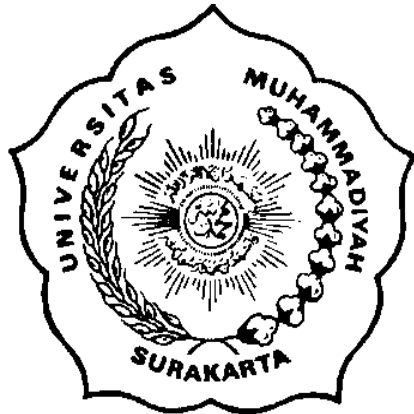


**EVALUASI PEMBONGKARAN PRODUK BERDASARKAN  
KOMPLEKSITAS DAN AKSESIBILITAS  
(Studi Kasus: Mesin Pompa Air Tipe Shimizu PS 126 BIT)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada  
Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**DESI RAHMAWATI**

**D 600 140 145**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**EVALUASI PEMBONGKARAN PRODUK BERDASARKAN  
KOMPLEKSITAS DAN AKSESIBILITAS (Studi Kasus: Mesin Pompa Air  
Tipe Shimizu PS 126 HT)**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh:

**DESI RAHMAWATI**

**D.600.140.145**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen  
Pembimbing



**Ida Nursanti, S.T., M.Eng.Sc**

**NIK. 1172**

HALAMAN PENGESAHAN

EVALUASI PEMBONGKARAN PRODUK BERDASARKAN  
KOMPLEKSITAS DAN AKSEBILITAS (Studi Kasus: Mesin Pompa  
Air Tipe Shimizu PS 126 BIT)

OLEH  
DESI RAHMAWATI  
D.600.140.145

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari, Selasa 31 Juli 2018  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ida Nursanti, S.T., M.Eng.Sc.  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Much. Djunaidi, S.T., M.T.  
(Anggota Dewan Penguji I)
3. Ir. Muchlison Anis, M.T.  
(Anggota Dewan Penguji II)



Dekan Fakultas Teknik  
Ir. Sri Supriatno, M.T., Ph.D., IPM  
NIK. 628

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 8 Agustus 2018

Penulis



# EVALUASI PEMBONGKARAN PRODUK BERDASARKAN KOMPLEKSITAS DAN AKSESIBILITAS (Studi Kasus: Mesin Pompa Air Tipe Shimizu PS 126 BIT)

## Abstrak

Barang elektronik bekas yang sudah tidak terpakai dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku dalam proses daur ulang logam. Salah satu bahan baku proses daur ulang logam adalah mesin pompa air tipe Shimizu Ps 126 Bit. Untuk mempermudah proses daur ulang, perlu dilakukan pembongkaran untuk memisahkan komponen logam dan non logam. Diagram *petri-net* dapat digunakan untuk mengetahui urutan dalam suatu proses pembongkaran. Berdasarkan diagram *petri-net* mesin pompa air didapatkan tiga urutan pembongkaran. Sehingga, dari urutan pembongkaran tersebut dapat diidentifikasi kompleksitas dan aksesibilitas pembongkaran setiap komponen. Dari evaluasi indeks kompleksitas dan aksesibilitas, komponen yang paling kompleks yaitu *mechanical seal*, penampung air dan tutup samping *pump body*. Sedangkan komponen yang paling sulit diakses adalah impeller, *mechanical seal* dan penutup rator. Berdasarkan perhitungan indeks yang dilakukan, didapatkan hasil indeks kompleksitas 5,60978 pada ketiga urutan dan indeks aksesibilitas 7,53881 pada setiap urutan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga urutan tersebut sama- memiliki tingkat kompleksitas dan aksesibilitas yang sama karena mesin pompa air tidak dapat dibongkar secara *sub-assembly* yang mengakibatkan penggunaan alat bantu yang sama ada ketiga urutan tersebut.

**Kata Kunci:** Aksesibilitas, Kompleksitas, Pembongkaran, *Petri-net*.

## Abstract

The second hand electronics can be used as raw materials in metal recycling process. One of the raw materials of metal recycling process is the Shimizu Ps 126 Bit water pump machine. To simplify the recycling process, it is necessary to disassemble to separate metal and nonmetallic components. Petri-net diagrams can be used to determine the sequence in a disassembly process. Based on the petri-net diagram of the water pump machine, there are three sequences of disassembly. Thus, from the sequence of disassembly can be identified the complexity and accessibility of each component dismantling. From the index evaluation of complexity and accessibility, the most complex components are mechanical seals, water containers and side caps pump body. While the most difficult to access components are impeller, mechanical seal and rator cover. Based on the calculation of the index, the result of index of complexity 5,60978 in the three sequences and accessibility index of 7.53881 in each sequence. So it can be concluded that the three sequences are the same have the same level of complexity and accessibility as the water pump machine can not be disassembled sub-assembly resulting in the use of the same aids there are all three sequences.

**Keywords:** Accessibility, Complexity, Disassembly, *Petri-net*.

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Barang elektronik yang sudah tidak digunakan akan menjadi sampah elektronik (*e-waste*). Salah satu contoh sampah elektronik yang sering dijumpai dalam rumah tangga adalah mesin pompa air. Mesin pompa air ini memiliki bentuk desain yang rumit dan tersusun dari banyak komponen yang terbuat dari logam maupun dari plastik. Karena jenis komponen yang berbeda, maka mengakibatkan proses pembongkaran antar komponen satu dengan yang lainnya tidaklah sama. Sehingga perlu dilakukan pembongkaran untuk memilah atau mengelompokkan antara komponen logam dan non logam. Selain itu, proses pembongkaran ini bertujuan untuk mengevaluasi desain produk atau desain antar komponen untuk mempermudah pengelompokan jenis komponen dalam perbaikan nilai akhir hidup (*end of life*) produk. Pemanfaatan nilai akhir hidup produk tersebut adalah dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam daur ulang, *maintenance*, *remanufacture*, dan lain-lain. Sehingga dapat meningkatkan nilai jual dari barang bekas yang sudah tidak terpakai.

Evaluasi proses pembongkaran dipengaruhi oleh faktor kompleksitas serta faktor aksesibilitas tiap komponen. Apakah komponen tersebut mudah atau tidak untuk dilepas dengan tangan atau perlu menggunakan alat bantu untuk melepaskannya. Berdasarkan permasalahan diatas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengevaluasi proses pembongkaran komponen berdasarkan faktor kompleksitas dan aksesibilitas komponen mesin pompa air tipe Shimuzu Ps 126 Bit.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah yang telah disampaikan, maka dapat dirumuskan masalah “Bagaimana evaluasi desain produk mesin pompa air berdasarkan kompleksitas dan aksesibilitas setiap komponen untuk kemudahan proses pembongkaran?”

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat *breakdown* pembongkaran komponen serta menentukan urutan kelayakan proses pembongkaran mesin pompa air yang mungkin dilakukan berdasarkan *Petri-Net*.
2. Mengevaluasi desain produk mesin pompa air tipe Shimizu Ps 126 Bit berdasarkan kompleksitas dan aksesibilitas pembongkaran.

## 2. METODE

### 2.1 *Disassembly*

*Disassembly* merupakan suatu proses penghapusan komponen penyangga yang diinginkan secara sistematis dari suatu sistem dengan memastikan tidak adanya kerusakan pada bagian-bagian komponen tertentu akibat proses pembongkaran tersebut (Yusof, 2003).

### 2.2 *Petri-Net Diagram*

*Petri-net* merupakan salah satu model yang telah diusulkan untuk membangun hubungan antara *sub-assembly* dan komponen, serta urutan yang mungkin untuk pembongkaran produk (Soh, 2015). Model-model matematika dapat digunakan untuk menentukan urutan pembongkaran optimal berdasarkan jalur terpendek. Namun, *petri-net* merupakan model jalur pembongkaran optimal untuk produk tanpa mempertimbangkan kendala praktis yang mungkin operator hadapi selama proses pembongkaran.

### 2.3 *Disassembly Metrics Evaluation*

Evaluasi urutan proses pembongkaran dapat dilakukan dengan perhitungan berikut:

#### 2.3.1 Indeks Kompleksitas

Kompleksitas pembongkaran adalah sejauh mana bagian-bagian *part* atau *sub-assemblies* memiliki geometri atau atribut fisik yang dapat menyebabkan kesulitan atau kendala selama *handling and removal* pada komponen (Soh, 2015). Evaluasi kuantitatif untuk kompleksitas pembongkaran berdasarkan indeks kompleksitas komponen ( $I_{com}$ ) ditunjukkan dalam persamaan (1).

$$I_{com} = \frac{C_h \sum_I^J C_{h,f} + C_r \sum_I^K C_{r,f}}{\sum_I^J C_{h,f} + \sum_I^K C_{r,f}} \quad (1)$$

#### 2.3.2 Indeks Aksesibilitas

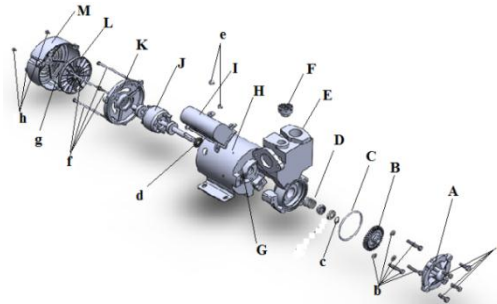
Aksesibilitas pembongkaran merupakan kemudahan atau kesulitan komponen dapat dicapai (Soh, 2015). Aksesibilitas dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$I_{acc} = - \left( \log_2 \frac{\Delta X}{X} + \log_2 \frac{\Delta Y}{Y} + \log_2 \frac{\Delta Z}{Z} \right) \quad (2)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Identifikasi Komponen Mesin Pompa Air

Identifikasi komponen adalah hasil pengamatan visual objek yang diteliti. Gambar 1 merupakan susunan dari mesin pompa air tipe Shimizu Ps 126 Bit.



Gambar 1 *Exploded View* Mesin Pompa Air Tipe Shimizu Ps 126 Bit

Berikut Tabel 1 merupakan tabel yang berisi data atribut fisik komponen yang meliputi nama komponen, panjang, tebal dan berat masing-masing komponen.

Tabel 1 Data Atribut Fisik Komponen Mesin Pompa Air Tipe Shimizu Ps 126 Bit

Kode	Nama komponen	Jumlah	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)
A	Pump cover	1	98	29,5	0,1
B	Impeller	1	60	17,5	<0,1
C	O ring	1	75,5	3	<0,1
D	Mechanical seal	1	29	25	<0,1
E	Penampung air	1	201,47	67	2,3
F	Tutup penampung air	1	31	21	<0,1
G	Tutup samping pump body	1	130	117	0,1
H	Pump body	1	131	118	3,1
I	Penutup kapasitor	1	110	51,75	<0,1
J	Rotor bearing	1	206	59	0,8
K	Penutup rotor	1	125	16	0,5
L	Kipas	1	104	14	<0,1
M	Penutup kipas	1	135	44	0,1

#### 3.2 *Disassembly Sequence Generation*

##### 3.2.1 *Precedence Diagram*

*Precedence diagram* digunakan untuk menggambarkan hubungan antara dua atau lebih aktivitas dalam proses pembongkaran antar komponen.

Tabel 2 *Precedence* Pembongkaran Mesin Pompa Air

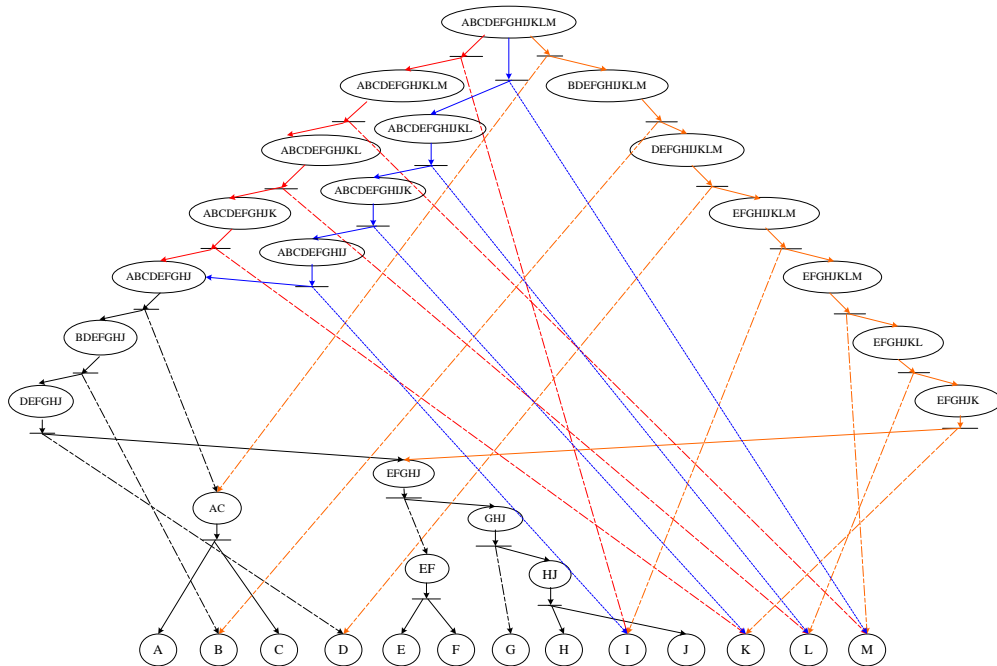
No	Pembongkaran	Fastener	Precedence
1	A-E	a1, a2, a3 dan a4	-
2	C-A	-	1
3	B-J	-	1
4	D-J	c	3
5	F-E	-	-
6	E-G	b1, b2 dan b3	4
7	G-H	-	6
8	I-H	e1, e2 dan e3	-
9	M-K	h1, h2 dan h3	-
10	L-K	g	9
11	K-H	f1, f2, f3 dan f4	10
12	J-H	D	7,8, 10 dan 11



Berdasarkan Tabel 2 diatas, *precendece* yang bersimbol (-) maka dapat dilakukan pembongkaran untuk urutan yang pertama atau dapat didahulukan daripada pembongkaran yang lainnya. Sedangkan *precedence* yang bersimbol angka, seperti pembongkaran 1 harus dilakukan terlebih dahulu sebelum pembongkaran 2 dan 3.

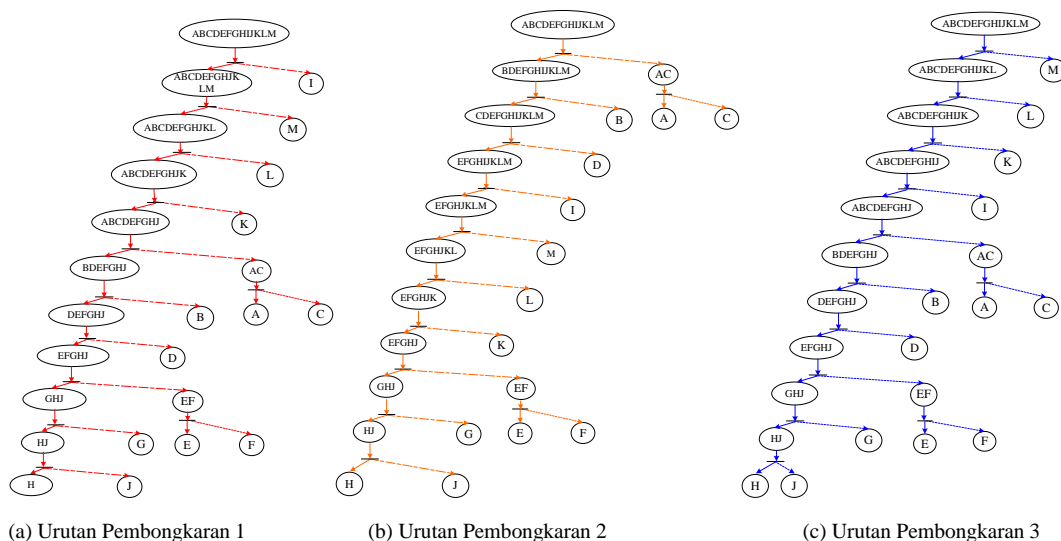
### 3.2.2 Urutan Pembongkaran dengan *Petri-Net*

Gambar 2 merupakan sebuah model *petri-net* pembongkaran untuk mesin pompa air tipe Shimizu Ps 126 Bit.



Gambar 2 Model *Petri-Net* Pembongkaran Mesin Pompa Air

Berdasarkan Gambar 2 terdapat 3 urutan yang mungkin dilakukan untuk mengambil komponen H (*pump body*) yang ditandai dengan warna merah, orange dan biru yang ditandai dengan warna merah, orange dan biru seperti Gambar 3.



(a) Urutan Pembongkaran 1

(b) Urutan Pembongkaran 2

(c) Urutan Pembongkaran 3

Gambar 3 Urutan Rute Kelayakan Pembongkaran Komponen H

### 3.3 Evaluasi Urutan Pembongkaran

#### 2.3.3 Indeks Kompleksitas

Nilai dari masing-masing faktor kesulitan saat *handling* ( $C_{h,f}$ ) maupun *removal* ( $C_{r,f}$ ) pada persamaan (1) dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 *Disassembly Attributes For Manual Disassembly*

Group	Attribute	Description	Difficulty factor, Cf	
<b>Handling (h)</b>	Size	>15mm	0,75	
		6mm to 15mm	0,81	
		<6mm	1	
	Thickness	>2mm	0,27	
		0,25mm to 2mm	0,5	
		<0,25mm	1	
	Weight	<4,5kg (light)	0,5	
		>4,5kg	1	
	<b>Removal (r)</b>	Mechanical unfastening process (U-effort)	Screw/bolt standard head	0,56
			Screw/bolt special head	0,88
Nut and bolt			0,84	
Retaining ring/circlips			1	
Interference fit			0,72	
Key			0,6	
Tools required		0 tools	0	
		1-3 tools	0,6	
		>4 tools	1	
Specialized tools		None	0	
	Involved	1		

*Difficulty factor handling* berdasarkan atribut yang meliputi ukuran panjang, tebal dan berat masing-masing komponen. Sedangkan *difficulty factor removal* berdasarkan alat bantu yang digunakan untuk melepas atau membongkar setiap komponen. Perhitungan indeks kompleksitas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan Matrik Evaluasi Indeks Kompleksitas

Complexity	Handling						Removal						Icom		
	Ch,f			$\sum C_{h,f}$	J	Ch	Cr,f			$\sum C_{r,f}$	K	Cr			
	Size	Thickness	Weight				U-effort	Tools req.	Special tools						
Merah	ABCDEFGHIJKLM : I	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	ABCDEFGHIJKLM : M	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	ABCDEFGHIJK : L	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	ABCDEFGHIJ : K	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	BDEFGHJ : AC	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	DEFGHJ : B	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0	0,6	0	0,6	1	0,6	0,53308	
	EFGHJ : D	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	1	0,6	0	1,60	2	0,8	0,65709	
	GHJ : EF	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,84	0,6	0	1,44	2	0,72	0,61045	
	HJ : G	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,84	0,6	0	1,44	2	0,72	0,61045	
	H : J	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0	0	0	0	0	0	0,50667	
														Total	5,60978
Orange	BDEFGHIJKLM : AC	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	DEFGHIJKLM : B	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0	0,6	0	0,6	1	0,6	0,53308	
	EFGHIJKLM : D	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	1	0,6	0	1,60	2	0,8	0,65709	
	EFGHIJKL : I	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	EFGHIJKL : M	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	EFGHJK : L	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	EFGHJ : K	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	GHJ : EF	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,84	0,6	0	1,44	2	0,72	0,61045	
	HJ : G	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,84	0,6	0	1,44	2	0,72	0,61045	
	H : J	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0	0	0	0	0	0	0,50667	
														Total	5,60978
Biru	ABCDEFGHIJKLM : M	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	ABCDEFGHIJK : L	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	ABCDEFGHIJ : K	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	ABCDEFGHIJ : I	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	BDEFGHJ : AC	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841	
	DEFGHJ : B	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0	0,6	0	0,60	1	0,6	0,53308	
	EFGHJ : D	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	1	0,6	0	1,60	2	0,8	0,65709	
	GHJ : EF	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,84	0,6	0	1,44	2	0,72	0,61045	
	HJ : G	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,84	0,6	0	1,44	2	0,72	0,61045	
	H : J	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0	0	0	0	0	0	0,50667	
														Total	5,60978

Semakin kecil nilai indeks kompleksitas, maka menunjukkan bahwa urutan proses pembongkaran tersebut tidak memiliki banyak kendala selama proses *handling* dan *removal*. Sehingga nilai indeks kompleksitas yang paling rendah akan berpotensi menjadi urutan pembongkaran yang paling baik dalam proses pembongkaran. Namun dari hasil perhitungan didapatkan nilai indeks sebesar 5,60978 pada ketiga urutan merah, orange dan biru. Maka berdasarkan indeks kompleksitas, ketiga urutan pembongkaran tersebut memiliki tingkat kompleksitas yang sama.

### 2.3.4 Indeks Aksesibilitas

Perhitungan indeks aksesibilitas dari ketiga urutan merah, orange dan biru dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Perhitungan Matrik Evaluasi Indeks Aksesibilitas

Accessibility	$\Delta X$	X	$\Delta Y$	Y	$\Delta Z$	Z	1	2	3	$I_{acc}$	
							Log <sub>2</sub>				
							$(\Delta X/X)$	$(\Delta Y/Y)$	$(\Delta Z/Z)$	1+2+3	
Merah	ABCDEFGHJKLM : I	110	110	51,75	51,75	58	58	0	0	0	0
	ABCDEFGHJKL : M	44	44	135	135	130	130	0	0	0	0
	ABCDEFGHJK : L	14	14	104	104	104	104	0	0	0	0
	ABCDEFGHJ : K	9	17	130	130	120	120	-0,9175	0	0	0,91754
	BDEFGHJ : AC	23	30	86	86	86	86	-0,3833	0	0	0,38333
	DEFGHJ : B	10	17,5	18	60	18	60	-0,8074	-1,737	-1,737	4,28129
	EFGHJ : D	9	29	23	25	23	25	-1,6881	-0,1203	-0,1203	1,92864
	GHJ : EF	85	85	215	215	113	113	0	0	0	0
	HJ : G	36	39	132	132	117	117	-0,1155	0	0	0,11548
	H : J	206	206	59	59	59	59	0	0	0	0
									Total	7,53881	
Orange	BDEFGHJKLM : AC	23	30	86	86	86	86	-0,3833	0	0	0,38333
	DEFGHJKLM : B	10	17,5	18	60	18	60	-0,8074	-1,737	-1,737	4,28129
	EFGHJKLM : D	9	29	23	25	23	25	-1,6881	-0,1203	-0,1203	1,92864
	EFGHJKL : I	110	110	51,75	51,75	58	58	0	0	0	0
	EFGHJKL : M	44	44	135	135	130	130	0	0	0	0
	EFGHJK : L	14	14	104	104	104	104	0	0	0	0
	EFGHJ : K	9	17	130	130	120	120	-0,9175	0	0	0,91754
	GHJ : EF	85	85	215	215	113	113	0	0	0	0
	HJ : G	36	39	132	132	117	117	-0,1155	0	0	0,11548
	H : J	206	206	59	59	59	59	0	0	0	0
									Total	7,53881	
Biru	ABCDEFGHJKLM : M	44	44	135	135	130	130	0	0	0	0
	ABCDEFGHJK : L	14	14	104	104	104	104	0	0	0	0
	ABCDEFGHJ : K	9	17	130	130	120	120	-0,9175	0	0	0,91754
	ABCDEFGHJ : I	110	110	51,75	51,75	58	58	0	0	0	0
	BDEFGHJ : AC	23	30	86	86	86	86	-0,3833	0	0	0,38333
	DEFGHJ : B	10	17,5	18	60	18	60	-0,8074	-1,737	-1,737	4,28129
	EFGHJ : D	9	29	23	25	23	25	-1,6881	-0,1203	-0,1203	1,92864
	GHJ : EF	85	85	215	215	113	113	0	0	0	0
	HJ : G	36	39	132	132	117	117	-0,1155	0	0	0,11548
	H : J	206	206	59	59	59	59	0	0	0	0
									Total	7,53881	

Menurut fungsi logaritmik, semakin tinggi indeks maka menghasilkan aksesibilitas yang lebih rendah atau dalam proses pembongkaran komponen memiliki banyak kesulitan.  $\Delta X$  merupakan besarnya ukuran yang dapat digenggam atau dijangkau tangan manusia ataupun alat bantu dalam melepas komponen pada sumbu X. Setelah komponen terlepas, diukur kembali dan dicantumkan pada kolom X. Berdasarkan Tabel 5. didapatkan indeks aksesibilitas sebesar 7,53881 pada urutan merah, orange dan biru. Sehingga ketiga urutan tersebut memiliki tingkat kesulitan akses yang sama pada setiap komponen.

### 3.4 Identifikasi Indeks Kompleksitas dan Indeks Aksesibilitas Tertinggi

#### 3.4.1 Identifikasi Indeks Kompleksitas Tertinggi

Indeks kompleksitas yang tinggi menandakan bahwa komponen tersebut sangat kompleks atau memiliki geometri atribut fisik yang dapat menyebabkan kesulitan atau kendala selama proses *handling* dan *removal*. Indeks kompleksitas ketiga urutan proses, didapatkan nilai tertinggi pada komponen berikut:

a. Komponen D (*Mechanical Seal*)

Nilai indeks kompleksitas *mechanical seal* sebesar 0,65709 dipengaruhi oleh tingginya nilai *removal. U-effort* bernilai 1 karena untuk mengambil *mechanical seal* terdapat 1 *fastener* berupa *circlips* dan membutuhkan alat bantu berupa tang jepit dan obeng (-). Untuk memperkecil indeks kompleksitas *mechanical seal* sebaiknya mengganti jenis *fastener* yang digunakan.

b. Komponen E (Penampung Air)

Nilai indeks kompleksitas penampung air sebesar 0,61045 disebabkan karena *fastener* pembongkaran penampung air menggunakan mur dan baut sehingga nilai *u-effort* 0,84. Alat bantu yang digunakan yaitu dengan menggunakan kunci T 10. Untuk memperkecil nilai indeks kompleksitas pembongkaran penampung air sebaiknya mengganti *fastener* atau mengurangi jumlah *fastener* yang digunakan sesuai dengan konsep *Design For Disassembly* (DFD).

c. Komponen G (Tutup Samping Pump Body)

Indeks kompleksitas tutup samping *pump body* bernilai 0,61045 karena terdapat *fastener* berupa lempengan baut antara tutup samping *pump body* dengan rator bearing. Sehingga nilai *u-effort* = 0,84 dan menggunakan alat bantu berupa pemukul untuk melepas tutup samping *pump body*. Selain itu, komponen ini sangat kompleks karena untuk melepas tutup samping *pump body* harus dilakukan banyak proses pembongkaran sebelumnya. Oleh karena itu, untuk memperkecil indeks kompleksitas tutup samping *pump body* sebaiknya dengan menghilangkan *fastener* yang digunakan, karena *fastener* tersebut hanya berfungsi sebagai pembatas antar komponen.

#### 3.4.2 Identifikasi Indeks Aksesibilitas Tertinggi

Nilai indeks aksesibilitas yang tinggi menandakan bahwa komponen tersebut sangat sulit untuk dilakukan proses pembongkaran. Dalam perhitungan indeks aksesibilitas ketiga urutan proses pembongkaran, didapatkan indeks pembongkaran tertinggi pada komponen berikut:

a. Komponen B (Impeller)

Indeks aksesibilitas impeller sebesar 4,28129 dikarenakan perbedaan ukuran yang banyak antara ukuran komponen yang dapat dicapai atau  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  dan  $\Delta Z$  dengan ukuran komponen yang sesungguhnya (X, Y dan Z). Impeller sangat sulit diakses karena letaknya yang berada didalam penampung air. Selain itu, untuk melepas impeller perlu menggunakan 2 *screw* ukuran 10 yang dimasukkan dalam lubang impeller dan menggunakan kunci T10 untuk melepasnya. Untuk memperkecil indeks aksesibilitas impeller sebaiknya perlu dilakukan perbaikan ukuran pada komponen penampung air agar posisi impeller tidak terlalu masuk kedalam komponen penampung air.

b. Komponen D (Mechanical Seal)

Nilai indeks aksesibilitas 1,92864 pada *mechanical seal* dipengaruhi perbedaan ukuran antara  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  dan  $\Delta Z$  dengan ukuran X, Y dan Z. *Mechanical seal* juga sulit diakses karena terletak didalam lubang penampung air dan terhubung dengan rator bearing. Terdapat *fastener* berupa *circlips* untuk mengambil *mechanical seal* dan membutuhkan alat bantu tang jepit dan obeng (-). Sebaiknya perlu dilakukan perbaikan untuk memperkecil nilai indeks dengan perbaikan ukuran pada penampung air agar mudah diakses. Selain itu, dapat dilakukan penggantian jenis *fastener* agar proses pembongkaran *mechanical seal* dapat dilakukan dengan cepat.

c. Komponen K (Penutup Rator)

Indeks aksesibilitas penutup rator adalah sebesar 0,83007 karena perbedaan ukuran  $\Delta X$  sebesar 9 mm dengan X sebesar 16 mm. Pada proses pembongkaran, untuk mengakses penutup rator terdapat 4 *fastener* berupa sekrup heksagonal dengan bagian bawah yang berulir sehingga membutuhkan kunci T 8 sebagai alat bantu. Selain itu, ditengah penutup rator terdapat lubang dimana bagian rator bearing berada didalamnya yang terhubung dengan kipas, sehingga untuk melepas penutup rator harus dilakukan pembongkaran terlebih dahulu. Solusi untuk mempermudah tingkat akses pada penutup rator sebaiknya lebih dipertimbangkan untuk membuat produk yang dapat dibongkar secara *sub-assembly*. Kemudian dapat dilakukan pengurangan dari 4 *fastener* menjadi 2 atau 3 *fastener* serta dapat merubah ukuran maupun jenis *fastener*.

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa berdasarkan *breakdown* pembongkaran komponen mesin pompa air tipe Shimizu Ps 126 Bit dengan menggunakan diagram *petri-net*, diperoleh 3 urutan proses pembongkaran yang ditandai dengan warna merah, orange dan biru. Hasil perhitungan indeks kompleksitas dan aksesibilitas dalam penelitian mesin pompa air tipe Shimizu Ps 126 Bit didapatkan nilai indeks kompleksitas dan indeks aksesibilitas yang sama pada ketiga urutan. Disebabkan karena pembongkaran mesin pompa air tidak dapat dilakukan secara *sub-assembly* dan didapatkan urutan pembongkaran yang hampir sama antara urutan merah, orange dan biru. Sehingga alat yang digunakan dalam ketiga urutan pembongkaran tersebut adalah menggunakan alat yang sama.

Hasil nilai indeks kompleksitas diketahui bahwa komponen yang paling kompleks secara berurutan yaitu komponen D (*mechanical seal*), komponen E (penampung air) dan komponen G (tutup samping *pump body*) karena jenis *fastener* dan penggunaan alat bantu yang digunakan. Sedangkan berdasar nilai indeks aksesibilitas, komponen yang paling sulit diakses dalam proses pembongkaran yaitu komponen B (impeller), komponen D (*mechanical seal*) dan komponen K (penutup rotor) karena letak dari komponen yang sangat sulit dijangkau. Berdasarkan evaluasi kompleksitas dan aksesibilitas, komponen *mechanical seal* merupakan komponen yang paling kompleks dan paling sulit untuk diakses.

### 4.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan tidak terlepas dari beberapa kekurangan, sehingga saran yang diberikan adalah penentuan urutan pembongkaran dengan *petri-net* dilakukan secara subjektif, sehingga apabila melakukan penelitian serupa sebaiknya mencari metode alternatif dalam menentukan urutan proses pembongkaran. Sebaiknya bagi perusahaan, apabila membuat suatu produk lebih baik memperhatikan kemudahan proses pembongkaran dan perakitan dengan produk tersebut dapat dibongkar atau dirakit per *sub-assembly*. Sehingga apabila terdapat komponen yang rusak dapat dilakukan pembongkaran dengan cepat tanpa harus melepas banyak komponen. Dan untuk keuntungan ekonomi dari sisi produsen, seharusnya ada penarikan dari perusahaan apabila produk yang telah terjual tidak berfungsi atau mengalami kerusakan. Sehingga beberapa komponen yang masih bisa terpakai dapat digunakan kembali.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afri, K. 2015. "Perancangan Sistem Pengaman Pompa Air di Dalam Sumur Berbasis PLC". Semarang: Teknik Elektro UNNES.
- Bandyopadhyay, A. 2010. "Electronics Waste Management: India Practices and Guidelines". *International Journal of Energy and Environment*, Vol 1, p. 793-804.
- Damanhuri, E. 2006. "Diktat Kuliah Umum Pengelolaan Sampah Perkotaan Di Indonesia". Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Delchambre, A. 1992. "Computer-Aided Assembly Planning". Chapman & Hall, London.
- DEPKES, RI. 1987. "Pedoman Bidang Studi Pembuangan Sampah, Akademi Penilik Kesehatan Teknologi Sanitasi (APKTS)". Jakarta: Proyek Pengembangan Pendidikan Tenaga Sanitasi Pusat Departemen Kesehatan.
- Echols, A. dan B. Guy. 2004. "Survey of Attendees, Building Materials Reuse". Association Conference, Oakland CA, September 1-3.
- Nursanti, I. 2014. "Penentuan Urutan Perakitan Produk dengan Liaison Sequence Analysis". Seminar Nasional IENACO UMS.
- Osibanjo, Oladele dan Nnorom, Innocent Chidi. 2006. "Material Flows of Mobile Phones and Accessories in Nigeria: Environmental Implications and Sound End-of-Life Management Options". *Environmental Impact Assessment Review* vol. 28, p. 198-213.
- Soh, S.L., S.K. Ong dan A.Y.C. Nee. 2015. "Application of Design for Disassembly from Remanufacturing Perspective". *Procedia CIRP* 26 (2015) 577-582.
- Sutarto, E. 2008. "Identifikasi Pola Aliran E-Waste Komputer Dan Komponennya Di Bandung". Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tsai, Y.T, K.S.Wang and S.PLo. 2003. "A Study of Modularity Operation of Systems Based on Maintenance Consideration. *Journal Eng. Design*, 14 (1), 41-56.
- Yusof, Y. 2003. "Disassembly Evaluation Method (DEM) For Green Product". Malaysia: Fakultas Teknik Mesin Universitas Teknologi Malaysia.
- Yusri. 2008. "Penerapan Design For Assembly (DFA) untuk Mereduksi Biaya Produksi Suatu Produk". *Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang* Vol. 5, No. 1.