BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai keterkaitan antara penelitian yang dilakukan sekarang dengan penelitian sebelumnya yang berkaitan tentang *redesign* produk dengan menggunakan metode *Design For Manufacture and Assembly* (DFMA). Tujuan membahas keterkaitan antara penelitian sekarang dan penelitian terdahulu adalah agar penelitian sekarang memiliki landasan yang kuat.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Hasibuan dkk (2013) dalam jurnal Rancangan Perbaikan *Stopcontact* Melalui Pendekatan Metode (DFMA) *Design For Manufacturing and Assembly* Pada PT.XYZ menyatakan bahwa dengan menggunakan pendekatan *Design For Manufacturing and Assembly* (DFMA) untuk merancang ulang *stopcontact* 754 maka dapat mendesain produk dengan waktu dan biaya yang optimum, meningkatkan kualitas produk, mengukur perbaikan desain dan mengurangi biaya perakitan produk. DFMA juga dapat digunakan untuk merancang produk dari analisis kekurangan dan kelebihan dari produk pesaing contohnya dari sisi desain produk, kualitas, material, komponen penyusun produk, proses produksi dan perakitan produk. Dalam penelitian ini diperoleh hasil penurunan biaya perakitan yaitu dari Rp7.500,-/unit menjadi Rp6.032,08/unit. Efisiensi perakitan desain juga naik dari 15,139% untuk desain awal menjadi 18,82% untuk hasil redesain.

Veranika (2014) dalam jurnal Aplikasi *Design For Assembly* (DFA) Pada Perancangan Produk Vaccine Carrier. Langkah awal penelitian ini dimulai dengan *mission statement* sebagai langkah awal perancangan produk, kemudian dilakukan survei untuk mengidentifikasi kebutuhan konsumen dan menganalisa produk kompetitor. Setelah melakukan survei dan analis produk dari kompetitor maka ditentukan spesifikasi target produk, kemudian dilakukan penyusunan konsep dan seleksi konsep menggunakan metode *Analytic Hirarchy Process* (AHP) dengan bantuan perangkat lunak *Expert Choise 2000*. Konsep terbaik yang terpilih akan dibuat desain awal menggunakan *SolidWork*. Dari hasil perancangan dan analisa DFA pada produk *vaccine carrier* dengan metode perhitungan G.Boothroyd, didapat total waktu *assembly* untuk desain awal adalah 519,34 detik

dengan nilai *efficiency* 18% sedangkan total waktu *assembling* untuk *redesign* adalah 405,63 detik dengan nilai *efficiency* 24%.

Abidin dkk (2015) pada jurnal Analisis *Design For Assembly* (DFA) Pada Prototipe Mesin Pemisah Sampah Material Feromagnetik dan *Non* Feromagnetik menyatakan bahwa *Design For Assembly* merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengembangkan desain sebuah produk dan bertujuan untuk mempermudah perakitan dan meminimalkan waktu perakitan tanpa mengurangi nilai fungsi dari produk tersebut dan tetap fokus pada keselamatan. Berdasarkan hasil analisis DFA, nilai E_{ma} perakitan secara teori dari mesin pemisah sampah adalah 14,22% dan nilai E_{ma} secara praktek adalah 11,83%.

Ginting dkk (2013) dalam jurnal Rancangan Perbaikan Produk Saklar Dengan Integrasi Metode QFD dan DFMA di PT XXX menyatakan bahwa perbaikan rancangan produk dengan metode DFMA dapat mereduksi waktu perakitan serta biaya komponen penyusun produk. Perbaikan rancangan desain produk dapat dilakukan dengan mengurangi atau menghilangkan komponen yang tidak memberikan nilai tambah pada produk contohnya komponen *fasteners.* Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa waktu perakitan berkurang hingga 17,83%, jumlah komponen berkurang hingga 11,43%, serta biaya total perakitan berkurang hingga 17,82%.

Faizal dkk (2017) dalam jurnal Desain Pengembangan Produk *Wallshelf* Menggunakan Integrasi QFD dan DFMA di UD.XYZ menyatakan bahwa dengan melakukan pengolahan dan analisis keinginan konsumen menggunakan QFD, peneliti dapat mengetahui keinginan konsumen untuk produk *wallshelf* yang akan dikembangkan. Dengan melakukan analisis DFA akan sangat membantu untuk mengetahui waktu aktual yang dibutuhkan untuk merakit komponen *wallshelf.* Terdapat selisih antara estimasi waktu perakitan secara teori dan secara praktek yaitu sebesar 23,2 detik untuk produk ukuran pertama dan 92,1 detik untuk produk ukuran kedua. Peneliti juga menyatakan jika QFD dan DFMA saling berhubungan.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Penelitian sekarang akan membahas tentang perancangan ulang produk *mortise lock* dan *handle* pintu dengan menggunakan metode *Design For Manufactur and Assembly* (DFMA) dan menggunakan model perhitungan efisiensi desain oleh Boothroyd – Dewhurst. Pada awal penelitian akan dilakukan analisis terhadap desain awal *mortise lock* dan *handle* pintu dan akan dilakukan desain ulang sesuai

dengan metode *Design For Manufactur and Assembly* (DFMA). Kemudian desain baru akan dibuat dengan menggunakan *software* SOLIDWORKS versi 2018. Setelah didapatkan desain baru maka akan dilakukan perhitungan efisiensi desain sesuai dengan model perhitungan Boothroyd – Dewhurst. Jika nilai efisiensi dari desain baru hasilnya belum lebih baik dari desain lama, maka akan dilakukan desain ulang kembali hingga desain baru dinilai lebih baik dari desain lama.

2.2. Dasar Teori

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penelitian mengenai perancangan ulang *mortise lock* dan *handle* pintu menggunakan metode *Design For Manufactur and Assembly.*

2.2.1. *Design For Assembly* (DFA)

DFA adalah salah satu sistem perencanaan *assembling* yang akan menganalisa desain komponen maupun produk secara keseluruhan, yang mulai dari awal proses desain, sehingga kesulitan-kesulitan perakitan dapat diatasi sebelum komponen di produksi. Sistem ini bertujuan untuk mempermudah proses perakitan sehingga waktu dan biaya perakitan (*assembling cost*) dapat diturunkan. Dapat dikatakan bahwa DFA adalah sebagai proses pengembangan desain produk untuk mempermudah dan mempermurah biaya perakitan, tapi tetap fokus pada fungsi dan keselamatan (Yusri, 2008). Menurut Dieter dan Schmidt (2013), terdapat beberapa langkah atau pedoman dalam melakukan DFA yaitu:

a. Minimalkan total jumlah *part*

   Periksa daftar komponen dalam perakitan dan identifikasi *part* yang penting dalam penyusunan suatu produk. Kriteria untuk menentukan *part* penting dalam perakitan:

   i. *Part* bergerak relatif terhadap part lain yang dinyatakan penting.
   ii. *Part* harus berbeda bahan dari *part* lainnya.
   iii. Tidak memungkinkan untuk merakit dan membongkar *part* lain kecuali jika *part* ini terpisah (koneksi penting antar *part).*
   iv. Pemeliharaan produk memerlukan pembongkaran dan penggantian komponen.
   v. *Part* yang hanya digunakan sebagai *fastener* dan menghubungkan *part* lain adalah kandidat utama untuk dieliminasi.

b. Minimalkan *assembly surfaces*

Menyederhanakan desain sehingga lebih sedikit *surface* yang perlu disiapkan saat perakitan dan semua pekerjaan dalam satu *surface* dapat diselesaikan sebelum pindah ke bagian yang berikutnya.

c. Menggunakan *sub-assembly*

Sub-assembly dapat memberikan penghematan dalam jumlah besar karena dapat mengurangi *interface* pada saat akhir perakitan. *Sub-assembly* membutuhkan *part* yang sudah terhubung yang dapat dirakit dengan mudah dengan komponen-komponen rakitan lainnya. *Sub-assembly* dapat dirakit dan diuji di tempat lain dan dibawa ke area perakitan akhir. Produk yang dibuat dari *sub-assembly* lebih mudah untuk diperbaiki dengan mengganti *sub-assembly* yang rusak.

d. Memeriksa kesalahan desain dan *assembly*

Tujuan penting dalam DFA adalah untuk memastikan bahwa proses perakitan tidak ambigu sehingga operator tidak membuat kesalahan saat merakit komponen. Komponen harus dirancang sedemikian rupa agar hanya dapat dirakit satu arah. Cara untuk mengarahkan dan menempatkan setiap komponen harus jelas.

e. Hindari penggunaan baut

Pengencangan menggunakan baut dapat berjumlah hanya 5 persen dari biaya material suatu produk, namum tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menangani perakitan dengan menggunakan baut dapat mencapai 75 persen dari biaya perakitan. Penggunaan sekrup dalam perakitan mahal, oleh karena itu *snap fit* harus digunakan jika keadaan memungkinkan. Biaya yang terkait dengan *fastener* dapat diminimalkan dengan melakukan standarisasi pada beberapa jenis ukuran baut.

f. Minimalkan *handling* pada saat perakitan

Part harus dirancang untuk membuat posisi perakitan menjadi jelas dan mudah dicapai. Pengarahkan *part* pada saat perakitan dapat dibantu oleh fitur desain yang dapat memandu *part* untuk ditempatkan pada posisi yang tepat.

g. Minimalkan arah *assembly*

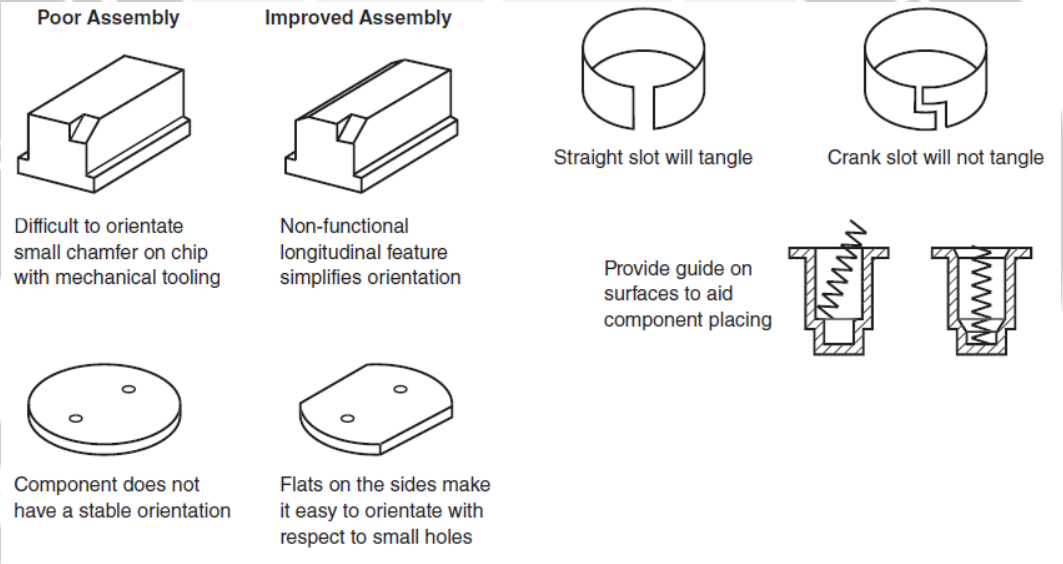
Semua produk harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dirakit dari satu arah. Rotasi rakitan memerlukan waktu dan gerakan ekstra. Situasi terbaik dalam perakitan adalah ketika *part* dirakit secara *top-down* untuk membuat tumpukan pada sumbu z.

h. Membuat akses tanpa hambatan atau penghalang

Part tidak hanya dirancang agar sesuai dengan lokasi perakitan, tetapi harus ada jalur perakitan yang memadai untuk *part* yang akan ditempatkan pada lokasinya. Hal ini juga termasuk ruang untuk lengan dan alat operator. Jika seorang pekerja harus melalui liuk untuk melakukan operasi perakitan, maka produktivitas dan kualitas produk mungkin akan berkurang setelah beberapa jam kerja.

i. Maksimalkan pemenuhan fungsi dalam perakitan

Memaksimalkan pemenuhan fungsi dalam perakitan dapat dilakukan dengan merancang salah satu komponen produk sebagai bagian dasar *part* lain pada proses perakitan. Hal ini mungkin memerlukan desain yang tidak berhubungan dengan fungsi produk.



Gambar 2.1. Contoh Desain yang Memperbaiki Proses *Assembly*

2.2.2. *Design For Manufacture* (DFM)

Design For Manufacturing (DFM) merupakan sebuah metode untuk menurunkan biaya produksi dengan cara mengestimasi biaya manufaktur melalui pengurangan biaya komponen, biaya perakitan, dan biaya pendukung produksi lainnya berdasarkan data usulan desain tanpa mengesampingkan kualitas produk (Miftahudin, 2012). *Design For Manufacturing* memberi kesadaran akan pentingnya desain sebagai alat untuk mempertimbangkan semua langkah produksi secara bijaksana. Tujuan DFM dapat dicapai dengan menggunakan

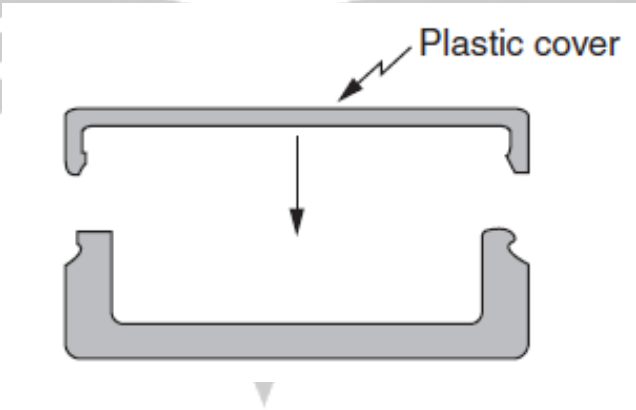
pendekatan *Concurrent Engineering*. Menurut Dieter dan Schmidt (2013), terdapat beberapa pedoman dalam melakukan DFM yaitu:

a. Meminimalkan total jumlah *part*

   Mengeliminasi *part* dapat membuat penghematan yang bagus. *Part* yang dieliminasi membuat tidak adanya biaya *part* untuk dibuat, dirakit, dipindah, disimpan, dibersihkan, diinspeksi atau diservis. Namun, pengurangan *part* tidak boleh terlalu jauh atau terlalu banyak sehingga menambah biaya karena bagian yang tersisa menjadi terlalu berat atau kompleks. Mengeliminasi *part* dapat menggunakan 3 pertanyaan sebagai berikut:

   i. Apakah *part* bergerak relatif antar satu dan yang lain?
   ii. Apakah *part* tersebut berbeda material dari part lain?
   iii. Apakah *part* memang harus dipisahkan?

   Jika salah satu jawaban dari pertanyaan di atas adalah iya, maka *part* tersebut harus dipertahankan. Jika semua jawaban dari pertanyaan di atas adalah tidak maka *part* bisa digabungkan. Cara terbaik untuk mengeliminasi *part* adalah membuat jumlah *part* minimun namun sesuai dengan kebutuhan dan konsep awal desain yang telah ditentukan. Melakukan kombinasi dua atau lebih *part* menjadi satu kesatuan juga merupakan salah satu pendekatan dalam DFM. Contoh dari DFM adalah melihat keuntungan dengan membuat komponen dari plastik sehingga dapat menggunakan *snap-fits* (metode perakitan yang menggunakan bahan fleksibel, biasanya dirakit dengan mendorong bagian-bagiannya) daripada menggunakan sekrup.



Gambar 2.2. Contoh Penggunaan Metode *Snap-fits*

Komponen yang terbuat dari bahan dasar plastik, proses pembuatannya biasa menggunakan proses *injection molding* plastik. Rumus yang biasa digunakan untuk menghitung biaya produksi per *part* dalam proses *injection molding* adalah:

$$\text{Biaya total} = \frac{\text{Biaya bahan baku} + \dfrac{\textit{Direct labor cost}}{3600/\textit{cycle time}} + \dfrac{\text{Biaya depresiasi}}{3600/\textit{cycle time}}}{\textit{number of cavity}} \qquad (2.1)$$

Keterangan:

Biaya total	: biaya total permbuatan satu *part*
Biaya bahan baku	: biaya bahan baku per *part*
Direct labor cost	: biaya pekerja untuk membuat satu *part*
Biaya depresiasi	: biaya depresiasi mesih untuk mengerjakan satu *part*
Cycle time	: waktu yang dibutuhkan untuk membuat satu *part*
Number of cavity	: jumlah *cavity* yang digunakan dalam satu kali proses *injection molding*

b. Menstandardisasi komponen

Biaya akan diminimasi dan kualitas akan ditingkatkan ketika suatu produk menggunakan komponen standard. Manfaat lain juga dapat terjadi jika perusahaan menstandardisasi desain *part* seperti ukuran, bahan dan proses pembuatan yang di produksi perusahaan tersebut. Hasil uji dan *life cycle* komponen standard mungkin telah ditetapkan, sehingga dapat mereduksi biaya melalui pengurangan kuantitas, penghapusan upaya desain, menghindari peralatan dan biaya perkakas dan dapat mengontrol inventaris yang lebih baik.

c. Menggunakan komponen umum untuk menyusun produk

Hal yang bagus jika suatu perusahaan dapat menggunakan suatu *part* untuk dijadikan komponen penyusun lebih dari satu produk. Perusahaan dapat menentukan material, *part* dan *sub-assembly* yang sama pada suatu produk sebanyak mungkin. Hal ini dapat mengurangi biaya per unit, menyederhanakan pelatihan operator dan kontrol proses.

d. Menstandardisasi fitur desain

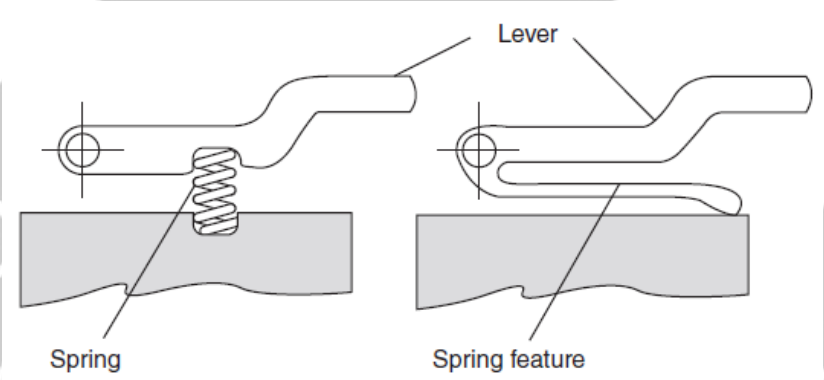
Menstandardisasi fitur desain seperti ukuran lubang *drill* dan tipe sekrup dapat mereduksi biaya manufaktur.

e. Menjaga desain tetap fungsional dan sederhana

Mencapai fungsionalitas adalah hal yang penting, tetapi jangan membuat kinerja lebih banyak daripada yang telah ditentukan. Dalam DFM, desain harus mencapai fungsionalitas namun tetap sederhana.

f. Mendesain *part* menjadi multifungsi

Salah satu cara yang baik dalam meminimasi jumlah komponen adalah mendesain komponen tersebut menjadi dapat digunakan untuk memenuhi lebih dari satu fungsi (multifungsi). Salah satu contoh mendesain *part* menjadi multifungsi adalah membuat desain suatu komponen dengan menggabungkan *part* dengan fungsi pegas sehingga tidak memerlukan *spring.*



Gambar 2.3. Contoh Membuat *Part* Multifungsi

g. Mendesain *part* untuk kemudahan fabrikasi

Dalam memilih bahan yang diutamakan adalah bahan paling murah yang memenuhi persyaratan fungsionalitas. Sering terjadi bahwa material yang memiliki kekuatan lebih tinggi cenderung mempersulit pada tahap fabrikasi. Biaya lebih banyak dikeluarkan untuk membeli bahan yang memiliki kekuatan tinggi dan ditambah dengan biaya untuk memproses material itu menjadi bentuk yang diinginkan. Biaya permesinan untuk membentuk suatu *part* cenderung mahal, maka dari itu proses manufaktur yang menghasilkan *part* yang mendekati hasil akhir namun masih memerlukan tahap *finishing* (*near net shape*) lebih sering digunakan karena dapat menghilangkan atau meminimalkan permesinan. Memvisualisasikan langkah-langkah yang akan digunakan operator mesin untuk membuat suatu part merupakan hal yang penting karena perusahaan dapat meminimalkan proses manufaktur yang diperlukan untuk membuat sebuah part.

h. Hindari toleransi yang terlalu ketat

Toleransi harus diatur dengan hati-hati. Menerapkan tingkat toleransi lebih ketat dari yang dibutuhkan dapat menghasilkan peningkatan biaya seperti biaya untuk *secondary finishing* yang memerlukan tingkat kepresisian yang lebih ekstra.

i. Meminimalkan tahap *secondary* dan *finishing*

   Minimalkan *secondary operations* seperti *heat treatment*, permesinan, pengelasan, dan hindari *finishing operations* seperti mengurangi atau menghilangkan sisa logam dan menghaluskan permukaan (*deburring*), pengecatan, pelapisan dan pemolesan.

j. Memanfaatkan karakteristik khusus dari proses

   Terdapat fitur desain khusus yang terdapat dalam proses, misalnya polimer yang dicetak dan dapat sekaligus memberikan warna (*built-in*), berbeda dengan logam yang perlu dicat.

2.2.3. *Assembly Efficiency*

Unsur penting dari metode DFA adalah penggunaan ukuran indeks DFA atau "efisiensi perakitan" dari desain yang diusulkan. Secara umum, dua faktor utama yang mempengaruhi biaya perakitan suatu produk atau *subassembly* adalah:

a. Jumlah komponen dalam suatu produk.

b. Kemudahan penanganan, pemasangan, dan pengikatan komponen.

Indeks DFA adalah angka yang diperoleh dengan membagi waktu perakitan minimum teoritis dengan waktu perakitan aktual. Persamaan untuk menghitung indeks DFA E_{ma} adalah:

$$E_{ma} = \frac{N_{min} t_a}{t_{ma}} \tag{2.2}$$

Keterangan:

N_{min} = Jumlah minimum *part theoretical*

t_a = Waktu perakitan dasar untuk satu *part* (3 detik)

t_{ma} = Perkiraan waktu untuk perakitan produk

Sistem klasifikasi Boothroyd-Dewhurts menyusun nilai dari *handling* (*acquiring, orienting,* dan perpindahan *part*) dan *insertion* dan *fastening* (memasangkan *part* ke *part* lainnya atau sekumpulan part) menjadi dua tabel yaitu *manual handling estimated times* (Gambar 2.4.) dan *manual insertion estimated times* (Gambar 2.5.).

Key:

One hand

Parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools			Parts are easy to grasp and manipulate					Parts present handling difficulties (1)				
			Thickness >2 mm			Thickness ≤2 mm		Thickness >2 mm			Thickness ≤2 mm	
			Size >15 mm	6 mm ≤ size >15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(α+β) < 360°	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	360° ≤ (α+β) < 540°	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
	540° ≤ (α+β) < 720°	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	(α+β) = 720°	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

One hand with grasping aids

Parts can be grasped and manipulated by one hand but only with the use of grasping tools			Parts need tweezers for grasping and manipulation								Parts need standard tools other than tweezers	Parts need special tools for grasping and manipulation
			Parts can be manipulated without optical magnification				Parts require optical magnification for manipulation					
			Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present handling difficulties (1)		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present handling difficulties (1)			
			Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α ≤ 180°	0 ≤ β ≤ 180°	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
α ≤ 180°	β = 360°	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
α = 360°	α ≤ β ≤ 180°	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
α = 360°	β = 360°	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10

Two hands for manipulation

		Parts present no additional handling difficulties					Parts present additional handling difficulties (e.g. sticky, delicate, slippery, etc.) (1)				
		α ≤ 180°			α = 360°		α ≤ 180°			α = 360°	
		Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Parts severely nest or tangle or are flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if necessary) (2)	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7

Two hands or assistance required for large size

		Parts can be handled by one person without mechanical assistance								Parts severely nest or tangle or are flexible (2)	Two persons or mechanical assistance required for parts manipulation
		Parts do not severely nest or tangle and are not flexible									
		Part weight <10 lb				Parts are heavy (>10 lb)					
		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present other handling difficulties (1)		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present other handling difficulties (1)			
		α ≤ 180°	α = 360°	α ≤ 180°	α = 360°	α ≤ 180°	α = 360°	α ≤ 180°	α = 360°		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Two hands, two persons or mechanical assistance required for grasping and transporting parts	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Gambar 2.4. ***Manual Handling Estimated Times***

Key:

Part added but not secured

Part secured immediately

Separate operation

			Alter assembly no holding down required to maintain orientation and location (3)				Holding down required during subsequent processes to maintain orientation at location (3)			
			Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align or position during assembly		Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align or position during assembly	
			No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)
			0	1	2	3	6	7	8	9
Addition of any part (1) where neither the part itself not any other part is finally secured immediately: Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location		0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5
Addition of any part (1) where neither the part itself not any other part is finally secured immediately: Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location: Due to obstructed access or restricted vision (2)		1	4	5	5	6	8	9	9	10
Addition of any part (1) where neither the part itself not any other part is finally secured immediately: Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location: Due to obstructed access and restricted vision (2)		2	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5

		No screwing operation or plastic deformation immediately after insertion (snap/press fits,circlips,spire nuts,etc.)		Plastic deformation immediately after insertion						Screw tightening immediately after insertion	
				Plastic bending or torsion			Riveting or similar operation				
					Not easy to align or position during assembly			Not easy to align or position during assembly			
		Easy to align and position with no resistance to insertion (4)	Not easy to align or position during assembly and/or resistance to insertion (5)	Easy to align and position during assembly (4)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	Easy to align and position during assembly (4)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	Easy to align and position with no torsional resistance (4)	Not easy to align or position and/or torsional resistance (5)
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately: Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily	3	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
Addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately: Part and associated tool (including hands) cannot easily reach desired location or tool cannot be operated easily: Due to obstructed accessor restricted vision (2)	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
Addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately: Part and associated tool (including hands) cannot easily reach desired location or tool cannot be operated easily: Due to obstructed access and restricted vision (2)	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12

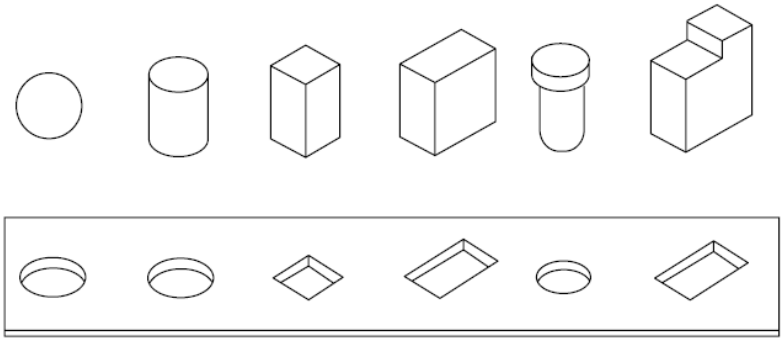
		Mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)				Non-mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)				Non-fastening processes	
		None or localized plastic deformation				Metallurgical processes					
							Additional material required				
		Bending or similar process	Riveting or similar processes	Screw tightening or other processes	Bulk plastic deformation (large proportion of part is plastically deformed during fastening)	No additional material required (e.g. resistance, friction welding, etc.)	Soldering processes	Weld/braze processes	Chemical processes (e.g. adhesive bonding, etc.)	Manipulation of parts or sub-assembly (e.g. orienting, fittings or adjustment of part(s), etc.)	Other processes (e.g. liquid insertion, etc.)
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	8
Assembly processes where all solid parts are in place	9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12

Gambar 2.5. ***Manual Insertion Estimated Times***

Berikut ini merupakan dua jenis simetri suatu part yang mempengaruhi *handling time*:

a. Alpha Symmetry: sudut di mana suatu bagian harus diputar pada sumbu tegak lurus terhadap sumbu *insertion* untuk mengulangi orientasinya.

b. Beta Symmetry: sudut di mana suatu bagian harus diputar pada sumbu *insertion* untuk mengulangi orientasinya.



α	0	180	180	90	360	360
β	0	0	90	180	0	360

Gambar 2.6. Simetri Putar dari Beberapa *Part*

Nilai efisiensi perakitan suatu produk dapat dihitung dengan memperhitungkan:

a. Jumlah item

   Kebutuhan komponen untuk merakit satu buah produk.

b. *Handling Code*

   Didapatkan dari tabel *manual handling estimated times* dengan memperhitungkan simetri putar, ketebalan, serta material *handling* suatu komponen.

c. *Handling Time Per Item*

   Handling time dapat dilihat dari tabel *manual handling estimated times* dengan menyesuaikan *handling code* komponen tersebut.

d. *Insertion Code*

   Didapatkan dari tabel *manual insertion estimated times* dengan menganalisis tindakan pada saat proses *insertion* dan *fastening* suatu komponen.

e. *Insertion Time Per Item*

   Insertion time dapat dilihat dari tabel *manual Insertion estimated times* dengan menyesuaikan *Insertion code* komponen tersebut.

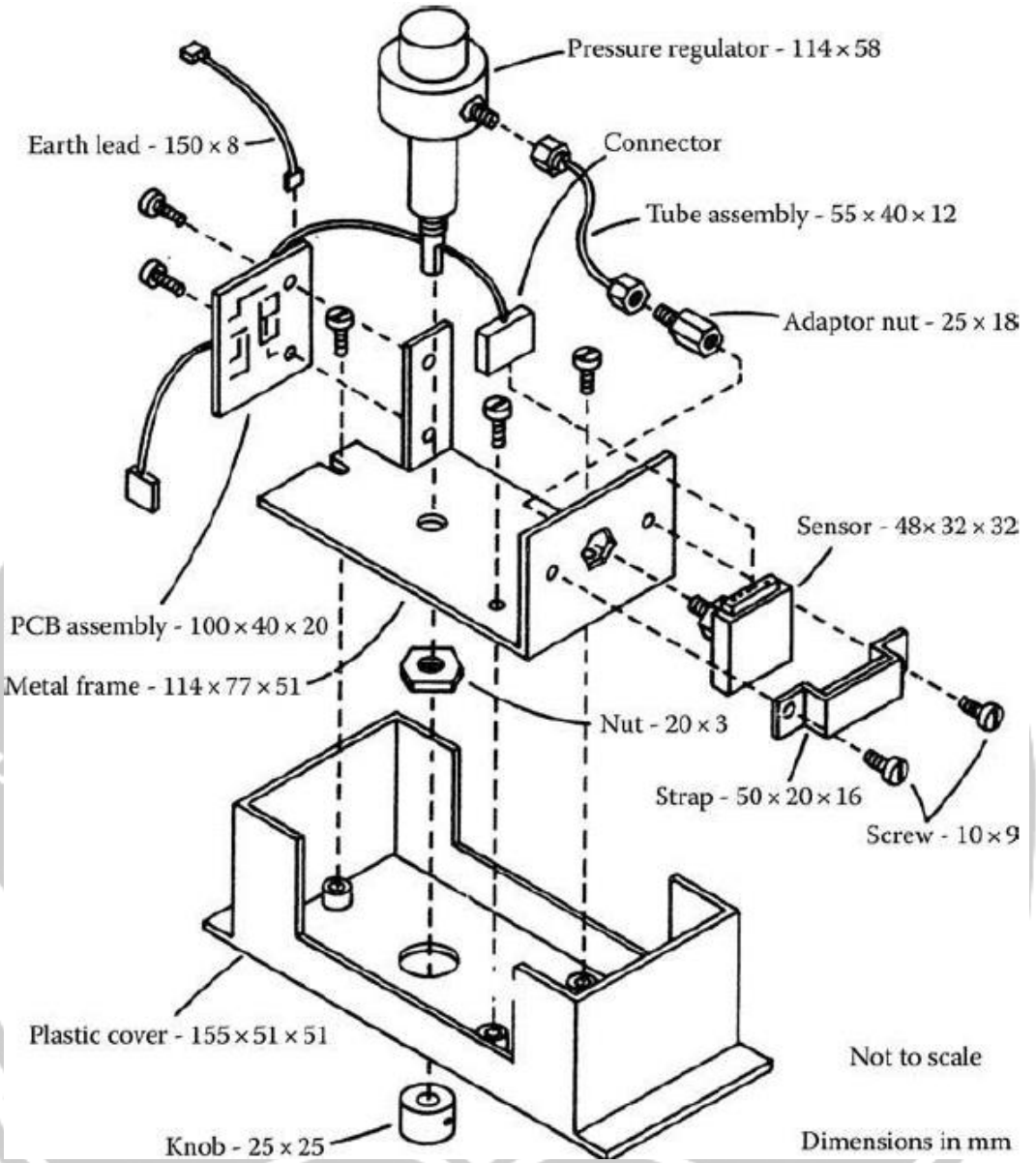
f. *Total Operation Time*

   Merupakan hasil penjumlahan dari *handling* dan *insertion times* dikali dengan jumlah item ditambah dengan *tool acquisition time* (TA) jika diperlukan.

g. *Figures for Minimum Parts*

   Merupakan jumlah minimum *theoretical part.*

Berikut ini merupakan contoh penerapan DFA pada *controller assembly*. Perhitungan efisiensi perakitan menggunakan sistem klasifikasi Boothroyd-Dewhurts.



Gambar 2.7. Desain Awal *Controller Assembly*

Gambar di atas merupakan gambar dari desain awal *controller assembly*. Pada gambar tersebut dijelaskan mengenai part penyusun *controller assembly*. Setelah mengetahui komponen penyusun produk, maka selanjutnya adalah menganalisis setiap komponen yang akan diredesain. Berikut ini merupakan tabel analisis desain awal *controller assembly*. Pada tabel ini akan dijelaskan mengenai nama dan jumlah *items*, waktu handling dan insertion setiap komponen, total waktu perakitan dan jumlah minimum *theoretical part.*

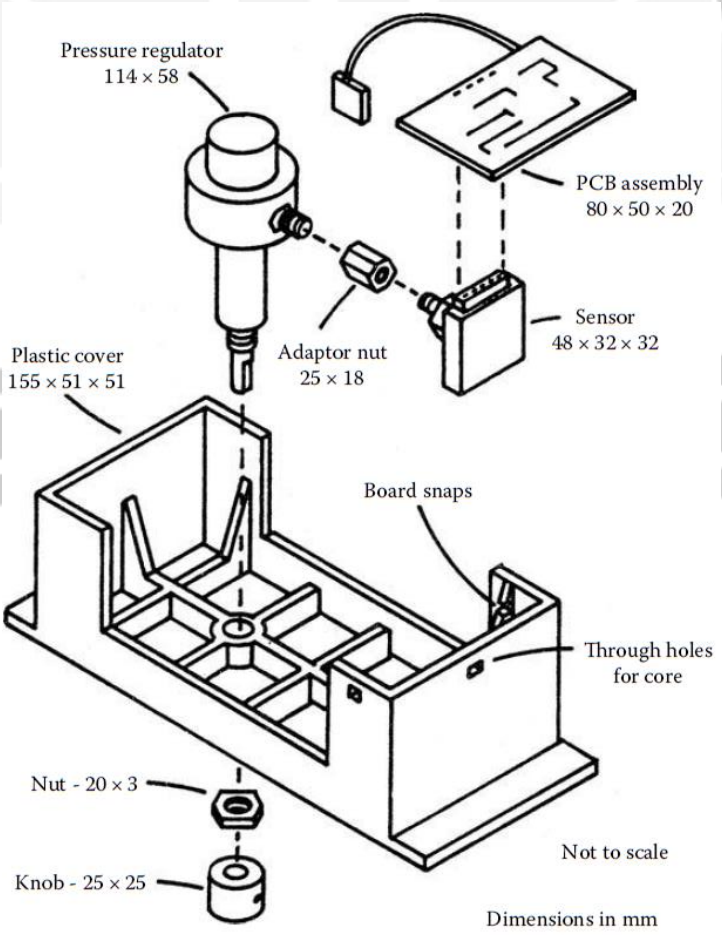
Item name	Number of items	Manual handling code	Handling time per item, s	Manaual insertion code	Insertion time per item, s	Total operation time, s	Figures for min. parts	Description
1. Pressure regulator	1	30	1.95	00	1.50	3.45	1	Place in fixture
2. Metal frame	1	30	1.95	06	5.50	7.45	1	Add
3. Nut	1	00	1.13	36	8.00	9.13	0	Add and screw fasten
4. Reorientation	1			98	9.00	9.00		Reorient and adjust
5. Sensor	1	30	1.95	08	6.50	8.45	1	Add
6. Strap	1	20	1.80	08	6.50	8.30	0	Add and hold down
7. Screw	2	11	1.80	39	8.00	19.60	0	Add amd screw fasten
8. Apply tape	1			99	12.00	12.00		Operation
9. Adapter nut	1	10	1.50	49	10.50	12.00	0	Add and screw fasten
10. Tube assembly	1	91	3.00	10	4.00	7.00	0	Add and screw fasten
11. Screw fastening	1			92	5.00	5.00		Operation
12. PCB assembly	1	83	5.60	08	6.50	12.10	1	Add and hold down
13. Screw	2	11	1.80	39	8.00	19.60	0	Add and screw fasten
14. Connector	1	30	1.95	31	5.00	6.95	0	Add and snap fit
15. Earth lead	1	83	5.60	31	5.00	10.60	0	Add and snap fit
16. Reorientation	1			98	9.00	9.00		Reorient and adjust
17. Knob assembly	1	30	1.95	08	6.50	8.45	1	Add and screw fasten
18. Screw fastening	1			92	5.00	5.00		Operation
19. Plastic cover	1	30	1.95	08	6.50	8.45	0	Add and hold down
20. Reorientation	1			98	9.00	9.00		Reorient and adjust
21. Screw	3	11	1.80	49	10.50	36.90	0	Add and screw fasten
Totals	**25**					**227.43**	**5**	

Gambar 2.8. Analisis Desain Awal *Controller Assembly*

Perubahan desain akan dibahas pada tabel perubahan dan analisis desain. Pada tabel ini akan dibahas mengenai perubahan desain apa saja yang akan dilakukan, item apa yang dieliminasi serta waktu yang dapat direduksi oleh desain baru.

Tabel 2.1. Perubahan dan Analisis Desain

No.	Perubahan Desain	*Items*	*Time Saving* (s)
1	Kombinasi plastik cover dengan *frame*, eliminasi tiga sekrup dan reorientasi.	19,20,21	52,05
2	Eliminasi *strap* dan dua sekrup (dengan mengubah *plastic frame*).	6,7	24,1
3	Eliminasi sekrup pada PCB *assembly* (dengan mengubah *plastic frame*).	13	17,1
4	Eliminasi dua reorientasi.	4,16	9
5	Eliminasi *tube assembly* dan dua sekrup (tempatkan adaptor *nut* dan sensor searah dengan *pressure regulator*).	10,11	17,4
6	Eliminasi *earth lead* (tidak dibutuhkan jika menggunakan *plastic frame*).	15	8,7
7	Eliminasi *connector* (rakit sensor ke PCB)	14	5,25



Gambar 2.9. Hasil Redesain *Controller Assembly*

Item name	Number of items	Manual handling code	Handling time per item, s	Manual insertion code	Insertion time per item, s	Total operation time, s	Figures for min. parts	Description
1. Pressure regulator	1	30	1.95	00	1.50	3.45	1	Place in fixture
2. Plastic cover	1	30	1.95	06	5.50	7.45	1	Add and hold down
3. Nut	1	00	1.13	39	8.00	9.13	0	Add and screw fasten
4. Knob assembly	1	30	1.95	08	6.50	8.45	1	Add and screw fasten
5. Screw fastening	1			92	5.00	5.00		Operation
6. Reorientation	1			98	9.00	9.00		Reorient
7. Apply tape	1			99	12.00	12.00		Operation
8. Adaptor nut	1	10	1.50	49	10.50	12.00	0	Add and screw fasten
9. Sensor sub.	1	30	1.95	39	8.00	9.90	1	Add and screw fasten
10. PCB assembly	1	83	5.60	30	2.00	7.60	1	Add and snap fit
Totals	**10**					**83.98**	**5**	

Gambar 2.10. Analisis *Redesign Controller Assembly*

Hasil dari analisis perancangan ulang *controller assembly* menggunakan metode *Design For Assembly* (DFA) dapat disimpulkan bahwa desain baru *controller assembly* mengurangi total jumlah komponen dan mengurangi waktu perakitan. Waktu perakitan desain awal *controller assembly* adalah 227,43 detik dan waktu perakitan hasil redesain 83,98 detik. Jika dilakukan perhitungan efisiensi desain dengan menggunakan persamaan 2.2. maka akan ketahui bahwa desain baru akan meningkatkan nilai efisiensi sebesar 11,26%.