

## PENENTUAN URUTAN KOMPONEN UNTUK PROSES PERAKITAN PISTON

### DETERMINATION OF COMPONENTS SEQUENCES FOR THE PISTON ASSEMBLY PROCESS

Nelce D. Muskita<sup>1</sup>, Surianto Buyung<sup>1</sup>, Yolanda J. Lewerissa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mechanical Engineering, Saint  
Paul Polytechnic of Sorong,  
Sorong, Indonesia  
nelcemuskita1810@gmail.com

#### ABSTRACT

*The objective of Design for Assembly is to optimize the assembly process by minimizing or reducing the time required for assembly. Materials used in each component, as well as the sequence in which the parts are handled and inserted, have a significant impact at formation the angles of  $\alpha$  (alpha) and  $\beta$  (beta). These angles serve as reference points for determining the allotment assembly time for a component. Calculation process begins by determining the number of pieces ( $N$ ) and variety of component ( $n$ ) at the product to be assembled. The factors that significantly influence the arrangement of components during handling, insertion, and fastening processes are determined. Handling complexity factor is the factors affecting the handling process ( $Ch$ ), while insertion complexity factor is the factors influencing the insertion process ( $Ch$ ). Product Complexity Index ( $CI_{product}$ ) and the assembly process complexity ( $C_{assembly\ process}$ ) from the product to be assembled can be calculated, where lower values indicating easier assembly and shorter assembly time, recommendations and suggestions to relevant parties.*

**Keywords :** Complexity, Component Sequence, Design for Assembly,

#### 1. PENDAHULUAN

Industri otomotif terus berkembang dan memajukan proses produksi, teknologi teknik manufaktur, dan teknik bahan bakar.<sup>[1]</sup> Perakitan piston mesin dapat menjadi kompleks karena melibatkan banyak komponen.<sup>[2]</sup> Sangat penting untuk mengatur komponen dengan benar untuk menghindari masalah kinerja pada mesin. Urutan perakitan komponen sangat memengaruhi fungsionalitas keseluruhan mesin.<sup>[3]</sup> Diantara komponen-komponen penting, ring piston sangat penting untuk menyegel ruang bakar dan mencegah kebocoran oli ke dalam silinder. Piston juga mempunyai fungsi yang vital karena bergerak naik turun, memampatkan campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder. Selain itu, *connection road* dan *piston pin* serta *snap ring* memiliki peran penting. Mengikuti instruksi pabrikan dengan cermat dan memastikan pemasangan yang benar dari setiap komponen sangat penting, dengan pendekatan yang cermat ini akan membantu menjamin pengoperasian mesin yang tepat dan umur pakai yang panjang.<sup>[4]</sup> Tahap perakitan sangat penting dalam serangkaian proses manufaktur.<sup>[5]</sup>

#### 2. KAJIAN PUSTAKA

Proses perakitan mencakup 53% dari keseluruhan waktu produksi dan total biaya produksi sebesar 20%.<sup>[6]</sup> Mendalami biaya produksi, pengeluaran tersebut terbagi menjadi 20% untuk biaya proses perakitan dan 80% untuk biaya material dan proses lainnya.<sup>[7]</sup> Desain untuk perakitan (Design for Assembly) harus mencakup semua tahapan proses desain, dengan penekanan khusus pada fase awal. Sebagai desain yang mengeksplorasi berbagai solusi yang mungkin, sangat penting untuk mempertimbangkan kemudahan perakitan atau sub-perakitan produk.<sup>[8]</sup> Efektivitas Desain untuk Perakitan (DFA) terletak pada kemampuannya untuk menganalisis dan menilai kemudahan perakitan atau sub-perakitan dengan cepat, mudah, dan ramah pengguna. Hal ini juga harus memastikan evaluasi yang konsisten dan komprehensif terhadap kemampuan perakitan produk.<sup>[9][10]</sup> Pengukuran

kompleksitas perakitan telah banyak dilakukan, tetapi metode saat ini bergantung pada perakitan model berdasarkan data empiris dari pengamatan manusia dan mesin.<sup>[11]</sup>

Metode ini kurang mempertimbangkan kompleksitas sebenarnya dari proses perakitan dan hanya bergantung pada perkiraan umum waktu perakitan.<sup>[12]</sup> Selain itu, pemilihan material untuk setiap komponen juga memengaruhi kesulitan proses perakitan, karena setiap material memiliki nilai kompleksitas yang dikenal sebagai koefisien material.<sup>[13][14]</sup> Namun, indeks kompleksitas yang ada yang digunakan untuk mengukur kelincahan dan waktu perakitan tidak memperhitungkan dampak geometri bagian atau waktu yang dibutuhkan dengan membandingkan sistem dan strategi perakitan yang berbeda.<sup>[15]</sup> Pendekatan lain untuk mengukur kompleksitas perakitan adalah dengan menghitung parameter waktu yang dibutuhkan untuk perakitan, yang dianggap sebagai fungsi linier dari isi informasi untuk memprediksi keseluruhan waktu perakitan.<sup>[16]</sup> Kompleksitas dibahas dalam konteks metodologi DFA (Design for Assembly), dengan fokus pada dua tingkatan: kompleksitas produk dan kompleksitas perakitan.<sup>[17]</sup>

### 3. METODE PENELITIAN

Untuk alasan yang telah disebutkan di atas, penulisan artikel ini bertujuan untuk memberikan informasi ilmiah tentang faktor-faktor yang sangat memengaruhi susunan komponen selama proses perakitan dan peringkat yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan untuk rekomendasi atau saran kepada mereka yang benar-benar membutuhkannya, yang dalam hal ini adalah industri perakitan, unit perakitan atau divisi untuk mengatur lini perakitan agar lebih efektif.

Untuk menentukan sejauh mana urutan komponen memengaruhi kompleksitas proses perakitan, kami telah memilih piston sebagai produk referensi kami. Dengan menganalisis data yang terkait dengan produk piston, selanjutnya dapat mengidentifikasi urutan komponen potensial yang dapat digunakan selama proses perakitan. Setelah itu dilanjutkan dengan proses mengumpulkan beberapa opsi untuk urutan komponen, yang kemudian akan dilanjutkan untuk menghitung dan menilai tingkat kesulitan setiap opsi perakitan menggunakan Persamaan 1<sup>[17]</sup>








$$C_{assembly\ process} = \left[ \frac{n_p}{N_p} + CI_{product} \right] [Log_2(N_p + 1)] + \left[ \frac{n_s}{N_s} \right] [Log_2(N_s + 1)] \dots \dots \dots (1)$$

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil perhitungan kompleksitas proses perakitan dengan mempertimbangkan urutan komponen dalam proses perakitan piston

Informasi yang relevan mengenai piston, menjadi subjek penelitian ini dapat ditemukan pada Tabel 1. Setelah data dari produk diidentifikasi, selanjutnya dapat mengamati hasil identifikasi urutan komponen potensial untuk proses perakitan pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa, untuk memastikan proses perakitan yang lancar dan efisien, perencanaan urutan komponen yang tepat sangat penting. Hal ini melibatkan identifikasi urutan paling logis di mana berbagai bagian harus dirakit, dengan mempertimbangkan beberapa faktor termasuk kemudahan akses, kompatibilitas, dan keamanan. Dengan mempertimbangkan urutan komponen yang tepat dapat membantu meminimalkan kesalahan, mengurangi limbah, dan pada akhirnya menciptakan produk akhir yang lebih baik. Oleh karena itu, baik industri otomotif mengerjakan proyek DIY (*Do It Yourself*) kecil atau mengelola operasi manufaktur skala besar, perencanaan urutan komponen yang tepat sangat penting untuk keberhasilan proses perakitan dan akan mengurangi waktu perakitan. Sehingga proses perakitan akan lebih cepat dan mudah.

**Tabel 1.** Product Information

Part Name	Material	Component Figure	Number	Component Order
Compression Ring	Cast Aluminium Alloy		2	1
Oil Ring	Cast Aluminium Alloy		1	2
Piston	Cast Aluminium Alloy		1	3
Piston Pin	Cast Aluminium Alloy		1	4
Snap Ring	Cast Aluminium Alloy		2	5
Connection road shaft	Cast Aluminium Alloy		1	6
Connection Road Cap	Cast Aluminium Alloy		1	7
Bearing	Cast Iron		2	8

**Tabel 2.** Opportunity sequence of components for the assembly process

Part Name	Material	Number	Component Order	Probability						
				1	2	3	4	5	6	7
Compression ring	Cast aluminium alloy	2	1	3	3	6	6	7	7	1
Oil ring	Cast aluminium alloy	1	2	2	6	7	3	6	6	2
Piston	Cast aluminium alloy	1	3	1	4	8	4	8	8	3
Piston pin	Cast aluminium alloy	1	4	6	5	3	5	3	3	4
Snap ring	Cast aluminium alloy	2	5	4	7	4	1	4	4	5
Connection road shaft	Cast aluminium alloy	1	6	5	8	5	2	5	5	6
Connection road cap	Cast aluminium 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 saat proses perakitan sangat memengaruhi atribut proses penanganan (*handling*) dan pemasangan (*insertion*). Secara khusus, bentuk simetri dari komponen terpengaruh karena urutan komponen yang berbeda akan menghasilkan sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  yang bervariasi, juga mempengaruhi tingkat kesulitan proses perakitan dan waktu yang dibutuhkan untuk perakitan. Hasil perhitungan indeks kompleksitas produk ( $CI_{\text{produk}}$ ) dan kompleksitas proses perakitan ( $C_{\text{proses perakitan}}$ ) untuk semua peluang dari rangkaian komponen dapat dilihat pada Tabel 3. Saat merakit suatu produk, indeks kompleksitas setiap peluang sangat bervariasi tergantung pada urutan komponen yang akan dirakit. Sangat penting untuk mempertimbangkan dengan cermat semua kemungkinan kombinasi untuk memastikan kualitas dan efisiensi tertinggi dalam produksi. Produsen dapat menentukan jalur optimal untuk menciptakan produk yang sukses dengan menganalisis urutan komponen yang berbeda dalam proses perakitan. Untuk mencapai hal ini, diperlukan pemahaman mendalam tentang material, proses manufaktur, dan kebutuhan pengguna akhir. Kualitas dan efisiensi merupakan faktor penting, sehingga

produsen dapat menciptakan produk yang memenuhi keinginan pelanggan. Semua peluang untuk srangkaian komponen piston dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** The calculassions result of  $CI_{product}$  and  $C_{assembly\ process}$  of all component order Opportunities

	Probability						
	1	2	3	4	5	6	7
$CI_{product}$	0.544	0.507	0.107	0.358	0.170	0.113	0.525
$CI_{assembly\ process}$	5.349	5.220	4.011	4.686	4.011	3.808	5.283

Peringkat urutan komponen yang optimal untuk proses perakitan dapat dilihat pada tabel 4. Ini dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan urutan komponen yang optimal untuk proses perakitan piston, dengan mempertimbangkan nilai  $CI_{produk}$  dan  $C_{proses\ perakitan}$ . Dengan demikian, informasi ini dapat digunakan untuk menyarankan urutan komponen yang relatif efisien untuk perakitan produk piston. Selain itu, Tabel 4 menunjukkan peringkat semua kemungkinan urutan komponen saat dirakit, di mana proses perakitan suatu produk membutuhkan tindakan yang tepat, prosedur yang tepat dan ketelitian yang terkait dengan konstruksi, integrasi, dan pemasangan piston yang akurat dan tepat, di mana semua komponen saling terhubung. Proses ini mencakup beberapa tahapan, termasuk pemilihan, pengaturan, dan integrasi elemen individual serta kepatuhan terhadap pedoman, standar, dan protokol tertentu untuk memastikan fungsionalitas, keandalan, dan keamanan yang optimal. Probabilitas ini menunjukkan urutan kemungkinan atau peluang komponen dalam keseluruhan proses perakitan piston beserta prosedur terperinci dan tepat yang terlibat dalam perakitannya, yang memberikan wawasan berharga tentang tingkat keunggulan dan efektivitas setiap peluang.

**Tabel 4.** The Ranking of  $CI_{product}$  and  $CI_{assembly\ process}$

	Probability						
	1	2	3	4	5	6	7
$CI_{product}$	0.544	0.507	0.107	0.358	0.170	0.113	0.525
$CI_{assembly\ process}$	5.349	5.220	4.011	4.686	4.011	3.808	5.283
Ranking	7	5	2	4	3	1	6

Selanjutnya, detail perhitungan  $CI_{produk}$  dan  $C_{proses\ perakitan}$  untuk urutan komponen dalam proses perakitan piston yang menempati peringkat pertama dapat dilihat pada Tabel 5, 6, dan 7. Tabel-tabel ini memberikan informasi komprehensif dan detail mengenai pengukuran  $CI_{produk}$  dan  $C_{proses\ perakitan}$ . Selain itu, matriks atribut penanganan kompleksitas proses membantu dalam mengevaluasi dan mengkategorikan berbagai dimensi kompleksitas, seperti jumlah langkah, saling ketergantungan, titik keputusan, kebutuhan sumber daya, dan potensi risiko serta tantangan yang terkait dengan proses perakitan. Dengan memetakan dan mengukur atribut-atribut ini dalam bentuk matriks, hal ini memungkinkan pemahaman dan pengukuran yang lebih baik tentang tingkat kompleksitas keseluruhan yang terlibat. Selain itu, matriks ini memfasilitasi identifikasi area-area kritis di mana kompleksitas dapat muncul, yang membantu organisasi dan individu memperoleh wawasan tentang potensi hambatan, inefisiensi, dan area yang membutuhkan perhatian dan sumber daya tambahan. Ini berfungsi sebagai alat yang berharga untuk optimasi proses perakitan, sehingga memungkinkan analisis yang ditargetkan, prioritas, dan perencanaan strategis untuk menyederhanakan dan meningkatkan penanganan proses yang kompleks.

**Tabel 5.** Attribute matrix for the complexity of handling Process

Part Name	Material	Number	Handling Complexity Factor								J	Ch,f	Ch	Ch*h,f
			Symetry	Size	thickns	Wght	grpsg & mnpltn	Asstnc	Nesting/ tangling	Opticl. mgnifctn				
Connection Rod cap	Cast Alumunium 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 Alumunium 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 Alumunium 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 Alumunium 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 Alumunium 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 Alumunium Alloy	1	1	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	4.1465	0.59	2.46
Compresion Ring	Cast Alumunium Alloy	2	0	0.74	0.27	0.22	1	0.34	0.58	0	7	3.145	0.45	1.41

**Tabel 6.** Attribute matrix for the complexity of insertion process

Part Name	Material	Number	Insertion Complexity Factor							K	Ci,f	Ci	Ci*Ci,f
			Hld. dwn	Insert .rest	Align	Mch .fst	Non. mech .fst	Acsblty & visn	Non. Fst. pres				
Connection Rod cap	Cast Alumunium Alloy	1	1	0.61	0	0.29	0	0	0	4	1.90	0.48	0.91
Connection Rod shaft	Cast Alumunium 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 Alumunium Alloy	1	0.54	0.61	0.2838	0	0	0	0	3	1.43	0.48	0.68
Piston Pin	Cast Alumunium Alloy	1	0.54	0.70	0	0	0	0	0	3	1.24	0.41	0.51
Snap Ring	Cast Alumunium Alloy	2	0.54	0.70	0.67	0	0	0	0	3	1.91	0.64	1.22
Oil Ring	Cast Alumunium Alloy	1	0.54	0.70	1	0	0	0	0	3	2.24	0.75	1.67
Compresion Ring	Cast Alumunium Alloy	2	0.54	0.70	0	0	0	0	0	3	1.24	0.41	0.51

**Tabel 7.** The Calculation Of Index Complexity Product ( $CI_{Product}$ )

Part Name	Material	Number	Cpart	XP	CI
connection rod cap	cast alumunium alloy	1	1	0,46	0,09
connection rod shaft	cast alumunium alloy	1	1	0,48	0,09
bearing	cast iron	2	2	0,60	0,18
piston	cast alumunium alloy	1	1	0,47	0,09
piston pin	cast alumunium alloy	1	1	0,50	0,09
snap ring	cast alumunium alloy	2	2	0,66	0,18
oil ring	cast alumunium alloy	1	1	0,65	0,09
compresion ring	cast alumunium alloy	2	2	0,44	0,18
<b><math>CI_{product}</math></b>					<b>0,113</b>

Hasil perhitungan indeks kompleksitas produk (CI produk) terhadap proses penanganan dan pemasangan dengan 11 komponen (N) dan 8 keragaman/keunikan komponen (n), menunjukkan nilai 0,113. Berdasarkan perhitungan ini, kompleksitas proses perakitan untuk produk piston dengan urutan komponen teratas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{\text{assembly process}} &= [8/11 + 0.113] [\log_2(11 + 1)] + [1/2] [\log_2(2+1)] \\ &= 3.808. \end{aligned}$$

#### **4.2 Pembahasan urutan komponen dalam piston yang berkaitan dengan kompleksitas proses perakitan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan  $CI_{\text{produk}}$  melibatkan pendekatan terstruktur dan sistematis untuk mengevaluasi dan mengukur kompleksitas produk piston. Metode komprehensif ini mempertimbangkan berbagai faktor dan secara kolektif akan berkontribusi dalam menentukan tingkat kompleksitas yang terkait dengan semua komponen piston. Selain itu, perhitungan  $CI_{\text{produk}}$  menawarkan wawasan penting tentang kerumitan yang terlibat dalam produksi dan manajemen produk dengan menganalisis berbagai aspek, seperti desain produk, proses manufaktur, komponen teknologi, ketergantungan rantai pasokan, dan persyaratan peraturan. Indeks ini berfungsi sebagai ukuran kuantitatif yang membantu dalam membandingkan dan memahami kompleksitas relatif dari berbagai produk dalam konteks tertentu.

Oleh karena itu, perhitungan  $CI_{\text{produk}}$  sangat penting dalam proses pengambilan keputusan yang dapat diterapkan pada produk lain. Hal ini memungkinkan organisasi untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan area yang membutuhkan perhatian dan sumber daya tambahan karena kompleksitasnya yang lebih tinggi. Selain itu,  $CI_{\text{produk}}$  dapat digunakan untuk mengevaluasi kelayakan peningkatan produk, menilai potensi risiko dan tantangan, dan mengoptimalkan strategi produksi.

### **5. KESIMPULAN**

Urutan komponen memainkan peran penting dalam menentukan kompleksitas proses perakitan produk. Kompleksitas ini dipengaruhi oleh sudut alfa dan beta, yang menggambarkan bentuk sumbu paralel dan tegak lurus komponen. Nilai kompleksitas yang lebih tinggi menunjukkan waktu perakitan yang relatif lebih lama. Oleh karena itu, urutan komponen yang menempati peringkat pertama berdasarkan nilai  $CI_{\text{product}}$  dan  $C_{\text{assembly process}}$  dapat disarankan sebagai urutan yang lebih efisien dan hemat biaya untuk proses perakitan produk.

### **UCAPAN TERIMAKASIH**

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin, beserta pimpinan Politeknik Saint Paul Sorong yang sudah memberikan bantuan dan dukungan bagi penulis dan tim dalam menyelesaikan penelitian ini. Juga kepada pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan bagi penulis dan tim. Semoga artikel ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] S. M. Aathif Akmal, G. Bharatiraja. (2022). "Analysis of engine mount material for automotive vibration and noise reduction." *Materials today Proceedings* 62: 2235-2239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.462>

- [2] S. N. Samy, H. A. El Maraghy. (2012). "Complexity mapping of the product and assembly system." *Assembly Automation*. 32(2): 135–151. <http://dx.doi.org/10.1108/01445151211212299>
- [3] Neeraj Panhalkar, Ratnadeep Paul & Sam Anand. 2014. "Optimization of Automobile Assembly Process to Reduce Assembly Time." *Computer-Aided Design and Applications*. 11: 54–60. <http://dx.doi.org/10.1080/16864360.2014.914410>
- [4] Vladimir Modrak, David Marton, Slavomir Bednar. 2014. "The Impact of Customized Variety on Configuration Complexity of Assembly Process." *Applied Mechanics and Materials*. 474: 135-140. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.474.135>
- [5] Waguih ElMaraghy, Hoda ElMaraghy, Tetsuo Tomiyama, Laszlo Monostori. (2012). "Complexity in engineering design and manufacturing." *CIRP Annals*. 61 (2): 793–814. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.001>
- [6] Bugra Alkan, Daniel A. Vera, Mussawar Ahmad, Bilal Ahmad and Robert Harrison. (2018). "Complexity in manufacturing systems and its measures: a literature review." *European J. of Industrial Engineering*. 12 (1): 116-150. <http://dx.doi.org/10.1504/EJIE.2018.089883>
- [7] Rodriguez-Toro, C., Tate, S., Jared, G., Swift, K. (2002). "Shaping the complexity of a design." *ASME Conference Proceedings: International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 641–649 <http://dx.doi.org/10.1115/IMECE2002-39413>
- [8] Slavomir Bednar, Vladimir Modrak. (2014). "Mass Customization and Its Implication on Assembly Process' Complexity." *International Journal for Quality Research*. 8 (3): 417-430. ISSN 1800-6450
- [9] Hua Wang, Tao Gu, Maozhu Jin, Rong Zhao, Guanxiang Wang. (2018). "The complexity measurement and evolution analysis of supply chain network under disruption risks." *Chaos, Solitons & Fractals*. 116: 72–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chaos.2018.09.018>
- [10] G. Michalos, A. Fysikopoulos, S. Makris, D. Mourtzis, G. Chryssolouris. (2015). "Multi criteria assembly line design and configuration – An automotive case study." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 9: 69-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2015.01.002>
- [11] Bugra Alkan, Daniel Vera, Mussawar Ahmad, Bilal Ahmad, Robert Harrison. (2016). "A Model for Complexity Assessment in Manual Assembly Operations Through Predetermined Motion Time Systems." *Procedia CIRP*. 44: 429-434. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.111>
- [12] Laun, M., Czech, C., Hartmann, U., Tersch ren, C., Harth, V., Karamanidis, K, Friemert, D. (2022). "The acceptance of smart glasses used as side-by-side instructions for complex assembly tasks is highly dependent on the device model." *International Journal of Industrial Ergonomics*. 90: 103316. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103316>
- [13] Nelce D. Muskita, Rudy Soenoko, Achmad As'ad Sonief, Moch. Agus Choiron. (2023). "Assesment of Assembly Process complexity using material Coeficients for handling and Insertion." *EEJET Engineering Technologycal System*. 1 (121): 67-78. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2023.267430>
- [14] M. F. Ashby and Kara Johnson. *Materials and Design*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Third Edition. (2014). <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-098205-2.00011-1>
- [15] Ann-Christine Falck, Malin Tarrar, Sandra Mattsson, Lina Andersson, Mikael Rosenqvist & Rikard Söderberg. (2017). "Assessment of manual assembly complexity: a theoretical and empirical comparison of two methods." *International Journal of Production Research*. 55 (24): 7237–7250. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1330571>

- [16] Martin, S., Pascal, S., Michael, H., Bernd, K. (2022). "Proving the Applicability of Assembly Complexity Measures for Process Time Prediction of Customer-specific Production." *Procedia CIRP*. 07: 381-386. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.062>
- [17] ElMaraghy & S. N. Samy. (2010). "A Model for Measuring Product Assembly Complexity." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 23 (11). <http://dx.doi.org/10.1080/0951192x.2010.511652>