

ANALISIS PERBAIKAN DESAIN MESIN PERAJANG EMPON-EMPON DENGAN DOUBLE CHOPPER MENGGUNAKAN PENDEKATAN DFMA DAN ANALISIS STRUKTUR

Muhammad Abdul Nashr ^{1*}, Tri Andi Setiawan ², Thina Ardliana ³

Program studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}
Email: muhammadnashr1117@gmail.com¹

Abstract – Spices chopping machine with double chopper is a machine that functions to chop or thinly slice empon-empon using a double chopper. This machine is a development product of the spices chopping machine with one chopper and manual chopper so as to produce high spices chopping production compared to one chopper machine and manually. However, the results of the development of the chopping machine are still quite expensive for the home-scale herbal medicine industry. The application of reducing expenses needs to be applied with consideration to the design of a spices chopping machine with double chopper that is more efficient by taking into account the ease of manufacturing and assembly in accordance with the DFMA technique and analyzing the structure of the lifetime of certain components to keep the machine working optimally. The initial product that has been redesigned creates 2 new designs. From the simulation results of the three spices chopping machine with double chopper design concepts that have been described, it can be concluded that the new design concept 1 meets the three criteria indicated by a safety factor value of 13.08, labor cost 613.50 s, manufacturing cost the lowest is \$279.66 and bearing component lifetime is 698.3 months and the lifetime of v-belt components is 1564,045 hours of work, then the design concept that has the best simulation results is the redesign of 1 spices chopping machine with double choppers.

Keyword: Analysis, Chopper Machine, Spices, DFMA, Lifetime

Nomenclature

E_m	= Assembly efficiency
N_{min}	= Jumlah minimum komponen
t_{ma}	= Total waktu perakitan
t_a	= Waktu tercepat untuk merakit (ideal 3 detik)
L_H	= Umur bearing
H	= Umur belt
N_{base}	= Basis fatigue test (cycle)
σ_{fat}	= Fatigue limit untuk belt (kg/cm ²)
Z	= Jumlah belt

1. PENDAHULUAN

Sektor manufaktur Indonesia tercatat melanjutkan tren ekspansif naiknya *Purchasing Managers' Index* (PMI) atau indeks manufaktur ke level 53,5 pada Desember 2021. Kepala Badan Kebijakan Fiskal (BKF) Kementerian Keuangan Febrio Kacaribu mengatakan bahwa adanya aktivitas produksi yang meningkat, faktor utama yang menyebabkan meningkatnya aktivitas produksi adalah terkendalinya pandemi Covid-19 di Indonesia dalam tiga bulan terakhir. Aktivitas produksi berupa permintaan produk yang meningkat membuat persaingan antar industri juga semakin ketat, sehingga mereka terpicu untuk meningkatkan dan mengembangkan kinerjanya dalam menghasilkan produk. Industri tersebut dapat meningkatkan dan mengembangkan produknya melalui mengurangi pengeluaran untuk produk tersebut, membuat inovasi desain produk pada proses produksinya, meningkatkan kualitas dan

produktivitas serta keefisienan dari waktu perakitan.

Seorang desainer dituntut agar memiliki banyak ide atau inovasi dalam membuat suatu produk. Ide atau inovasi tersebut dapat dituangkan dalam hal mendesain suatu produk yang berkualitas dan efisien. Desain yang efisien dalam suatu produk didapatkan dari salah satu teknik atau metode yang dapat digunakan adalah Design for Manufacturing and Assembly (DFMA). Efisiensi desain diperoleh dari pengurangan jumlah parts, pemilihan material, mengurangi kerumitan dalam perakitan. DFMA merupakan proses desain produk yang dilakukan secara serempak oleh seluruh proses yang berkaitan sehingga dapat lebih mudah dalam mempertimbangkan aspek manufaktur hingga perakitan (Boothroyd Dewhurst, 2002).

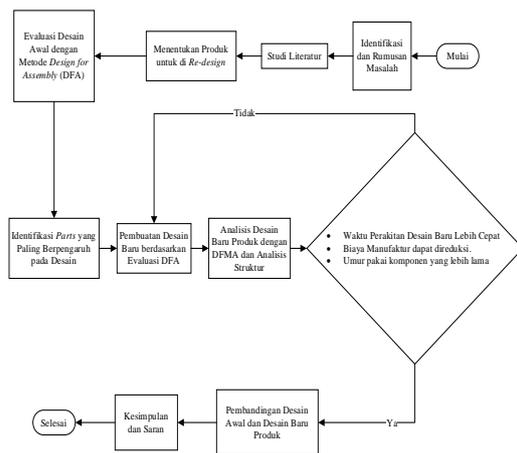
Analisis struktur umur pakai adalah salah satu analisis struktur yang berhubungan dengan perawatan dan pemeliharaan, dimana perawatan dan pemeliharaan pada mesin sering kali bermasalah. Merawat mesin salah satunya dapat dilakukan dengan cara mengganti komponen-komponen yang kritis, seperti bearing dan v-belt secara berkala. Setiap komponen pasti memiliki umur pakainya (lifetime). Umur pakai suatu komponen dapat dihitung secara teori, dari hasil tersebut dapat diketahui kapan sebaiknya komponen tersebut diganti.

Mesin perajang empon-empon dengan double chopper ini dibuat pada saat masa pandemi Covid 19 dimana masyarakat disarankan untuk

memanfaatkan obat tradisional seperti jamu agar dapat menjaga kondisi fisik maupun pengobatan akan tetapi produk yang dihasilkan tidak mencukupi permintaan konsumen. Mesin dengan double chopper dapat memproses dua bahan sekaligus dan hasil produksinya relatif tinggi

Pengembangan mesin tersebut telah mempertimbangkan beberapa aspek seperti pemilihan material, pemilihan dimensi, dan juga analisis kekuatan rangka. Namun hasil pengembangan mesin perajang tersebut masih terdapat kekurangan yaitu harga mesin yang cukup mahal untuk industry jamu skala rumah. Penerapan pengurangan pengeluaran perlu diterapkan dengan pertimbangan pada mesin perajang empon-empon dengan double chopper yang lebih efisien dengan memperhatikan kemudahan manufaktur dan perakitan yang sesuai dengan DFMA dan menganalisis struktur umur pakai pada komponen tertentu untuk menjaga mesin tetap bekerja maksimal.

2. METODOLOGI.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian

2.1 Evaluasi Desain Awal dengan Metode DFA

Tahapan ini desain awal yang telah ditentukan, dievaluasi dan dianalisa dengan metode *design for assembly* (DFA). Evaluasi ini bertujuan untuk meminimalisir waktu perakitan agar biaya perakitan yang dikeluarkan dapat diminimalisir.

2.2 Identifikasi Parts yang paling Berpengaruh pada Desain

Tahapan ini dimulai dengan menyederhanakan desain awal dari mesin perajang empon-empon dengan *double chopper*. Identifikasi bagian yang paling berpengaruh pada produk mesin perajang empon-empon dengan *double chopper* yang bertujuan untuk mempertimbangkan proses *re-design* untuk mereduksi *part* dan mengurangi kerumitan dalam proses perakitan untuk mempersingkat waktu dan mengurangi biaya perakitan agar mendapatkan desain baru yang lebih efisien.

2.3 Pembuatan Desain Baru Berdasarkan Evaluasi DFA

Tahap ini desain awal suatu produk digunakan menjadi patokan pada proses evaluasi DFA untuk *re-design* produk dengan tujuan memangkas biaya perakitan dan mereduksi *parts*. Desain baru yang dihasilkan telah mengalami pengurangan *part* ataupun pengurangan kerumitan desain dengan mempertimbangkan efisiensi tetapi tidak mengurangi fungsional dari produk tersebut.

2.4 Analisa Desain Baru Produk dengan DFMA dan Analisis Struktur

Tahapan ini adalah lanjutan dari tahap pembuatan desain baru berdasarkan evaluasi DFA. Pada tahap ini yang dilakukan adalah menganalisa perhitungan pengurangan persentase *parts* dan waktu perakitan yang berdampak pada pengurangan biaya produksi pada produk tersebut serta menganalisa struktur guna mengetahui berapa umur pakai komponen (*v-belt* dan *bearing*).

2.5 Perbandingan Desain Awal dan Produk Redesign

Tahapan ini dilakukan setelah kedua desain sudah dianalisa, dan hasil dari analisa kedua desain tersebut dibandingkan untuk mengetahui keunggulan dari salah satu desain. Desain baru diharapkan dapat unggul dari desain awal agar tujuan dari *re-design* produk tercapai dan desain baru bisa dikatakan lebih efisien dari desain awal. Dengan tercapainya tujuan tersebut optimalisasi produk yang dilakukan dianggap berhasil apabila beberapa kriteria tersebut tercapai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Desain Awal dengan DFMA



Gambar 3. 1 Desain Awal Mesin Perajang Empon-Empon

Gambar 3.1 merupakan desain awal mesin perajang empon-empon dengan *double chopper* yang memiliki dimensi 428 mm x 439 mm x 864 mm, dengan beberapa *part* yang dapat dirubah desain, pemilihan material, dan proses fabrikasi yang dapat meminimalisir waktu dan biaya perakitan. Hal ini menjadi pertimbangan untuk dilakukannya *re-design* pada mesin tersebut.

Tabel 3. 1 Nama *Parts* Desain Awal Mesin Perajang Empon-Empon

No	Nama <i>Parts</i>	Dimensi (mm)
1.	Kerangka	378 x 428 x 664
2.	Dudukan Motor	354 x 120 x 40
3.	Motor Listrik	248 x 140 x 186
4.	Pulley Motor	45 x 50,8 x 50,8
5.	Dudukan Bearing	25 x 114 x 56
6.	Bearing	25 x 114 x 56
7.	Poros fly wheel	420 x 20 x 20
8.	Pulley Kecil	25 x 76,6 x 76,6
9.	Fly Wheel	45 x 205,6 x 205,6
10.	V-belt A61	256,2 x 13 x 8
11.	Poros Pisau	420 x 20 x 20
12.	Pulley Pisau	25 x 76,6 x 76,6
13.	<i>Chopper</i>	280 x 8 x 280
14.	Pasak	27,2 x 27,2 x 30
15.	V-belt A30	272 x 13 x 8
16.	<i>Hopper</i>	378 x 230 x 200
17.	<i>Cover Chopper</i>	339 x 55 x 182
18.	<i>Hopper out</i>	397,64 x 55 x 218,22

Tabel 3.1 merupakan urutan perakitan dan nama *parts* pada *initial design* mesin perajang empon-empon, dimulai dari perakitan kerangka hingga ke perakitan komponen terakhir yaitu *hopper out* dengan total komponen sebanyak 20 jenis komponen. Dari daftar nama *parts* mana saja yang dapat diubah tanpa mempengaruhi performa pada mesin tersebut.

Tabel 3. 2 *Suggestion for Redesign*

Name	Part Number	Quantity	Decision Redesign
Dudukan Motor	2	1	Yes
<i>Bearing</i>	5	2	Yes
<i>Pulley Kecil</i>	7	1	Yes
<i>Pulley Pisau</i>	11	1	Yes
Poros	13	1	Yes
<i>V Belt A30</i>	14	1	Yes
<i>Cover Chopper</i>	16	1	No
<i>Hopper Out</i>	17	1	No
Kerangka Horizontal Bawah & Tengah Memanjang	1	2	Yes
Kerangka Horizontal Bawah & Tengah Melintang	1	2	Yes

Tabel 3.2 merupakan saran *redesign* yang didapat dari evaluasi *parts* mana saja yang paling berpengaruh dan tidak mempengaruhi performa mesin saat di *redesign*.

Tabel 3. 3 *Report Analysis Totals* Desain Awal

Per product data						
	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, s	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, kg
Parts	90	17	854.10	8.37	299.37	69.12
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	2	2	16.79	0.16	0.00	0.00
Named only	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Excluded	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Operations:						
Standard	0	0	0.00	0.00	-	-
Library	0	0	0.00	0.00	-	-
Column Totals	92	19	870.89	8.54	299.37	69.12

Cost totals based on a product life volume of 10,000

	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	8.54	0.00	299.36	307.91	0.00	0.00	307.91
Production life cost	85.372	0	2.993.600	3.079.072	0	0	3.079.072

*Note: Manufacturing piece part costs not given for some items. Total cost may be incomplete.

**Note: Weight not given for some items. Total weight may be incomplete.

DFA Index	
Theoretical minimum number of items	25
DFA Index	5.4
Production data	
Overall plant efficiency, %	55.00
Labor rate, \$/hr	30.00

Tabel 3.3 merupakan data waktu operasi perakitan yang terdiri dari *handling time*, *insertion time* dan *library operation time*. Waktu operasi perakitan didapatkan dari pengolahan *software*.

Assembly efficiency dari desain awal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_m = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{tm}$$

$$E_m = \frac{25 \times 3 \times 100}{870.80}$$

$$E_m = 8.6$$

3.2 Pembuatan Konsep *Redesign* 1 Mesin Perajang Empon-Empon dengan *Double Chopper*



Gambar 3. 2 Konsep *Redesign* Mesin Perajang Empon-Empon 1

Gambar 3.2 merupakan konsep *redesign* mesin perajang empon-empon memiliki dimensi 514 mm x 439 mm x 754 mm, dengan beberapa *parts* yang telah direduksi sehingga dapat meminimalisir waktu perakitan. Pereduksian *parts* tersebut berasal dari penghilangan komponen penggerak mesin berupa *pulley kecil*, *pulley pisau* dan kerangka bagian tengah, sehingga *pulley flywheel* berada di samping.

Tabel 3. 4 Report Analysis Totals Redesign 1

Per product data						
	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, s	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, kg
Parts	63	13	604.90	5.93	273.65	58.04
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	2	2	0.00	0.00	0.00	0.00
Named only	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Excluded	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Operations:						
Standard	0	0	0.00	0.00	-	-
Library	0	0	0.00	0.00	-	-
Column Totals	65	15	614.90	6.01	273.65	58.04

Cost totals based on a product life volume of 10,000							
	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	6.01	0.00	273.65	279.66	0.00	0.00	279.66
Production life cost	60,147	0	2,736,500	2,796,647	0	0	2,796,647

*Note: Manufacturing piece part costs not given for some items. Total cost may be incomplete.
 **Note: Weight not given for some items. Total weight may be incomplete.

DFA Index	
Theoretical minimum number of items	23
DFA Index	11.0

Production data	
Overall plant efficiency, %	85.00
Labor rate, \$/hr	30.00

Tabel 3.4 merupakan data waktu operasi perakitan yang terdiri dari *handling time*, *insertion time* dan *library operation time*. Waktu operasi perakitan didapatkan dari pengolahan *software*.

Assembly efficiency dari desain awal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_m = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{tm}$$

$$E_m = \frac{23 \times 3 \times 100}{613.50}$$

$$E_m = 11.2$$

3.3 Pembuatan Konsep Redesign 2 Mesin Perajang Empon-Empon dengan Double Chopper



Gambar 3. 3 Konsep Redesign Mesin Perajang Empon-Empon 2

Gambar 3.2 merupakan konsep *redesign* mesin perajang empon-empon memiliki dimensi 712 mm x 439 mm x 704 mm, dengan beberapa parts yang telah direduksi sehingga dapat meminimalisir waktu perakitan. Pereduksian parts tersebut berasal dari penghilangan komponen penggerak mesin berupa *pulley kecil*, *pulley pisau* dan kerangka bagian tengah, sehingga *pulley flywheel* berada di samping dan motor listrik berada di samping dengan tambahan kerangka dudukan motor.

Tabel 3. 5 Report Analysis Totals Redesign 2

Per product data						
	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, s	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, kg
Parts	60	13	662.70	6.50	274.86	63.38
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	2	2	0.00	0.00	0.00	0.00
Named only	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Excluded	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Operations:						
Standard	0	0	0.00	0.00	-	-
Library	0	0	0.00	0.00	-	-
Column Totals	71	15	671.70	6.59	274.86	63.38

Cost totals based on a product life volume of 10,000							
	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	6.59	0.00	274.86	281.46	0.00	0.00	281.46
Production life cost	65,852	0	2,748,500	2,814,452	0	0	2,814,452

*Note: Manufacturing piece part costs not given for some items. Total cost may be incomplete.
 **Note: Weight not given for some items. Total weight may be incomplete.

DFA Index	
Theoretical minimum number of items	24
DFA Index	10.5

Production data	
Overall plant efficiency, %	85.00
Labor rate, \$/hr	30.00

Tabel 3.5 merupakan data waktu operasi perakitan yang terdiri dari *handling time*, *insertion time* dan *library operation time*. Waktu operasi perakitan didapatkan dari pengolahan *software*.

Assembly efficiency dari desain awal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_m = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{tm}$$

$$E_m = \frac{24 \times 3 \times 100}{671.70}$$

$$E_m = 10.7$$

3.4 Analisis Struktur

Pada analisis struktur ini yang dianalisis adalah umur pakai komponen terutama *bearing* dan *v-belt*, karena kedua komponen tersebut harus diganti secara berkala agar alat tetap bekerja maksimal sesuai dengan fungsinya.

3.4.1 Bantalan atau Bearing

Bearing yang digunakan pada *initial design*, desain 1, dan desain 2 adalah *Ball Bearing* Type UKP205 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Diameter luar (D) = 52 mm
- Diameter dalam (d) = 20 mm
- Tebal *bearing* (B) = 38 mm
- Kapasitas nominal dinamis (C) = 14000 N
- Kapasitas nominal statis (Co) = 7850 N
- Beban ekuivalen (W) = 1235,03 N

Berdasarkan data di atas dapat dihitung umur *bearing* dengan persamaan sebagai berikut:

$$L_H = \left[\frac{C}{W} \right]^3 \times \frac{10^6}{60.n}$$

$$= \left[\frac{14000}{1235,03} \right]^3 \times \frac{10^6}{60 \times 228,571}$$

$$= 106213,3 \text{ jam}$$

Jika dalam 1 hari mesin digunakan selama 5 jam, maka didapatkan umur *bearing* adalah sebagai berikut:

$$H = \frac{106213,3}{5} = 21242,6 \text{ hari}$$

3.4.2 V-Belt

Untuk menghitung umur pakai *v-belt* diperlukan beberapa data seperti panjang *v-belt*, tegangan maksimum *v-belt*, dan putaran *v-belt* perdetik. Terdapat 3 desain dengan masing-masing panjang *v-belt* yang berbeda sehingga memiliki umur pakai yang berbeda-beda. Perhitungan umur pakai *v-belt* ketiga desain adalah sebagai berikut:

a. Initial Design

Diketahui :

- Diameter *pulley flywheel* = 178 mm
- Diameter *pulley motor* = 44 mm
- Panjang *belt* = 867 mm
- Putaran *belt* perdetik = 2,465600 put/sec
- Fatigue limit* untuk *belt* = 90 kg/cm²
- Tegangan maksimum = 206,719 kg/cm²

Berdasarkan data di atas dapat ditentukan umur pakai *v-belt* untuk *initial design* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H = \frac{N_{base}}{3600 \times U \times Z} + \left(\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}} \right)^m$$

$$= \frac{10^7}{3600 \times 2,465600 \times 1} + \left(\frac{90}{206,719} \right)^8$$

$$= 1126,614 \text{ jam kerja}$$

b. Redesign 1

Diketahui :

- Diameter *pulley flywheel* = 178 mm
- Diameter *pulley motor* = 44 mm
- Panjang *belt* = 1200 mm
- Putaran *belt* perdetik = 1,776022 put/sec
- Fatigue limit* untuk *belt* = 90 kg/cm²
- Tegangan maksimum = 206,719 kg/cm²

Berdasarkan data di atas dapat ditentukan umur pakai *v-belt* untuk *redesign 1* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H = \frac{N_{base}}{3600 \times U \times Z} + \left(\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}} \right)^m$$

$$= \frac{10^7}{3600 \times 1,776022 \times 1} + \left(\frac{90}{206,719} \right)^8$$

$$= 1564,045 \text{ jam kerja}$$

c. Redesign 2

Diketahui :

- Diameter *pulley flywheel* = 178 mm
- Diameter *pulley motor* = 44 mm
- Panjang *belt* = 1100 mm
- Putaran *belt* perdetik = 1,935272 put/sec

Fatigue limit untuk *belt* = 90 kg/cm²

Tegangan maksimum = 206,719 kg/cm²

Berdasarkan data di atas dapat ditentukan umur pakai *v-belt* untuk *redesign 2* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H = \frac{N_{base}}{3600 \times U \times Z} + \left(\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}} \right)^m$$

$$= \frac{10^7}{3600 \times 1,935272 \times 1} + \left(\frac{90}{206,719} \right)^8$$

$$= 1435,343 \text{ jam kerja}$$

3.5 Perbandingan Initial Design dan Produk Redesign

Tabel 3. 6 Perbandingan Hasil Simulasi antara 3 Desain

Parameter	Initial Design	Redesign 1	Redesign 2
Per Product Data			
Entries (including repeats)	90	63	69
Number of different entries	17	13	13
Total assembly labour time, s	870,80	613,50	671,70
Weight kg	69,12	58,54	63,38
Per Product Cost (IDR. 14.719 = 1 Dollars)			
Labour cost, GBP	125.740.-	88.489.-	97.029.-
Mfg. piece part cost, GBP	4.407.701	4.029.154	4.046.969
Total cost without tooling, GBP	4.533.589	4.117.643	4.143.999
Mfg. tooling cost, GBP	0,00	0,00	0,00
Total cost, GBP	4.533.589	4.117.643	4.143.999
DFA Index			
Theoretical minimum number of items	25	23	24
DFA Index	8,4	11	10,5
Umur Pakai			
Bearing (bulan)	698,3	698,3	698,3
V-belt (jam kerja)	1126,614	1564,045	1435,343

4. KESIMPULAN

Dari proses analisa yang dilakukan pada produk mesin perajang empon-empon dengan *double chopper* dengan konsep desain meliputi *initial design*, *redesign 1*, dan *redesign 2* dengan simulasi *Static Stress*, *Design for Manufacturing and Assembly*, dan Analisis Struktur umur pakai komponen *bearing* dan *v-belt* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil evaluasi desain awal produk mesin perajang empon-empon dengan *double chopper* dengan *Design for Assembly* adalah desain awal

- memiliki *Assembly Efficiency* sebesar 8,4 dan memiliki beberapa *part* yang dapat di-*redesign* meliputi dudukan motor, *bearing*, pulley kecil, pulley pisau, poros, *v-belt*, dan kerangka.
2. Berdasarkan evaluasi awal dengan *Design for Assembly* menciptakan 2 desain baru dengan yaitu penempatan *fly wheel* berada disamping dan penempatan *fly wheel* berada disamping dan tambahan dudukan motor listrik yang terletak disamping.
 3. Desain yang memiliki waktu perakitan tercepat dan pereduksian biaya manufaktur yang lebih optimal adalah mesin perajang empon-empon dengan *double chopper* konsep *redesign* 1 dengan labor time 613,50 s dan *Manufacturing cost* seharga \$279,66 setara dengan Rp.4.117.643,-.
 4. Desain yang terpilih adalah konsep mesin perajang empon-empon dengan *double chopper redesign* 1 dengan memiliki umur pakai *bearing* 698,3 bulan dan *v-belt* 1564,045 jam kerja

6. PUSTAKA

- [1] Antony, K. M., dan Subbaiah, A. (2020). *DFMA and Sustainability Analysis in Product Design*. *Journal of Physics : Conference Series*, 2020, pp.1-9.
- [2] Azis, S., dan Zakinura, M. (2017). Analisa Umur Pakai (Lifetime) *Ball Bearing* Tipe UCF 4 *Bolt Flange Unit* Pada Mesin *Spin Coating Abrasive Clutch Test* di PT. XY. **Tugas Akhir**, Politeknik Negeri Jakarta, Jurusan Teknik Mesin, Jakarta.
- [3] Boothroyd., Geoffrey., Dewhurst, P., dan Knight, W. (2002). *Product Design for Manufacture and Assembly*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- [4] Khurmi, R. S., Gupta, J. K. (2005). *A Textbook of Machine Design*. 14th ed. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- [5] Yusufi, A. R. J. (2021). Rancang Bangun Mesin Perajang Empon-Empon dengan *Double Chopper*. **Tugas Akhir**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Teknik Desain & Manufaktur, Surabaya.