

# PENGEMBANGAN DETAIL DESAIN, PEMBUATAN PROTOTYPE DAN PENGUJIAN MESIN *AUTOLOADER SPOTWELDING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE PERANCANGAN PRODUK GENERIK di PT DHARMA PRECISION PARTS

## DETAIL DESIGN DEVELOPMENT, PROTOTYPING AND TESTING *AUTOLOADER SPOT WELDING* MACHINE BY USING GENERIC PRODUCT DEVELOPMENT IN PT. DHARMA PRECISSION PARTS

Riskika Dea Pratama<sup>1</sup>, Rino Andias Anugraha, ST., MM<sup>2</sup>, Muhammad Iqbal, ST., MM<sup>3</sup>.

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[riskikadp@gmail.com](mailto:riskikadp@gmail.com), <sup>2</sup>[rinoandias@telkomuniversity.ac.id](mailto:rinoandias@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[muhiqbal@telkomuniversity.ac.id](mailto:muhiqbal@telkomuniversity.ac.id)

---

### Abstrak

PT Dharma Precision Parts adalah salah satu anak perusahaan Dharma Group yang didirikan pada tahun 1997 dan bergerak dalam bidang pengadaan sukucadang kendaraan bermotor (roda dua dan empat). Salah satu fokus produksi di PT Dharma Precision Parts ini adalah Arm Stay. Berdasarkan Upah Minimum Regional yang setiap tahunnya dikeluarkan oleh gubernur Jawa Barat, nilai Upah Minimum Kabupaten Bekasi kelompok 2 rata rata naik 21% dari tahun ke tahun dan diprediksikan nilai ini akan terus meningkat setiap tahunnya. Untuk mengatasi permasalahan kenaikan UMR, diperlukan alat bantu/ mesin yang dapat menggantikan operator sebagai pengoprasi mesin. Produk sebagai alat bantu/ mesin tersebut harus dirancang sesuai kebutuhan fungsional. Pada penelitian sebelumnya sudah didapatkan target spesifikasi dan konsep produk terpilih yang dapat mengatasi masalah-masalah yang ada. Dengan pembahasan detail desain akan diketahui produk seperti apa yang dibutuhkan lengkap dengan spesifikasi dan gambar teknik, pembuatan prototipe dengan keluaran mesin yang sudah dalam bentuk fisik beserta diagram alur perakitan dan testing yang membuktikan apakah mesin usulan sudah layak untuk menggantikan posisi operator.

**Kata kunci :** Detail Desain, Prototipe, Eksperimen

---

### Abstract

*PT Dharma Precision Parts is a subsidiary of the Dharma Group which was established in 1997 and engaged in procurement of spare parts of motor vehicle. One of the products manufactured by PT Dharma Precision Parts are Arm Stays. Based on Minimum Wage issued by the governor of West Java, Bekasi regency with class 2 worker the average of minimum wage increased by 21% and predicted the values will continue to increase every year. So for the solution of this increasing winimum wage is the company needs tools / machines that can replace the operator who oerate the machine. Product as a tool / machine must be designed according to functional requirements. In the previous studies have found the target specifications and concepts selected of the products. This study will be discussed about detail design with enggineering drawing and part spesification as the output, prototyping with the physical prototype and assembly chart as the output and testing of the machine with the feasible machine result as the output.*

**Keywords:** Detail Design, Prototype, Experiment

---

## 1. Pendahuluan

PT Dharma Precision Parts adalah salah satu anak perusahaan Dharma Group yang didirikan pada tahun 1997 dan bergerak dalam bidang pengadaan sukucadang kendaraan bermotor (roda dua dan empat). Salah satu fokus produksi di PT Dharma Precision Parts ini adalah *Arm Stay*. Berdasarkan Upah Minimum Regional yang setiap tahunnya dikeluarkan oleh gubernur Jawa Barat, nilai Upah Minimum Kabupaten Bekasi kelompok 1 rata rata naik 21% dari tahun ke tahun dan diprediksikan nilai ini akan terus meningkat setiap tahunnya. Untuk mengatasi permasalahan kenaikan UMR, diperlukan alat bantu/ mesin yang dapat menggantikan operator sebagai pengoprasi mesin. Produk sebagai alat bantu/ mesin tersebut harus dirancang sesuai kebutuhan fungsional. Pada penelitian sebelumnya sudah didapatkan target spesifikasi dan konsep produk terpilih yang dapat mengatasi masalah-masalah yang ada.

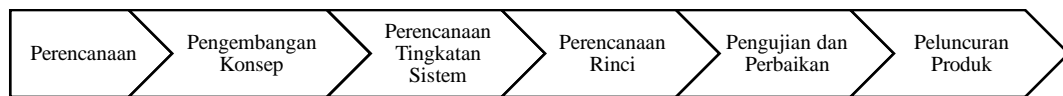
Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui spesifikasi detail desain yang dikeluarkan sebagai gambar teknik, mengetahui hasil pengujian proses apakah proses usulan sudah dapat menggantikan proses eksisting dan mengetahui kelayakan mesin apakah jumlah produk yang diproduksi oleh mesin usulan dapat menggantikan mesin eksisting.

## 2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

### 2.1. Pengembangan Produk Generik

Proses pengembangan produk merupakan serangkaian tahapan atau aktivitas yang dilakukan oleh perusahaan untuk menyusun, merancang, dan mengkomersilkan produk[1]. Berdasarkan tahap pengembangan produk generik

penelitian ini berada pada tahap pengujian dan perbaikan, dimana dilakukan pengujian sistem kerja untuk mengetahui *feasibility* produk dilihat dari segi kinerja mesin. Terdapat 6 prosedur umum perancangan produk generik:



Gambar 1. Perancangan Produk Generik [1]

## 2.2. Prosedur Umum Elemen Mesin

Dalam merancang komponen mesin, tidak ada aturan yang baku. Penyelesaian masalah dapat dilakukan dengan berbagai cara. Namun, secara umum prosedur untuk perancangan mesin adalah sebagai berikut [2]:



Gambar 2. Prosedur Umum Elemen Mesin [2]

## 2.2. Eksperimen

Eksperimen merupakan pengamatan atau observasi yang dilakukan dengan modifikasi kondisi yang dilakukan secara sengaja dan terkontrol dalam menentukan setiap kondisi pengamatan, serta melakukan pengamatan terhadap perubahan yang terjadi di setiap kondisi. Menurut Wu dan Hamada, *Design of Experiment (DOE)* adalah isi dari pengetahuan dan teknik untuk perencanaan sebuah percobaan pengujian. [1] *Design of experiment (DOE)* merupakan metode yang digunakan untuk memudahkan dalam mengartikan suatu keberhasilan atau kegagalan produk dalam meningkatkan produktivitas dengan cara meminimasi *noise* yang ada pada sistem [1]. Tahap pertama dalam *design of experiment* yaitu identifikasi *noise factor*, *control factor*, dan *performance metrics*, seperti menentukan variabel bebas dan terikat yang digambarkan dengan diagram parameter eksperimen. Selanjutnya tahap kedua yaitu membentuk formulasi matematis berdasarkan diagram parameter eksperimen. Pada tahap ketiga yaitu membuat kemungkinan kondisi pengamatan pengujian, selanjutnya tahap keempat yaitu melakukan eksperimen dengan menyertakan tabel hasil eksperimen di setiap kondisi pengamatan sebelumnya, dan tahap terakhir *propose simulation*, yaitu menyimpulkan hasil pengujian yang dilakukan.

## 2.4. Fits an Limits

Sesuaian merupakan derajat keketatan atau kelonggaran antara 2 benda yang saling berhubungan [2]. Terdapat 3 jenis suaian yaitu:

1. *Clearance Fit*, terdapat jarak antara objek satu dengan objek lainnya. Perlu digarisbawahi bahwa dalam clearance fit toleransi dimensi lubang harus diatas toleransi batang didalamnya.
2. *Interference Fit*, merupakan lawan dari clearance fit tidak terdapat ruang kosong antara lubang dan batang. Toleransi lubang harus lebih kecil dari toleransi batang.
3. *Transisition Fit*, jarak antara lubang dan batang masih dalam zona toleransi masing masing.

### 2.4.1 Suaian (Fits)

Dalam menghitung suaian, terdapat 18 tingkatan standar toleransi menurut Indian standard [IS : 919 (Part I)-1993] [2]. Berikut ini beberapa tingkatan standar yang sering digunakan,

Tabel 1. Tingkatan Standar Toleransi [2]

<i>Tolerance Grade</i>	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
<i>Magnitude</i>	7 <i>i</i>	10 <i>i</i>	16	25	4	64	100	160	250	400	640 <i>i</i>	1000
			<i>i</i>	<i>i</i>	0 <i>i</i>	<i>i</i>	<i>i</i>	<i>i</i>	<i>i</i>	<i>i</i>		<i>i</i>

Dari tabel diatas terdapat faktor pengali *i*, dimana

$$i=0,45\sqrt[3]{D+0,001D}$$

Dan *D* merupakan diameter lubang dan shaft dalam mm. Keluaran dari perhitungan standar toleransi dengan faktor pengali mikron adalah toleransi lubang dan batang dalam mm.

### 2.4.2 Batasan (Limits)

Setelah diketahui besaran (i) dan standar toleransi yang digunakan, selanjutnya menghitung limit dari lubang dan batang tersebut:

$$\begin{aligned} \text{Batas Bawah Lubang} &= \text{Diamater awal} + \text{Toleransi Lubang (dalam mm)} \\ \text{Batas Atas Batang} &= \text{Diamater awal} - \text{Toleransi Batang (dalam mm)} \\ \text{Batas Bawah Batang} &= \text{Batas Atas Batang} - \text{Toleransi Batang (dalam mm)} \end{aligned}$$

## 3. Pembahasan

### 3.1 Tahap Pengumpulan Data

Terdapat 2 jenis data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini terdiri dari pengukuran langsung dilapangan mengenai data dimensi mesin spot welding *eksisting*. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah target spesifikasi mesin *Autoloader Spot Welding*, konsep terpilih mesin *Autoloader Spot Welding* dan mekanisme part utama mesin *Autoloader Spot Welding*. Data sekunder didapat dari keluaran peneliti pertama yang nantinya akan digunakan oleh penelitian ini.

### 3.2 Tahap Perancangan Detail Desain

Tahap perancangan detail desain merupakan tahap awal dari pembahasan pada penelitian ini. Terdapat 6 hal yang dilakukan berdasarkan langkah detail desain pengembangan produk generik.

#### 3.2.1 Identifikasi Part Utama

Berdasarkan konsep terpilih dan geometri produk yang dikeluarkan oleh peneliti sebelumnya, part utama yang dibutuhkan mesin *Autoloader Spot Welding* ini adalah Rangka Meja, Hopper, *Feeder Material*, *Transfer Material*, *Clamping Material*, *Slider Finished Material* dan *Frame*.

#### 3.2.2 Identifikasi Part

Tahapan identifikasi *part* bertujuan untuk mengetahui elemen elemen apa saja yang ada untuk membentuk part utama secara utuh. Berikut ini adalah *part* yang dibutuhkan untuk mesin *Autoloader Spot Welding*.

Tabel 2. Part Utama dan Part

Part Utama	Part	Part Utama	Part
1. Rangka Meja	Rangka Meja Utama	5. <i>Clamping Material</i>	Ring Pneumatik Clamping Material
	Base Plate		Base Dudukan Clamping Material
	Mounting Base Plate		Dudukan Ring Pneumatik Clamping Material
	Adjuster		Handle Pneumatik Clamping Material
2. <i>Hopper</i>	Hopper Slider		Lengan Clamping Material
	Hopper Adjuster		Mounting Clamping Material
	Tray Adjuster		Connector Clamping Material
3. <i>Feeder Material</i>	Front Base		Pin Clamping Material
	Plate Feeder		Lengan II Clamping Material
	Rear Base		Push Bar Clamping Material
	Silinder Feeder Material		Dudukan Push Bar Clamping Material
	Mounting Pneumatik Feeder		Bar Slider
	Silinder Pembantu Pneumatik Penyatu	Z-Bar Slider	
4. <i>Transfer Material</i>	Mounting Penyatu Feeder Material	6. <i>Slider Finished Material</i>	Plate Silinder
	Mounting II Pneumatik Feeder		Dudukan Pneumatik Slider
	Silinder Transfer Material		Rangka Utama Frame
	Front Clamp Transfer Material		Pintu Persegi
	Rear Clamp Transfer Material	7. <i>Frame</i>	Pintu Siku
	Bar Transfer Material		
	Connector Transfer Material		
	Holder Transfer Material		
Pin Transfer Material			
Pegas Clamping			

### 3.2.3 Dimensi Part

Dalam penentuan dimensi part, penentuannya dilakukan dengan membagi dahulu elemen utama menjadi *part* yang lebih kecil. Hal ini dilakukan agar detail desain yang ditentukan dapat lebih presisi sesuai dengan kebutuhan. Dimensi yang subpart didapatkan dari hasil pengukuran dan simulasi dengan menggunakan *software* Solidworks dan penyesuaian antar *part*. Berikut ini dimensi part utama dari masing masing elemen Mesin *Autoloader Spot Welding*.

Tabel 3. Dimensi Part

<i>Elemen Utama</i>	<i>Part</i>	<i>Dimensi Part</i>
Rangka Meja	Tinggi Meja	840mm
	Tinggi Mounting Base Plate	114,5mm
	Tinggi Adjuster	160mm
<i>Hopper</i>	Luas Penampangan Hopper	120 x 280mm
<i>Feeder Material</i>	Lebar <i>Rear-Front Base Materials</i>	370mm
	Panjang Silinder <i>Feeder Material</i>	350mm
	Panjang <i>Stopper Mounting Pnemumatik Feeder</i>	74mm
<i>Transfer Material</i>	Jari Jari Hole <i>Clamping</i>	4,5mm
	Panjang Pegas <i>Clamping</i>	10mm
<i>Clamping Material</i>	Tinggi <i>Base Dudukan Clamping</i>	80mm
	Panjang Lengan II <i>Clamping</i>	150mm
	Panjang PushBar <i>Clamping</i>	90mm
<i>Slider Finished Material</i>	Panjang Z-Bar <i>Slider</i>	190mm
	Tinggi Z-Bar <i>Slider</i>	60mm
	Dimensi Permukaan Plate <i>Slider</i>	60x180x15mm
<i>Frame</i>	Lebar <i>Frame Dalam</i>	570mm
	Lebar <i>Frame Luar</i>	710mm
	Tinggi <i>Frame</i>	440mm

### 3.2.3 Pemilihan Material

Pemilihan material dilakukan untuk memilih material mana yang cocok digunakan oleh part mesin *Autoloader Spot Welding* ini. Metode yang dilakukan adalah metode *material selection* dan mempunyai beberapa tahap yaitu *Translation, Screening, Ranking* dan *Supporting Information*[3]. Berikut ini penjabaran material yang digunakan oleh elemen mesin *Autoloader Spot Welding*,

Tabel 4. Material Part Utama

<b>Part Utama</b>	<b>Material</b>
Rangka Meja	Stainless Steel
Hopper	Stainless Steel
Feeder Material	Stainless Steel
Transfer Material	Stainless Steel
Clamping Material	Stainless Steel
Slider Finished Material	Stainless Steel
Frame	Stainless Steel

### 3.2.4 Penentuan Toleransi

Penentuan toleransi dilakukan untuk mengetahui dimensi yang tepat dalam pembuatan desain part Mesin *Autoloader Spot Welding*. Dalam pembahasan toleransi, bahasan utamanya adalah *clearance fit* untuk *hole* dan *shaft* dengan spesifikasi *sliding fit*. Berikut ini penjabaran toleransi *clearance* berdasarkan *part* mesin *Autoloader Spot Welding*,

Tabel 5. Toleransi Part

Elemen	Ukuran Dasar	Part	Level Fit (shaft)	Level Fit (hole)
Transfer Material	16mm	Silinder Transfer Material	h8	f7
	6mm	Pin Transfer Material	h8	f7
Clamping Material	8mm	Pin Clamping Material	h8	f7

### 3.2.5 Pengujian Dengan Finite Element Analysis

Pengujian dengan FEA dilakukan dengan tujuan untuk menguji apakah rangkaian sudah cukup kuat untuk menopang beban. Keluaran dari pengujian ini adalah *yield strength*, *maximum stress* dan *maximum displacement*. Desain sudah dikatakan baik apabila nilai *maximum stress* jauh lebih rendah daripada *yield strength*. Berikut ini tabel hasil pengujian part mesin *Autoloader Spot Welding* dengan menggunakan *finite element analysis*.

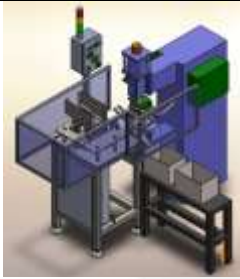


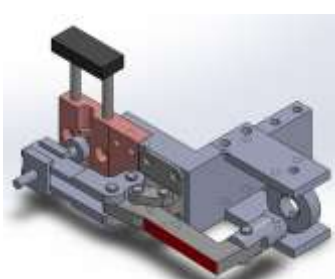
Tabel 6. Hasil Pengujian FEA

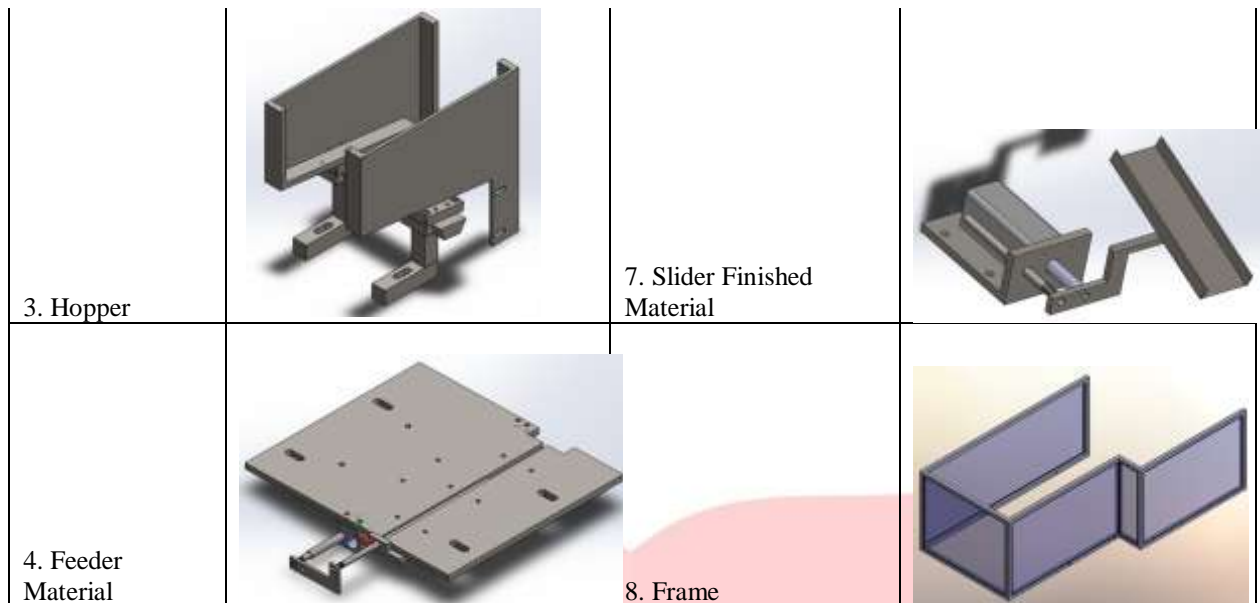
Part Utama	Nilai Yield Strength (N/m <sup>2</sup> )	Nilai maximum Stress (N/m <sup>2</sup> )	Nilai Maximum Displacement (mm)	Status
Rangka Meja	620.422.016,0	1.465.478,9	8,655 x 10 <sup>-3</sup>	OK
Hopper	620.422.016,0	903.496,6,9	5,566 x 10 <sup>-3</sup>	OK
Feeder Material	604.458.208,2	1.094.080,2	5319 x 10 <sup>-3</sup>	OK
Transfer Material	652.843.674,5	1.286.554,8	6931 x 10 <sup>-3</sup>	OK
Calmping Material	600.185.567,6	978.156,3	6175 x 10 <sup>-3</sup>	OK
Slider Finished Material	680.886.297,2	1.398.058,7	5577 x 10 <sup>-3</sup>	OK
Frame	620.113.594,1	1.147.102,4	8203 x 10 <sup>-3</sup>	OK

### 3.2.6 Pengeluaran Gambar Teknik

Tahap pengeluaran gambar teknik merupakan tahap akhir dari perancangan detail desain. Gambar teknik secara detail beserta subpart terdapat pada lampiran tugas akhir ini. Tabel 7 adalah sketsa 3D part dan subpart yang merepresentasikan mesin *Autoloader Spot Welding* secara keseluruhan,

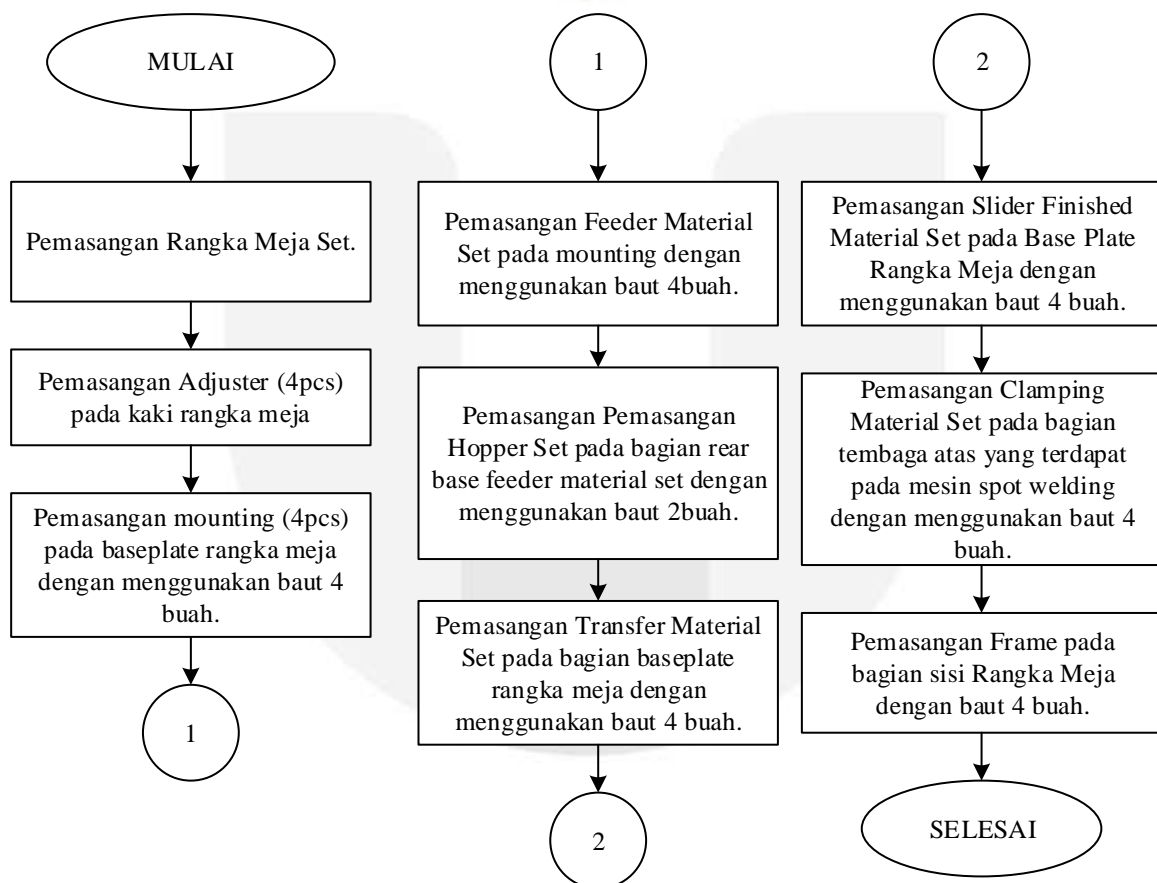
Tabel 7. Sketsa 3D Mesin *Autoloader Spot Welding*

Part	Desain 3D	Part	Desain 3D
1. Assembly Mesin		5. Transfer Material	
2. Rangka Meja		6. Clamping Material	



### 3.3 Tahap Perancangan Prototype

Pada tahapan perancangan prototipe ini aspek yang ditekankan adalah diagram alir perakitan produk yang membahas langkah-langkah dalam melakukan perakitan setiap komponen-komponen menjadi sebuah produk atau mesin.



Gambar 3. Diagram Alir Perakitan

### 3.4 Tahap Pengujian

Tahap pengujian terbagi menjadi 2 bagian yaitu pengujian proses untuk menguji apakah alur kerja sudah dapat menggantikan posisi operator dan *design of experiment* untuk menguji apakah mesin *Autoloader Spot Welding* sudah dapat menggantikan mesin eksisting dilihat dari segi waktu proses.

### 3.4.1 Pengujian Proses

Pengujian secara proses dilakukan untuk mengetahui apakah alur proses sudah berjalan sesuai dengan yang diharapkan, mengetahui apakah elemen mesin sudah dapat berjalan sesuai fungsinya, melihat siklus waktu per produk dan lain lain. Berikut ini hasil pengujian proses yang dilakukan.

Tabel 8. Hasil Pengujian Proses

No	Pengujian	Parameter		Hasil Pengujian	Status
		Nilai	Satuan		
1	Rangka Meja Kuat dan Dapat Menopang Beban	Ya	Ya/ Tidak	Ya	OK
2	Kapasitas Hopper	200	Pcs.	200	OK
3	Feeder Material Dapat Mendorong Material Ke Transfer Material	Ya	Ya/ Tidak	Ya	OK
4	Transfer Material Dapat Mengubah Orientasi Material Dengan Baik	Ya	Ya/ Tidak	Ya	OK
5	Clamping Material Dapat Menjepit Material Dengan Kuat	Ya	Ya/ Tidak	Ya	OK
6	Slider Finished Material Dapat Menjatuhkan Material Pada Box	Ya	Ya/ Tidak	Ya	OK
7	Frame Dapat Menutupi Mesin Dengan Baik	Ya	Ya/ Tidak	Ya	OK
8	Siklus Waktu/ Produk	≤ 9	Detik	4,5	OK

### 3.4.2 Design of Experiment

Eksperimen yang dilakukan terhadap pembuatan *prototype* Mesin *Autoloader Spot Welding* dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak material yang dapat diproses. Berikut ini tahapan yang dilakukan,

1. Identifikasi *Control Factors*, *Noise Factors* dan *Performance Metrics*  
*Control factors* pada eksperimen ini adalah diameter *hole clamping* dan panjang pegas *clamping*. *Noise factors* pada eksperimen ini adalah getaran yang dihasilkan akibat pergerakan *Transfer Material* dan kelicinan permukaan *clamping*. Dan *performance metrics* pada eksperimen ini adalah jumlah material *Arm Stay* yang dapat diproses.
2. *Develop The Experiment*  
Fungsi tujuan dalam eksperimen ini adalah untuk mengetahui jumlah material *armstay* yang dapat diproses apakah sudah sesuai dengan target produksi.
3. Rancangan Tahapan Eksperimen  
Tujuan yang dicapai dalam eksperimen ini adalah mencari kombinasi yang baik antara diameter *hole clamping* dan panjang pegas, sehingga jumlah material yang dapat diproses oleh Mesin *Autoloader Spot Welding* dapat sesuai target yaitu 500pcs/jam.
4. Hasil Ekperimen  
Eksperimen dilakukan dengan percobaan terhadap 9 kondisi yang bertujuan untuk mendapatkan kombinasi optimal diameter *clamping* dengan panjang pegas sehingga material yang diproses dapat mencapai 500pcs/jam. Berikut ini hasil eksperimen yang dilakukan dengan 9 kali percobaan dengan masing masing percobaan dilakukan selama 1 jam.

Tabel 9. Hasil Design of Experiment

No	Kombinasi		Jumlah Rata rata Material Terproses (pcs)
	Diameter Hole Clamping (mm)	Panjang Pegas (mm)	
1	8	8	322
2	8	10	428
3	8	12	204
4	9	8	479
5	9	10	521
6	9	12	351
7	10	8	220
8	10	10	325
9	10	12	98

#### 5. Proses Simulasi

Setelah dilakukan eksperimen maka didapat dengan kombinasi diameter *hole* 9mm dan panjang pegas 10mm, dapat memproses 521 material selama 1 jam. Jumlah ini melebihi target jumlah produksi yaitu 500pcs/jam, sehingga kombinasi ini dikatakan layak.

#### 4. Kesimpulan

Dari pembahasan diatas mengenai perancangan detail desain, pembuatan *prototype* dan pengujian Mesin *Autoloader Spot Welding* maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

1. Detail desain sudah dilakukan melalui 6 langkah pengerjaan. Hasil identifikasi Elemen utama, *part*, jenis material dan pengujian *finite elemen analysis* dapat dilihat pada tabel 10. Dimensi dan toleransi produk hasilnya diimplementasikan pada gambar teknik dari part pendukung Mesin *Autoloader Spotwelding*.

Tabel 10. Kesimpulan detail Desain

Part Utama	Jumlah Sub-Part (buah)	Jenis Material	Status Pengujian FEA
Rangka Meja	4	Stainless Steel	OK
Hopper	3	Stainless Steel	OK
Feeder Material	7	Stainless Steel	OK
Transfer Material	7	Stainless Steel	OK
Calmping Material	11	Stainless Steel	OK
Slider Finished Material	4	Stainless Steel	OK
Frame	3	Stainless Steel	OK

2. Prototyping menghasilkan prototipe secara fisik dan diagram alir perakitan mesin. Diagram alir perakitan mesin membutuhkan 9 langkah utama untuk merakit Mesin *Autoloader Spot Welding*.
3. Pengujian yang dilakukan terbagi menjadi 2 yaitu pengujian proses dan *design of experiment*. Pengujian proses sudah dilakukan dan menghasilkan proses mesin usulan sudah sesuai dengan proses mesin eksisting. *Design of experiment* juga sudah dilakukan dan target produksi mesin usulan sudah sesuai/ melebihi target produksi perjam.
4. Dari ketiga tahapan yang sudah dilakukan, dapat dikatakan bahwa Mesin *Autoloader Spot Welding* sudah layak untuk dijadikan mesin produksi Arm Stay di PT. Dharma Precission Parts.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product Design and Development*. New York: McGraw Hill.
- [2] Gupta, R. K. (2005). *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- [3] Ashby, M. F. (2005). *Material Selection in Mechanical Design*. Pergamon Press.