

# ARJKA

Media Ilmuan dan Praktisi Teknik Industri

Vol. 07, Nomor 2

Agustus 2013

**DESAIN KEMASAN IKAN ASAR  
BAGI INDUSTRI KECIL DI DESA GALALA DAN HATIVE KECIL**

*Robert Hutagalung  
Victor O. Lawalata  
Darius Tumanan  
Imelda K. E. Savitri*

**DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) SEBAGAI METODE ALTERNATIF  
PENILAIAN EFISIENSI PENGELOLAAN PROGRAM STUDI**

*Johan Marcus Tupan*

**ANALISA SINYAL SUARA JANTUNG BERDASARKAN TRANSFORMASI  
FOURIER**

*Hamdani Kubangun*

**KAJIAN LUASAN MANGROVE AKIBAT PENCEMARAN LAUT**

*Sonja T. A. Lekatompessy*

**ACTIVITY BASED COSTING (ABC) SEBAGAI MODEL ALTERNATIF  
PENENTUAN BIAYA PRAKTIKUM MAHASISWA**

*Johan Marcus Tupan*

**TINJAUAN PENGARUH PENDINGINAN SPESIMEN UJI LAS  
TERHADAP KUALITAS HASIL PENGELOLAAN**

*Sonja T. A. Lekatompessy*

**PENGARUH PEMILIHAN MATERIAL TERHADAP TINGKAT KESULITAN  
PROSES PERAKITAN KOMPONEN OTOMOTIF**

*Nelce D. Muskita*

**ANALISA LANJUT HASIL UJI KEKUATAN TARIK BESI BETON  
UNTUK STRUKTUR BETON JEMBATAN WAIHATTU MELALUI  
PERBANDINGAN PERHITUNGAN MANUAL DENGAN PROGRAM  
MINITAB VERSI 13**

*Steanly R.R Pattiselanno  
Nanse H Pattiasina  
Nevada M J Nanulaitta*

**PERANCANGAN PROTOTIPE SOFTWARE TOOLS UNTUK  
PENGEMBANGAN SITUS KULIAH SECARA ELEKTRONIK**

*Nasir Suruali*

## PENGARUH PEMILIHAN MATERIAL TERHADAP TINGKAT KESULITAN PROSES PERAKITAN KOMPONEN OTOMOTIF

Nelce D. Muskita

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Katolik Saint Paul Sorong  
Jl. RA. Kartini No.10 Kampung Baru, Sorong 98411, Indonesia  
Email: nelcemuskita@ymail.com

### ABSTRAK

Pengembangan metode pemilihan material dan penentuan indeks kompleksitas serta sejauh mana pengaruh material dalam proses assembly (handling, insertion dan fastening) dari komponen otomotif merupakan tujuan utama dari penelitian ini. Guna mendapatkan hasil yang maksimal dan efektif untuk proses assembly maka penggabungan metode pemilihan material dengan metode penentuan indeks kompleksitas proses assembly akan menghasilkan sebuah metode baru yang mewakili kedua metode tersebut. Indeks kompleksitas proses assembly ( $C_{\text{proses assembly}}$ ) dipengaruhi oleh koefisien kompleksitas relatif dari proses assembly ( $C_{\text{produk}}$ ), yang merupakan fungsi dari nilai rata-rata pembobotan faktor kompleksitas bagian perakitan ( $C_{\text{part}}$ ) dan presentase dari bagian yang berbeda ( $X_p$ ). Penentuan nilai koefisien kompleksitas relatif assembly menggunakan aplikasi model statistik nilai rata-rata tertinggi dari asumsi waktu untuk proses assembly. Faktor kesulitan dalam perakitan terdiri dari faktor kesulitan proses handling ( $Ch, f$ ) dan faktor kesulitan proses Insertion ( $Ci, f$ ). Nilai material yang dimasukkan kedalam perhitungan kompleksitas akan mempengaruhi salah satu aspek dari handling faktor maupun insertion dan akan menjadi faktor pengali atau koefisien dari atribut yang terkait. Karakteristik dari material yang digunakan untuk penentuan nilai kompleksitas antara lain; untuk proses handling (density, hardness, modulus young) dan untuk proses insertion (elastisitas, strength, stiffnes, keuletan). Semakin kecil density dari material maka tingkat kerumitan untuk proses assembly semakin kecil. Hal tersebut disebabkan oleh density sangatlah identik dengan massa benda/material, sehingga dengan massa yang kecil maka proses assembly akan lebih mudah/cepat. Adapun penentuan peringkat material untuk komponen otomotif mengacu kepada nilai Indeks kompleksitas setiap komponen serta density dari kandidat material yang diperoleh. Pencapaian ini juga akan sangat memudahkan dalam memberikan alternatif material kepada konsumen terhadap produk yang akan dibuat sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

**Keywords:** pemilihan material, kompleksitas, assembly

### ABSTRACT

Material selection and development of methods of determining the complexity index as well as the extent of the influence of the material in the assembly process (handling, insertion and fastening) of automotive components is the main aim of this study. In order to obtain maximum results and effective for the assembly process of merging methods Dangan material selection index method of determining the complexity of the assembly process will result in a new method of representing both methods. Index of the complexity of the assembly ( $C_{\text{assembly proses}}$ ) coefficient is influenced by the relative complexity of the assembly process ( $C_{\text{produk}}$ ), which is a function of the average value of the weighting factor of the complexity of assembling parts ( $C_{\text{part}}$ ) and the percentage of the different sections ( $X_p$ ). Determination of the coefficient of the relative complexity of application assembly using statistical models of the highest average value of time assumptions for the assembly process. The difficulty in assembly consists of handling the difficulty factor ( $Ch, f$ ) and the difficulty factor Insertion ( $Ci, f$ ). Material values are incorporated into the calculation of complexity will affect one aspect of handling and insertion factors and will be a multiplier factor or coefficient of associated attributes. The characteristics of the material used for the determination of the value of kompleksitas among others for the handling process (density, hardness, Young's modulus) and for the insertion process (elasticity, strength, stiffnes, tenacity). The smaller the density of the material, the level of complexity to the process of assembly is getting smaller. This is due to the density is identical to the mass of the object / material, so that the mass is small, the assembly process will be easier / faster. The ranking of materials for automotive components refer to the index value of each component complexity and density of the material obtained by the candidate. Achieving this will also greatly facilitate in providing an alternative material to consumers of products that will be made in accordance with the desired specifications.

**Keywords:** material selection, complexity, assembly

## PENDAHULUAN

Industri otomotif diperkirakan menjadi faktor pendorong pertumbuhan ekonomi Indonesia tahun 2011. Hal tersebut ditunjukkan oleh data pada Desember 2010 yang mana peningkatan penjualan mobil mencapai 700 ribu unit dan motor sebesar 7 juta unit. Pencapaian fakta tersebut tidak terlepas dari Perpres. No. 28, Tahun 2008, tentang Kebijakan Industri Nasional yang merupakan regulasi lima tahunan dan mengatur tentang sasaran industri nasional yang harus dikembangkan beserta kriteria yang harus dipenuhi oleh industri hingga tahun 2025 (Peraturan Presiden Republik Indonesia No.28, Tahun 2008). Salah satu sasaran industri andalan Indonesia sampai dengan tahun 2025 adalah mampu melakukan desain dan manufaktur alat angkut seperti industri otomotif (kendaraan bermotor), perkapalan, kedirgantaraan dan perkeretaapian. Banyak sekali produk primadona rakyat Indonesia yang kini kandungan lokalnya sudah mencapai 75%. Untuk terus meningkatkan kandungan lokal dari industri otomotif maka riset-riset yang berhubungan dengan hal tersebut terus dikembangkan.

Proses assembling mengambil bagian sebesar 53% dari total waktu produksi dan 20% dari total biaya produksi, total biaya produksi terdistribusi menjadi 20% untuk biaya proses assembling dan 80% untuk biaya material dan proses lainnya. Agar proses assembling menjadi relatif singkat maka kesulitan-kesulitan dalam proses itu sendiri haruslah dikurangi sehingga waktu akan berkurang dan biaya juga akan berkurang. Faktor kesulitan yang ada dapat diwujudkan kedalam bentuk angka, yang dikenal dengan sebutan Indeks Kompleksitas.

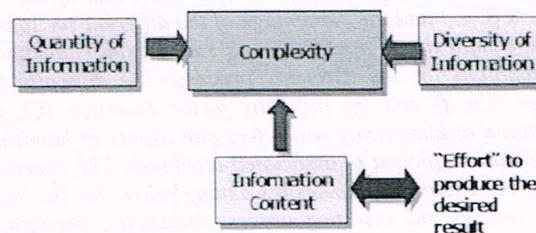
Berkaitan dengan keadaan tersebut, maka ada beberapa masalah yang teridentifikasi: berapa besar nilai kompleksitas dari proses perakitan sebuah komponen otomotif, parameter apa saja yang sangat mempengaruhi proses perakitan terutama yang berkaitan dengan handling dan insertion dan mengetahui sejauh mana pengaruh perubahan material terhadap nilai kompleksitas dari proses assembly komponen otomotif.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi parameter-parameter penting dan aspek yang berkaitan dengan proses perakitan, menghitung indeks kompleksitas proses perakitan dengan variasi material, mengkaji sejauh mana pengaruh perubahan material terhadap indeks kompleksitas proses perakitan pada sebuah komponen otomotif, lebih mengakuratkan nilai dari atribut handling dan insertion yang terkait dengan material, serta mengusulkan material yang ideal untuk sebuah produk sehingga dapat memudahkan dalam proses perakitan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kompleksitas

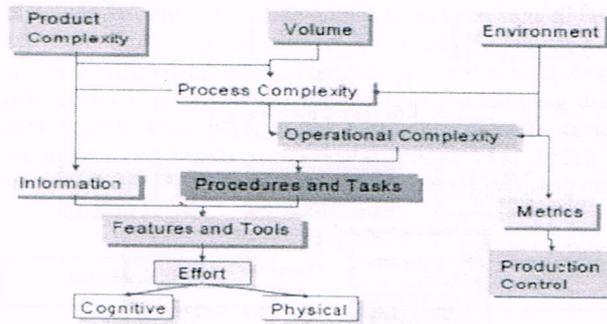
Kompleksitas selalu identik dengan kerumitan atau kesulitan, dan dipandang sebagai tantangan utama untuk saat ini dan masa depan di setiap industri manufaktur. Dalam proses manufaktur, biaya perakitan dan kualitas akhir dari sebuah produk sangat di perhatikan, sehingga kompleksitas akan memainkan peran yang sangat penting dalam pencapaian desain produk terbaik yang tidak hanya memperhitungkan perencanaan perakitan, tetapi juga pemilihan proses manufaktur yang paling sesuai. Penelitian yang telah dilakukan untuk mengukur nilai/indeks kompleksitas ada yang menggunakan pendekatan entropi/informasi konten atau pendekatan heuristik dan indeks. Semakin banyak informasi yang teridentifikasi, maka model/komponen yang diidentifikasi itu akan lebih kompleks.



Gambar 1. Elemen dari kompleksitas  
(Sumber: ElMaraghy, W. H. & Urbanic, R. Jill (2003))

### Kompleksitas Produk dan Kompleksitas Proses

Kompleksitas merupakan fungsi dari jumlah informasi (H), variasi dari informasi (DR) dan isi dari informasi yaitu koefisien kompleksitas relatif (cj).

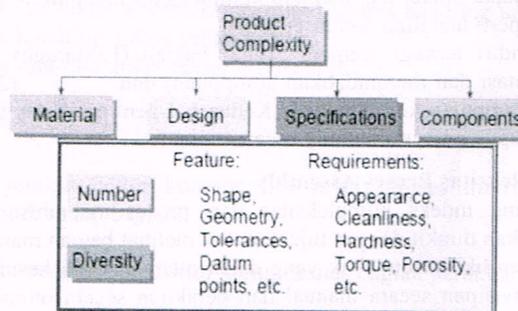


Uraian Kompleksitas manufaktur  
 (Sumber: ElMaraghy, W. H. & Urbanic, R. Jill (2003))

Koefisien kompleksitas relatif ( $c_j$ ) merupakan hasil dari deskripsi fitur-fitur yang diinginkan beserta usaha yang dilakukan untuk menghasilkan nya Kemudian semua informasi yang diperoleh dibobotkan secara statistik. Terdapat 3 jenis kompleksitas apabila mengacu kepada kompleksitaas lingkungan manufaktur yaitu kompleksitas produk, kompleksitas proses dan kompleksitas operasional. Ketiganya saling mempengaruhi dan berhubungan akan tetapi untuk kemudahan analisa diuraikan menjadi komponen yang terpisah.

**Kompleksitas Produk**

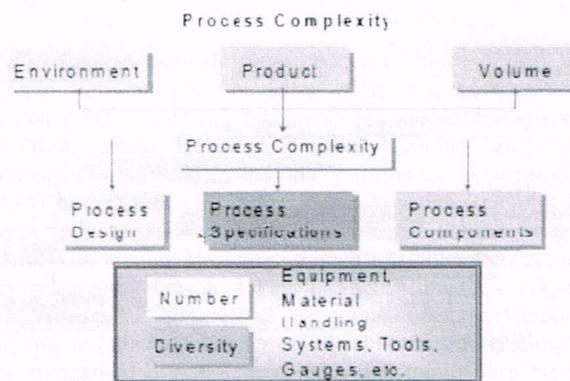
Kompleksitas produk dipengaruhi oleh informasi dan volume. Informasi yang mempengaruhi kompleksitas produk dipengaruhi oleh material dasar yang digunakan untuk membuat produk, desain dari produk, spesifikasi produk, dan komponen atau bagian dari produk, kemudian dipersempit menjadi dua kelompok yaitu: fitur dan spesifikasi. Fitur, merupakan bentuk yang ingin dihasilkan. Spesifikasi adalah kualitas yang diinginkan berkaitan dengan fitur yang ingin dihasilkan. Kompleksitas produk dilambangkan sebagai  $CI_{produk}$ .



Elemen kompleksitas produk  
 (Sumber: ElMaraghy, W. H. & Urbanic, R. Jill (2003))

**Kompleksitas Proses**

Kompleksitas proses merupakan fungsi dari desain produk, volume produksi yang diinginkan, perencanaan alur proses, dan lingkungan kerja. Kompleksitas proses dilambangkan dengan  $PI_{proses}$ .



Elemen kompleksitas proses

(Sumber: ElMaraghy, W. H. &amp; Urbanic, R. Jill (2006))

Yang perlu diingat yaitu untuk menghasilkan kompleksitas proses haruslah teridentifikasi setiap komponen dari proses dalam setiap tahapannya.

### Kompleksitas Assembly

Assembly merupakan kesatuan dari sistem produksi secara keseluruhan. Assembly bertugas untuk menyusun bagian-bagian individu, sub-assembly dan bagian-bagian kecil lainnya. Mengukur kompleksitas dari proses assembly mendorong desain produk untuk berorientasi pada perakitan (assembly) dan panduan yang diperlukan dari desainer dalam menciptakan produk dengan kompleksitas perakitan yang rendah. Hal ini juga akan mendukung desainer sistem untuk merasionalisasikan berbagai pilihan proses, urutan, peralatan dan tata letak sistem. Banyak metode telah digunakan untuk menghitung kompleksitas proses perakitan, namun semuanya itu belum mencakup kompleksitas perakitan yang sebenarnya, karena hanya didasarkan pada perkiraan kasar waktu perakitan. Jika dikaitkan dengan metodologi DFA, yang dibagi menjadi dua tingkat: komponen kompleksitas dan kompleksitas assembly maka kompleksitas komponen meliputi aspek-aspek desain yang berhubungan langsung dengan masing-masing komponen. Hal ini dapat dibagi lagi menjadi kompleksitas manufaktur (seperti bentuk geometris) dan kompleksitas proses (seperti handling dan insertion).

Proses perakitan sendiri terbagi menjadi 2 (dua) bagian (ElMaraghy & S.N.Samy,2010): (1) Handling (memegang, orientasi dan memindahkan komponen) dan (2) Insertion dan Fastening (penyatuan sebuah atau sekumpulan komponen). Kedua hal penting diatas berlaku baik untuk proses assembly secara manual maupun proses assembly secara otomatis.

### Menghitung Indeks Kompleksitas Proses Assembly

Sebelum menghitung indeks kompleksitas dari proses assembly terlebih dahulu dihitung kompleksitas produk yang akan dirakit, dengan tujuan untuk melihat bagian mana dari komponen individu atau sub-assembly yang memiliki atribut fisik yang dapat menyebabkan kesulitan atau masalah selama proses penanganan dan penyisipan secara manual dan perakitan secara otomatis. Berdasarkan analisis DFA, atribut perakitan yang berbeda dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yakni; atribut handling dan atribut insertion. Atribut perakitan akan mempengaruhi pekerja untuk memahami, orientasi, masukkan dan mempercepat dalam proses perakitan manual. Dalam perakitan otomatis, atribut tersebut berpengaruh pada orientasi efisiensi dan biaya peralatan yang dibutuhkan.

Kompleksitas awalnya dinyatakan sebagai (ElMaraghy & S.N.Samy,2010):

$$C_{part} = \left( \frac{n}{N} + CI_{part} \right) [\log_2(N + 1)] \quad (1)$$

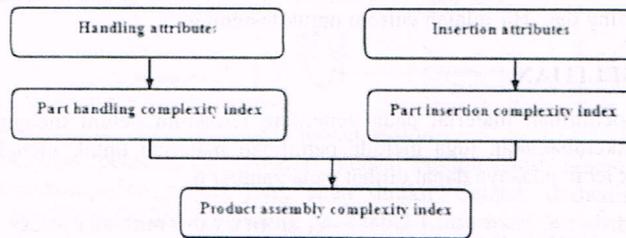
Dimana :  $C_{part}$  adalah kompleksitas bagian,  $N$  adalah jumlah total informasi,  $n$  adalah jumlah informasi yang unik  $CI_{part}$  adalah indeks kompleksitas bagian.

Model ini telah dimodifikasi untuk assembly sebagai berikut (ElMaraghy & S.N.Samy,2010):

$$C_{proses\ assembly} = \left[ \frac{n_p}{N_p} + CI_{product} \right] [\log_2(N_p + 1)] + \left[ \frac{n_s}{N_s} \right] [\log_2(N_s + 1)] \quad (2)$$

Dimana,  $C_{\text{process assembly}}$  adalah kompleksitas proses assembly dari produk,  $N_p$  adalah jumlah total komponen yang dihandling dan insertion  $N_s$  adalah jumlah komponen yang di fastening  $n_p$  adalah jumlah keunikan/keragaman dari komponen yang dihandling dan  $n_s$  adalah jumlah keunikan/keragaman dari komponen yang di fastening  $CI_{\text{product}}$  adalah indeks kompleksitas produk yang dirakit.

Setelah melakukan prosedur penghitungan kompleksitas produk yang diassembly kemudian kita dapat menghitung indeks kompleksitas untuk proses passembly. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada gambar 5 dimana untuk menghitung indeks kompleksitas produk yang dirakit setiap bagian diperiksa secara terpisah untuk mengidentifikasi penanganan dan atribut penyisipan yang berbeda.



Indeks kompleksitas produk  
(sumber ElMaraghy & S.N.Samy, 2010)

Indeks kompleksitas produk yang dirakit secara keseluruhan didasarkan pada indeks kompleksitas assembly individu dari semua bagian. Prosedur perhitungan digambarkan sebagai berikut:

1. Mengitung kompleksitas rata-rata untuk faktor handling ( $C_h$ );

$$C_h = \frac{\sum_1^J C_{h,f}}{J} \quad (3)$$

Dimana:  $C_{hf}$  adalah jumlah faktor kompleksitas relatif proses handling untuk setiap bagian,  $J$  adalah banyaknya atribut/aspek handling untuk setiap bagian.

2. Mengitung kompleksitas rata-rata untuk faktor insertion ( $C_i$ );

$$C_i = \frac{\sum_1^K C_{i,f}}{K} \quad (4)$$

Dimana:  $C_{if}$  adalah jumlah faktor kompleksitas relatif proses insertion,  $K$  adalah banyaknya atribut/aspek insertion untuk setiap bagian.

3. Menghitung nilai rata-rata pembobotan faktor kompleksitas bagian perakitan ( $C_{\text{part}}$ );

$$C_{\text{part}} = \frac{C_h \sum_1^J C_{h,f} + C_i \sum_1^K C_{i,f}}{\sum_1^J C_{h,f} + \sum_1^K C_{i,f}} \quad (5)$$

4. Menghitung indeks kompleksitas produk,  $CI_{\text{product}}$ .

$$CI_{\text{product}} = \sum_{p=1}^n x_p C_{\text{part}} \quad (6)$$

Dimana:  $x_p$  adalah persentase dari bagian-bagian yang berbeda,  $n$  adalah jumlah bagian yang unik.

5. Menghitung jumlah dan keunikan dari semua bagian handling dan insertion.
6. Menghitung jumlah dan keunikan dari semua bagian fastening.
7. Menghitung kompleksitas proses assembly dari produk menggunakan Persamaan (2).

### Pemilihan Material

Sering kali faktor yang paling penting dalam total biaya komponen mesin adalah biaya dari benda kerja yang asli/raw material. Presentase biaya material dapat melebihi 50% dari total biaya produksi sehingga untuk memeperkirakan hal tersebut harus dengan hati-hati dan wajar (Michael F. Ashby, 2005),.

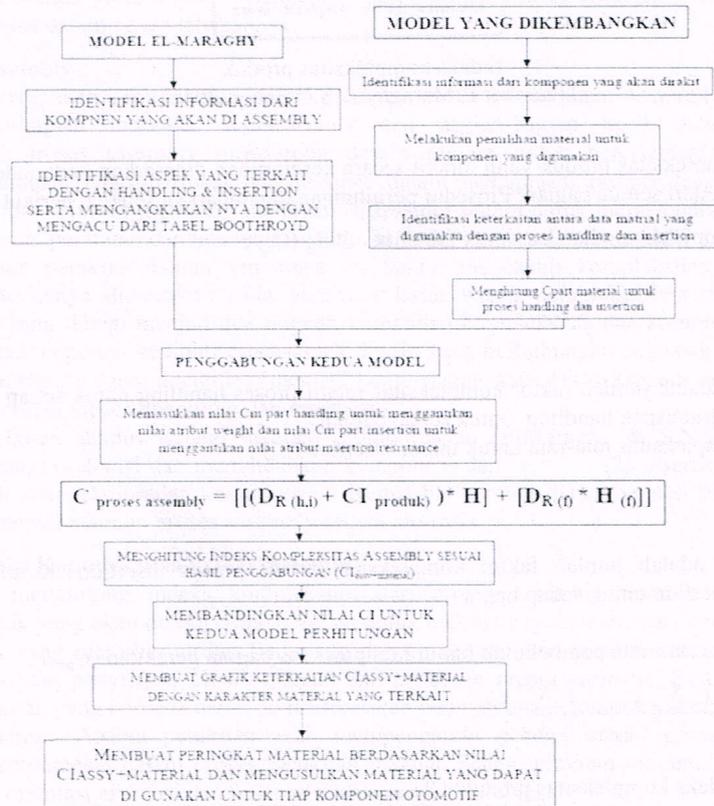
Dalam penelitian sebelumnya H. ElMaraghy dan S.N. Samy (2010) telah mengembangkan sebuah metode untuk menghitung Indeks Kompleksitas proses assembly. Hanya saja dalam model perhitungan tersebut, barulah melibatkan elemen desain dan spesifikasi dalam perhitungan, sementara untuk elemen material sudah dilibatkan hanya saja perkiraannya masih sangat kasar dan belum spesifik. Jika melibatkan elemen material maka akan terjadi penggabungan metode pemilihan material dan metode penentuan Indeks Kompleksitas Assembly, sehingga didapat :

$$C_{\text{proses assembly}} = [ [(D_{R(h,i)} + C_{I_{\text{produk}}}) * H_{(h,i)}] + [ D_{R(f)} * H_{(f)} ] ] \quad (7)$$

dimana ;  $D_{R(h,i)}$  adalah rasio keragaman untuk handling dan insertion,  $C_{I_{\text{produk}}}$  adalah koefisien kompleksitas relatif untuk assembly,  $H_{(h,i)}$  adalah entropi untuk handling dan insertion,  $D_{R(f)}$  adalah rasio keragaman untuk fastening dan  $H_{(f)}$  adalah entropi untuk fastening.

## METODOLOGI PENELITIAN

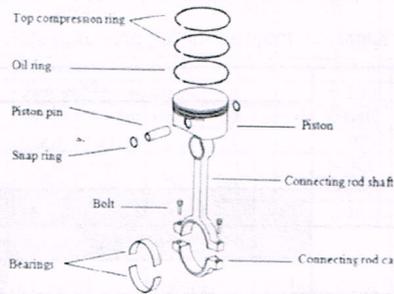
Untuk metode pemilihan material pada penelitian terdahulu belum menggunakannya, sehingga dalam penelitian ini dikembangkan juga metode pemilihan material untuk menghitung kompleksitas proses assembly. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 6.



Bagan Metodologi Penelitian

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Contoh kasus : piston



Komponen piston

Untuk lebih memeperjelas pemahaman tentang Indeks kompleksitas assembly, pada gambar 7 menunjukkan komponen-komponen piston yang akan dirakit. Setelah diidentifikasi maka didapat informasi dan atribut kompleksitas untuk handling pada tabel 1, informasi dan atribut kompleksitas untuk insertion pada tabel 2 dan nilai Indeks kompleksitas produk piston pada tabel 3.

**Model EIMaraghy**

Matriks atribut kompleksity dari bagian-bagian yang dihandling

Part name	jenis material	Number	HANDLING COMP FACTOR								J	ChJ	Ch	Ch * ChJ
			SYM	SIZE	THCKNS	WEIGHT	GRPS & MANF	ASSTNC	NESTIFANG	OPTCL MGNFC				
compression ring	medium carbon steel	2	0.7	0.74	0.27	0.50	1	0.34	0.58	0.8	8	4.93	0.62	3.04
oil ring	cast iron	1	0.7	0.74	0.27	0.50	1	0.34	0.58	0.8	8	4.93	0.62	3.04
piston	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.50	0.91	0.34	0.58	0.8	8	4.84	0.61	2.93
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.50	0.91	1	0.58	0.8	8	5.5	0.69	3.78
snap ring	high carbon steel	2	0.7	0.81	0.5	0.50	1	1	0.58	0.8	8	5.85	0.74	4.34
connection rod shaft	low alloy steel	1	0.7	0.74	0.27	0.50	1	0.34	0.58	0.8	8	4.93	0.62	3.04
connection rod cap	low alloy steel	1	0.7	0.74	0.27	0.50	1	0.34	0.58	0.8	8	4.93	0.62	3.04
bearing	cast iron	2	0.7	0.74	0.27	0.50	0.91	1	0.58	0.8	8	5.5	0.69	3.78

Matriks atribut kompleksity dari bagian-bagian yang diinsertion

Part name	jenis material	Number	INSERT COMP FACTOR								K	Cj	Ci	Ci * Cj
			HLD DN	INSRT	PE	ALIGN	MCH FST	NON MCH FST	ACSELT Y&V	NON FSTN PRG				
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.54	1	1	0	0	0	0	0	3	2.54	0.85	2.15
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.54	1	1	0	0	0	0	0	3	2.54	0.85	2.15
piston	cast aluminium alloy	1	0.54	0.67	0.85	0	0	0	0	0	3	2.07	0.69	1.43
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.54	1	1	0	0	0	0	0	3	2.54	0.85	2.15
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.54	1	1	0	0	0	0	0	3	2.54	0.85	2.15
connection rod shaft	titanium alloy	1	1	0.67	1	0	0	0	0	0	3	2.67	0.89	2.38
connection rod cap	titanium alloy	1	1	0.67	1	0.42	0	0	0	0	4	3.09	0.77	2.39
bearing	high carbon steel	2	1	1	1	0	0	0	0	0	3	3	1.03	3.00

Perhitungan Indeks kompleksitas produk (CI<sub>produk</sub>), untuk piston

Part name	jenis material	Number	C <sub>part</sub>	x <sub>p</sub>	CI
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.63	0.18	0.13
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.69	0.09	0.06
piston	cast aluminium alloy	1	0.63	0.09	0.06
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.74	0.09	0.07
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.77	0.18	0.14
connection rod shaft	titanium alloy	1	0.71	0.09	0.06
connection rod cap	titanium alloy	1	0.68	0.09	0.06
bearing	high carbon steel	2	0.80	0.18	0.15
<b>CI<sub>produk</sub></b>					<b>0.73</b>

CI<sub>produk</sub> atau yang dikenal dengan koefisien kompleksitas relatif = **0.73**, untuk handling dan insertion; N = 11, n = 8. Untuk fastening N = 2, n = 1. Maka didapat Kompleksitas proses assembly untuk produk piston adalah :

$$C_{\text{proses assembly}} = [8/11 + 0.73] [\log_2(11 + 1)] + [1/2] [\log_2(2+1)] = 6.00$$

**Model yang dikembangkan**

Dengan menggabungkan model pemilihan material dan model penentuan indeks kompleksitas sesuai dengan prosedur pada metodologi maka di dapat hasil pemilihan material pada tabel 4:

Kandidat material untuk produk piston

Part name	Number	Diversity	Kandidat material							
			Cast iron	high carbon steel	Low alloy steel	Low carbon steel	medium carbon steel	Stainless steel	Aluminum alloy	Titanium alloy
Compression ring	2	1								
Oil ring	1	1								
Piston	1	1								
Piston pin	1	1								
Snap ring	2	1								
Connection rod shaft	1	1								
Connection rod cap	1	1								
Bearing	2	1								

Setelah diperoleh kandidat material pada tahap proses pemilihan material, maka selanjutnya dilakukan identifikasi informasi dan atribut kompleksitas untuk proses handling dan insertion dapat dilihat pada tabel 5, serta tabel 6. Pada tabel 7 dan diperoleh hasil perhitungan nilai kompleksitas proses assembly untuk produk piston dengan menggunakan material yang umum atau yang ada di pasaran.

Matriks atribut kompleksitas untuk proses handling dengan menyertakan unsur material

Part name	jenis material	Number	HANDLING COMP FACTOR							J	C <sub>H1</sub>	C <sub>H</sub>	C <sub>H</sub> * C <sub>H1</sub>	
			SYM	SIZE	THICKNESS	WEIGHT	GRIPS & MANIP	ASSTNC	NESTING					OPTCL MFG
compression ring	medium carbon steel	2	0.7	0.74	0.27	0.28	1	0.34	0.58	0	7	3.91	0.56	2.18
oil ring	cast iron	1	0.7	0.74	0.27	0.26	1	0.34	0.58	0	7	3.885	0.56	2.16
piston	cast aluminum alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	0.91	0.34	0.58	0	7	3.755	0.54	2.01
piston pin	cast aluminum alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	0.91	1	0.58	0	7	4.415	0.63	2.78
snap ring	high carbon steel	2	0.7	0.81	0.5	0.28	1	1	0.58	0	7	4.81	0.70	3.39
connection rod shaft	low alloy steel	1	0.7	0.74	0.27	0.28	1	0.34	0.58	0	7	3.91	0.56	2.18
connection rod cap	low alloy steel	1	0.7	0.74	0.27	0.28	1	0.34	0.58	0	7	3.91	0.56	2.18
bearing	cast iron	2	0.7	0.74	0.27	0.26	0.91	1	0.58	0	7	4.455	0.64	2.84

Matriks atribut kompleksitas untuk proses insertion dengan menyertakan unsur material

Part name	jenis material	Number	INSERT COMP FACTOR							K	C <sub>I1</sub>	C <sub>I</sub>	C <sub>I</sub> * C <sub>I1</sub>
			HLD D/W	INSRT REST	ALIGN	MCH FST	NON MCH FST	ACSBLY 8/VS	NON FST N FRM				
compression ring	medium carbon steel	2	0.54	0.73	1	0	0	0	0	3	2.27	0.76	1.72
oil ring	cast iron	1	0.54	0.62	1	0	0	0	0	3	2.16	0.72	1.56
piston	cast aluminum alloy	1	0.54	0.61	0.86	0	0	0	0	3	2.009	0.67	1.35
piston pin	cast aluminum alloy	1	0.54	0.50	1	0	0	0	0	3	2.04	0.68	1.39
snap ring	high carbon steel	2	0.54	0.64	1	0	0	0	0	3	2.18	0.73	1.58
connection rod shaft	low alloy steel	1	1	0.61	1	0	0	0	0	3	2.809	0.87	2.27
connection rod cap	low alloy steel	1	1	0.61	1	0.42	0	0	0	4	3.029	0.78	2.29
bearing	cast iron	2	1	0.62	1	0	0	0	0	3	2.62	0.87	2.29

Perhitungan koefisien kompleksitas relatif ( $CI_{produk}$ ) untuk material yang umum digunakan pada produk piston

Part name	jenis material	Number	$C_{part}$	$x_p$	CI
compression ring	medium carbon steel	2	0.631	0.182	0.115
oil ring	cast iron	1	0.614	0.091	0.056
piston	cast aluminium alloy	1	0.583	0.091	0.053
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.646	0.091	0.059
snap ring	high carbon steel	2	0.705	0.182	0.128
connection rod shaft	low alloy steel	1	0.683	0.091	0.062
connection rod cap	low alloy steel	1	0.645	0.091	0.059
bearing	cast iron	2	0.724	0.182	0.132
$CI_{produk}$					<b>0.663</b>

Dari hasil perhitungan untuk model yang di kembangkan dalam penelitian ini didapat  $CI_{produk} = 0.663$  sehingga kompleksitas proses

perakitan produk piston dengan material yang umum digunakan atau ditemui di pasaran:

$$C_{proses\ assembly} = [8/11 + 0.663] [\log_2(11 + 1)] + [1/2] [\log_2(2+1)] = 5.777$$

Hubungan Material dengan Kompleksitas

Penting nya melihat hubungan material dengan kompleksitas yaitu sebagai acuan untuk melakukan proses pemilihan material di tahap

yang kedua. Dalam penelitian ini hubungan antara material dengan kompleksitas ditunjukkan pada tabel 8: Hubungan density dan kompleksity

material yang digunakan	komponen-komponen untuk produk piston																	
	compression ring		oil ring		piston		piston pin		snap ring		connection rod shaft		connection rod cap		bearing			
	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density		
cast iron	0.10	50.35	0.05	50.35					0.10	50.35	0.10	50.35					0.10	50.35
high carbon steel	0.11	50.16	0.05	50.16			0.05	50.16	0.11	50.16	0.05	50.16	0.05	50.16	0.05	50.16	0.11	50.16
low alloy steel	0.12	50.16	0.06	50.16			0.06	50.16	0.12	50.16	0.06	50.16	0.06	50.16	0.06	50.16		
low carbon steel	0.10	50.16	0.05	50.16			0.05	50.16	0.10	50.16	0.05	50.16	0.05	50.16	0.05	50.16		
medium carbon steel	0.12	50.16	0.06	50.16			0.06	50.16	0.12	50.16	0.06	50.16	0.06	50.16	0.06	50.16		
stainless steel	0.11	50.80	0.06	50.80	0.06	50.80	0.06	50.80	0.11	50.80	0.06	50.80	0.06	50.80	0.06	50.80		
aluminium alloy	0.11	51.85	0.05	51.85	0.05	51.85	0.05	51.85	0.11	51.85	0.05	51.85	0.05	51.85	0.05	51.85		
titanium alloy											0.05	54.87	0.05	54.87				

Dari data tabel 8 terlihat bahwa ada beberapa material untuk komponen tertentu memiliki density yang kecil tetapi koefisien kompleksitasnya agak tinggi dibandingkan yang lain, dan sebaliknya. Tabel 9 memperlihatkan peringkat material berdasarkan nilai kompleksity dan density dari masing-masing material untuk tiap komponen pada produk piston. Untuk lebih jelasnya pada tabel 10, tabel 11 dan tabel 12, dapat dilihat matriks atribut handling dan insertion, perhitungan koefisien kompleksitas relatif untuk material serta perhitungan indeks kompleksitas proses assembly produk piston dengan menggunakan material-material yang menempati peringkat pertama berdasarkan hasil seleksi.

Peringkat material hasil seleksi berdasarkan nilai kompleksity

material yang digunakan	komponen-komponen untuk produk piston																		
	compression ring		oil ring		piston		piston pin		snap ring		connection rod shaft		connection rod cap		bearing				
	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density	kompleksity	density			
cast iron	0.10	50.35	1	0.05	50.35	1			0.10	50.35	1	0.10	50.35	1			0.10	50.35	
high carbon steel	0.11	50.16	4	0.05	50.16	4			0.11	50.16	6	0.05	50.16	3	0.05	50.16	4	0.11	50.16
low alloy steel	0.12	50.16	5	0.06	50.16	5			0.12	50.16	7	0.06	50.16	4	0.06	50.16	5		
low carbon steel	0.10	50.16	3	0.05	50.16	4			0.10	50.16	5	0.05	50.16	4	0.05	50.16	6		
medium carbon steel	0.12	50.16	7	0.06	50.16	5			0.12	50.16	7	0.06	50.16	4	0.06	50.16	5		
stainless steel	0.11	50.80	2	0.06	50.80	2	0.06	50.80	0.11	50.80	2	0.06	50.80	3	0.06	50.80	3		
aluminium alloy	0.11	51.85	1	0.05	51.85	1	0.05	51.85	0.11	51.85	1	0.05	51.85	2	0.05	51.85	1		
titanium alloy												0.05	54.87	1	0.05	54.87	1		

Matriks atribut kompleksitas untuk proses handling dengan material yang menempati peringkat pertama hasil seleksi

Partname	jenis material	Number	HANDLING COMP FACTOR							J	Ch <sub>J</sub>	Ch	Ch*Ch <sub>J</sub>	
			SYM	SIZE	THICKNESS	WEIGHT	GRFS&MANFASSTNC	NESTITANG	OPTCLMGNFC					
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.7	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.845	0.55	2.11
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.845	0.55	2.11
piston	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	0.91	0.34	0.58	0	7	3.755	0.54	2.01
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	0.91	1	0.58	0	7	4.415	0.63	2.78
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.7	0.81	0.5	0.22	1	1	0.58	0	7	4.805	0.69	3.30
connection rod shaft	titanium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.27	1	0.34	0.58	0	7	3.895	0.56	2.17
connection rod cap	titanium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.27	1	0.34	0.58	0	7	3.895	0.56	2.17
bearing	high carbon steel	2	0.7	0.74	0.27	0.28	0.91	1	0.58	0	7	4.48	0.64	2.87

Matriks atribut kompleksitas untuk proses insertion dengan material yang menempati peringkat pertama hasil seleksi

Part name	jenis material	Number	INSERT COMP FACTOR							K	Ch <sub>J</sub>	Ch	Ch*Ch <sub>J</sub>
			HLD DWN	INSPT	RES ALIGN	MCH FST	NON MCH FST	ACCSBLT/8V	NON FSTN PR				
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
piston	cast aluminium alloy	1	0.54	0.61	0.602	0	0	0	0	3	1.751	0.58	1.02
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
connection rod shaft	titanium alloy	1	1	0.62	1	0	0	0	0	3	2.6177	0.87	2.28
connection rod cap	titanium alloy	1	1	0.62	1	0.294	0	0	0	4	2.5117	0.73	2.12
bearing	high carbon steel	2	1	0.64	1	0	0	0	0	3	2.84	0.88	2.32

Perhitungan nilai koefisien kompleksitas relatif ( $CI_{\text{produk}}$ ) dengan material yang menempati peringkat pertama hasil seleksi

Part name	jenis material	Number	$C_{\text{part}}$	$x_p$	CI
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.622	0.182	0.1131
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.622	0.091	0.0565
piston	cast aluminium alloy	1	0.551	0.091	0.0501
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.670	0.091	0.0609
snap ring	cast aluminium alloy	2	0.706	0.182	0.1283
connection rod shaft	titanium alloy	1	0.683	0.091	0.0621
connection rod cap	titanium alloy	1	0.630	0.091	0.0573
bearing	high carbon steel	2	0.729	0.182	0.1325
$CI_{\text{produk}}$			<b>0.661</b>		

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan material yang menempati peringkat pertama didapat  $CI_{\text{produk}} = 0.661$ , sehingga kompleksitas proses perakitan produk piston:

$$C_{\text{proses assembly}} = [8/11 + 0.661] [\log_2(11 + 1)] + [1/2] [\log_2(2 + 1)] = 5.769$$

Disamping menghitung indeks kompleksitas assembly produk piston dengan menggunakan material yang menempati peringkat pertama, alternatif material yang lain nya (semua kandidat material) juga dihitung,

sehingga didapatkanlah kombinasi material yang tepat untuk produk piston dan memiliki indeks kompleksitas yang lebih kecil adalah sebagai berikut :

Material yang ideal untuk produk piston

Part name	Number	Diversity	material yang ideal digunakan
Compression ring	2	1	aluminium alloy
Oil ring	1	1	aluminium alloy
Piston	1	1	aluminium alloy
Piston pin	1	1	aluminium alloy
Snap ring	2	1	aluminium alloy
Connection rod shaft	1	1	aluminium alloy
Connection rod cap	1	1	aluminium alloy
Bearing	2	1	cast iron

Pada tabel 14, 15 dan 16 dapat dilihat hasil perhitungan kompleksitas proses assembly produk piston dengan material yang efektif(ideal)

Matriks atribut kompleksitas untuk proses handling dengan material yang ideal

Part name	jenis material	Number	HANDLING COMP FACTOR								J	C <sub>h</sub> J	C <sub>h</sub>	C <sub>h</sub> * C <sub>h</sub> J
			SYM	SIZE	THICKNESS	WEIGHT	GRPS & MANF	ASSTIC	NEST/TANG	OPTCL MGNFC				
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.7	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.845	0.55	2.11
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.845	0.55	2.11
piston	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	0.91	0.34	0.58	0	7	3.755	0.54	2.01
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	0.91	1	0.58	0	7	4.415	0.63	2.78
snar ring	cast aluminium alloy	2	0.7	0.81	0.5	0.22	1	1	0.58	0	7	4.805	0.69	3.30
connection rod sha	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.845	0.55	2.11
connection rod cap	cast aluminium alloy	1	0.7	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.845	0.55	2.11
bearing	cast iron	2	0.7	0.74	0.27	0.28	0.91	1	0.58	0	7	4.455	0.64	2.84

Matriks atribut kompleksitas untuk proses handling dengan material yang ideal

Part name	jenis material	Number	INSERT COMP FACTOR							K	C <sub>i</sub> J	C <sub>i</sub>	C <sub>i</sub> * C <sub>i</sub> J
			HLD DWN	INSRT RES	ALIGN	MCH FST	NON MCH FST	ACSELT Y&V	NON FSTN PR				
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
piston	cast aluminium alloy	1	0.54	0.61	0.60	0	0	0	0	3	1.75	0.58	1.02
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
snar ring	cast aluminium alloy	2	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
connection rod sha	cast aluminium alloy	1	1	0.61	1	0	0	0	0	3	2.61	0.87	2.27
connection rod cap	cast aluminium alloy	1	1	0.61	1	0.29	0	0	0	4	2.90	0.73	2.11
bearing	cast iron	2	1	0.63	1	0	0	0	0	3	2.63	0.88	2.31

Perhitungan nilai koefisien kompleksitas relatif (C<sub>I</sub> produk) dengan material yang ideal

Part name	jenis material	Number	C <sub>part</sub>	x <sub>p</sub>	C <sub>I</sub>
compression ring	cast aluminium alloy	2	0.62	0.18	0.11
oil ring	cast aluminium alloy	1	0.62	0.09	0.06
piston	cast aluminium alloy	1	0.55	0.09	0.05
piston pin	cast aluminium alloy	1	0.67	0.09	0.06
snar ring	cast aluminium alloy	2	0.71	0.18	0.13
connection rod sha	cast aluminium alloy	1	0.68	0.09	0.06
connection rod cap	cast aluminium alloy	1	0.63	0.09	0.06
bearing	cast iron	2	0.73	0.18	0.13
<b>C<sub>I</sub> produk</b>					<b>0.659</b>

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan material yang ideal didapat C<sub>I</sub> produk = 0.659 , sehingga kompleksitas proses perakitan produk piston:

$$C_{\text{proses assembly}} = [8/11 + 0.659] [\log_2(11 + 1)] + [1/2] [\log_2(2+1)] = 5.764$$

### KESIMPULAN

1. Dengan melakukan pengembangan dan penggabungan model pemilihan material dan model penentuan nilai kompleksitas untuk proses assembly maka hasil yang diperoleh boleh dikatakan lebih akurat dari hasil yang sebelumnya, karena telah memasukkan faktor material ke dalam perhitungan.
2. Nilai kompleksitas dalam penelitian ini lebih kecil dari pada penelitian sebelumnya karena pada penelitian sebelumnya penentuan nilai kompleksitas sudah memperhitungkan nilai material, hanya saja nilai material yang digunakan prediksi atau perkiraannya masih sangat kasar dan kurang spesifik.
3. Untuk mendapatkan material yang ideal untuk komponen otomotif maka proses pemilihan material merupakan hal yang penting dan juga tahapan ini harus di tempatkan pada bagian awal dalam konseptual desain (setelah diperoleh gambaran umum tentang desain).
4. Ada beberapa material yang secara seleksi menempati peringkat pertama, namun kenyataannya material tersebut diperuntukan bagi produksi khusus bukan untuk produksi massal.
5. Semakin kecil peringkat material, maka material tersebut semakin ideal untuk digunakan.
6. Semakin kecil nilai kompleksitas untuk proses assembly, maka semakin kecil tingkat kerumitan untuk merakitnya sehingga prosesnya akan menjadi singkat.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Boothroyth. (2001), *Product Design for manufacture and assembly*, Boothroyd Dewhurst Inc. and University of Rhode Island, USA
2. 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,
3. ElMaraghy, W.H. & Urbanic, R. Jill (2006). *Modeling of Manufacturing Process Complexity*, British Library Cataloguing in Publication Data Advances in design, Springer,
4. 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,
5. Granata Material Inspiration, CES EDUPACK 2005 software
6. Kalpakjian, Serope (1995). *Manufacturing Engineering and Technology*, 3rd Edition, Prentice Hall, USA,
7. Michael F. Ashby (2005). *Material Selection in Mechanical Design*, Third edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, oxford
8. Peraturan Presiden Republik Indonesia No.28, Tahun 2008, *Kebijakan Industri Nasional*. <http://depperin.go.id/Regulasi/2008/05/Perpres%20no%2028.pdf> , diakses pada tanggal 25 Januari 2011, Pukul 11:06 pm