

DESAIN CETAKAN SPESIMEN UJI KOEFISIEN GESEK MESIN KOMPAKSI KAPASITAS 10 TON MENGGUNAKAN METODE *DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY*

Muhammad Ardi Bustomi¹, Muhamad Fitri¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: aguskustomi79@gmail.com

Abstrak-- Mesin kompaksi merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk memadatkan material komposit serbuk serat alam matriks polimer. Umumnya, pada pembuatan material komposit secara manual hanya menggunakan kandungan serat tidak lebih dari 10% sehingga sifat mekanis yang didapat tidak meningkat. Oleh karena itu, material komposit perlu dikompaksi menggunakan mesin kompaksi agar kandungan seratnya dapat ditingkatkan dibandingkan dengan kandungan polimernya supaya sifat mekanisnya dapat meningkat. Salah satu komponen penting dari mesin kompaksi yaitu dies dan punch yang berperan penting dalam pembentukan material. Oleh karena itu, komponen dies dan punch perlu dibuat sesuai dengan kebutuhan. Dalam pembuatan dies dan punch, proses perakitan dan manufaktur mempunyai peranan penting. Penelitian ini bertujuan untuk merancang komponen dies dan punch dengan 3 variasi desain yaitu desain 1, 2, dan 3 untuk ditemukan desain yang terbaik serta efisien. Pembuatan dies dan punch dilakukan dengan menggunakan konsep *Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)*. Konsep *DFMA* ditujukan untuk mendapatkan jumlah komponen, dan waktu perakitan yang paling efisien. Penelitian ini mendapatkan hasil desain yang terbaik yaitu desain 3 dengan jumlah komponen 4 part, efisiensi sebesar 19,63%, serta estimasi biaya manufaktur sebesar Rp1.278.500,00. Sedangkan desain 1 dan 2 memiliki jumlah komponen 7 part dan 5 part, efisiensi desain sebesar 26,78% dan 13,54%, dan estimasi biaya manufaktur sebesar Rp2.361.630,00 dan Rp2.160.000,00. Hasil desain 3 ini dapat mereduksi jumlah komponen sebesar 3 part, meningkatkan efisiensi desain sebesar 6,09%, serta mereduksi biaya manufaktur sebesar Rp1.083.130,00.

Kata kunci: Komposit, Desain, Dies dan Punch, *DFMA*, Rancangan yang Efisien

Abstract-- Compaction machine is a tool that serves to compact the polymer matrix natural fiber powder composite material. Generally, the manufacture of composite materials manually only uses fiber content of no more than 10% so that the mechanical properties obtained do not increase. Therefore, composite materials need to be compressed using a compacting machine so that the fiber content can be increased compared to the polymer content so that the mechanical properties can be increased. One of the important components of the compacting machine is the dies and punches that play an important role in the formation of the material. Therefore, dies and punch components need to be made as needed. In making dies and punches, the assembly and manufacturing process has an important role. This research aims to design dies and punch components with 3 design variations, namely design 1, 2, and 3 to find the best and efficient design. Making dies and punches is done using the concept of *Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)*. The *DFMA* concept is aimed at getting the most efficient number of components, and assembly time. This study obtained the best design results, namely design 3 with the number of components of 4 parts, efficiency of 19.63%, and estimated manufacturing costs of IDR 1,278,500.00. While designs 1 and 2 have the number of components of 7 parts and 5 parts, design efficiency of 26.78% and 13.54%, and estimated manufacturing costs of IDR 2,361,630.00 and IDR 1,278,500.00, respectively.

Keywords: Composite, Design, Dies and Punch, *DFMA*, Efficient Design

1. PENDAHULUAN

Seiring perubahan zaman, teknologi pada sektor industri terus berkembang sangat pesat, sehingga terjadi perubahan yang sangat cepat pada sektor bisnis. Untuk dapat mengikuti arus persaingan disektor industri, perusahaan dipaksa agar terus berinovasi serta menghasilkan produk yang berkualitas. Hal ini mengakibatkan industri manufaktur dituntut untuk menciptakan produk

yang dapat memenuhi kebutuhan pelanggan dengan harapan yang baik terhadap fungsi produk, tetapi dengan biaya yang lebih rendah [1].

Oleh karena itu banyak peneliti yang terus melakukan riset terkait teknologi komposit serat alami karena memiliki beberapa keistimewaan yaitu sifat yang terbarukan, bahannya mudah didapatkan karena memanfaatkan limbah serat alam, hasil produknya ringan tetapi memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup tinggi,

ketahanan terhadap korosi sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan kimia maupun gangguan terhadap lingkungan hidup [2]. Akan tetapi ada beberapa kekurangan terkait material komposit jika dibuat secara manual, yaitu proses pembuatannya yang cukup rumit dan banyak terjadi kegagalan sehingga terjadi penurunan kualitas material berupa penurunan kekuatan mekanis material karena munculnya banyak pori di permukaan material. Akibatnya kerapatan material tersebut akan berkurang dan sifat mekanisnya menurun [3].

Untuk mengatasi kegagalan tersebut maka diperlukan mesin kompaksi kapasitas 10 ton untuk menghasilkan material yang lebih padat serta lebih rapat. Sehingga spesimen yang padat dan rapat akan menghasilkan penurunan porositas sehingga sifat mekanisnya dapat meningkat.

Massa jenis serat alami umumnya sangat rendah. Akibatnya kandungan serat alami pada komposit biasanya sangat rendah, maksimum hanya 10% [4]–[11]. Demikian juga pada pembuatan spesimen komposit serat alami, sulit untuk prosentase kandungan yang tinggi. Akibatnya sifat mekanis yang dihasilkan lebih dominan kepada sifat resin yang digunakan. Dengan bantuan mesin kompaksi, akan dapat dibuat material komposit dengan prosentase kandungan serat alami yang tinggi.

Saat ini material komposit telah banyak diterapkan pada dunia industri [12] diantaranya pada dunia industri otomotif dalam hal pembuatan komponen mesin [6] seperti kampas rem, kampas kopling, dan lain sebagainya [13]. Namun jumlahnya masih terbilang sedikit. Meskipun berbagai penelitian terus dilakukan. Karena memang sebagian dari hasil penelitian tersebut masih belum memuaskan. Oleh sebab itu, para peneliti terus melakukan riset inovasi terkait sifat mekanis komposit serbuk alam untuk kampas rem maupun kampas kopling [6], [12], [13]. Salah satu sifat mekanis yang diteliti oleh para peneliti terkait kampas rem maupun kampas kopling yaitu uji koefisien gesek material komposit serbuk [13]. Yang mana untuk menunjang para peneliti dalam menghasilkan kualitas sifat mekanis yang terbaik maka diperlukan spesimen uji dengan kualitas terbaik.

Untuk mendapatkan spesimen uji dengan kualitas terbaik maka perlu mengoptimalkan desain cetakan spesimen uji koefisien gesek mesin kompaksi kapasitas 10 ton dengan menerapkan metode *Design For Manufacturing and Assembly* (DFMA) [14]. Metode inilah yang digunakan pada penelitian ini. Dengan harapan dapat dibuat spesimen dengan kualitas yang terbaik dan dapat mengoptimalkan proses pencetakan spesimen sehingga para peneliti dapat meningkatkan hasil riset dan inovasinya sebagaimana yang diharapkan para peneliti.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan menentukan rancangan *dies* dan *punch* terbaik,

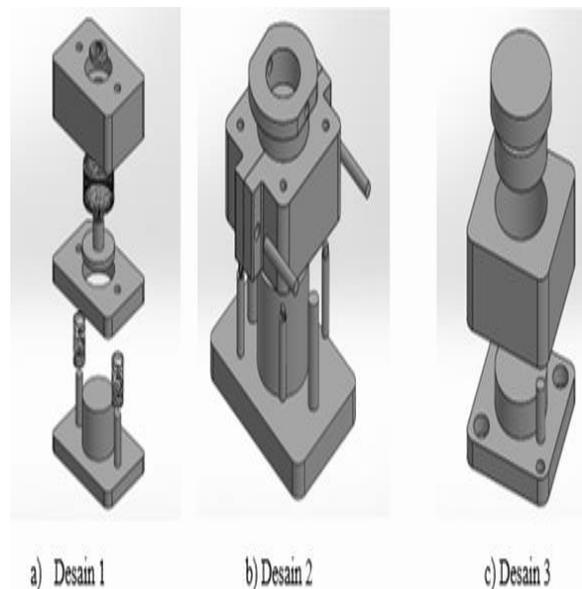
melakukan evaluasi terhadap desain yang tidak terpilih (*dies* dan *punch*), dan menganalisis desain yang terpilih sesuai dengan metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA).

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil rancangan *dies* dan *punch*, sesuai dengan fungsinya dan mempertimbangkan aspek kemudahan manufaktur dan perakitan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur terkait konsep desain yang umum digunakan pada perusahaan industri *dies molding* [15], cara kerja *dies* dan *punch* pada mesin kompaksi, material yang akan digunakan, *part* yang digunakan pada *dies* dan *punch*, dan struktur *dies* dan *punch* [16]. Selain itu juga mempelajari metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) yang menjadi landasan pada penelitian ini [17].

Setelah melakukan proses studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan tahap desain produk *dies* dan *punch* dengan tiga variasi desain [18] menggunakan aplikasi *solidworks* [19] seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Setelah mendapatkan hasil dari ketiga desain *dies* dan *punch*, kemudian desain tersebut dievaluasi berupa evaluasi proses perakitan.



Gambar 1. Desain *dies* dan *punch*

Evaluasi perakitan dengan menggunakan metode Boothroyd yang dilakukan pada penelitian ini yaitu diawali dengan penggunaan tabel lembar kerja *Design for Assembly* (DFA) seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Prosedur evaluasi lembar kerja DFA dapat dirincikan sebagai berikut:

- a. Detail komponen dan materialnya: Proses pembuatan komponen kemudian diinput ke lembar kerja DFA seperti Gambar 2.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Name of Part	Part ID #	# of times the operation is carried out consecutively	two-digit manual handling code	two-digit manual insertion code	two-digit manual insertion code	manual insertion time per part	operation time, sec. $(C) \times [(4) + (6)]$	operation cost, cents. $0.4 \times (7)$	estimation of theoretical minimum # of parts. 0 or 1
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
							TM	CM	NM

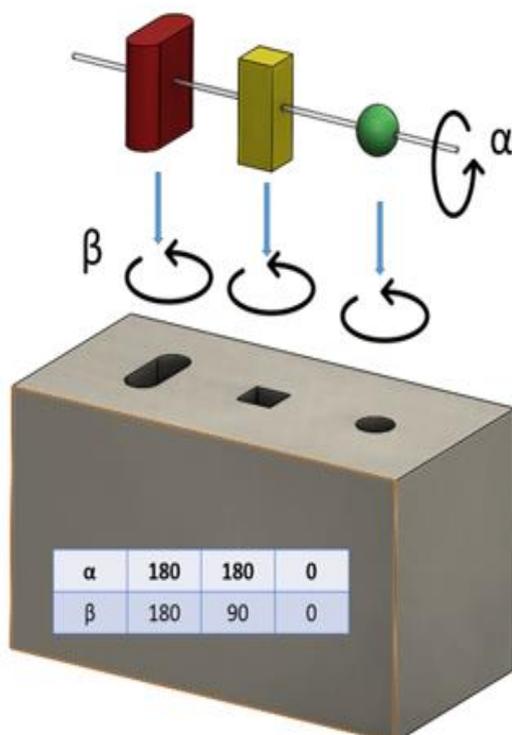
Obtained from B&D Manual Handling Worksheet

Obtained from B&D Manual Insertion Worksheet

Design Efficiency $EM = (3 \times NM)/TM$

Gambar 2. Lembar kerja DFA manual [17]

- b. Penentuan efek simetri bagian dari masing-masing bagian: Keseimbangan simetri selama penanganan sangat penting untuk proses perakitan. Simetri alfa (α) dan simetri beta (β) yaitu dua jenis simetri yang berbeda [17]. Rotasi simetri alfa dan rotasi simetri beta dapat diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rotasi simetri alfa (α) dan beta (β) [17]

- c. Evaluasi lembar kerja penanganan manual: Dengan menggunakan simetri penanganan, α dan β , serta informasi dari komponen. Kode penanganan dua digit dan waktu yang diperlukan untuk penanganan manual setiap bagian diperoleh dengan penanganan manual, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Lembar kerja penanganan manual dan penyisipan manual [17]

- d. Evaluasi lembar kerja penyisipan manual: Penilaian lembar kerja penyisipan manual menunjukkan ketika Gambar 4 juga menggunakan simetri penanganan, α dan β , dan bagian-bagian yang dijelaskan untuk mencapai penyisipan manual dua digit dan waktu yang dibutuhkan untuk setiap bagian selama penyisipan [17], [20]–[24].
- e. Perhitungan waktu dan biaya operasi: Waktu operasi dapat ditentukan oleh jumlah komponen dikalikan dengan penanganan manual dan waktu penyisipan manual untuk setiap komponen. Efisiensi desain diukur dengan skala 0,4 untuk biaya operasi. Biaya operasi adalah 0,4 kali waktu sebelum setiap komponen [20].

$operation\ time = \text{kolom 2 (kolom 4 + kolom 6)}$
 $operation\ cost = 0.4 \times \text{kolom 7}$

- Kolom 2 = berapa kali operasi dilakukan secara berurutan,
- Kolom 4 = waktu penanganan manual per bagian
- Kolom 6 yaitu singkatan dari penyisipan manual per waktu per bagian
- Kolom 7 yaitu singkatan dari waktu operasi dalam detik

Setelah melakukan proses evaluasi perakitan, kemudian hasil evaluasi yang telah terdata dihitung nilai efisiensi perakitannya untuk dianalisis dalam pengambilan keputusan desain terbaik [21], [22], [24]. Untuk menghitung nilai efisiensi perakitan, maka dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1.

$$E_m = (N_m \cdot t_a) / T_m \tag{1}$$

di mana:

E_m = efisiensi perakitan

N_m = *minimum number of parts*

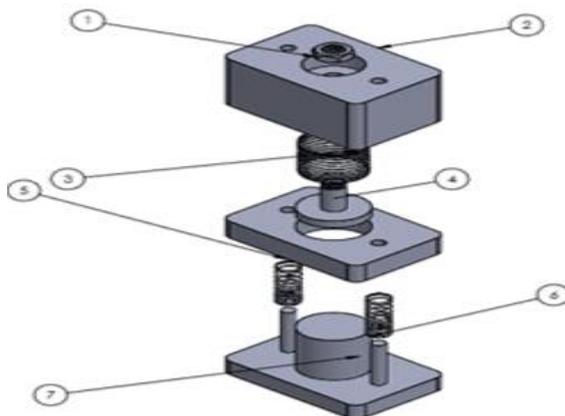
t_a = waktu dasar perakitan perkomponen (3s)

T_m = waktu total perakitan

Selain melakukan proses evaluasi perakitan, metode *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) juga melakukan proses evaluasi secara manufaktur. Proses ini meliputi estimasi biaya pengadaan material produk dies dan punch serta estimasi biaya manufakturnya. Setelah seluruh data-data tersebut diperoleh, kemudian dilakukan analisis untuk menentukan desain yang terbaik [20], [21].

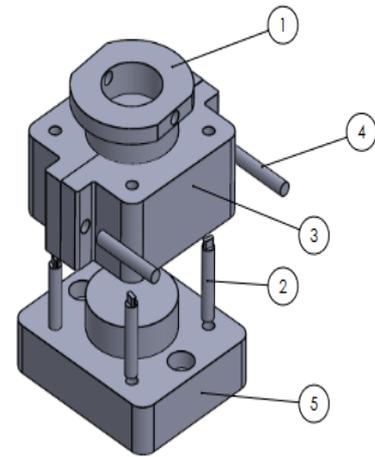
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan 3 variasi desain produk *dies* dan *punch* untuk diterapkan pada mesin kompaksi. Masing-masing desain perlu dibuat *bill of material* agar memudahkan peneliti dalam proses perhitungan *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) [21]. Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



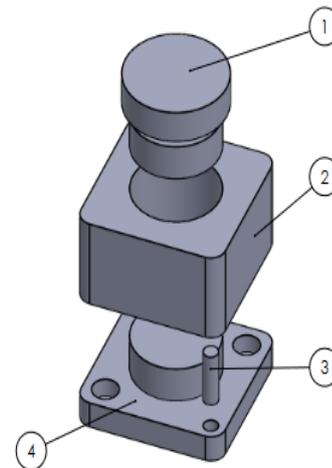
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	NUT	S45C	1
2	Plate Punch	S45C	1
3	Spring Punch	S50C	1
4	Punch	S45C	1
5	Die	S50C	1
6	Spring Dies	S50C	2
7	Base Plate	S45C	1

Gambar 5. *Bill of material* desain 1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Upper Punch	S50C	1
2	Pin 2	ASTM A36	4
3	Crimping Dies	S45C	2
4	Pin 1	ASTM A36	2
5	Base Plate	S50C	1

Gambar 6. *Bill of material* desain 2



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Upper Punch	S50C	1
2	Dies	S45C	1
3	Pin	ASTM A36	2
4	Lower Punch	S50C	1

Gambar 7. *Bill of material* desain 3

Setelah menentukan desain *dies* maupun *punch*, selanjutnya menentukan nilai efisiensi desain melalui penentuan manual *handling* dan manual *insertion*. Dapat dilihat pada Tabel 1 menunjukkan analisa penanganan manual desain 1 *dies* dan *punch*. Setelah menentukan nilai efisiensi, selanjutnya menentukan biaya pengadaan material dan biaya manufaktur dari desain 1 [20].

Tabel 1. Analisa Penanganan Manual Desain 1 *Dies* dan *Punch*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Part ID	Of consecutive identical operations	2-digit handling code	Manual handling time/part	2-digit insertion code	Manual insertion time/part	Operation time 2*(4+6)	Operation cost (7*0,4)	Essential part	Name of assembly
1	1	00	1.13	48	8.5	9.63	3.85	0	Nut
2	1	95	4	00	1.5	5.5	2.2	1	Plate Punch
3	1	00	1.13	06	5.5	6.63	2.65	1	Spring Punch
4	1	10	1.5	12	5	6.5	2.6	0	Punch
5	1	91	3	13	6	9	3.6	1	Dies
6	2	00	1.13	06	5.5	13.26	5.3	1	Spring Dies
7	1	95	4	00	1.5	5.5	2.2	1	Base Plate
Total						Tm = 56.02	Cm = 22.4	Nm = 5	

Tabel 1 menunjukkan hasil *operation time*, *operation cost*, dan jumlah *essential part* dengan masing-masing nilai sebesar 56,02 detik, 22,4 dan 5 komponen. Maka, nilai efisiensi pada desain 1 *dies* dan *punch* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Em = \frac{Nm \times ta \times 100\%}{Tm}$$

$$Em = \frac{5 \times 3 \times 100\%}{56,02}$$

$$Em = 26,78\%$$

Tabel 2. Hasil perhitungan biaya material desain 1

Part Name	Qty	Size (mm)	Weight (Kg)	Material	Price / Kg (Rp)	Total (Rp)
Nut	1	30 x 30 x 10	0,07	S45C	31.000	2.170
Plate Punch	1	150 x 100 x 70	8,26	S45C	31.000	256.000
Spring Punch	1	55,55 x 44	0,84	S50C	32.000	26.880
Punch	1	Ø60 x 55	1,22	S45C	31.000	37.820
Dies	1	150 x 100 x 35	4,13	S50C	32.000	132.160
Spring Dies	2	53 x 20,58	0,28	S50C	32.000	8.960
Base Plate	1	150 x 100 x 80	9,44	S45C	31.000	292.640
					Total =	Rp756.630

Tabel 3. Hasil perhitungan biaya proses manufaktur desain 1

Nama Proses	Lama Proses (Jam)	Harga Proses / Jam (Rp)	Total (Rp)
Bubut (<i>Turning</i>)	2	110.000	220.000
CNC	6	220.000	1.320.000
Drilling	1	65.000	65.000
		Total =	Rp1.605.000

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan biaya pengadaan material dan biaya proses manufaktur dengan masing-masing biaya Rp756.630,00 dan Rp1.605.000,00. Maka, total biaya keseluruhan dari desain 1 adalah Rp2.361.630,00.

Dapat dilihat pada Tabel 4 menunjukkan analisa penanganan manual tiap komponen dari segi waktu *handling* dan waktu *insertion* pada desain 2.

Tabel 4. Analisa Penanganan Manual Desain 2 *Dies* dan *Punch*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Part ID	Of consecutive identical operations	2-digit handling code	Manual handling time/part	2-digit insertion code	Manual insertion time/part	Operation time 2*(4+6)	Operation cost (7*0,4)	Essential part	Name of assembly
1	1	91	3	38	6	9	3.6	1	Upper Punch
2	4	60	4.8	00	1.5	25.2	10.08	0	Pin 2
3	2	91	3	38	6	18	7.2	1	Crimping Dies
4	2	00	1.13	00	1.5	5.26	2.104	0	Pin 1
5	1	91	3	38	6	9	3.6	1	Base Plate
Total						Tm = 66.46	Cm = 26.58	Nm = 3	

Tabel 4 menunjukkan hasil *operation time*, *operation cost*, dan jumlah *essential part* dengan masing-masing nilai sebesar 66,46 detik, 26,58 dan 3 komponen. Maka, nilai efisiensi pada desain 2 *dies* dan *punch* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Em = \frac{Nm \times ta \times 100\%}{Tm}$$

$$Em = \frac{3 \times 3 \times 100\%}{66,46}$$

$$Em = 13,54\%$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Biaya Material Desain 2

Part Name	Qty	Size (mm)	Weight (Kg)	Material	Price/Kg (Rp)	Total (Rp)
Upper Punch	1	Ø80 x 30	1,2	S50C	32.000	38.400
Pin 2	4	50 x Ø8	0,08	ASTM A36	20.000	1.600
Crimping Dies	2	130 x 50 x 50	5,2	S45C	31.000	161.200
Pin 1	2	50 x Ø8	0,04	ASTM A36	20.000	800
Base Plate	1	100 x 100 x 50	4	S50C	32.000	128.000
					Total =	Rp330.000

Tabel 6. Hasil Perhitungan Biaya Proses Manufaktur Desain 2

Nama Proses	Lama Proses (Jam)	Harga Proses/Jam (Rp)	Total (Rp)
Bubut (<i>Turning</i>)	3	110.000	330.000
CNC	6	220.000	1.320.000
Drilling / Counterboring	2	65.000	130.000
Boring	1	50.000	50.000

Total = Rp1.830.000

Rp2.160.000,00.

Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan biaya pengadaan material dan biaya proses manufaktur dengan masing-masing biaya Rp330.000,00 dan Rp1.830.000,00. Maka, total biaya keseluruhan dari desain 2 adalah

Dapat dilihat pada Tabel 7 menunjukkan analisa penanganan manual tiap komponen dari segi waktu handling dan waktu insertion pada desain 3.

Tabel 7. Analisa Penanganan Manual Desain 3 *Dies* dan *Punch*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Part ID	Of consecutive identical operations	2-digit handling code	Manual handling time/part	2-digit insertion code	Manual insertion time/part	Operation time 2*(4+6)	Operation cost (7*0,4)	Essential part	Name of assembly
1	1	91	3	06	5.5	8.5	3.4	0	Upper Punch
2	1	91	3	10	4	7	2.8	1	Dies
3	2	00	1.13	00	1.5	5.26	2.104	0	Pin
4	1	20	1.8	39	8	9.8	3.92	1	Lower Punch
Total						Tm = 30.56	Cm = 12.224	Nm = 2	

Tabel 7 menunjukkan hasil *operation time*, *operation cost*, dan jumlah *essential part* dengan masing-masing nilai sebesar 30,56 detik, 12,224 dan 2 komponen. Maka, nilai efisiensi pada desain 3 *dies* dan *punch* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Em = \frac{Nm \times ta \times 100\%}{Tm}$$

$$Em = \frac{2 \times 3 \times 100\%}{30,56}$$

$$Em = 19,63\%$$

Tabel 8. Hasil Perhitungan Biaya Material Desain 3

Part Name	Qty	Size (mm)	Weight (Kg)	Material	Price/Kg (Rp)	Total (Rp)
Upper Punch	1	45 x Ø70	1,35	S50C	32.000	43.200
Dies	1	100 x 100 x 50	4	S45C	31.000	124.000
Pin	2	30 x Ø10	0,04	ASTM A36	20.000	800
Lower Punch	1	100 x 100 x 35	2,75	S50C	32.000	88.000
Total =						Rp256.000

Tabel 9. Hasil Perhitungan Biaya Proses Manufaktur Desain 3

Nama Proses	Lama Proses (Jam)	Harga Proses/Jam (Rp)	Total (Rp)
Bubut (<i>Turning</i>)	1	110.000	110.000
CNC	4	220.000	880.000
Drilling / Counterboring	0,5	65.000	32.500
Total =			Rp1.022.500

Tabel 8 dan Tabel 9 menunjukkan hasil perhitungan biaya pengadaan material dan biaya proses manufaktur dengan masing-masing biaya Rp256.000 dan Rp1.022.500. Maka, total biaya keseluruhan dari desain 3 adalah Rp1.278.500,00.

Setelah menyelesaikan desain untuk produk

dies dan *punch*, kemudian mendapatkan hasil efisiensi dari masing masing desain yang kemudian hasil tersebut akan dipertimbangkan untuk menentukan desain terbaik. Untuk dapat menentukan desain terbaik perlu dilakukan perbandingan performa hasil dari ketiga desain seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Performa dari Ketiga Desain *Dies* dan *Punch*

Kriteria	Desain 1	Desain 2	Desain 3
Jumlah Komponen	7 Part	5 Part	4 Part
Jumlah Minimum Komponen <i>Essential</i> (Nm)	5 Part	3 Part	2 Part
Total Waktu Perakitan (Tm)	56.02	66.46	30.56
Total <i>Operation Cost</i> (Cm)	22.4	26.58	12.224
Indeks Efisiensi Desain (Em)	26,78%	13,54%	19,63%
Total Biaya	Rp2.361.630,00	Rp2.160.000,00	Rp1.278.500,00

Dapat dilihat pada Tabel 10, perbandingan performa antara desain 1, desain 2, dan desain 3, dari jumlah komponen desain 2 dan desain 3 memiliki jumlah komponen yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah komponen pada desain 1. Sedangkan pada jumlah minimum komponen teoritis (NM), total waktu perakitan (TM), dan total *operation cost* (CM), desain 3 yang mendapatkan nilai yang lebih efisien dengan memperoleh hasil berturut-turut yaitu 2 part, 30.56 detik, dan 12.224. Namun dalam nilai indeks efisiensi desain (EM) desain 3 memperoleh hasil 19,63% atau 6,09% lebih efisien dibandingkan dengan desain 2, sedangkan desain 1 memperoleh hasil 26,78% atau 13,24% lebih efisien dibandingkan dengan desain 2. Sedangkan dalam segi total estimasi biaya pembuatan, desain 3 lebih hemat dengan jumlah estimasi biaya pembuatan sebesar Rp1.278.500,00.

Dari data perbandingan Tabel 10 kita dapat mencari hasil dari desain yang akan dipilih berdasarkan kriteria sebagai berikut [21]:

- Jumlah komponen yang dipilih yaitu jumlah yang paling sedikit.
- Jumlah minimum komponen esensial (Nm) yang dipilih adalah jumlah yang paling sedikit.
- Total waktu perakitan (TM) yang dipilih yaitu waktu yang paling singkat.
- Total *operation cost* (CM) yang dipilih yaitu jumlah yang paling sedikit.
- Indeks efisiensi desain (EM) yang dipilih yaitu hasil yang paling besar.
- Total biaya yang dipilih yaitu total biaya yang

paling sedikit.

Berdasarkan kriteria tersebut, maka didapatkan hasil pemilihan desain terbaik dengan mencari skor dari masing-masing desain. Dapat diperhatikan pada Tabel 11 pemilihan hasil desain terbaik. Dari tabel tersebut maka dipilihlah desain 3 sebagai desain yang terbaik.

Tabel 11. Pemilihan Hasil Desain Terbaik

Kriteria	Desain 1	Desain 2	Desain 3
Jumlah Komponen	×	✓	✓
Jumlah Minimum Komponen <i>Essential</i> (Nm)	×	×	✓
Total Waktu Perakitan (Tm)	×	×	✓
Total <i>Operation Cost</i> (Cm)	×	×	✓
Indeks Efisiensi Desain (Em)	✓	×	×
Total Biaya	×	×	✓
Total Skor	1	1	5

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data yang sudah dilakukan, maka penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengembangan *dies* dan *punch* menggunakan metode pendekatan DFMA diatas mendapatkan hasil rancangan *dies* dan *punch* dengan 3 variasi desain dan terpilih desain 3 sebagai desain terbaik.
2. Hasil evaluasi desain 1 dan 2 diperoleh nilai efisiensi desain sebesar 26,78% dan 13,54% dengan jumlah komponen 7 *part* dan 5 *part* serta estimasi biaya pembuatan sebesar Rp2.361.630,00 dan Rp2.160.000,00.
3. Setelah dilakukan analisa DFMA pada desain 3 diperoleh nilai efisiensi desain sebesar 19,63% dengan jumlah komponen 4 *part* dan estimasi biaya pembuatan sebesar Rp1.278.500,00. Hasil desain 3 ini dapat mereduksi 3 *part* jika dibandingkan dengan desain 1 dan dapat mereduksi 1 *part* jika dibandingkan dengan desain 2. Hasil desain 3 ini dapat meningkatkan efisiensi perakitan sebesar 6,09% jika dibandingkan dengan desain 2. Hasil desain 3 ini juga dapat mereduksi biaya pembuatan sebesar Rp1.083.130,00 jika dibandingkan dengan desain 1 dan dapat mereduksi biaya pembuatan sebesar Rp881.500,00 jika dibandingkan dengan desain 2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. K. Hasibuan, A. Jabbar, M. Rambe, and R. Ginting, "Rancangan Perbaikan *Stopcontact* Melalui Pendekatan Metode DFMA (Design For Manufacturing And Assembly) pada PT. XYZ," 2013.
- [2] Binyamin, A. Nurrokayati Siti, and B. Prasetyo Bayu, "Rekayasa Pembuatan Kampas Rem Berbahan Dasar Serbuk".
- [3] Suherman and Fahrizal, "Pengaruh Penambahan Mn Terhadap Sifat Mekanis...."
- [4] M. Fitri, D. Feriyanto, and G. V. Golwa, "Full Factorial and Taguchi Design for The Impact Strength of Oil Palm Fiber Reinforced Composite: A Comparative Study," 2022.
- [5] M. Fitri and S. Mahzan, "Influence of Coupling Agent and Fibre Treatment To Mechanical Properties of Oil Palm Fibre Reinforced Polymer Matrix Composite," *Journal Of Mechanical Engineering*, Vol. 5, No. 4, Pp. 223–232, 2018.
- [6] M. Fitri, T. Susilo, D. Feriyanto, and D. M. Zago, "Effect of Morphology and Percentage of Second Phase Content of Coconut Coir on The Impact Strength of Epoxy Resin Composites," 2021.
- [7] F. R. Damanik and M. Fitri, "Design Optimization of Composite Resin Pelton Turbine Bucket Using Solidworks," 2022.
- [8] M. Fitri and S. Mahzan, "The Regression Models of Impact Strength of Coir Coconut Fiber Reinforced Resin Matrix Composite Materials," *International Journal Of Advanced Technology In Mechanical, Mechatronics And Materials*, Vol. 1, No. 1, Pp. 32–38, Mar. 2020, Doi: 10.37869/ljatec.V1i1.12.
- [9] M. Fitri, S. Mahzan, and F. Anggara, "The Mechanical Properties Requirement for Polymer Composite Automotive Parts - A Review," *International Journal Of Advanced Technology In Mechanical, Mechatronics And Materials*, Vol. 1, No. 3, Pp. 125–133, Jan. 2021, Doi: 10.37869/ljatec.V1i3.38.
- [10] M. Fitri and S. Mahzan, "The Effect of Fibre Content, Fibre Size and Alkali Treatment to Charpy Impact Resistance of Oil Palm Fibre Reinforced Composite Material," In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, Institute Of Physics Publishing, Dec. 2016. Doi: 10.1088/1757-899x/160/1/012030.
- [11] S. Mahzan, M. Fitri, and M. Zaleha, "Uv Radiation Effect Towards Mechanical Properties of Natural Fibre Reinforced Composite Material: A Review," In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, Institute Of Physics Publishing, Jan. 2017. Doi: 10.1088/1757-899x/165/1/012021.
- [12] M. Fitri, S. Mahzan, I. Hidayat, and N. Nurato, "The Effect of Coconut Coir Fiber Powder Content and Hardener Weight Fractions on Mechanical Properties of an Epr-174 Epoxy Resin Composite," *Sinergi*, Vol. 25, No. 3, P. 361, Jul. 2021, Doi: 10.22441/Sinergi.2021.3.013.
- [13] I. Risyuma and M. Fitri, "Analysis of Oil Absorption and Friction Coefficient of Bamboo Powder, Coconut Powder, Glass Powder, and Copper Powder Composites for Clutch Pads," *International Journal Of Innovation In Mechanical Engineering And Advanced Materials*, Vol. 4, No. 2, P. 58, Feb. 2023, Doi: 10.22441/ljimeam.V4i2.18235.
- [14] G. Formentini, N. Boix Rodríguez, and C. Favi, "Design for Manufacturing and Assembly Methods In The Product Development Process of Mechanical Products: A Systematic Literature Review," *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 120, No. 7–8. Springer Science And Business Media Deutschland Gmbh, Pp. 4307–4334, Jun. 01, 2022. Doi: 10.1007/S00170-022-08837-6.

- [15] M. Syaukani *Et Al.*, "Desain Dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton," 2021.
- [16] Sularso *and* S. Kiyokatsu, "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin," 2004.
- [17] G. Boothroyd, "*Assembly Automation and Product Design, Second Edition*," 2011.
- [18] I. Nuriskasari, A. Hidayat Hutasuhut, B. Yuwono, *and* N. Hidayati, "Desain Cetakan Elektroda Grafit Menggunakan Biomassa Sebagai Prekursor Karbon," 2023.
- [19] A. Rahman, A. Ramadhan, A. Muchlis, I. Fajar, *and* R. Ghanni, "*Design and Analysis of The Frame Strength of Waste Transporting Machine Using Solidworks*," *International Journal Science And Technology*, Vol. 1, Pp. 35–42, Nov. 2022.
- [20] F. Mohamed *and* A. Nawawi, "*Cost Reduction and Design Improvement of Hand Mixer for Baking Using Design for Manufacture and Assembly (DFMA) Malaysia *Corresponding Author Designation*," *Progress In Engineering Application And Technology*, Vol. 3, No. 1, Pp. 672–682, 2022, Doi: 10.30880/Peat.2022.03.01.067.
- [21] P. B. Kurniawan *and* S. Subekti, "*Redesign Cutting Machine Melalui Metode Pendekatan Design For Manufacturing And Assembly (DFMA)*," 2021.
- [22] M. Febryaan Tambunan, "Pengembangan Mesin Bakso Dengan Metode *DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)*," 2020.
- [23] A. S. Aulia, D. W. Karmiadi, *and* S. Sudiro, "Penerapan DFMA Pada Desain Produk Mobile File Berbasis Kompleksitas Produk dan Proses," 2019.
- [24] H. Atmaja *and* D. S. Arief, "Pengembangan Mesin *Belt Grinder* dengan Metode *DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)*," 2019.