

Evaluasi Kompleksitas dan Aksesibilitas Produk Untuk Kemudahan Proses Pembongkaran

Ida Nursanti^{1*}, Desi Rahmawati^{1#}, Much. Djunaidi¹, Muchlisson Anis¹

Abstract. *Water pump machines are electronic products that are widely used by the community. Because of the high frequency of use, this product is quickly damaged. In order to reduce the environmental impact, the ease of the product to be repaired or recycled needs to be improved, especially the dismantling process because it is the initial process to separate components. This study aims to evaluate the ease of dismantling a water pump machine based on the ease of component to be reached and the complexity of the component and product design. Evaluation begins by identifying the initial product design and the relationships between components needed to determine the order of possible product demolition and as an attribute of calculating complexity and accessibility indexes. The calculation results show that the complexity and accessibility index values for each component are the same in all disassembly sequences because the product design does not allow for sub-assembly. The most complex components are mechanical seal, water reservoirs and lids beside the pump body. While the components that are most difficult to access are impellers, mechanical seals and rator covers.*

Keywords: *accessibility; complexity; disassembly*

Abstrak. *Mesin pompa air merupakan produk elektronik yang banyak digunakan masyarakat. Karena frekuensi penggunaan yang tinggi maka produk ini cepat rusak. Agar tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan, maka kemudahan produk tersebut untuk diperbaiki atau di daur ulang perlu untuk ditingkatkan terutama proses pembongkarannya karena merupakan proses awal untuk memisahkan komponen. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemudahan pembongkaran mesin pompa air berdasarkan faktor kemudahan komponen untuk dijangkau serta kompleksitas rancangan komponen dan produknya. Evaluasi dimulai dengan mengidentifikasi desain awal produk dan hubungan antar komponen yang diperlukan untuk menentukan urutan pembongkaran produk yang mungkin dan sebagai atribut perhitungan indeks kompleksitas dan aksesibilitas. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai indeks kompleksitas dan aksesibilitas untuk tiap komponen sama disemua urutan pembongkaran karena desain produk tidak memungkinkan adanya sub-assembly. Komponen yang paling kompleks adalah komponen mechanical seal, penampung air dan tutup samping pump body. Sedangkan komponen yang paling sulit diakses adalah impeller, mechanical seal dan penutup rator.*

Kata Kunci: *aksesibilitas; kompleksitas; pembongkaran produk*

I. PENDAHULUAN

Semakin banyak jumlah penduduk, maka semakin banyak jumlah sampah yang ditimbulkan (Djunaidi dkk. , 2018). Faktor lainnya yang juga berpengaruh adalah sistem pengelolaan sampah, keadaan geografi, musim dan waktu, kebiasaan penduduk, teknologi serta tingkat sosial ekonomi

(Depkesri, 1987). Selain itu, peningkatan aktivitas manusia juga termasuk sebagai penyebab bertambahnya jumlah sampah (Damanhuri, 2006). Karena untuk memenuhi kebutuhan aktivitas, maka berbagai jenis produk seperti barang elektronik dan sebagainya digunakan dan produk-produk tersebut akan menjadi sampah di akhir hidupnya.

Salah satu produk elektronik yang membatu aktivitas masyarakat khususnya di Indonesia adalah mesin pompa air. Mesin ini dimiliki oleh hampir semua rumah tangga untuk memompa air dari dalam tanah (Afri, 2016). Frekuensi penggunaan yang tinggi menyebabkan produk tersebut cepat rusak sehingga banyak ditemukan di tempat reparasi barang elektronik dan tempat-tempat penjualan barang bekas atau rosok.

Pada kenyataannya, barang-barang elektronik

¹ Pusat Studi Logistik dan Optimisasi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Surakarta, 57162

* email: ida.nursanti@ums.ac.id

email: desi.itawamhar@gmail.com

Diajukan: 16-09-2018
Disetujui: 06-12-2018

Diperbaiki: 31-10-2018

biasanya tidak digunakan lagi meskipun masih dapat beroperasi untuk kemudian digantikan dengan yang baru karena konsumen menginginkan model baru atau yang lama tidak memadai untuk layanan terbaru atau hanya karena ingin berganti saja (Osibanjo, 2006). Sehingga barang-barang elektronik yang sudah tidak terpakai ini akhirnya hanya akan menjadi sampah elektronik atau yang sering disebut dengan *Electronic Waste* (Bandyopadhyay, 2010).

Sampah elektronik memiliki karakteristik yang berbeda dengan sampah-sampah lain. Hal ini disebabkan komponen barang-barang elektronik tersebut ada yang mengandung bahan beracun berbahaya (Sutarto, 2008). Sehingga di akhir hidupnya (*end of life*), produk harus dapat dibongkar. Tidak hanya untuk memisahkan komponen yang mengandung bahan beracun akan tetapi juga untuk memisahkan komponen-komponen yang terbuat dari material yang berbeda agar bisa di proses kembali (*remanufacture*) atau di daur ulang untuk dijadikan produk baru yang lain (Echols, 2004; Tsai, 2003). Pembongkaran harus dilakukan secara sistematis agar tidak adanya kerusakan pada bagian-bagian komponen tertentu akibat proses pembongkaran tersebut (Yusof, 2003).

Begitu juga dengan mesin pompa air. Alat ini terdiri dari beberapa komponen dan terbuat dari berbagai jenis bahan baku yang berbeda. Terdapat beberapa komponen yang perlu penggantian pada saat mesin mengalami kerusakan dan beberapa komponen yang dapat didaur ulang pada saat produk tersebut sudah tidak bisa digunakan lagi. Sehingga perlu adanya penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi proses pembongkaran komponennya.

Untuk mengetahui kemudahan pembongkaran produk, evaluasi desain produk dan komponennya perlu dilakukan. Metode yang paling umum digunakan adalah *Design For Disassembly* (DFA) dengan tabel matrik *boothroyd dewhurst* seperti yang dilakukan oleh Yusri (2008) dan Nursanti dkk. (2014). Namun metode ini hanya menilai efisiensi desain keseluruhan produk. Sehingga untuk memperjelas tingkat kesulitan pembongkaran masing-masing komponen, Soh (2015) merumuskan model perhitungan indeks

kompleksitas dan indeks aksesibilitas komponen. Dengan mengetahui indeks kompleksitas dan indeks aksesibilitas setiap komponen, maka proses perbaikan dapat dilakukan. Apakah komponen tersebut mudah atau tidak dilepas dengan tangan atau perlu menggunakan alat bantu untuk melepaskannya.

II. METODE PENELITIAN

Untuk mengevaluasi kemudahan pembongkaran produk, langkah pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi komponen penyusun produk dengan melakukan pembongkaran awal produk dan disusun dalam *Bill of Material* (BOM). BOM terdiri dari daftar item komponen, jumlah komponen dalam produk dan jenis material yang digunakan (Nursanti, 2014). Selanjutnya dianalisis hubungan antar komponen untuk membuat *petri-net*, dimana *petri-net* merupakan salah satu model untuk membangun hubungan antara *sub-assembly* dan komponen, serta urutan yang mungkin untuk pembongkaran produk (Soh, 2015).

Evaluasi urutan proses pembongkaran dilakukan dengan menggunakan metode yang dirumuskan oleh Soh (2015) yaitu *disassembly metrics evaluation* yang terdiri dari perhitungan indeks kompleksitas dan indeks aksesibilitas. 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).

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

dimana:

C_h = faktor kompleksitas handling rata-rata

C_r = faktor kompleksitas removal rata-rata

$C_{h,f}$ = faktor kesulitan saat handling

J = jumlah kecocokan atribut *handling* untuk setiap komponen

$C_{r,f}$ = faktor kesulitan saat *removal*

K = jumlah kecocokan atribut *removal* komponen

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

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

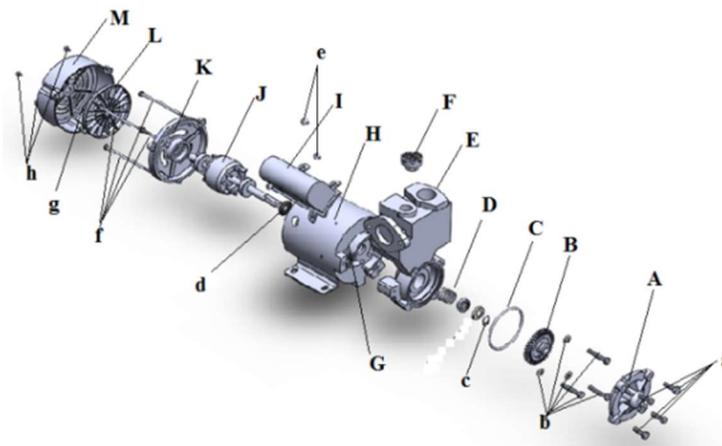
dimana ΔX , ΔY , dan ΔZ merupakan komponen dapat dicapai disepanjang sumbu X, Y, dan Z. Sedangkan nilai X, Y, dan Z adalah dimensi komponen terbesar disepanjang sumbu X, Y, dan Z.

Dalam penelitian ini, mesin pompa air yang digunakan sebagai objek adalah mesin pompa air tipe XYZ. Produk tersebut merupakan merek yang paling banyak dijual dipasaran dan digunakan oleh masyarakat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1. berikut ini menunjukkan susunan dari mesin pompa air yang terdiri dari 13 (tiga belas) komponen utama. Untuk data atribut fisik komponen atau BOM yang meliputi nama komponen, panjang, tebal dan berat masing-masing komponen ditunjukkan pada Tabel 1.

Selanjutnya hubungan antara dua atau lebih aktivitas dalam proses pembongkaran antar komponen ditunjukkan pada Tabel 2. Simbol *minus* (-) pada Tabel 2 kolom 4 berarti bahwa pembongkaran komponen tersebut dapat menjadi urutan yang pertama untuk dibongkar atau dapat didahulukan daripada pembongkaran yang lainnya. Sedangkan yang bersimbol angka, seperti pembongkaran nomor 2 yaitu komponen C dan A, bisa dibongkar setelah pembongkaran 1 yaitu



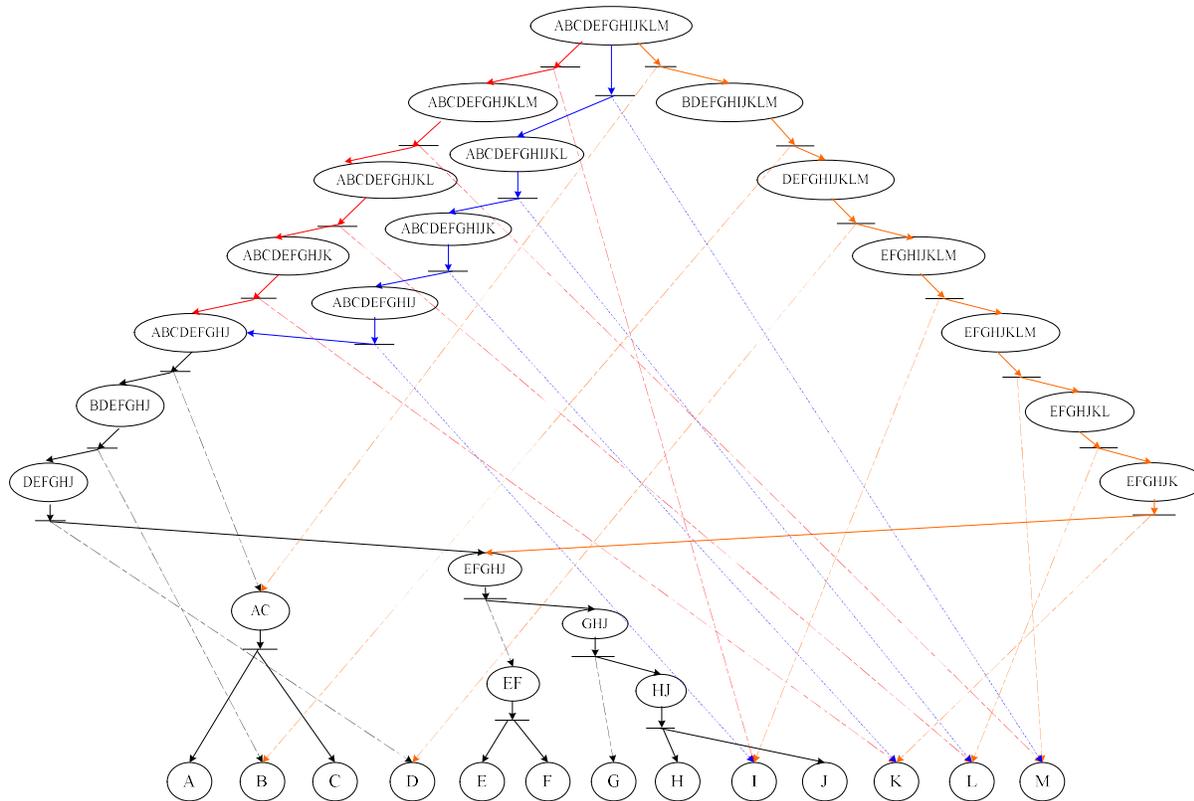
Gambar 1. Exploded view produk

Tabel 1. Bill of material produk

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

Tabel 2. Hubungan antar komponen pada mesin pompa air

No	Pembongkaran	Komponen Penyambung	Nomor Pembongkaran Pendahulu
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



Gambar 2. Model *petri-net* pembongkaran mesin pompa air

komponen A dan E selesai dibongkar.

Hubungan antar komponen diperlukan untuk menentukan urutan perakitan yang mungkin, dan digambarkan dalam diagram *petri-net*, seperti tampak pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, terdapat 3 urutan yang mungkin dilakukan untuk membongkar semua komponennya yang ditandai

dengan jenis garis yang berbeda. Karena desain produk tidak memungkinkan dilakukan pembongkaran dengan *sub-disassembly*, maka perbedaan urutan pembongkaran hanya diurutkan komponennya saja. Untuk nilai dari masing-masing faktor kesulitan saat *handling* ($C_{h,i}$) maupun *removal* ($C_{r,i}$) pada persamaan (1) dapat

Tabel 3. Atribut pembongkaran untuk pembongkaran manual

Grup	Atribut	Deskripsi	Difficulty factor, Cf
Handling (h)	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	
Removal (r)	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

dilihat pada Tabel 3.

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. Adapun untuk perhitungan indeks aksesibilitas dari ketiga urutan merah, orange dan biru dapat dilihat pada Tabel 5.

Menurut fungsi logaritmik, semakin tinggi indeks maka menghasilkan aksesibilitas yang lebih rendah atau dalam proses pembongkaran komponen memiliki banyak kesulitan. ΔX 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.

Komponen dengan 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*.

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 *fastener* yang digunakan.

Komponen E (*Penampung Air*)

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

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.

Sedangkan nilai indeks aksesibilitas tinggi menandakan bahwa komponen tersebut sangat sulit untuk dilakukan proses pembongkaran. Dalam perhitungan indeks aksesibilitas pada ketiga urutan proses pembongkaran, didapatkan indeks pembongkaran tertinggi.

Komponen B (Impeller)

Indeks aksesibilitas *impeller* sebesar 4,28129 dikarenakan perbedaan ukuran yang banyak

Tabel 4. Perhitungan matrik evaluasi indeks kompleksitas

Kompleksitas	Handling					Removal					I _{com}			
	Ch,f			Σ C _{h,f}	J	C _h	Cr,f			Σ C _{r,f}		K	C _r	
	Size	Thick	Wght				U-Ef	T req.	Spc tools					
Urutan 1	ABCDEFGHJKLM : I	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841
	ABCDEFGHJKL : M	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841
	ABCDEFGHJK : L	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841
	ABCDEFGHJ : 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	
Urutan 2	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
	EFGHIJK : 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	
Urutan 3	ABCDEFGHIJKL : 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
	ABCDEFGHJ : K	0,75	0,27	0,50	1,52	3	0,51	0,56	0,6	0	1,16	2	0,58	0,53841
	ABCDEFGHJ : 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	

antara ukuran komponen yang dapat dicapai atau ΔX , ΔY dan ΔZ 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*, perlu dilakukan perbaikan ukuran pada komponen penampung air agar posisi *impeller* tidak terlalu

masuk kedalam komponen penampung air.

Komponen D (Mechanical Seal)

Nilai indeks aksesibilitas 1,92864 pada *mechanical seal* dipengaruhi perbedaan ukuran antara ΔX , ΔY dan ΔZ dengan ukuran X , Y dan Z . *Mechanical seal* sulit diakses karena terletak di dalam lubang penampung air dan terhubung dengan *rator bearing*. Terdapat *fastener* berupa *circlips* untuk mengambil *mechanical seal* dan membutuhkan tang jepit dan obeng (-).

Tabel 5. Perhitungan matrik evaluasi indeks aksesibilitas

Aksesibilitas	ΔX	X	ΔY	Y	ΔZ	Z	1	2	3	I_{acc}	
							Log ₂				
							$(\Delta X/X)$	$(\Delta Y/Y)$	$(\Delta Z/Z)$		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	BDEFGHIJKLM : AC	23	30	86	86	86	86	-0,3833	0	0	0,38333
	DEFGHIJKLM : B	10	17,5	18	60	18	60	-0,8074	-1,737	-1,737	4,28129
	EFGHIJKLM : D	9	29	23	25	23	25	-1,6881	-0,1203	-0,1203	1,92864
	EFGHIJKLM : I	110	110	51,75	51,75	58	58	0	0	0	0
	EFGHIJKL : M	44	44	135	135	130	130	0	0	0	0
	EFGHIJK : 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	ABCDEFGHIJKL : M	44	44	135	135	130	130	0	0	0	0
	ABCDEFGHIJK : L	14	14	104	104	104	104	0	0	0	0
	ABCDEFGHIJ : 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	

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.

Komponen K (Penutup Rator)

Indeks aksesibilitas penutup *rator* adalah sebesar 0,83007 karena perbedaan ukuran ΔX 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*.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan *breakdown* pembongkaran komponen mesin pompa air tipe XYZ dengan menggunakan diagram *petri-net*, diperoleh 3 urutan proses pembongkaran. Akan tetapi karena pembongkaran tidak bisa dilakukan dengan *sub-disassembly* maka yang membedakan hanya urutan pembongkaran komponennya saja. Dan hal tersebut juga menyebabkan nilai indeks kompleksitas dan aksesibilitas baik total untuk setiap urutan maupun komponennya sama pada ketiga urutan pembongkaran yang berbeda. Berdasarkan evaluasi kompleksitas dan aksesibilitas, komponen *mechanical seal* merupakan komponen yang paling kompleks dan paling sulit untuk diakses sehingga perlu dilakukan perancangan ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afri, K. (2015). *Perancangan Sistem Pengaman Pompa Air di Dalam Sumur Berbasis PLC*. Tugas Akhir. Semarang: Teknik Elektro UNNES.
- Bandyopadhyay, A. (2010). "Electronics Waste Management: India Practices and Guidelines". *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 1, 793 – 804.
- Damanhuri, E. (2006). *Diktat Kuliah Umum Pengelolaan Sampah Perkotaan Di Indonesia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Delchambre, A. (1992). *Computer-Aided Assembly Planning*. London: Chapman & Hall.
- Depkes, RI. (1987). *Pedoman Bidang Studi Pembuangan Sampah, Akademi Penilik Kesehatan Teknologi Sanitasi (APKTS)*. Jakarta: Proyek Pengembangan Pendidikan Tenaga Sanitasi Pusat Departemen Kesehatan.
- Djunaidi, M.; Angga; Setiawan, Eko. (2018). "Disposal site selection using TOPSIS in Wonogiri District Central Java". *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, Vol. 17 (1), 62 – 70.
- Echols, A.; Guy B. (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.
- Nursanti, I.; Fitriadi, R.; Setiawan, A. (2014). "Perancangan Ulang Alat Bantu Pencekam (Ragum) Dengan Metode Desain For Assembly (DFA) - Boothroyd/Dewhurst", Seminar Nasional TEKNOIN, Fakultas Teknologi Industri UII.
- Osibanjo, O.; Nnorom, I.C. (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, 198 – 213.
- Soh, S.L. ; Ong, S.K. ; Nee, A.Y.C. (2015). "Application of Design for Disassembly from Remanufacturing Perspective". *Procedia CIRP*, Vol. 26, 577 – 582.
- Sutarto, E. (2008). *Identifikasi Pola Aliran E-Waste Komputer dan Komponennya Di Bandung*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tsai, Y.T.; Wang, K.S.; Lo, S.P. (2003). "A Study of Modularity Operation of Systems Based on Maintenance Consideration". *Journal Eng. Design*, Vol. 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 (1).