

PENERAPAN *DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA)* PADA ENGSEL SEPEDA LIPAT (*FOLDING BIKE*)

Hendri DS Budiono, Yusri
Laboratorium Teknologi Manufaktur
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Indonesia
e-mail: hendri@eng.ui.ac.id

Abstrak

Sepeda adalah salah satu alternatif alat transportasi yang saat ini diharapkan mampu mengatasi masalah polusi, kemacetan jalan, ataupun ketergantungan orang akan bahan bakar fosil yang semakin menipis. Walaupun pemanfaatan sepeda sangat praktis akan tetapi sepeda kurang mampu mengatasi kecepatan waktu tempuh dari satu tempat ketempat yang lain, sehingga dimungkinkan seseorang harus melakukan perpindahan dari satu moda transportasi ke moda transportasi lain demi mempercepat waktu tempuh sampai ketujuan. Hal ini tentunya yang mendasari perlunya suatu sepeda yang dapat dilipat agar mudah untuk dibawa atau bahkan disimpan pada suatu tempat yang terbatas.

Engsel pada disain sepeda lipat adalah bagian yang harus mendapatkan perhatian khusus dalam proses disainnya juga tentunya termasuk proses assembling dari sepeda lipat tersebut, sehingga sepeda dapat dengan mudah dilipat karena waktu proses lipat yang singkat serta kemudian mudah dibawa oleh si pengendaranya

Evaluasi disain engsel yang ada dengan menggunakan metode DFA dilakukan dalam penelitian ini. DFA adalah salah satu sistem perencanaan assembling diawal proses disain, yang mempunyai fungsi untuk menganalisa suatu rancangan produk secara keseluruhan. Dari analisa DFA yang dilakukan pada disain awal didapat efisiensi assembly sebesar 0,44 (44%) atau sama dengan 47,85 detik waktu yang diperlukan untuk proses assembling dan setelah dilakukan pengembangan terhadap disain engsel didapat efisiensi assembly menjadi 0,63 (63%) atau sama dengan waktu assembling turun menjadi 33,1 detik.

Keyword : Sepeda Lipat, DFA, Assembly

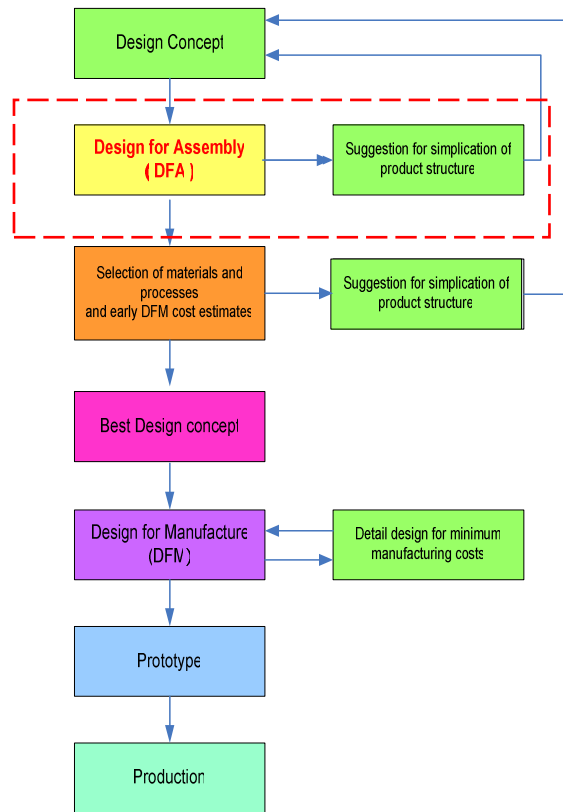
Pendahuluan

Membawa/memindahkan/menjinjing sepeda dalam keadaan ukuran normal terkadang mengalami kendala, seperti naik pesawat, naik mobil, dibawa kedalam rumah pada flat atau rumah susun dan lain-lain. Untuk mengatasi hal tersebut diatas perlu dirancang sepeda yang dapat dilipat dengan ukuran seminimal mungkin. Salah satu cara adalah dengan mengembangkan sistim rakitan rangkanya dengan menggunakan engsel sehingga sepeda bisa dilipat pada saat akan dibawa dan dirakit kembali pada saat akan dikendarai tanpa menurunkan unjuk kerja dari sepeda tersebut. Hal ini tentunya dalam proses perancangan dan manufaktur sepeda lipat, harus didisain sedemikian rupa sejak awal sehingga disain benar-benar sempurna dan biaya produksi dapat direduksi sekecil mungkin.

Design For Assembly (DFA) adalah salah satu sistim perencanaan *assembling* yang dapat digunakan untuk menganalisa suatu disain produk pada awal proses disain, sehingga kesulitan-kesulitan dalam perakitan dapat diketahui dan diatasi sebelum sepeda di produksi. Posisi DFA dalam proses disain secara keseluruhan dapat dilihat dari gambar 1 dibawah. Sistim ini bertujuan untuk mempermudah proses perakitan sehingga waktu dan biaya perakitan (*assembling cost*) dapat diturunkan. Dapat dikatakan bahwa DFA adalah suatu proses pengembangan suatu disain produk untuk mempermudah dan mempermurah biaya perakitan, tapi tetap fokus pada aspek fungsi dan keselamatan. Proses *assembling* merupakan proses yang memakan waktu yang cukup besar dalam proses manufaktur (53% dari total waktu produksi dan 22% ongkos buruh) dan 12% dari biaya manufaktur. [4].

Secara umum ada dua faktor utama yang dapat mempengaruhi waktu perakitan, yaitu : (1) Jumlah parts/komponen yang akan membentuk suatu produk dan (2) Kemudahan dalam *handling, insertion*, dan *fastening* dari masing-masing part untuk di rakit. Sedangkan sistem perakitan /assembling biasanya dibedakan menjadi : (1) Manual Assembly (2) Semi-Automatic Assembly (3) Addaptive Assembly (4) Automatic Assembly dan (5) Flexible Assembly. Dalam penelitian ini hanya di bahas

sistem manual assembly, sistem yang lain pasti akan bisa dan mudah diterapkan kalau bisa dilakukan dengan manual assembly [1].



Gambar 1: Alur penerapan DFA pada proses DFMA [1]

DESIGN FOR MANUAL ASSEMBLY

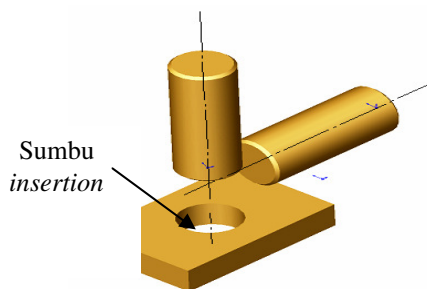
Berkaitan dengan Manual assembly, maka 2 hal tidak akan terlepas dari pembahasan, yaitu : (1) *Handling (acquiring and grasp, moving, and orienting the part)* yaitu :

a. Apakah part/komponen bisa diambil dan dimanipulasi dengan :

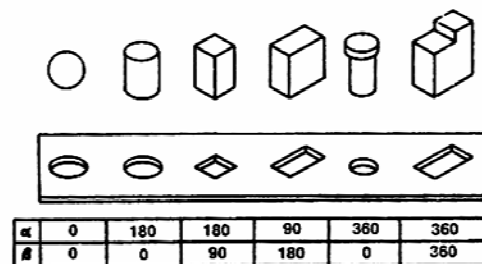
- Satu tangan
- Satu tangan dengan bantuan alat
- Dua tangan
- Dua tangan dengan bantuan orang lain.

b. Orientasi (Part symmetry),

Orientasi yang dimaksud adalah berapa derajat benda dapat diputar tegak lurus terhadap garis sumbu (α), atau segaris sumbu (β) untuk reorientasinya.



Gambar 2: Prinsip rotasi simetris *Alpha*



Gambar 3: Rotasi simetris *Alpha* dan *Beta* berbagai bentuk komponen [1]

c. **Kemudahan komponen diambil dan dimanipulasi, seperti:**

- *Acquiring* dan *grasp*
- Tidak terjadi *nesting* dan *tangling*

d. **Ketebalan produk**

- Ketebalan untuk silinder didefinisikan sebagai radiusnya
- Ketebalan untuk non silinder adalah tinggi maksimal dari permukaan plat

e. **Ukuran komponen**

Ukuran part didefinisikan sebagai ukuran dimensi nondiagonal paling besar dari *outline part* ketika diproyeksikan pada permukaan plat.

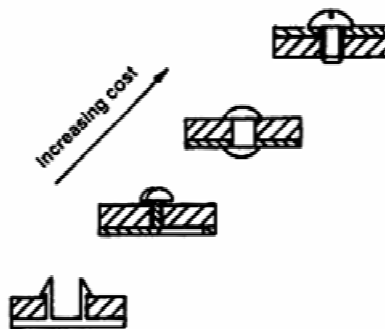
Sedangkan yang ke- (2) adalah *Insertion dan fastening*, yaitu proses penggabungan part dengan part lainnya pada waktu assembly yang terdiri dari:

a. **Insertion**, Pada saat *insertion* harus dihindari hal-hal sebagai berikut:

- *Holding Down*
- *Alignment*

b. **Fastening**

Fastening adalah menyatukan suatu komponen dengan komponen lainnya secara *fix* atau dikunci. Secara umum dapat kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 4: Metode *fastening* secara umum [1]

Waktu fastening tergantung dari pengaruh terhalangnya akses dan pandangan menacapai lokasi komponen.

Pada kedua proses tersebut akan ditemui banyak sekali hambatan dan kesulitan yang harus dikurangi atau dihilangkan pada saat proses manufaktur komponen.

Tabel Matrik Boothroyd-Dewhurst

Berdasarkan percobaan-percobaan oleh **Boothroyd-Dewhurst**, dari seluruh hambatan dan kesulitan tersebut, didapatkan nilai dari beberapa kombinasi kondisi diatas dan disusun kedalam bentuk tabel matrik *manual handling* dan *manual insertion* (lampiran 1 tabel 1 dan lampiran 2 tabel 2).

Efisiensi Perakitan

Untuk mengetahui sejauh mana tingkat efisiensi perakitan dari suatu produk assembling dapat dihitung dengan rumusan berikut [1]:

$$E = NM \cdot ta / TM$$

dimana :

E = Disain Efisiensi (DFA index)

NM = Jumlah part minimum secara teoritis

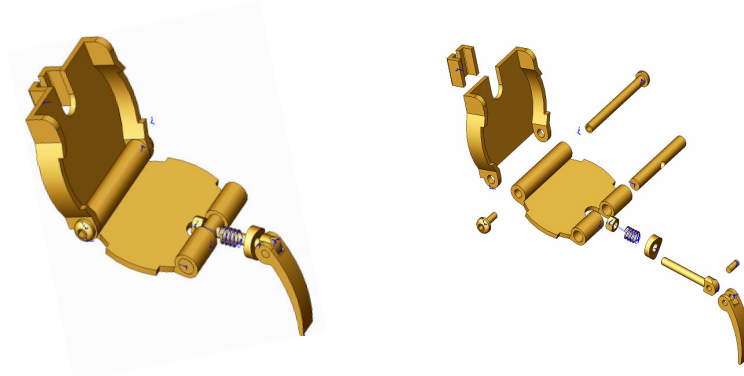
ta = Waktu perakitan dasar tiap part (rata-rata diambil 3 detik)

TM = Jumlah waktu perakitan seluruh part
Untuk menghitung efisiensi tersebut, angka atau nilai waktu assembling dari tabel matrik dimasukkan kedalam DFA worksheet (tabel 4 dan 5)

Analisa DFA Engsel Sepeda Lipat

Engsel merupakan bagian kritis dari sepeda lipat karena engsel akan mananggung beban yang bekerja pada rangka utama sepeda. Oleh sebab itu engsel harus dirancang dengan baik agar mampu manahan beban tersebut.

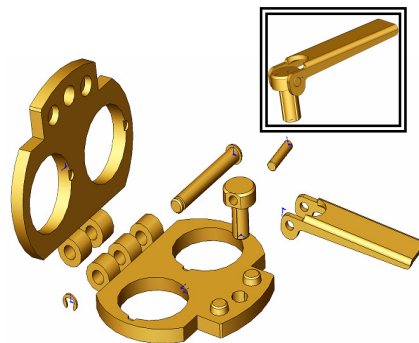
Berikut adalah gambar engsel sepeda lipat yang sudah ada dipasaran.



Gambar 5: Engsel yang sudah ada

Engsel tersebut mempunyai 12 buah komponen dengan segala kerumitan proses manufakturnya. Bila di analisa proses perakaitannya dengan menggunakan tabel matrik Boothroyd-Dewhurst, maka akan didapatkan waktu perakitan sebesar 72,45 detik dan efisiensi perakaitannya adalah 0,41 (41%) (Tabel. 4)

Dengan merubah beberapa fitur tanpa merubah fungsi, maka engsel tersebut dapat di kembangkan menjadi bentuk berikut.



Gambar 6: Komponen engsel yang dikembangkan

Dari hasil analisa DFA maka didapat waktu perakitanya sebesar 33,1 detik dengan efisiensi perakitan 0,63 (63%)(tabel. 5). Jadi terdapat selisih waktu sebesar 39,35 detik atau lebih dari 200%.

Tabel 4: Analisa DFA Desain Engsel Yang Ada

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Part ID No.	Number of times the operation is carried out consecutivity	Manual Handling Code	Manual Handling Time per part	Manual Insertion Code	Manual Insertion Time per part	Operation Time, seconds (2) x ((4) + (6))	Operation Cost, cents (Rp) x (7)	Figures for Estimation of Theoretical Minimum Parts	Name of Assembly
	1	3,0	1.95	0,0	1.5	3.45	17	1	Plat engsel-1
	1	3,0	1.95	0,2	2.5	4.45	22	1	Plat engsel-2
	1	1,0	1.5	0,8	6.5	8	40	1	Poros engsel
	1	1,0	1.5	3,9	8	9.5	48	1	Baut Poros engsel
	1	0,0	1.13	0,0	1.5	2.63	13	0	Poros pengunci
	1	1,0	1.5	3,8	6	7.5	38	1	Baut pengunci
	1	0,0	1.13	3,2	4	5.13	26	1	Pin pengunci
	1	1,0	1.5	0,2	2.5	4	20	1	Cam pengunci
	1	0,5	1.84	0,0	1.5	3.34	17	0	Pegas
	1	1,0	1.5	3,8	6	7.5	38	1	Mur
	1	1,0	1.5	0,0	1.5	3	15	1	Bantalan cam
	1	3,0	1.95	9,6	12	13.95	70	1	Tumpuan pengunci
Total	12					72.45	362	10	Design Effiseiency = 3 x NM / TM =
						TM	CM	NM	0.41

Tabel 5: Analisa DFA Desain Engsel Yang Dikembangkan

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Part ID No.	Number of times the operation is carried out consecutivity	Manual Handling Code	Manual Handling Time per part	Manual Insertion Code	Manual Insertion Time per part	Operation Time, seconds (2) x ((4) + (6))	Operation Cost, cents (Rp) x (7)	Figures for Estimation of Theoretical Minimum Parts	Name of Assembly
1	1	3,0	1.95	0,0	1.5	3.45	1,035	1	Plat engsel-1
2	1	3,0	1.95	0,0	1.5	3.45	1,035	1	Plat engsel-2
3	1	0,0	1.13	0,0	1.5	2.63	789	1	Pin engsel
4	1	2,3	2.36	3,0	2	4.36	1,308	1	Circlip ring
5	1	1,0	1.13	3,8	6	7.13	2,139	1	Baut pengunci
6	1	0,0	1.13	3,2	4	5.13	1,539	1	Pin baut pengunci
7	1	3,0	1.95	3,3	5	6.95	2,085	1	Tuas pengunci
							-		
							-		
Total	7					33.1	9,930	7	Design Effiseiency = 3 x NM / TM =
						TM	CM	NM	0.63

Kesimpulan

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa untuk memudahkan membawa sepeda pada saat tidak dikendarai maka sepeda perlu didesain agar dapat dilipat sehingga ukurannya menjadi kecil dan mudah dijinjing/dibawa kemana-mana.

Dalam merancang sepeda lipat tersebut agar biaya produksinya bisa ditekan serendah mungkin maka harus kita desain proses manufaktur (DFM) dan assemblingnya (DFA) sedemikian rupa dan desain ini harus dilakukan diawal proses desain, sehingga efisiensi assmbly dapat kita peroleh sebesar mungkin.

Dari penerapan DFA pada komponen engsel lipatan diatas dapat kita lihat bahwa pada desain awal efisiensi assembly hanya 0,44 (44%), dimana waktu assembling 47,85 detik. Setelah dilakukan pengembangan desain maka efisiensi meningkat menjadi 0,63 (63%) dan waktu assembling turun menjadi 33,1 detik.

Jadi dapat dilihat peningkatan efisiensi yang sangat *significant* dari penerapan DFA pada komonen tersebut. Dan kalau ini diterapkan pada seluruh komponen sepeda maka waktu produksi akan turun besar sekali dan pada akhirnya akan menurunkan biaya produksi. Untuk proses assembling keseluruhan tersebut dengan metoda yang sama didapat efisiensi assemblynya sebesar 0,59 (59%) dengan total waktu assembling 795,1 detik atau 13,25 menit.

Daftar Acuan.

- Geoffrey Boothroy, Peter Dewhurst and Winston Knight. **Product Design for Manufacture and Assembly**. Second Edition. Marcel Dekker, Inc. New York, 2002.
- E. Paul Degarmo JT. Black, Ronald A. Kohser “ **Material and Process in Manufacturing**” Ninth Edition. John Wiley & Sons. Inc. 2003
- Schey, John A . **Introduction To Manufacturing Processes**. Second Edition. Mc.Graw-Hill International Editions. Singapore 1987
- Dr. SG Lee. Training MAterial Design for Assembly and Dis-Assembly. Nanyang Technological University. Singapore 2006.

Lampiran 1

Tabel 1: Tabel matrik penhitungan waktu handling [6]
MANUAL HANDLING: ESTIMATED TIME (SECONDS)

Key:

	ONE HAND
--	-----------------

Part can be grasped and manipulation by one hand without the aid of grasping tools	$(\alpha+\beta) < 360^\circ$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	$360^\circ < (\alpha+\beta) < 540^\circ$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
	$540^\circ < (\alpha+\beta) < 720^\circ$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	$(\alpha+\beta) = 720^\circ$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

Part can be grasped and manipulation by one hand but only with the use of grasping tools	$\alpha \leq 180^\circ$	$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
	$\alpha \leq 180^\circ$	$\beta = 360^\circ$	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq \beta \leq 180^\circ$	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
	$\alpha = 360^\circ$	$\beta = 360^\circ$	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10

Part are easy to grasp and manipulate	Thickness > 2mm					Thickness < 2mm					
	Size < 15 mm		6mm ≤ size ≤ 15mm		Size < 6 mm	Size > 6 mm		Size ≤ 6 mm			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Part are easy to grasp and manipulate	Parts need tweezers for grasping and manipulation				Parts cab 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)		Parts need standard tools other than tweezers		Parts need special tools for grasping and manipulation	
	Thickness > 0,25mm		Thickness ≤ 0,25mm		Thickness > 0,25mm		Thickness ≤ 0,25mm					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Parts present no additional handling difficulties	$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$					
	Size < 15 mm		6mm ≤ size ≤ 15mm		Size < 6 mm	Size > 6 mm		Size ≤ 6 mm			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Parts present additional handling difficulties (e.g sticky, delicate, slippery, etc.) (1)	$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$					
	Size < 15 mm		6mm ≤ size ≤ 15mm		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 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

Part can be handled by one person without mechanical assistance	Parts do not severely nest or tangle and are not flexible										
	Parts 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)		Parts severely nest or tangle or are flexible (2)		Two persons or mechanical assistance required for parts manipulation
	$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$		$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$				
	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

Lampiran 2

Tabel 2: Tabel matrik perhitungan waktu insertion [6]

MANUAL INSERTION: ESTIMATED TIME (SECONDS)

Key :

	PART ADDED BUT NOT SECURED
--	-----------------------------------

	PART SECURED IMMEDIATELY
--	---------------------------------

	SEPARATE OPERATION
--	---------------------------

	Assembly processes where all solid parts are in place
--	---

		After 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 nor any other parts 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	
	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
		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 fit, circlips, spire, nuts, etc.)		Plastic deformation immediately after insertion				Screw tightening immediately after insertion					
				Plastic bending or torsion		Rivetting or similar operation							
		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)	Not easy to align or position during assembly	Easy to align and position during assembly (4)	Not easy to align or position during assembly	Easy to align and position with no torsional resistance (5)	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	
	Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location or tool cannot be operated easily	Due to obstructed access or restricted vision (2)	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
		Due to obstructed access and restricted vision (2)	5	6	9	8	9	10	11	12	13	0	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		Bulk plastic deformation (large proportion of part is plastically deformed during fastening)	No additional material required (e.g. resistance, friction welding etc.)	Metallurgical processes		Chemical processes (e.g. adhesive bonding etc)	Manipulation of parts or sub assembly (e.g. orienting, fitting or adjustment of parts, etc)	Other processes (e.g. liquid insertion, etc.)		
		Bending or similar processes	Rivetting or similar processes			Additional material required						
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Assembly processes where all solid parts are in place		9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12

(Dari Boothroyd and Dewhurst disampaikan dalam Presentasi Dr S G Lee Nanyang Technological University)