

## ANALISA NILAI KOMPLEKSITAS PERAKITAN YANG DIPENGARUHI OLEH URUTAN KOMPONEN

NELCE D. MUSKITA

Jurusan Teknik Mesin  
Program Studi Diploma IV Teknik Mesin  
Politeknik Saint Paul Sorong  
Email : [nelcemuskita779@gmail.com](mailto:nelcemuskita779@gmail.com)

### ABSTRAK

Tujuan dari *Design for Assembly (DFA)* adalah melakukan sebuah pengembangan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi proses perakitan (*assembly*) sehingga waktu perakitan menjadi singkat atau berkurang. Guna mengurangi atau mengefisienkan waktu perakitan, disamping material yang digunakan oleh setiap komponen urutan komponen ketika proses *handling* maupun *insertion* sangat berpengaruh terhadap besarnya pembentukan sudut alfa ( $\alpha$ ) dan beta ( $\beta$ ). Dimana kedua unsur tersebut merupakan landasan atau acuan untuk menentukan alokasi waktu dari setiap komponen pada saat proses perakitan. Dalam melakukan proses perhitungan terlebih dahulu dilakukan identifikasi jumlah komponen ( $N$ ) dan keragaman dari komponen ( $n$ ) dari sebuah produk yang akan dirakit. Prosedur yang kedua adalah melakukan identifikasi kemungkinan atau peluang urutan komponen dari sebuah produk pada saat proses perakitan. Prosedur yang ketiga adalah menentukan aspek-aspek yang sangat mempengaruhi urutan komponen pada saat proses *handling*, *insertion* maupun *fastening*. Adapun aspek yang mempengaruhi proses *handling* ( $Ch$ ) antara lain; *shape*, *geometry*, *thickness*, *symmetry*, *size*. Sementara aspek yang mempengaruhi proses *insertion* ( $Ci$ ) adalah; *holding down*, *alignment*, *insertion resistance*, *accessibility and vision*, *mechanical fastening processes*, *non-mechanical fastening processes*, *non-fastening processes*. Selanjutnya dapatlah dihitung indeks kompleksitas (tingkat kesulitan) dari produk yang akan dirakit ( $CI_{produk}$ ) dari hasil tersebut dapat dihitung kompleksitas proses perakitan ( $C_{proses assembly}$ ) dari setiap kemungkinan yang ada. Nilai indeks kompleksitas dan kompleksitas proses *assembly* yang diperoleh selanjutnya diranking berdasarkan nilai yang terkecil, dengan asumsi bahwa semakin kecil nilai kompleksitas proses perakitan maka proses perakitan akan relatif mudah dan waktu perakitan akan menjadi singkat.

**Kata Kunci : Kompleksitas, Urutan Komponen, Assembly, Handling, Insertion**

### ABSTRACT

The purpose of *Design for Assembly (DFA)* is to develop an element that affects the assembly process, so that the assembly time is short or reduced. In order to reduce or streamline assembly time, in addition to the material used by each component, the order of components when handling and insertion is very influential on the magnitude of alpha ( $\alpha$ ) and beta ( $\beta$ ) angles. Where the two elements are the basis or reference to determine the time allocation of each component during the assembly process. In carrying out the calculation process, identification of the number of components ( $N$ ) and the diversity of components ( $n$ ) in a product will be assembled. The second procedure is to identify the possibility or opportunity sequence of components of a product during the assembly process. The third procedure is to determine aspects that greatly affect the order of components during the process of handling, insertion and fastening. The aspects that affect the handling process ( $Ch$ ) include; *shape*, *geometry*, *thickness*, *symmetry*, *size*. While aspects that affect the insertion process ( $Ci$ ) are; *holding down*, *alignment*, *insertion resistance*, *accessibility and vision*, *mechanical fastening processes*, *non-mechanical fastening processes*, *non-fastening processes*. Furthermore, it can be calculated the complexity index (level of difficulty) of the product to be assembled ( $CI_{product}$ ) from these results it can be calculated the complexity of the assembly process ( $C_{process assembly}$ ) of every possibility that exists. The value of the complexity index and complexity of the assembly process obtained are then ranked based on the smallest value, assuming that the smaller the value of the complexity of the assembly process, the assembly process will be relatively easy and the assembly time will be short.

**Keywords : Complexity, Component Sequence, Assembly, Handling, Insertion**

**PENDAHULUAN**

Proses perakitan (assembly process) merupakan bagian terpenting dari rangkaian proses manufaktur, yang mana tahapan ini mengambil bagian sebesar 53% dari total waktu produksi dan 20% dari total biaya produksi. Apabila kita lebih mendalami lagi untuk permasalahan biaya produksi, maka akan terdistribusi menjadi 20% untuk biaya proses perakitan dan 80% untuk biaya material dan proses lainnya. (Nof, S.Y & Warnecke, 1997)

**KAJIAN PUSTAKA**

Desain untuk perakitan (Design for Assembly) haruslah mempertimbangkan semua tahap proses desain, tetapi yang terutama yakni pada tahap awal. sebagai desain yang mengkonseptualisasikan solusi alternatif, maka haruslah memberikan pertimbangan serius terhadap kemudahan perakitan atau sub-perakitan dari produk. Kebutuhan akan efektifitas DFA dalam menganalisis kemudahan perakitan atau sub-perakitan dari desain produk, yang mana dapatlah memberikan hasil yang cepat dan sederhana serta mudah digunakan. Ini juga harus dapat memastikan konsistensi dan kelengkapan dalam evaluasi atas kemampuan perakitan dari produk. (Boothroyth, 2001)

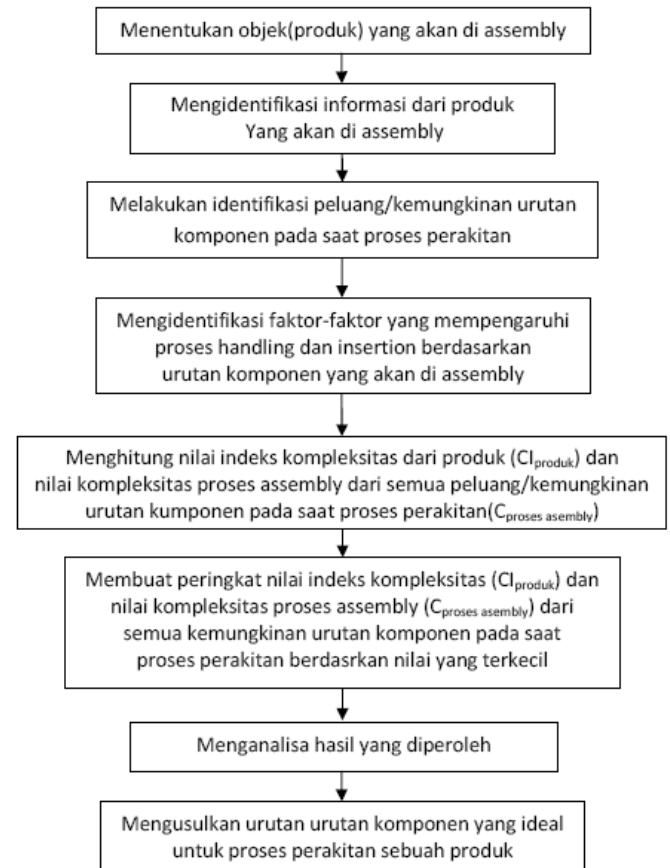
Pengukuran kompleksitas perakitan telah banyak dilakukan hanya saja metode yang digunakan berdasarkan kesulitan pemodelan perakitan dengan menggunakan data yang diambil dari sejumlah besar pengamatan empiris terhadap orang dan mesin. Metode ini tidak termasuk kompleksitas perakitan secara actual hanya didasarkan pada estimasi waktu perakitan secara umum. Indeks kompleksitas disajikan untuk mengkuantifikasi kelincahan dan waktu yang dibutuhkan untuk merakit produk tetapi tidak termasuk efek dari bagian geometri dalam perhitungan, dan konsumsi waktu untuk membandingkan sistem perakitan dan strategi yang berbeda. (Sturges & Kilani, 1992)

Kompleksitas perakitan juga dapat diukur dengan menggunakan parameter waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perakitan. Dalam mengukur kompleksitas waktu dianggap sebagai fungsi linear dari isi informasi untuk memperkirakan total waktu perakitan. (Braha & Maimon, 1998)

Gagasan dan ide tentang kompleksitas dipresentasikan sebagai metodologi dari segi DFA dalam dua tingkat yaitu kompleksitas produk dan kompleksitas perakitan. (Rodrigues-Toro C. A., Tate, Jared, & Swift, 2003) (Rodrigues-Toro, Tate, & Jared, 2002) (Rodrigues-Toro, Jared, & Swift, 2004)

**METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 1. Diagram penelitian

**PEMBAHASAN**

Untuk menghitung Tingkat kesulitan proses perakitan dapat digunakan rumus :

$$C_{proses\ assembly} = \left[ \frac{n_p}{N_p} + C_{I_{product}} \right] [\log_2(N_p + 1)] + \left[ \frac{n_s}{N_s} \right] [\log_2(N_s + 1)]$$

Dimana :

$$C_{I_{product}} = \sum_{p=1}^n x_p C_{part}$$

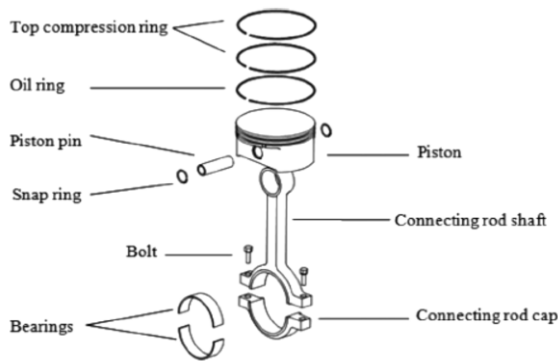
$$C_{part} = \frac{C_h \sum_1^J C_{h,f} + C_i \sum_1^K C_{i,f}}{\sum_1^J C_{h,f} + \sum_1^K C_{i,f}}$$

$$C_i = \frac{\sum_1^K C_{i,f}}{K} \quad \text{dan} \quad C_h = \frac{\sum_1^J C_{h,f}}{J}$$

dan

**Contoh kasus : piston**

Pada kasus piston selain material, urutan komponen juga turut mempengaruhi tingkat kesulitan proses assembly. Berikut ini adalah hasil perhitungan dan pembahasannya.



Gambar 1. Komponen piston

Dengan menggunakan piston sebagai objek maka diperoleh hasil identifikasi informasi dari produk pada tabel 1.

Tabel 1. Informasi Produk

Part name	jenis material	Number	Nomor urut komponen
compresion ring	cast alumunium alloy	2	1
oil ring	cast alumunium alloy	1	2
piston	cast alumunium alloy	1	3
piston pin	cast alumunium alloy	1	4
snap ring	cast alumunium alloy	2	5
connection rod shaft	cast alumunium alloy	1	6
cennnection rod cap	cast alumunium alloy	1	7
bearing	cast iron	2	8

Setelah informasi dari produk teridentifikasi selanjutnya hasil idendifikasi peluang/kemungkinan urutan komponen untuk proses perakitan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Peluang urutan komponen untuk process assembly

Part name	jenis material	Number	Nomor urut komponen	peluang 1	peluang 2	peluang 3	peluang 4	peluang 5	peluang 6	peluang 7
compresion ring	cast alumunium alloy	2	1	3	3	6	6	7	7	1
oil ring	cast alumunium alloy	1	2	2	6	7	3	6	6	2
piston	cast alumunium alloy	1	3	1	4	8	4	8	8	3
piston pin	cast alumunium alloy	1	4	6	5	3	5	3	3	4
snap ring	cast alumunium alloy	2	5	4	7	4	1	4	4	5
connection rod shaft	cast alumunium alloy	1	6	5	8	5	2	5	5	6
cennnection rod cap	cast alumunium alloy	1	7	7	1	1	7	1	2	7
bearing	cast iron	2	8	8	2	2	8	2	1	8

Urutan komponen pada proses assembly sangat berpengaruh pada atribut proses handling maupun proses insertion. Atribut handling yang dipengaruhi adalah symmetry, dengan dasar pertimbangan bahwa dengan urutan yang berbeda maka besar sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  yang dibentuk akan berbeda pula sehingga akan

mempengaruhi tingkat kesulitan proses assembly dan juga lamanya waktu assembly. Hasil perhitungan nilai  $CI_{produk}$  (indeks kompleksitas dari produk ) dan nilai kompleksitas proses perakitan ( $C_{proses assembly}$ ) dari semua peluang urutan komponen dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Rekap hasil perhitungan nilai  $CI_{produk}$  dan  $C_{proses assembly}$  dari semua peluang urutan komponen

	peluang 1	peluang 2	peluang 3	peluang 4	peluang 5	peluang 6	peluang 7
<b>CI produk</b>	0.544	0.507	0.107	0.358	0.170	0.113	0.525
<b>CI proses assembly</b>	5.349	5.220	4.011	4.686	4.011	3.808	5.283

Peringkat nilai  $CI_{produk}$  dan nilai  $C_{proses assembly}$  perlu untuk dibuat agar dapat digunakan sebagai rekomendasi urutan komponen yang relatif efisien untuk proses perakitan dari produk piston dan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Peringkat nilai  $CI_{produk}$  dan  $C_{proses assembly}$

	peluang 1	peluang 2	peluang 3	peluang 4	peluang 5	peluang 6	peluang 7
<b>CI produk</b>	0.544	0.507	0.107	0.358	0.170	0.113	0.525
<b>CI proses assembly</b>	5.349	5.220	4.011	4.686	4.011	3.808	5.283
<b>Peringkat</b>	7	5	2	4	3	1	6

Dalam perhitungan kompleksitas proses assembly selain pengaruh urutan komponen, pengaruh material

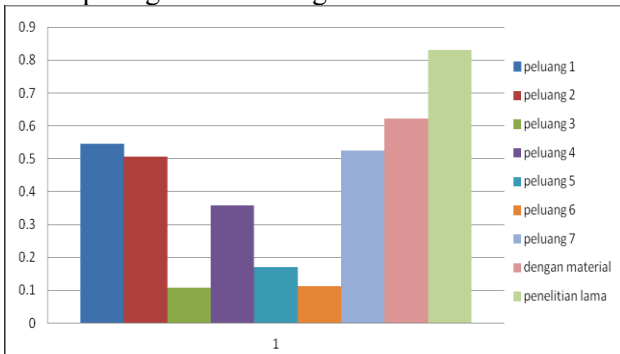
juga sudah di masukkan kedalam perhitungan, hanya saja jenis material yang digunakan adalah material yang menempati peringkat pertama berdasarkan hasil seleksi. (Budiono, Muskita, Kiswanto, & Soemardi, 2011)

Sebagai bahan perbandingan dengan perhitungan yang pernah dibuat serta perhitungan terdahulu dan belum memasukkan unsur material dan urutan komponen ke dalam perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.

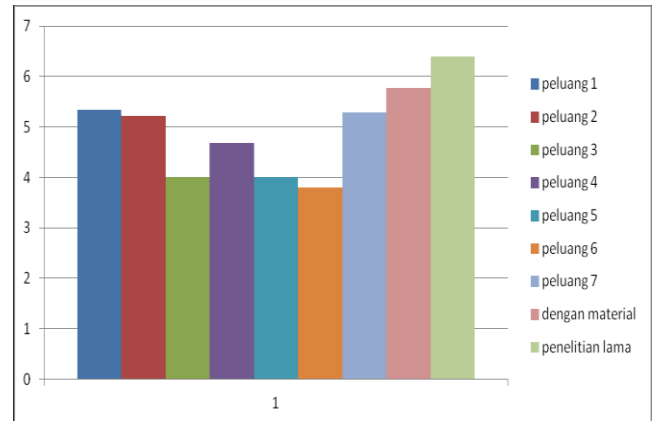
Tabel 5. Perbandingan nilai  $CI_{\text{produk}}$  dan  $C_{\text{proses assembly}}$  dengan penelitian terdahulu

	peluang 1	peluang 2	peluang 3	peluang 4	peluang 5	peluang 6	peluang 7	dengan material	penelitian lama
<b>CI produk</b>	0.544	0.507	0.107	0.358	0.170	0.113	0.525	0.622	0.83
<b>CI proses assembly</b>	5.349	5.220	4.011	4.686	4.011	3.808	5.283	5.777	6.39

Untuk lebih jelasnya perbandingan dimaksud dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Grafik perbandingan nilai  $CI_{\text{produk}}$



Gambar 3. Grafik perbandingan nilai  $C_{\text{proses assembly}}$

Rincian perhitungan indeks kompleksitas produk dan kompleksitas proses assembly untuk peluang urutan komponen piston yang menempati peringkat pertama dapat di lihat pada tabel 6, tabel 7 dan tabel 8.

Tabel 6. Matriks atribut kompleksity proses handling

Part name	jenis material	Number	HANDLING COMP. FACTOR							J	Ch,f	Ch	Ch * Ch,f	
			SYM	SIZE	THCKNS	WEIGHT	GRPS & MANPL	ASSTNC	NEST/TANG					OPTCL MGNFCTN
connection rod cap	cast aluminium alloy	1	0	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.145	0.45	1.41
connection rod shaft	cast aluminium alloy	1	0	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.145	0.45	1.41
bearing	cast iron	2	0.231	0.74	0.27	0.26	0.91	1	0.58	0	7	3.986	0.57	2.27
piston	cast aluminium alloy	1	0.231	0.74	0.27	0.22	0.91	0.34	0.58	0	7	3.286	0.47	1.54
piston pin	cast aluminium alloy	1	0	0.74	0.27	0.22	0.91	1	0.58	0	7	3.715	0.53	1.97
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.5628	0.81	0.5	0.22	1	1	0.58	0	7	4.6678	0.67	3.11
oil ring	cast aluminium alloy	1	1	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	4.1465	0.59	2.46
compression ring	cast aluminium alloy	2	0	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.145	0.45	1.41

Tabel 7. Matriks Atribut kompleksity proses Insertion

Part name	jenis material	Number	INSERT COMP. FACTOR							K	Cl,f	Cl	Cl * Cl,f
			HLD.DWN	INSRT REST	ALIGN	MCH FST	NON MCH FST	ACSBLY&VISN	NON FSTN.PRCS				
connection rod cap	cast aluminium alloy	1	1	0.61	0	0.29	0	0	0	4	1.90	0.48	0.91
connection rod shaft	cast aluminium alloy	1	1	0.61	0	0	0	0	0	3	1.61	0.54	0.86
bearing	cast iron	2	1	0.63	0.33	0	0	0	0	3	1.96	0.65	1.28
piston	cast aluminium alloy	1	0.54	0.61	0.2838	0	0	0	0	3	1.43	0.48	0.68
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.54	0.70	0	0	0	0	0	3	1.24	0.41	0.51
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.54	0.70	0.67	0	0	0	0	3	1.91	0.64	1.22
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.54	0.70	0	0	0	0	0	3	1.24	0.41	0.51

Tabel 8. Perhitungan Indeks kompleksitas produk ( $CI_{\text{produk}}$ )

Part name	jenis material	Number	$C_{\text{part}}$	$x_p$	CI
connection rod cap	cast aluminium alloy	1	0.46	0.09	0.04
connection rod shaft	cast aluminium alloy	1	0.48	0.09	0.04
bearing	cast iron	2	0.60	0.18	0.11
piston	cast aluminium alloy	1	0.47	0.09	0.04
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.50	0.09	0.05
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.66	0.18	0.12
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.65	0.09	0.06
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.44	0.18	0.08
<b>CI produk</b>					<b>0.113</b>

Dari hasil perhitungan diperoleh  $CI_{\text{produk}}$  atau indeks kompleksitas dari produk = **0.113**, untuk proses handling dan insertion;  $N = 11$ ,  $n = 8$ . Untuk proses fastening  $N = 2$ ,  $n = 1$ . Maka dapat diperoleh Kompleksitas proses assembly untuk produk piston dengan urutan komponen yang menempati peringkat pertama adalah :

$$C_{\text{proses assembly}} = [8/11 + 0.113] [\log_2(11 + 1)] + [1/2] [\log_2(2+1)] = \mathbf{3.808}$$

### PENUTUP

Urutan komponen akan mempengaruhi tingkat kesulitan dari proses perakitan dari sebuah produk, dimana besarnya sudut alpha dan beta yang terbentuk mengacu dari bentuk komponen serta sumbu sejajar dan sumbu tegak lurus terhadap komponen referensi.

Semakin besarnya nilai kompleksitas proses perakitan, maka waktu perakitan akan menjadi relatif panjang atau lama. Sehingga urutan komponen yang menempati peringkat pertama berdasarkan nilai  $CI_{\text{produk}}$  dan  $C_{\text{proses assembly}}$  dapat direkomendasikan sebagai urutan yang lebih efisien atau ekonomis untuk proses perakitan dari sebuah produk.

### NOMENKLATUR

A	Sudut alpha symmetry
B	Sudut betta symmetry
$N_p$	Jumlah total komponen untuk proses handling dan insertion
$n_p$	Jumlah keunikan/keragaman komponen untuk proses handling dan insertion
$N_s$	Jumlah total komponen untuk proses fastening
$n_s$	Jumlah keunikan/keragaman komponen untuk proses handling dan insertion
$CI_{\text{produk}}$	Indeks kompleksitas produk
$C_{\text{proses assembly}}$	Kompleksitas proses assembly
H	Entropy
$X_p$	Presentase dari bagian-bagian yang berbeda
$C_{\text{part}}$	Kompleksitas bagian yang dirakit
$C_h$	Kompleksitas atribut handling

$C_i$	Kompleksitas atribut insertion
$C_{h,f}$	Factor kompleksitas relative proses handling
$C_{i,f}$	Factor kompleksitas relative proses insertion
J	Atribut handling
K	Atribut insertion

### DAFTAR PUSTAKA

- Nof, S.Y., Wilhelm, W.E., and Warnecke, H.J., 1997. Industrial assembly. London: Chapman & Hall.
- Boothroyth. (2001), Product Design for Manufacture and Assembly, Boothroyd Dewhurst Inc. and University of Rhode Island, USA.
- Sturges, R.H. Jr. and Kilani, M.I., 1992. Towards an integrated design for an assembly evaluation and reasoning system. Computer Aided Design.
- Braha, D. and Maimon, O., 1998. The measurement of a design structural and functional complexity. IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, Part A (Systems & Humans)
- Rodriguez-Toro, C., Jared, G., and Swift, K., 2004. Productdevelopment complexity metrics: a framework for proactive-DFA implementation. In: International design conference, 18–21 May 2004. Dubrovnik.
- Rodriguez-Toro, C., Tate, S., Jared, G., and Swift, K, 2002. Shaping the complexity of a design. New Orleans, LA: American Society of Mechanical Engineers.
- Rodriguez-Toro, C.A., Tate, S.J., Jared, G.E.M., and Swift, K.G., 2003. Complexity metrics for design (simplicity  $\beta$  simplicity  $\frac{1}{4}$  complexity). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B (Journal of Engineering Manufacture).
- ElMaraghy, W. H. & Urbanic, R. Jill (2003). *Modelling of Manufacturing Systems Complexity*, Intelligent Manufacturing Systems (IMS) Centre, Faculty of Engineering University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada,
- ElMaraghy, W.H. & Urbanic, R. Jill (2006), *Modeling of Manufacturing Process Complexity*, British Library Cataloguing in Publication Data Advances in design, Springer,

ElMaraghy & S.N.Samy (2010), *A Model for Measuring Product Assembly Complexity*, Intelligent Manufacturing Systems (IMS) Centre, Faculty of Engineering University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada,

Michael F. Ashby (2005), *Material Selection in Mechanical Design*, Third edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, oxford

Granata Material Inspiration , CES EDUPACK 2005 software.

Kalpakjian, Serope (1995). *Manufacturing Engineering and Technology*, 3rd Edition, Prentice Hall, USA

Hendri, D.S Budiono, Nelce, D. Muskita, Gandjar Kiswanto, Tresna P. Soemardi., 2011. Pengaruh Material Terhadap Indeks Kompleksitas Proses Assembly pada Komponen Otomotif. Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok. Proceeding SNTTM X