponen seperti *insertion* membutuhkan waktu sebesar 1,39 menit atau 1,3%. Untuk nilai *assembly efficiency* semakin meningkat yang awalnya bernilai 1,1 menjadi 1,5. Yang artinya, perbaikan yang diberikan mampu meningkatkan performansi perakitan *winglet* jika dibandingkan dengan desain awal dan desain perbaikan alternatif 1. Sedangkan untuk biaya tenaga kerja juga mengalami penurunan menjadi 63,89, dimana terjadi penghematan sebesar \$ 19,95.

5.3 Analisa Perbandingan Desain Awal dan Hasil Desain Perbaikan Alternatif

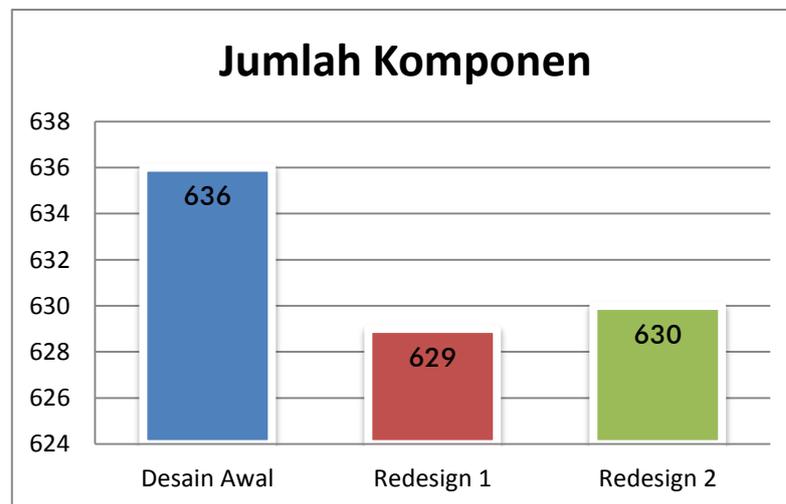
Untuk menganalisa kedua hasil desain perbaikan maka dilakukan perbandingan dari hasil tersebut. Parameter yang dibandingkan adalah jumlah komponen, waktu perakitan, biaya tenaga kerja, biaya serta *assembly efficiency*. Tabel 5.1 dibawah ini adalah hasil perbandingan masing-masing desain:

Tabel 5.1 Perbandingan Perakitan Desain Awal dan Desain Perbaikan Alternatif 1 dan 2

	Desain Awal	Desain Perbaikan Alternatif 1	Desain Perbaikan Alternatif 2
<i>Count</i>	636	629	630
<i>Minimum count</i>	51	50	51
<i>Labor time, min</i>	225,44	181,33	171,78
<i>Labor cost, \$</i>	83,85	67,45	63,90
<i>Assy. tool/fixture. \$</i>	313,21	214,41	214,41
<i>Item cost, \$</i>	8621,83	8621,83	8698,68
<i>Total cost, \$</i>	9018,90	8903,69	8976,99
<i>DFA Index</i>	1,1	1,3	1,5

Pada desain awal, terdapat 636 komponen penyusun, pada desain perbaikan alternatif 1 terdapat 629 komponen, dan pada desain perbaikan alternatif 2 terdapat 630 komponen. Dalam membuat desain suatu produk, sangat

ditekankan sekali bahwa semakin banyak jumlah komponen yang harus dirakit maka akan semakin besar pula biaya yang akan ditekankan. Untuk kasus desain sebuah komponen pesawat terbang, pengurangan satu komponen saja dapat mempengaruhi aspek keamanan, kegunaan dan ketahanan, oleh karena itu tidak bisa dengan sembarangan mengganti *fasteners* bentuk *rivet* menjadi *snafit*. Namun, perubahan pada kedua perbaikan desain tersebut sangat mempengaruhi perakitan yang dilakukan, karena desain tersebut menghilangkan *insertion difficulties* dalam perakitan sehingga memungkinkan operator untuk merakit dengan mudah. Gambar 5.3 dibawah ini merupakan grafik perbandingan jumlah komponen dari desain awal dan kedua hasil desain perbaikan alternatif.

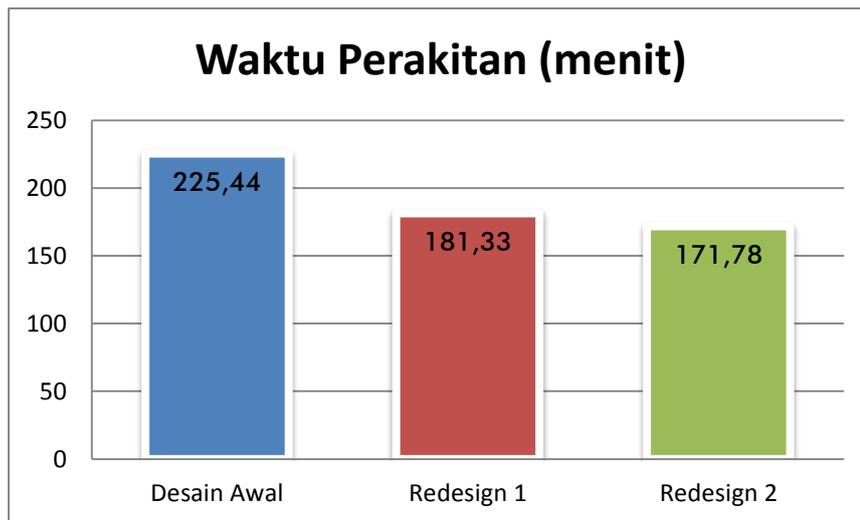


Gambar 5.3 Perbandingan Jumlah Komponen Penyusun *Winglet*

Ditinjau dari waktu perakitan, dapat diketahui bahwa untuk merakit *winglet* dengan menggunakan desain awal membutuhkan waktu selama 225,44 menit. Untuk desain perbaikan alternatif 1, membutuhkan waktu selama 181,33 menit, sedangkan untuk desain perbaikan alternatif 2, membutuhkan waktu selama 171,78 menit. Terjadi pengurangan waktu perakitan karena jumlah komponen yang lebih sedikit dan juga karena perakitan yang dilakukan oleh operator dengan hasil desain perbaikan tidak mengalami kesulitan. Pengurangan komponen terjadi pada penghilangan *sub-assembly winglet*, yaitu *rear skin assy* dan *front skin assy*,

serta beberapa proses didalamnya seperti *mark label*, *apply adhesive area* dan *inspection*.

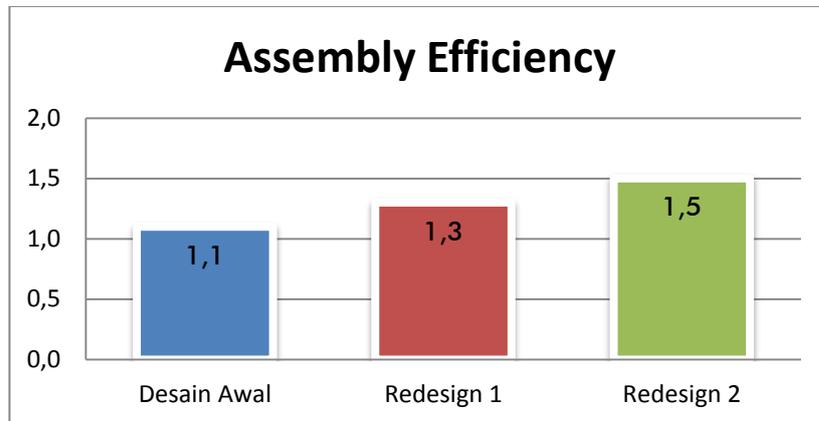
Parameter yang dibandingkan selanjutnya adalah waktu perakitan. Gambar 5.4 dibawah ini merupakan grafik perbandingan waktu perakitan dari desain awal dan kedua hasil desain perbaikan alternatif.



Gambar 5.4 Perbandingan Waktu Perakitan Komponen Penyusun *Winglet*

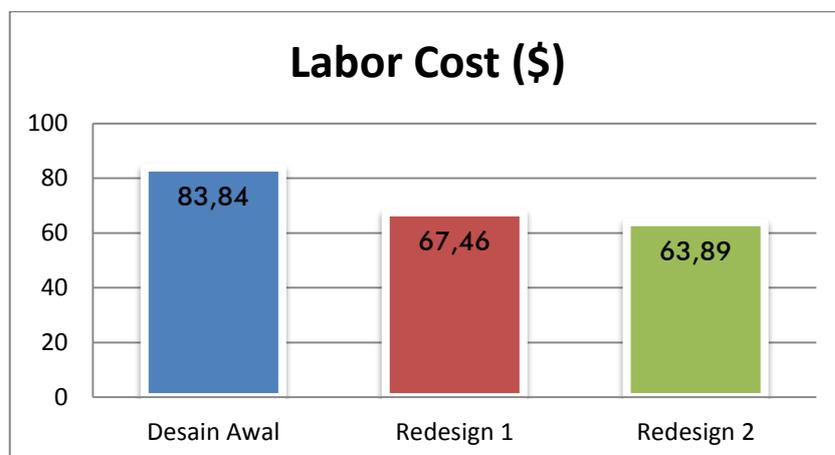
Dari Gambar 5.4 tersebut, dapat diketahui bahwa memang terjadi pengurangan waktu perakitan pada perbaikan desain, karena kesulitan perakitan pada desain awal sudah diperbaiki pada desain perbaikan, sehingga dalam melakukan perakitan tidak lagi mengalami kesulitan *accessibility* dan *alignment*.

Begitu juga parameter *assembly efficiency* pada ketiga desain tersebut mengalami kenaikan, yang artinya performansi perakitan semakin bagus. Untuk desain awal memiliki *assembly efficiency* sebesar 1,1. Lalu pada desain perbaikan alternatif 1 memiliki *assembly efficiency* sebesar 1,3 sedangkan pada desain perbaikan alternatif 2 memiliki *assembly efficiency* sebesar 1,5. Peningkatan tersebut sudah termasuk signifikan karena pada desain perbaikan tersebut sudah dapat menghilangkan permasalahan pada desain awal, yaitu kesulitan dalam mengakses dan *alignment* pada perakitan *front spar* dengan *front skin*. Gambar 5.5 dibawah ini merupakan grafik perbandingan *assembly efficiency* dari desain awal dan kedua hasil desain perbaikan.

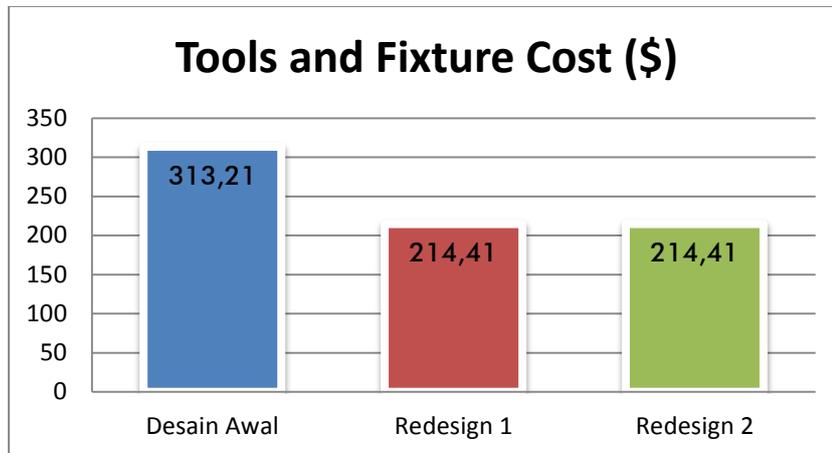


Gambar 5.5 Perbandingan *Assembly Efficiency*

Selanjutnya untuk perbandingan biaya yang dibandingkan adalah biaya tenaga kerja (Gambar 5.6), biaya *tools and fixture* (Gambar 5.7), dan biaya total (Gambar 5.8). Pada desain awal, biaya tenaga kerja yang dikeluarkan sebesar \$ 83,85, biaya *tools and fixture* sebesar \$ 313,21, dan biaya total sebesar \$ 9018,90. Lalu pada desain perbaikan alternatif 1, biaya tenaga kerja yang dibutuhkan sebesar \$ 67,45, biaya *tools and fixture* sebesar \$ 214,41, dan biaya total sebesar \$ 8903,69. Sedangkan pada desain perbaikan alternatif 2, biaya tenaga kerja yang dikeluarkan sebesar \$ 63,90, biaya *tools and fixture* sebesar \$ 214,41, dan biaya total sebesar \$ 8976,99. Grafik perbandingan biaya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.6 *Labor Cost* Perakitan Winglet



Gambar 5.7 *Tools and Fixture Cost* Perakitan Winglet



Gambar 5.8 Perbandingan *Total Cost* Perakitan Winglet.

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa penambahan jumlah komponen belum tentu membuat *assembly efficiency* menurun, dapat dilihat pada perbandingan jumlah komponen antara hasil desain perbaikan alternatif 1 dan 2, hal tersebut dikarenakan merakit komponen juga perlu memperhatikan tingkat kesulitan, jika pengurangan komponen semakin membuat proses perakitan semakin sulit, misalnya justru membutuhkan *tool* dan *fixture*, maka hal tersebut akan mempengaruhi waktu proses serta biaya perakitan.

Penggunaan pendekatan DFA pada perancangan desain sangat memegang peranan penting dalam suatu proses manufaktur suatu produk karena pada saat perakitan semua kesalahan atau kekurangan yang ditimbulkan dari awal

proses akan terlihat seperti pada perancangan *winglet*. Oleh karena itu, efisiensi pada perakitan dapat dijadikan parameter yang baik untuk menilai performansi manufaktur sebuah produk. Kesalahan-kesalahan yang dapat dihindari salah satunya terlihat pada desain *winglet*, dimana komponen *front spar* tidak dapat dirakit pada *skin winglet* karena kesulitan dalam mengakses dan *alignment*, ditambah lagi dengan adanya kesalahan dalam toleransi ukuran. Dengan menggunakan pendekatan DFA, kemungkinan dilakukannya perancangan ulang pada desain sebuah produk karena adanya kesulitan perakitan dapat dihindari.

Beberapa konsep DFA yang kemungkinan bisa diterapkan pada desain *winglet* antara lain dengan meminimalisir jumlah komponen dengan menyatukan beberapa fungsi komponen ke dalam satu komponen. Dari *suggestion for redesign* yang didapat, meminimalisir jumlah komponen dengan mengurangi komponen yang tergolong *unnecessary item*, *fasteners*, *connector* dan komponen yang memerlukan operasi terpisah. Modularisasi beberapa komponen menjadi satu *sub-assembly*, tujuannya untuk mengurangi jumlah operasi perakitan yang terjadi sehingga mempersingkat waktu perakitan. Membedakan komponen yang memiliki bentuk yang sama dengan cara non-geometris (kode warna) sehingga meminimalisir terjadinya kesalahan perakitan oleh operator. Memberikan fitur *alignment* dalam produk agar mudah diorientasikan, fitur ini digunakan untuk komponen-komponen yang mengalami kesulitan dalam melakukan *alignment* seperti pada beberapa komponen di *suggestion for redesign*. Desain komponen dengan orientasi yang mudah, sehingga mudah untuk disambungkan dengan komponen lainnya.

Adapun saran perbaikan berdasarkan konsep DFA tersebut memang tidak dapat langsung diaplikasikan pada perancangan desain *winglet* karena untuk mendesain sebuah *winglet* harus melibatkan tim lintas divisi dengan berbagai keahlian serta desain yang diproduksi harus melewati beberapa uji kelayakan seperti uji keamanan dan kekuatan untuk penerbangan. Selain itu juga terdapat kekurangan pada penggunaan *software* ini, salah satunya dalam menganalisa pengurangan jumlah komponen. Penghilangan sub-assembly serta *separate process* terhitung sebagai pengurangan jumlah komponen. Diperlukan keahlian dan pengetahuan yang dalam mengenai *software* ini sebelum menganalisa sebuah

produk. Namun, kelebihan dari penggunaan ini adalah mempermudah analisa efisiensi perakitan dalam fase perancangan desain, sehingga kesalahan dalam perakitan dapat diantisipasi sebelum produk tersebut diproduksi.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 6 ini berisi kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan, dimana kesimpulan dapat menjadi referensi bagi perusahaan. Selain itu juga berisi saran-saran yang berkaitan dengan permasalahan yang diamati.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa desain awal, desain perbaikan alternatif 1 dan 2 dengan pendekatan DFA dan menggunakan *software* DFA, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain Winglet Pesawat ABC yang saat ini digunakan oleh PT. X masih dapat dikembangkan sehingga menjadi lebih efisien dan optimal dari sisi perakitan dan biaya, dibuktikan dengan adanya peningkatan *assembly efficiency* saat desain perakitan diperbaiki.
2. Dari ketiga desain yang telah dianalisa, dapat diketahui bahwa penambahan jumlah komponen tidak selalu mengurangi efisiensi perakitan dan meningkatkan *labor time* dan *labor cost*. Bisa dilihat dari DFA *index* hasil desain perbaikan alternatif 2 yang mengalami peningkatan meskipun jumlah komponennya lebih banyak jika dibandingkan dengan desain alternatif perbaikan 1, begitu juga dengan *labor time* dan *labor cost* yang didapat pada alternatif 2 lebih kecil jika dibandingkan dengan alternatif 1. Hal tersebut dikarenakan merakit komponen juga perlu memperhatikan tingkat kesulitan, jika pengurangan komponen semakin membuat proses perakitan semakin sulit atau rumit, misalnya justru membutuhkan *tool* dan *fixture*, maka hal tersebut akan mempengaruhi waktu proses serta biaya perakitan.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan bagi penelitian selanjutnya adalah:

1. Pembuatan alternatif perbaikan desain *winglet* sebaiknya dilakukan dengan cara berdiskusi langsung dengan berbagai pihak yang terlibat secara keseluruhan, mulai dari bagian pengadaan, rancang bangun, produksi, dan perakitan serta pihak-pihak yang terkait agar dapat menghasilkan alternatif desain perbaikan yang optimal berdasarkan konsep DFA.
2. Sebaiknya penelitian Tugas Akhir dengan menggunakan pendekatan DFMA dilakukan pada obyek yang tidak memerlukan tes atau uji kelayakan terlebih dahulu pada alternatif desain yang dibuat agar penelitian dapat dilakukan dengan cepat dan tidak melebihi jangka waktu yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Admin. 2009. Penghemat Bahan Bakar Pesawat Terbang "Winglets", Teknologi Aerodinamika [Online]. Bandung: Universitas Terbuka. Available: <http://klipingut.wordpress.com/2009/11/26/penghemat-bahan-bakar-pesawat-terbang-winglets-teknologi-aerodinamika/> [Accessed 30 Juni 2014].
- Bolton, J. D. 2007. Add Value to Manufactured Products with DFMA. 3.
- Boothroyd Dewhurst, I. 2012a. Design For Assembly [Online]. Available: <http://www.dfma.com/software/dfa.htm> [Accessed 25 Januari 2014].
- Boothroyd Dewhurst, I. 2012b. Design for Manufacture [Online]. Available: <http://www.dfma.com/software/dfm.htm> [Accessed 1 Februari 2014].
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. 2002. Product Design for Manufacture and Assembly, USA, Marcel Dekker, Inc.
- Boothroyd, G. & Dewhurst, P. 1989. Product Design for Assembly, New York, McGraw Hill Inc.
- Brown, W. B. & Karagozoglu, N. 1993. Leading The Way To Faster New Product Development. The Academy of Management Executive, 7, 36-47.
- De Fazio, T. & Whitney, D. E. 1987. Simplified Generation Of All Mechanical Assembly Sequences. Robotics and Automation, IEEE Journal of, 3, 640-658.
- Faye, R., Laprete, R. & Winter, M. 2002. Blended Winglets For Improved Airplane Performance. Aero. Seattle, WA, Boeing.
- Garza, J. M. D. L., JR., P. A., Kapoor, M. & Ramesh, P. S. 2009. Value of Concurrent Engineering For A/E/C Industry. Management In Engineering, 6.
- Hashemipour, P. D. M. 2009. Concurrent Engineering. Turkey.
- Izuchukwu, J. 1992. Architecture and Process: The Role of Integrated Systems in Concurrent Engineering Introduction.
- Jamalludin, N. 2006. Pengembangan Produk Industri Boiler Menggunakan Konsep Design for Manufacture and Assembly. Master Degree, ITS.

- Liners, A. 2014. CASA/IPTN CN235 [Online]. Available: <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=137>.
- Meeker, D. G. & Rousmaniere, A. 1996. DFMA and Its Role in the Integrated Product Development Process.
- NASA 2004. Winglet. In: CENTERS, D. F. R. (ed.) NASA TECHNOLOGY FACTS. Edwards, California.
- Otto, K. N. & Wood, K. L. 2003. Product Design: Techniques In Reverse Engineering And New Product Development.
- Rajendran, S. 2012. Design of Parametric Winglets and Wing tip devices: A Conceptual Design Approach.
- Rantaujaya, A. 2013. PT. Dirgantara Indonesia [Online]. Lampung. Available: <http://rantau17.blogspot.com/2013/05/sejarah-pt-dirgantara-indonesia-persero.html> [Accessed 20 Juni 2014].
- Salomone, T. A. 1995. What Every Engineer Should Know About Concurrent Engineering, CRC Press.
- Salustri, F. A. & Chan, V. 2005. Design for Assembly [Online]. Canada. Available: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html> [Accessed 31 Januari 2014].
- Setiyanto, O. A. 2007. Penerapan Design For Manufacture and Assembly Pada Produk Mesin Gilas Tipe MGD-4 di PT. Barata Indonesia (Persero). Undergraduate, ITS.
- Stone, R. B., McAdams, D. A. & Kayyalethekkel, V. J. 2003. A Product Architecture-based Conceptual DFA Technique. 4.
- Surya, S. T. G. 2012. Penerapan Desain Untuk Perakitan (DFA) Pada Perakitan Tube Coater. Undergraduate, Universitas Indonesia.
- Symon & Dangerfield 1996. The Application of Design to Cost at Rolls-Royce, Bristol UK, Rolls-Royce Limited, Aero Division.
- Tien-Chang, Wysk, R. A. & Wang, H.-P. 1998. Computer-Aided Manufacturing, New York, Prentice Hall.
- Whitcomb, R. T. 1976. A Design Approach And Selected Wind-Tunnel Results At High Subsonic Speeds For Wing-Tip Mounted Winglets, National Aeronautics and Space Administration.

Winner, R. I., Pennell, J. P., Bertrand, H. E. & Slusarczuk, M. M. 1988. The Role Of Concurrent Engineering In Weapons System Acquisition. DTIC Document.

Xie, X. 2003. Design for Manufacture and Assembly. Utah: Dept. of Mechanical.

LAMPIRAN

Design for Assembly: Product Worksheet Boothroyd Dewhurst, Inc.



Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
1	☐	Winglet CN 235-220	35-11025-0001	Main						
2		Harness	35-63767-0001	Part	1	1	Sep. op.	1	Assembly	X
3	☐	Winglet	35-11041-0001	Sub	1	1	Sep. op.		None	X
4	☐	Rear Skin Assembly	35-11051-0001	Sub	1	1	Rivet		None	X
5		Rear Skin	35-11057-0001	Part	1	1	Rivet	1	Base part	X
6		Rear Spar	35-11058-0001	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
7		Angle	35-11069-0001	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	
8		Aft Inner Diverter	35-11050-0801	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
9		Aft Outer Diverter	35-11050-0801	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
10		Apply adhesive area		Lib Op	1	1				
11		riveting	NAS1097AD3	Oper	46	46	Rivet			
12		Mark label		Lib Op	1	1				
13		Inspection		Lib Op	1	1				
14	△	Totals for Rear Skin Assem				54		5		
15	☐	Front Skin Assembly	35-11050-0001	Sub	1	1	Rivet		None	X
16		Front Skin	35-11052-0001	Part	1	1	Self-stick	1	Base part	
17		Front Spar	35-11055-0001	Part	1	1	Sep. op.	1	Assembly	X
18		Rib A	35-11053-0001	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X

www.dfma.com

Page 1 of 28

Design for Assembly: Product Worksheet Boothroyd Dewhurst, Inc.



Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
19		Rib B	35-11054-0001	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
20		Rib L/E	35-11056-0001	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
21		Angle	35-11067-0001	Part	1	1	Sep. op.	1	Assembly	X
22		FWD Diverter	35-11050-0101	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
23		FWD Diverter	35-11050-0201	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
24		FWD Diverter	35-11050-0301	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
25		FWD Diverter	35-11050-0401	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
26		FWD Diverter Splice	35-11050-0501	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
27		FWD Diverter Splice	35-11050-0601	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
28		Middle Diverter	35-11050-0701	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
29		Middle Diverter	35-11050-0801	Part	1	1	Self-stick	1	Assembly	X
30		Apply adhesive area		Lib Op	1	1				
31		Mark label		Lib Op	1	1				
32		Inspection		Lib Op	1	1				
33	△	Totals for Front Skin Assem				17		14		
34		Apply adhesive area		Lib Op	1	1				
35		Angle	35-11068-0001	Part	1	1	Sep. op.	1	Assembly	
36		Mark label		Lib Op	1	1				

www.dfma.com

Page 2 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
37		Inspection		Lib Op	1	1				
38	△	Totals for Winglet				77		20		
39	▢	RIB END	35-11042-0001	Sub	1	1	Rivet		None	X
40		Front Rib	35-11042-0101	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	
41	▢	Fitting Front Spar	35-11059-0001	Sub	1	1	Rivet		None	X
42		Front Spar	35-11059-0101	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	X
43		Special Bushing	35-11059-0201	Part	2	2	Thread	0	Fastens	X
44		CAN 84214-05-14	35-11059-0301	Part	1	1	Sep. op	0	Fastens	X
45		Mark label		Lib Op	1	1				
46		Inspection		Lib Op	1	1				
47	△	Totals for Fitting Front Spar				6		1		
48		Center Rib	35-11042-0201	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	
49	▢	Fitting Rear Spar	35-11060-0001	Sub	1	1	Rivet		None	X
50		Rear Spar	35-11060-0101	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	X
51		Special Bushing	35-11060-0201	Part	2	2	Thread	0	Fastens	
52		CAN 84214-05-14	35-11060-0301	Part	1	1	Sep. op	0	Fastens	
53		Mark label		Lib Op	1	1				
54		Inspection		Lib Op	1	1				

www.dfma.com

Page 3 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
55	△	Totals for Fitting Rear Spar				6		1		
56		Rear Rib	35-11042-0301	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	X
57		Angle	35-11042-0501	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	X
58		Rib Trailing Edge	35-11042-0401	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	X
59		riveting	MS20470AD4	Oper	15	15	Rivet			
60		riveting	MS20470AD5	Oper	24	24	Rivet			
61		Mark label		Lib Op	1	1				
62		Inspection		Lib Op	1	1				
63	△	Totals for RIB END				60		7		
64		Center Upper L-Profile	35-11040-0601	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
65		Center Lower L-Profile	35-11040-0701	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
66		Rear Upper L-Profile	35-11040-0801	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
67		Rear Lower L-Profile	35-11040-0901	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
68		Front Upper L-Profile	35-11040-0401	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
69		Front Lower L-Profile	35-11040-0501	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
70		Shim	35-11040-1301	Part	2	2	Sep. op	0	None	
71	▢	TIP	35-11043-0001	Sub	1	1	Sep. op		None	X
72		Outer Tip	35-11043-0101	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	

www.dfma.com

Page 4 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220 dfa
Product: Design Before

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
73		Inner Tip	35-11043-0201	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
74		Trailing Edge	35-11043-0301	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
75		riveting	NAS1097ADS	Oper	2	2	Rivet			
76		Mark label		Lib Op	1	1				
77		Inspection		Lib Op	1	1				
78	△	Totals for TIP				7		3		
79		Plate Band	35-11040-0101	Part	1	1	Rivet	1	Assembly	
80		Shim	35-11040-1001	Part	1	1	Sep. op	0	None	
81		Support	35-62075-0401	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
82		Support	35-62075-0501	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
83		Support	35-62075-0601	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
84		Position Light (red)	AC118106	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
85	☐	Position Light Cover	35-11044-0001	Sub	1	1	Sep. op		None	
86		Glass Cover	35-11044-0101	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
87		Inner Frame	35-11085-0001	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
88		Outer Frame	35-11086-0001	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
89		Apply adhesive area		Lib Op	1	1				
90		Mark label		Lib Op	1	1				

www.dfma.com

Page 5 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220 dfa
Product: Design Before

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
91		Inspection		Lib Op	1	1				
92	△	Totals for Position Light Cover				6		3		
93		Plate Band	35-11040-0201	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
94		Plate Band	35-11040-0301	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
95		Shim	35-11040-1101	Part	1	1	Sep. op	0	None	
96		Shim	35-11040-1201	Part	1	1	Sep. op	0	None	
97		Support	35-62075-0701	Part	1	1	Sep. op	1	Assembly	
98		Base	AC300145	Part	3	3	Sep. op	3	Assembly	
99		Rivet, Protruding Head	CAI43017	Oper	2	2	Rivet			
100		Pin	CAI43110PB5-4	Oper	20	20	Rivet			
101		Pin	CAI43110PB5-5	Oper	36	36	Rivet			
102		Hi-Lok	CAI43111PB5-4	Oper	6	6	Rivet			
103		Hi-Lok	CAI43111PB5-5	Oper	32	32	Rivet			
104		Hi-Lok	CAI43111PB5-7	Oper	2	2	Rivet			
105		Collar	CAI43114-5	Oper	96	96	Rivet			
106		Rivet, Solid, Countershunk 100	MS20426DA3	Oper	22	22	Rivet			
107		Rivet	MS20426DA4	Oper	20	20	Rivet			
108		Rivet, Solid, Countershunk 100	MS20426DA3	Oper	22	22	Rivet			

www.dfma.com

Page 6 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
109		Rivet, Protruding Head	MS20470DA3	Oper	12	12	Rivet			
110		Rivet	MS20470DA4	Oper	21	21	Rivet			
111		Rivet	MS20470DA5	Oper	21	21	Rivet			
112		Nut	MS21059-08	Oper	10	10	Rivet			
113		Nut, Floating	MS20470L08	Oper	23	23	Rivet			
114		Nut	MS21059L3	Oper	3	3	Rivet			
115		Nut, Self-Locking	MS21061-08	Oper	1	1	Rivet			
116		Nut, Self-Locking	MS21061L08	Oper	4	4	Rivet			
117		Rivet	NAS1097AD3	Oper	106	106	Rivet			
118	△	Totals for Winglet CN 235-220				636		51		

www.dfma.com

Page 7 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
1	☐	Winglet CN 235-220								520.00
2		Harness	X	X	0.00	0.09	0.08	0.17	0.06	0.00
3	☐	Winglet	X	X	0.00	0.15	0.30	0.45	0.17	207.17
4	☐	Rear Skin Assembly	X	X	0.05	0.05	0.17	0.28	0.10	265.46
5		Rear Skin	X	X	0.05	0.05	0.13	0.22	0.08	0.00
6		Rear Spar	X	X	0.00	0.05	0.16	0.21	0.08	0.00
7		Angle			0.05	0.03	0.07	0.15	0.06	0.00
8		Aft Inner Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
9		Aft Outer Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
10		Apply adhesive area			0.05		3.10	3.15	1.17	0.00
11		riveting			0.05	0.00	0.08	3.58	1.33	0.00
12		Mark label			0.05		5.00	5.05	1.88	0.00
13		Inspection			0.05		15.00	15.05	5.60	0.00
14	△	Totals for Rear Skin Assem						27.70	10.30	0.00
15	☐	Front Skin Assembly	X	X	0.05	0.05	0.17	0.26	0.10	228.54
16		Front Skin			0.00	0.03	0.07	0.10	0.04	0.00
17		Front Spar	X	X	0.00	0.05	0.14	0.19	0.07	0.00
18		Rib A	X	X	0.00	0.05	0.13	0.17	0.06	0.00

www.dfma.com

Page 8 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220 dfa
Product: Design Before

No.	Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
19	Rib B	X	X	0.00	0.05	0.13	0.17	0.06	0.00
20	Rib LE	X	X	0.00	0.05	0.10	0.15	0.06	0.00
21	Angle			0.00	0.05	0.03	0.07	0.03	0.00
22	FWD Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
23	FWD Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
24	FWD Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
25	FWD Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
26	FWD Diverter Splice	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
27	FWD Diverter Splice	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
28	Middle Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
29	Middle Diverter	X	X	0.00	0.05	0.09	0.14	0.05	0.00
30	Apply adhesive area			0.02		3.10	3.12	1.16	0.00
31	Mark label			0.05		5.00	5.05	1.88	0.00
32	Inspection			0.05		15.00	15.05	5.60	0.00
33	△ Totals for Front Skin Assem						25.20	9.37	0.00
34	Apply adhesive area			0.02		0.03	0.05	0.02	0.00
35	Angle			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
36	Mark label			0.05		5.00	5.05	1.88	0.00

www.dfma.com

Page 9 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220 dfa
Product: Design Before

No.	Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
37	Inspection			0.05		15.00	15.05	5.60	0.00
38	△ Totals for Winglet						73.64	27.39	494.00
39	▣ RIB END	X	X	0.05	0.05	0.12	0.21	0.08	0.00
40	Front Rib	X	X	0.05	0.03	0.12	0.20	0.07	0.00
41	▣ Fitting Front Spar	X	X	0.05	0.05	0.12	0.21	0.08	0.00
42	Front Spar	X	X	0.09	0.05	0.17	0.30	0.11	0.00
43	Special Bushing	X	X	0.05	0.05	0.11	0.36	0.13	0.00
44	CAN 84214-05-14	X	X	0.00	0.05	0.08	0.11	0.04	0.00
45	Mark label			0.05		5.00	5.05	1.88	0.00
46	Inspection			0.05		15.00	15.05	5.60	0.00
47	△ Totals for Fitting Front Spar						20.87	7.76	0.00
48	Center Rib	X	X	0.09	0.04	0.17	0.30	0.11	0.00
49	▣ Fitting Rear Spar	X	X	0.05	0.05	0.17	0.26	0.10	0.00
50	Rear Spar	X	X	0.05	0.05	0.17	0.26	0.10	0.00
51	Special Bushing	X	X	0.05	0.03	0.14	0.39	0.15	0.00
52	CAN 84214-05-14			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
53	Mark label			0.05		5.00	5.05	1.88	0.00
54	Inspection			0.05		15.00	15.05	5.60	0.00

www.dfma.com

Page 10 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
55	△	Totals for Fitting Rear Spar						20.81	7.74	0.00
56		Rear Rib	X	X	0.09	0.07	0.17	0.33	0.12	0.00
57		Angle	X	X	0.09	0.07	0.17	0.33	0.12	0.00
58		Rib Trailing Edge	X	X	0.05	0.05	0.17	0.28	0.10	0.00
59		riveting	X	X	0.05	0.00	0.13	1.95	0.72	0.00
60		riveting	X	X	0.05	0.00	0.13	3.09	1.15	0.00
61		Mark label			0.05		0.21	0.28	0.10	0.00
62		Inspection			0.05		0.32	0.37	0.14	0.00
63	△	Totals for RIB END						49.23	18.31	0.00
64		Center Upper L-Profile			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
65		Center Lower L-Profile			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
66		Rear Upper L-Profile			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
67		Rear Lower L-Profile			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
68		Front Upper L-Profile			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
69		Front Lower L-Profile			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
70		Shim			0.00	0.03	0.03	0.12	0.04	0.00
71	▢	TIP	X	X	0.00	0.05	0.12	0.17	0.08	171.05
72		Outer Tip			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00

www.dfma.com

Page 11 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
73		Inner Tip			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
74		Trailing Edge			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
75		riveting	X	X	0.05	0.00	0.13	0.30	0.11	0.00
76		Mark label			0.05		5.00	5.05	1.88	0.00
77		Inspection			0.05		15.00	15.05	5.60	0.00
78	△	Totals for TIP						20.57	7.66	0.00
79		Plate Band	X	X	0.05	0.04	0.17	0.28	0.10	0.00
80		Shim			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
81		Support			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
82		Support			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
83		Support			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
84		Position Light (red)			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
85	▢	Position Light Cover			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	173.84
86		Glass Cover			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
87		Inner Frame			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
88		Outer Frame			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
89		Apply adhesive area			0.05		0.03	0.08	0.03	0.00
90		Mark label			0.05		5.00	5.05	1.88	0.00

www.dfma.com

Page 12 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220 dfa
Product: Design Before

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
91		Inspection			0.05		15.00	15.05	5.60	0.00
92	△	Totals for Position Light Cover						20.36	7.57	0.00
93		Plate Band			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
94		Plate Band			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
95		Shim			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
96		Shim			0.00	0.04	0.03	0.07	0.02	0.00
97		Support			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
98		Base			0.00	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00
99		Rivet, Protruding Head	X	X	0.09	0.00	0.13	0.34	0.13	0.00
100		Pin	X	X	0.05	0.00	0.13	2.58	0.96	0.00
101		Pin	X	X	0.05	0.00	0.13	4.61	1.71	0.00
102		Hi-Lok	X	X	0.05	0.00	0.13	0.81	0.30	0.00
103		Hi-Lok	X	X	0.05	0.00	0.13	4.10	1.53	0.00
104		Hi-Lok	X	X	0.05	0.00	0.13	0.30	0.11	0.00
105		Collar	X	X	0.05	0.00	0.13	12.21	4.54	0.00
106		Rivet, Solid, Countersunk 100	X	X	0.05	0.00	0.13	2.83	1.05	0.00
107		Rivet	X	X	0.05	0.00	0.13	2.58	0.96	0.00
108		Rivet, Solid, Countersunk 100	X	X	0.05	0.00	0.13	2.83	1.05	0.00

www.dfma.com

Page 13 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220 dfa
Product: Design Before

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
109		Rivet, Protruding Head	X	X	0.05	0.00	0.13	1.57	0.58	0.00
110		Rivet	X	X	0.05	0.00	0.13	2.71	1.01	0.00
111		Rivet	X	X	0.05	0.00	0.13	2.71	1.01	0.00
112		Nut	X	X	0.09	0.00	0.13	1.36	0.50	0.00
113		Nut, Floating	X	X	0.05	0.00	0.13	2.96	1.10	0.00
114		Nut	X	X	0.05	0.00	0.13	0.43	0.16	0.00
115		Nut, Self-Locking	X	X	0.05	0.00	0.12	0.16	0.06	0.00
116		Nut, Self-Locking	X	X	0.05	0.00	0.13	0.58	0.21	0.00
117		Rivet	X	X	0.05	0.00	0.13	13.48	5.01	0.00
118	△	Totals for Winglet CN 235-220						225.44	83.85	1566.06

www.dfma.com

Page 14 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
1	[-]	Winglet CN 235-220									
2		Harness	0.00	52	10.40	10.40	10.40			10.40	0.00
3	[-]	Winglet	0.00	0	0.00	0.00	0.00			41.60	0.00
4	[-]	Rear Skin Assembly	0.00	0	0.00	0.00	0.00			53.19	0.00
5		Rear Skin	0.01	196	39.20	39.21	39.21			39.29	0.00
6		Rear Spar	11.12	140	28.09	39.21	39.21			39.29	0.00
7		Angle	98.22	78	15.82	15.82	15.82			15.88	0.00
8		Aft Inner Diverter	10.43	140	28.09	38.52	38.52			38.57	0.00
9		Aft Outer Diverter	12.72	75	15.02	27.74	27.74			27.79	0.00
10		Apply adhesive area						0.00	0.00	1.17	0.00
11		riveting	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.33	0.00
12		Mark label						0.00	0.00	1.88	0.00
13		Inspection						0.00	0.00	5.60	0.00
14	[^]	Totals for Rear Skin Assem	132.50	631	126.22		160.50		0.00	170.81	
15	[-]	Front Skin Assembly	0.00	0	0.00	0.00	0.00			45.81	43608.65
16		Front Skin	2872.50	253	50.65	2923.15	2923.15			2923.19	0.00
17		Front Spar	119.84	114	22.79	142.43	142.43			142.50	0.00
18		Rib A	55.15	92	18.42	73.57	73.57			73.63	0.00

www.dfma.com

Page 15 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
19		Rib B	77.38	74	14.71	92.09	92.09			92.15	0.00
20		Rib L/E	126.61	79	15.82	142.43	142.43			142.49	0.00
21		Angle	13.93	79	15.82	29.75	29.75			29.78	0.00
22		FWD Diverter	13.26	91	18.15	31.41	31.41			31.46	0.00
23		FWD Diverter	1.78	88	17.68	15.80	15.80			15.85	0.00
24		FWD Diverter	1.03	88	17.58	16.55	16.55			16.60	0.00
25		FWD Diverter	0.68	52	10.40	11.08	11.08			11.13	0.00
26		FWD Diverter Splice	0.46	52	10.40	10.86	10.86			10.91	0.00
27		FWD Diverter Splice	0.56	52	10.40	10.96	10.96			11.01	0.00
28		Middle Diverter	13.68	74	14.88	28.56	28.56			28.61	0.00
29		Middle Diverter	14.57	74	14.88	29.45	29.45			29.50	0.00
30		Apply adhesive area						0.00	0.00	1.18	0.00
31		Mark label						0.00	0.00	1.88	0.00
32		Inspection						0.00	0.00	5.60	0.00
33	[^]	Totals for Front Skin Assem	3311.23	1,262	252.48		3558.09		0.00	3567.46	
34		Apply adhesive area						0.00	0.00	0.02	0.00
35		Angle	0.00	79	15.82	15.82	15.82			15.84	0.00
36		Mark label						0.00	0.00	1.88	0.00

www.dfma.com

Page 16 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling Investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
37		Inspection						0.00	0.00	5.80	0.00
38	△	Totals for Winglet	3443.73	1,973	394.51		3734.41		0.00	3860.60	
39	▢	RIB END	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.08	0.00
40		Front Rib	3.32	60	12.10	15.42	15.42			15.48	0.00
41	▢	Fitting Front Spar	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.08	0.00
42		Front Spar	236.53	1,586	317.17	553.70	553.70			553.81	0.00
43		Special Bushing	43.20	52	5.20	48.40	96.80			96.93	0.00
44		CAN 64214-05-14	16.63	52	10.40	27.03	27.03			27.07	0.00
45		Mark label						0.00	0.00	1.88	0.00
46		Inspection						0.00	0.00	5.80	0.00
47	△	Totals for Fitting Front Spar	339.56	1,690	337.97		677.53		0.00	685.29	
48		Center Rib	13.17	116	23.18	36.35	36.35			36.46	0.00
49	▢	Fitting Rear Spar	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.10	0.00
50		Rear Spar	210.33	1,526	305.22	515.55	515.55			515.85	0.00
51		Special Bushing	43.20	52	5.20	48.40	96.80			96.95	0.00
52		CAN 64214-05-14	16.63	0	0.00	16.63	16.63			16.65	0.00
53		Mark label						0.00	0.00	1.88	0.00
54		Inspection						0.00	0.00	5.80	0.00

www.dfma.com

Page 17 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling Investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
55	△	Totals for Fitting Rear Spar	313.36	1,578	315.62		628.98		0.00	636.73	
56		Rear Rib	3.32	53	10.67	53.33	53.33			53.45	0.00
57		Angle	1.54	52	10.40	11.94	11.94			12.06	0.00
58		Rib Trailing Edge	4.04	58	11.15	15.19	15.19			15.28	0.00
59		riveting	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.72	0.00
60		riveting	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.15	0.00
61		Mark label						0.00	0.00	0.10	0.00
62		Inspection						0.00	0.00	0.14	0.00
63	△	Totals for RIB END	678.31	3,605	721.08		1438.73		0.00	1457.04	
64		Center Upper L-Profile	750.00	65	13.04	763.04	763.04			763.07	0.00
65		Center Lower L-Profile	300.00	60	12.06	312.06	312.06			312.09	0.00
66		Rear Upper L-Profile	300.00	54	10.85	310.85	310.85			310.88	0.00
67		Rear Lower L-Profile	300.00	54	10.85	310.85	310.85			310.88	0.00
68		Front Upper L-Profile	348.00	59	11.89	359.89	359.89			359.92	0.00
69		Front Lower L-Profile	300.00	60	11.93	311.93	311.93			311.95	0.00
70		Shim	1.03	80	7.96	8.99	17.97			18.01	0.00
71	▢	TIP	0.00	0	0.00	0.00	0.00			34.27	0.00
72		Outer Tip	2.14	52	10.40	12.54	12.54			12.56	0.00

www.dfma.com

Page 18 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
73		Inner Tip	2.14	52	10.40	12.54	12.54			12.56	0.00
74		Trailing Edge	15.87	257	51.43	67.30	67.30			67.32	0.00
75		riveting	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.11	0.00
76		Mark label						0.00	0.00	1.88	0.00
77		inspection						0.00	0.00	5.60	0.00
78	△	Totals for TIP	20.15	361	72.23		92.38		0.00	100.03	
79		Plate Band	6.41	72	14.33	20.74	20.74			20.83	0.00
80		Shim	5.11	72	14.33	19.44	19.44			19.46	0.00
81		Support	0.75	61	12.23	12.99	12.99			13.01	0.00
82		Support	2.34	61	12.23	14.57	14.57			14.59	0.00
83		Support	0.49	52	10.40	10.89	10.89			10.91	0.00
84		Position Light (red)	500.00	500	100.00	600.00	600.00			600.02	0.00
85	▣	Position Light Cover	0.00	0	0.00	0.00	0.00			34.79	0.00
86		Glass Cover	22.44	126	25.12	47.56	47.56			47.58	0.00
87		Inner Frame	0.00	93	18.52	18.52	18.52			18.54	0.00
88		Outer Frame	0.00	120	24.10	24.10	24.10			24.12	0.00
89		Apply adhesive area						0.00	0.00	0.03	0.00
90		Mark label						0.00	0.00	1.88	0.00

www.dfma.com

Page 19 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
91		inspection						0.00	0.00	5.60	0.00
92	△	Totals for Position Light Cover	22.44	339	67.73		90.17		0.00	97.75	
93		Plate Band	6.21	91	18.29	24.50	24.50			24.52	0.00
94		Plate Band	6.66	91	18.29	26.95	26.95			26.97	0.00
95		Shim	0.05	52	10.40	10.45	10.45			10.47	0.00
96		Shim	0.05	52	10.40	10.45	10.45			10.47	0.00
97		Support	0.23	52	10.40	10.63	10.63			10.65	0.00
98		Base	0.00	538	35.85	35.85	107.54			107.56	0.00
99		Rivet, Protruding Head	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.13	0.00
100		Pin	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.96	0.00
101		Pin	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.71	0.00
102		Hi-Lok	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.30	0.00
103		Hi-Lok	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.53	0.00
104		Hi-Lok	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.11	0.00
105		Collar	0.00	0	0.00	0.00	0.00			4.54	0.00
106		Rivet, Solid, Countersunk 100	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.05	0.00
107		Rivet	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.96	0.00
108		Rivet, Solid, Countersunk 100	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.05	0.00

www.dfma.com

Page 20 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
109		Rivet, Protruding Head	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.55	0.00
110		Rivet	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.01	0.00
111		Rivet	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.01	0.00
112		Nut	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.50	0.00
113		Nut, Floating	0.00	0	0.00	0.00	0.00			1.10	0.00
114		Nut	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.16	0.00
115		Nut, Self-Locking	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.06	0.00
116		Nut, Self-Locking	0.00	0	0.00	0.00	0.00			0.21	0.00
117		Rivet	0.00	0	0.00	0.00	0.00			5.01	0.00
118	△	Totals for Winglet CN 235-220	6995.00	8.457	1277.61		8621.83		0.00	9018.90	

www.dfma.com

Page 21 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
1	☐	Winglet CN 235-220			<input type="checkbox"/>	
2		Harness	0.00		<input type="checkbox"/>	
3	☐	Winglet	0.00	Fiber Glass	<input type="checkbox"/>	
4	☐	Rear Skin Assembly	0.00		<input type="checkbox"/>	
5		Rear Skin	0.00		<input type="checkbox"/>	
6		Rear Spar	0.00		<input type="checkbox"/>	
7		Angle	0.00		<input type="checkbox"/>	
8		Aft Inner Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
9		Aft Outer Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
10		Apply adhesive area	0.00		<input type="checkbox"/>	Calculates the time for the application of adhesive
11		riveting	0.00		<input type="checkbox"/>	
12		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.
13		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
14	△	Totals for Rear Skin Assem	0.00			
15	☐	Front Skin Assembly	43606.65	Generic aluminum alloy	<input type="checkbox"/>	
16		Front Skin	0.00		<input type="checkbox"/>	
17		Front Spar	0.00		<input type="checkbox"/>	
18		Rib A	0.00		<input type="checkbox"/>	

www.dfma.com

Page 22 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
19		Rib B	0.00		<input type="checkbox"/>	
20		Rib L/E	0.00		<input type="checkbox"/>	
21		Angle	0.00		<input type="checkbox"/>	
22		FWD Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
23		FWD Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
24		FWD Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
25		FWD Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
26		FWD Diverter Splice	0.00		<input type="checkbox"/>	
27		FWD Diverter Splice	0.00		<input type="checkbox"/>	
28		Middle Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
29		Middle Diverter	0.00		<input type="checkbox"/>	
30		Apply adhesive area	0.00		<input type="checkbox"/>	Calculates the time for the application of adhesive
31		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.
32		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
33	△	Totals for Front Skin Assem	0.00			
34		Apply adhesive area	0.00		<input type="checkbox"/>	Calculates the time for the application of adhesive
35		Angle	0.00		<input type="checkbox"/>	
36		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.

www.dfma.com

Page 23 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
37		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
38	△	Totals for Winglet	43606.65			
39	▣	RIB END	0.00		<input type="checkbox"/>	
40		Front Rib	0.00		<input type="checkbox"/>	
41	▣	Fitting Front Spar	0.00		<input type="checkbox"/>	
42		Front Spar	0.00		<input type="checkbox"/>	
43		Special Bushing	0.00		<input type="checkbox"/>	
44		CAN 84214-05-14	0.00		<input type="checkbox"/>	
45		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.
46		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
47	△	Totals for Fitting Front Spar	0.00			
48		Center Rib	0.00		<input type="checkbox"/>	
49	▣	Fitting Rear Spar	0.00		<input type="checkbox"/>	
50		Rear Spar	0.00		<input type="checkbox"/>	
51		Special Bushing	0.00		<input type="checkbox"/>	
52		CAN 84214-05-14	0.00		<input type="checkbox"/>	
53		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.
54		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and

www.dfma.com

Page 24 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
55	△	Totals for Fitting Rear Spar	0.00			
56		Rear Rib	0.00		<input type="checkbox"/>	
57		Angle	0.00		<input type="checkbox"/>	
58		Rib Trailing Edge	0.00		<input type="checkbox"/>	
59		riveting	0.00		<input type="checkbox"/>	
60		riveting	0.00		<input type="checkbox"/>	
61		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.
62		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
63	△	Totals for RIB END	0.00			
64		Center Upper L-Profile	0.00		<input type="checkbox"/>	
65		Center Lower L-Profile	0.00		<input type="checkbox"/>	
66		Rear Upper L-Profile	0.00		<input type="checkbox"/>	
67		Rear Lower L-Profile	0.00		<input type="checkbox"/>	
68		Front Upper L-Profile	0.00		<input type="checkbox"/>	
69		Front Lower L-Profile	0.00		<input type="checkbox"/>	
70		Shim	0.00		<input type="checkbox"/>	
71	▢	TIP	0.00		<input type="checkbox"/>	
72		Outer Tip	0.00		<input type="checkbox"/>	

www.dfma.com

Page 25 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
73		Inner Tip	0.00		<input type="checkbox"/>	
74		Trailing Edge	0.00		<input type="checkbox"/>	
75		riveting	0.00		<input type="checkbox"/>	
76		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.
77		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
78	△	Totals for TIP	0.00			
79		Plate Band	0.00		<input type="checkbox"/>	
80		Shim	0.00		<input type="checkbox"/>	
81		Support	0.00		<input type="checkbox"/>	
82		Support	0.00		<input type="checkbox"/>	
83		Support	0.00		<input type="checkbox"/>	
84		Position Light (red)	0.00		<input type="checkbox"/>	
85	▢	Position Light Cover	0.00		<input type="checkbox"/>	
86		Glass Cover	0.00		<input type="checkbox"/>	
87		Inner Frame	0.00		<input type="checkbox"/>	
88		Outer Frame	0.00		<input type="checkbox"/>	
89		Apply adhesive area	0.00		<input type="checkbox"/>	Calculates the time for the application of adhesi
90		Mark label	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a marker. Write on a label.

www.dfma.com

Page 26 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
91		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
92	△	Totals for Position Light Cover	0.00			
93		Plate Band	0.00		<input type="checkbox"/>	
94		Plate Band	0.00		<input type="checkbox"/>	
95		Shim	0.00		<input type="checkbox"/>	
96		Shim	0.00		<input type="checkbox"/>	
97		Support	0.00		<input type="checkbox"/>	
98		Base	0.00		<input type="checkbox"/>	
99		Rivet, Protruding Head	0.00		<input type="checkbox"/>	
100		Pin	0.00		<input type="checkbox"/>	
101		Pin	0.00		<input type="checkbox"/>	
102		Hi-Lok	0.00		<input type="checkbox"/>	
103		Hi-Lok	0.00		<input type="checkbox"/>	
104		Hi-Lok	0.00		<input type="checkbox"/>	
105		Collar	0.00		<input type="checkbox"/>	
106		Rivet, Solid, Countersunk 100	0.00		<input type="checkbox"/>	
107		Rivet	0.00		<input type="checkbox"/>	
108		Rivet, Solid, Countersunk 100	0.00		<input type="checkbox"/>	

www.dfma.com

Page 27 of 28



Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

Monday, July 07, 2014 1:18 PM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
109		Rivet, Protruding Head	0.00		<input type="checkbox"/>	
110		Rivet	0.00		<input type="checkbox"/>	
111		Rivet	0.00		<input type="checkbox"/>	
112		Nut	0.00		<input type="checkbox"/>	
113		Nut, Floating	0.00		<input type="checkbox"/>	
114		Nut	0.00		<input type="checkbox"/>	
115		Nut, Self-Locking	0.00		<input type="checkbox"/>	
116		Nut, Self-Locking	0.00		<input type="checkbox"/>	
117		Rivet	0.00		<input type="checkbox"/>	
118	△	Totals for Winglet CN 235-220	43606.65			

www.dfma.com

Page 28 of 28

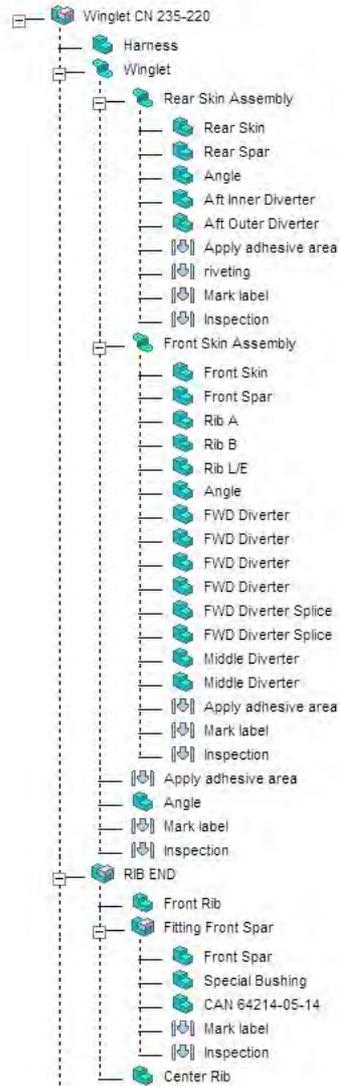


Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:14 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before



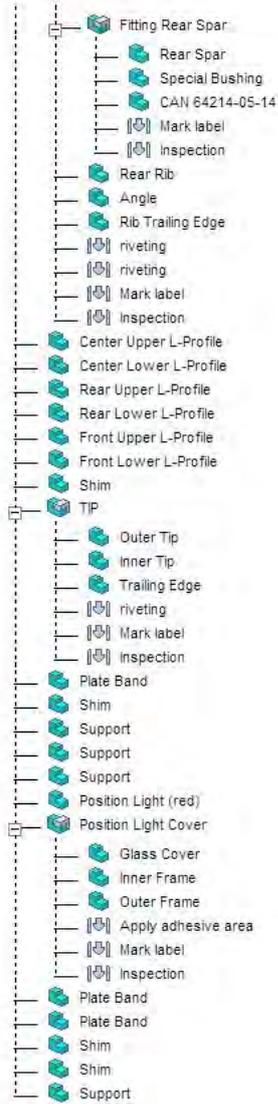


Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:14 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before





Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:14 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Before

- Base
- Rivet, Protruding Head
- Pin
- Pin
- Hi-Lok
- Hi-Lok
- Hi-Lok
- Collar
- Rivet, Solid, Countersunk 100 Deg
- Rivet
- Rivet, Solid, Countersunk 100 Deg
- Rivet, Protruding Head
- Rivet
- Rivet
- Nut
- Nut, Floating
- Nut
- Nut, Self-Locking
- Nut, Self-Locking
- Rivet

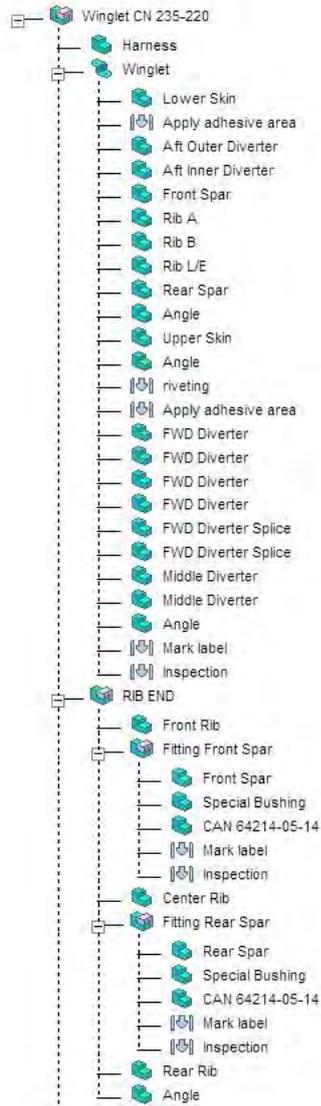


Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:15 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design After





Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:15 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design After

- Rivet, Solid, Countersunk 100 Deg
- Rivet
- Rivet, Solid, Countersunk 100 Deg
- Rivet, Protruding Head
- Rivet
- Rivet
- Nut
- Nut, Floating
- Nut
- Nut, Self-Locking
- Nut, Self-Locking
- Rivet

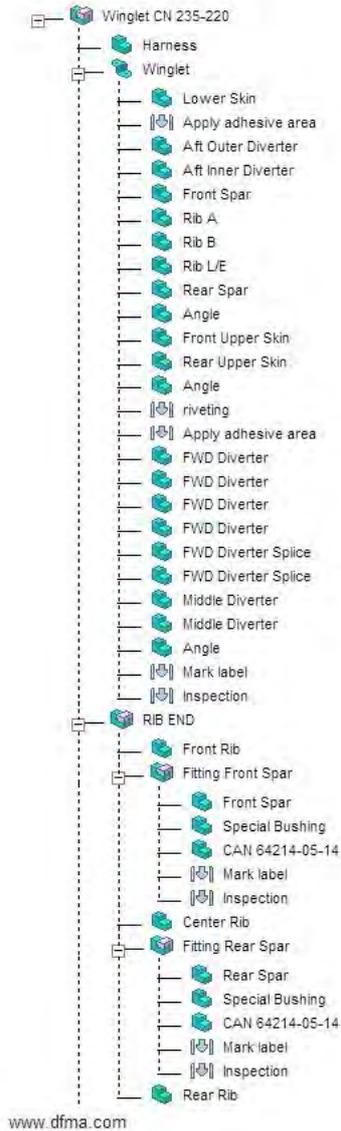


Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:16 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Used



www.dfma.com

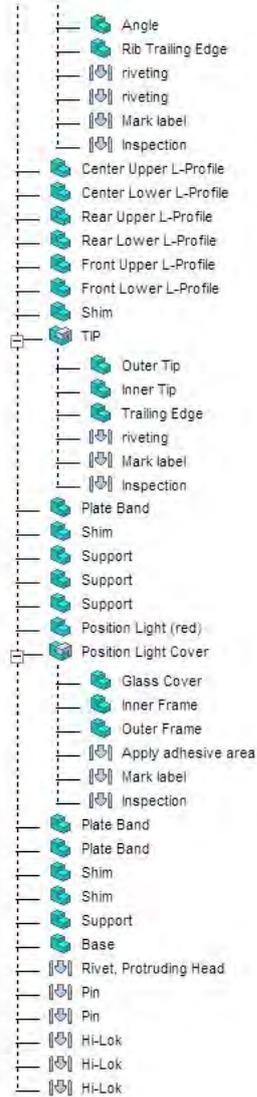


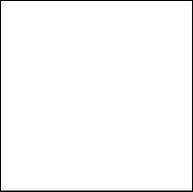
Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:16 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Used





Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

Friday, July 04, 2014 12:16 AM
Winglet CN 235-220

Winglet CN 235-220.dfa
Product: Design Used

- ||⊗|| Collar
- ||⊗|| Rivet, Solid, Countersunk 100 Deg
- ||⊗|| Rivet
- ||⊗|| Rivet, Solid, Countersunk 100 Deg
- ||⊗|| Rivet, Protruding Head
- ||⊗|| Rivet
- ||⊗|| Rivet
- ||⊗|| Nut
- ||⊗|| Nut, Floating
- ||⊗|| Nut
- ||⊗|| Nut, Self-Locking
- ||⊗|| Nut, Self-Locking
- ||⊗|| Rivet

BIODATA PENULIS



Niken Yolanda Wahyu Putri, dilahirkan di Sidoarjo, 19 November 1991 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK. Trisula Sidoarjo pada tahun 1995, SDN Pucang II Sidoarjo pada tahun 1998, SMPN 1 Sidoarjo pada tahun 2004, SMA Kr. Petra 4 Sidoarjo pada tahun 2007. Selanjutnya Penulis melanjutkan pendidikan program sarjana di Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjalani perkuliahan, Penulis aktif dalam beberapa kegiatan kemahasiswaan diantaranya kegiatan yang diadakan oleh HMTI, BEM FTI, BEM ITS, Kebaktian Jurusan Teknik Industri (KJTI), Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK), Pembinaan Kerohanian Mahasiswa Baru Kristen (PKMBK), dan lain sebagainya. Penulis juga memperoleh kesempatan untuk melakukan kerja praktek selama dua bulan di PT. Indonesia Asahan Aluminium (INALUM) tahun 2013 pada Bagian *Sparepart Warehouse*. Kemudian pada tahun 2014, Penulis bekerja sebagai asisten peneliti di Balai Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi dan Lingkungan Bidang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum hingga saat ini, penelitian yang sedang dikerjakan adalah Kelayakan SOSEKLING Pemanfaatan ASBUTON dalam Pembangunan Jalan: Bahan Mentah (*Raw Material*) menjadi Setengah Jadi (*Concetrate*). Penulis dapat dihubungi via email niken_yolanda@ymail.com.