

**PERANCANGAN KONSEP MESIN *AUTO LOADER SPOT WELDING*  
MENGUNAKAN METODE PERANCANGAN PRODUK GENERIK  
DI PT. DHARMA PRECISION PARTS**

**CONCEPT DEVELOPMENT OF *AUTO LOADER SPOT WELDING* MACHINE  
USING GENERIC PRODUCT DEVELOPMENT IN PT. DHARMA PRECISION  
PARTS**

Faizal Wahyu Winarsa<sup>1</sup>, Rino Andias Anugraha S.T., M.M.<sup>2</sup>, Muhammad Iqbal S.T., M.M.<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>[faizalwahyuwinarsa@gmail.com](mailto:faizalwahyuwinarsa@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 Part merupakan salah satu perusahaan yang tergabung dalam Dharma Group yang berlokasi di Kawasan Industri Cikarang. *Core bussiness* dari perusahaan ini adalah dalam pembuatan suku cadang kendaraan bermotor yang salah satunya adalah *Arm Stay*. *Arm Stay* merupakan besi penghubung antara kaca spion dengan kendaraan bermotor. Produk *Arm Stay* ini dilakukan dalam beberapa proses yang diantaranya adalah proses *facing*, *chamfer*, pembuatan ulir, *grinding*, *welding*, dan *bending*.

Dalam keadaan eksisting, beberapa proses pembuatan masih dilakukan secara manual dengan menggunakan operator. Sehingga mengakibatkan permasalahan terhadap biaya perusahaan yang terus meningkat seiring meningkatnya upah tenaga kerja setiap tahunnya. Oleh karenanya dibutuhkan sebuah sistem kerja yang ter-otomasi yang dapat menggantikan tenaga kerja operator. Sistem kerja yang ter-otomasi dapat diterapkan pada stasiun kerja *Spot Welding* yang masih menggunakan operator dalam pengoperasiannya. Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan terhadap mesin *Spot Welding* yang akan menghasilkan konsep produk terpilih dan geometri produk.

Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode perancangan produk generik dalam tahapan pengembangan konsep dan perancangan tingkat sistem agar dapat menghasilkan spesifikasi dalam pembuatan mesin *Auto Loader Spot Welding*. Konsep terpilih ini akan menjadi masukan untuk detail desain yang dilakukan oleh peneliti kedua.

**Kata kunci :** perancangan produk , pengembangan konsep, geometri produk, *auto loader spot welding*

---

**Abstract**

*PT. Dharma Precision Parts is a part of Dharma Group which located at Cikarang Industrial District, The core business of this company is vehicle spare part production. One of the spare part this company produce is arm stay which is the iron connector for the rearview mirror to the vehicle, Arm stay produced by certain process which are facing, chamfer, thread, grinding, welding and bending.*

*Some process is manually done using operator such as in welding at the moment. Thus resulting in the problem of the cost of a company that continues to increase with increasing labor costs each year. Therefore, it takes a working system with automation that can replace the operator's labor. So that on this research spot welding machine designing will be done to generate chosen product concept and geometry product.*

*Generic product in concept development stage planning and system level planning to generate the specification in the auto loader spot welding machine. These chosen concept will be the input of the detail design for the second researcher.*

**Keywords :** *product design, concept development, geometric product, auto loader spot welding*

---

## 1 Pendahuluan

PT. Dharma Precision Parts merupakan salah satu perusahaan yang tergabung dalam Dharma Group. Perusahaan ini merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam pembuatan komponen kendaraan bermotor yang telah berdiri sejak tahun 1997. Terdapat beberapa produk yang diproduksi dalam perusahaan ini yang diantaranya adalah peralatan sanitasi untuk perusahaan TOTO, pembuatan *ring shock*, produk *arm stay* kendaraan bermotor, serta beberapa komponen untuk memenuhi permintaan Dharma Group lainnya yaitu perusahaan Dharma

Polimetal. Namun dalam penelitian ini hanya berfokus pada produk *arm stay*. *Arm stay* merupakan komponen yang terdapat dalam sepeda motor yang berfungsi sebagai besi penghubung antara sepeda motor dengan kaca spion. Terdapat beberapa proses produksi dalam pembuatan *arm stay* di perusahaan PT. Dharma Precision Parts yang diantaranya adalah proses *facing*, *chamfer*, dan pembuatan ulir yang dilakukan dalam stasiun kerja *three in one*. Kemudian dilanjutkan pada proses *grinding* dalam stasiun kerja *centerless grinding* dan dilakukan *welding* pada stasiun kerja *spot welding*. Proses terakhir yang dilakukan dalam pembuatan *arm stay* yaitu proses *bending* yang dilakukan dalam stasiun kerja *bending*. Dalam keadaan eksisting, beberapa proses produksi *arm stay* masih dilakukan secara manual dengan menggunakan tenaga kerja operator yang mengakibatkan permasalahan terhadap biaya perusahaan yang terus meningkat seiring meningkatnya upah tenaga kerja setiap tahunnya. Selain dari pada itu jumlah produk *arm stay* yang diproduksi di PT. Dharma Precision Parts tidak mengalami peningkatan. Sehingga dengan adanya peningkatan upah tenaga kerja akan mempengaruhi beban biaya perusahaan. Oleh karenanya diperlukan suatu sistem ter-otomasi yang dapat menggantikan tenaga kerja operator. Sistem kerja yang ter-otomasi dapat diterapkan pada stasiun kerja *welding* yang masih menggunakan operator dalam pengoperasiannya. Sehingga dalam penelitian ini diperlukan suatu perancangan terhadap mesin *Auto Loader Spot Welding* yang nantinya akan menghasilkan konsep produk terpilih dan geometri produk.

Dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan konsep mesin *Auto Loader Spot Welding* dengan menggunakan metode perancangan produk generik. Tahapan dalam perancangan produk generik yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah pada tahapan pengembangan konsep dan perancangan tingkat sistem. Tujuan dari adanya penelitian ini adalah menghasilkan rancangan spesifikasi mesin *Auto Loader Spot Welding* dalam proses pembuatan *arm stay* dengan batasan yang diantaranya adalah penelitian ini hanya membahas pada pembuatan *part* mekanik (aktuator) dari mesin *Auto Loader Spot Welding*. Sehingga nantinya akan menghasilkan konsep produk terpilih dan geometri produk yang akan menjadi masukan terhadap peneliti kedua.

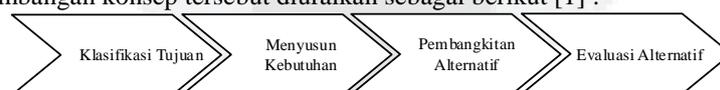
## 2 Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

### 2.1 Pengembangan Produk Generik

Pengembangan produk merupakan serangkaian aktivitas yang dimulai dengan analisis terhadap persepsi dan peluang. Proses yang dilakukan dalam pengembangang produk ini merupakan kegiatan yang dilakukan oleh sebuah perusahaan untuk menyusun, merancang, dan mengomersilkan sebuah produk. [4]

#### 2.1.1 Pengembangan Konsep

Pada tahap pengembangan konsep, dilakukan pengidentifikasian dari kebutuhan berdasarkan target market hingga konsep produk dievaluasi nantinya. Pada tahap pengembangan konsep ini dilakukan menggunakan metode yang dikemukakan oleh Nigel Cross yang terbagi menjadi empat langkah yang menjadi tujuan dan fungsi masing-masing. Proses pengembangan konsep tersebut diuraikan sebagai berikut [1] :



Gambar 1 Proses Pengembangan Konsep

##### 2.1.1.1 Klasifikasi Tujuan

Langkah awal yang dilakukan dalam melakukan suatu perancangan adalah berupaya untuk memperjelas tujuan perancangan. Hal ini dapat membantu dalam setiap langkah hingga mendapatkan hasil yang diharapkan. Keluaran yang dihasilkan dari klasifikasi tujuan adalah berupa sekumpulan tujuan dari adanya suatu perancangan. Metode yang dipergunakan dalam tahap ini adalah *objective tree*. Fungsi dari *objective tree* adalah memberikan bentuk dan penjelasan dari pernyataan tujuan [2].

##### 2.1.1.2 Menyusun Kebutuhan

Setelah dilakukan klasifikasi tujuan, maka langkah selanjutnya adalah menyusun kebutuhan. Langkah ini bertujuan untuk membuat spesifikasi pembuatan yang diperlukan dalam melakukan perancangan. Metode yang dipergunakan dalam menyusun kebutuhan adalah *performance specification model* yang bertujuan untuk mendefinisikan kebutuhan dari kinerja suatu produk [2].

### 2.1.1.3 Pembangkitan Alternatif

Pembangkitan alternatif merupakan suatu proses perancangan yang berguna untuk membangkitkan alternatif-alternatif yang dapat mencapai solusi terhadap permasalahan perancangan. Tujuan dari langkah ini adalah dihasilkannya beberapa solusi alternatif dalam perancangan. Metode yang digunakan dalam tahapan pembangkitan alternatif adalah metode *Morphological Chart*. Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi atau mencari kombinasi dari beberapa alternatif konsep [2].

### 2.1.1.4 Evaluasi Alternatif

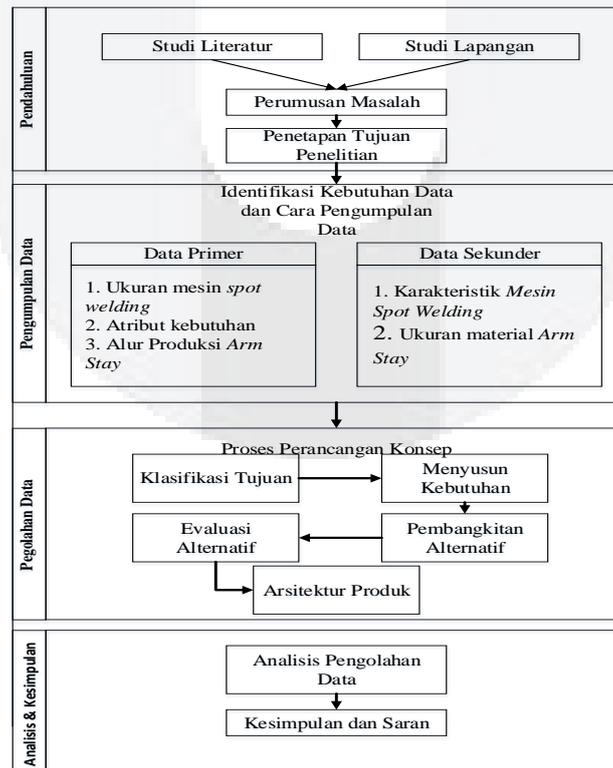
Alternatif yang sudah dihasilkan akan dievaluasi untuk dilakukan pemilihan alternatif konsep yang terbaik yang dapat diterapkan. Pada tahap evaluasi alternatif menggunakan metode *weighted objective* yang bertujuan untuk membandingkan nilai dari setiap alternatif berdasarkan bobot disetiap kriteria [2].

### 2.1.2 Perancangan Tingkat Sistem

Pada tahap perancangan tingkat sistem menjelaskan mengenai arsitektur produk dan dekomposisi produk ke dalam subsistem dan komponen. Pada tahap ini juga dijelaskan mengenai hasil akhir atau konsep terpilih dari produk tersebut. Keluaran dari tahap ini diantaranya adalah susunan geometris produk, spesifikasi fungsional dari subsistem produk, dan diagram alir perakitan produk [4].

## 2.2 Sistem Pemecahan Masalah

Sistematika penulisan merupakan suatu penjelasan secara deskriptif mengenai hal-hal yang akan ditulis, sehingga penulisan dapat lebih terstruktur dari awal hingga akhir penelitian. Dalam penelitian ini melalui empat tahapan yang diantaranya adalah tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, serta analisis dan kesimpulan.



Gambar 2 Metodologi

Langkah awal dalam melakukan penelitian ini adalah dengan melakukan pencarian studi literatur untuk memahami konsep serta teori yang mendukung jalannya penelitian. Selain dari pada itu, pada tahap pendahuluan ini juga dilakukan studi lapangan yang bertujuan untuk mempelajari permasalahan yang terdapat dalam perusahaan yang dilakukan dengan pengamatan langsung di PT. Dharma Precision Parts. Hal ini bertujuan untuk memahami kondisi eksisting yang terdapat di dalam perusahaan. Setelah mengetahui permasalahan yang terdapat di

perusahaan, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pengumpulan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder yang berfungsi untuk mendukung penelitian ini. Kemudian setelah didapatkan data yang dibutuhkan, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pengolahan data. Pengolahan data dilakukan pada tahap pengembangan konsep dengan menggunakan metode Nigel Cross serta pada tahap perancangan tingkat sistem berupa penyusunan arsitektur produk. Pada tahap selanjutnya adalah dilakukan proses analisis terhadap hasil yang telah diolah pada proses sebelumnya yang nantinya akan diberikan kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan.

### 3 Pembahasan

Dalam penelitian ini dilakukan penyusunan konsep mesin *Auto Loader Spot Welding* dengan menggunakan tahap pengembangan konsep yang dikemukakan oleh Nigel Cross yang nantinya akan dilakukan penyusunan perancangan tingkat sistem. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data primer dan sekunder yang berfungsi untuk mendukung adanya penelitian ini.

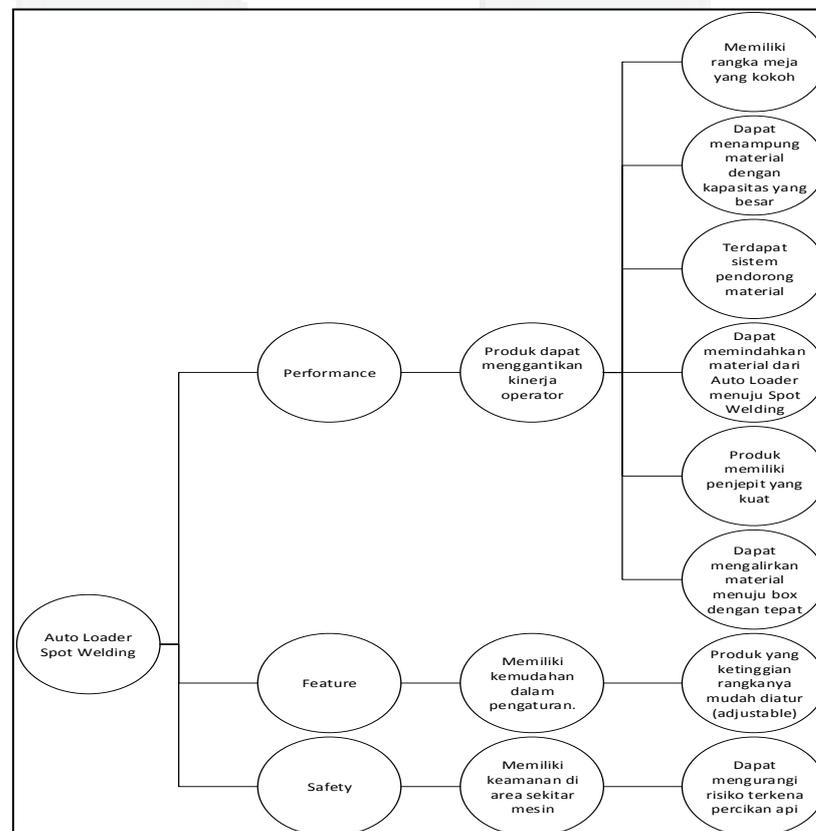
#### 3.1 Kondisi Eksisting Mesin *Spot Welding*

Dalam kondisi eksisting, mesin *Spot Welding* masih dioperasikan secara manual dan menggunakan seorang operator dalam pengoperasiannya. Namun sistem kerja yang bersifat manual tersebut akan digantikan dengan suatu sistem yang ter-otomasi. Sehingga terdapat beberapa bagian yang perlu ditambahkan untuk menggantikan sistem kerja yang masih bersifat manual.

#### 3.2 Tahap Pengembangan Konsep

##### 3.2.1 Klasifikasi Tujuan

Langkah awal dalam melakukan pengembangan konsep adalah dengan melakukan klasifikasi tujuan yang bertujuan untuk memperjelas tujuan dari adanya perancangan terhadap mesin *Auto Loader Spot Welding*. Dalam menentukan tujuan dari adanya penelitian ini adalah dengan berdasarkan kebutuhan dasar yang terdapat dari perubahan sistem kerja manual menjadi suatu sistem kerja yang ter-otomasi serta dengan *melakukan focus group discussion* dengan pihak perusahaan untuk mendapatkan kebutuhan yang diperlukan dalam perancangan mesin *Auto Loader Spot Welding*. Hasil dari kebutuhan-kebutuhan tersebut akan diterjemahkan ke dalam diagram *objective tree*.



Gambar 3 Objective Tree

### 3.2.2 Menyusun Kebutuhan

Menyusun kebutuhan merupakan terjemahan dari atribut kebutuhan yang menjadi kebutuhan dalam perancangan mesin *Auto Loader Spot Welding* yang akan diterjemahkan kedalam suatu nilai yang dapat terukur.

**Tabel 1 Target Spesifikasi**

No	Karakteristik Teknis	Nilai	Satuan
1	Kekuatan rangka meja	2461,7	N
2	Panjang rangka meja	520	mm
3	Lebar rangka meja	515	mm
4	Tinggi rangka meja	892	mm
5	Panjang tempat penyimpanan material	300	mm
6	Lebar tempat penyimpanan material	180	mm
7	Tinggi tempat penyimpanan material	120	mm
8	Mampu mendorong material menuju transfer part	Ya	Ya/ Tidak
9	Dapat mereposisi material	Ya	Ya/ Tidak
10	Besar gaya penjepit	5025.50	N
11	Memiliki part untuk mengalirkan material secara otomatis	Ya	Ya/ Tidak
12	Maksimal perubahan tinggi meja	100	mm
13	Mekanisme pelindung	Ya	Ya/ Tidak

### 3.2.3 Pembangkitan Alternatif

Pembangkitan alternatif berfungsi untuk membangkitkan alternatif-alternatif konsep yang dapat memberikan pilihan terhadap perancangan desain. Konsep yang disusun berdasarkan data atribut kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan agar dalam menentukan konsep, didapatkan alternatif-alternatif yang sesuai dengan kebutuhan.

**Tabel 2 Alternatif Konsep**

Fungsi dan Kebutuhan	Alternatif		
	1	2	3
Jumlah kaki meja	Satu Kaki	Tiga Kaki	Empat Kaki
Tempat menyimpan raw material	<i>Hopper Slider</i>	<i>Hopper</i> Kotak	<i>Hopper</i> Segitiga
Mekanisme <i>feeder material</i>	<i>Conveyor</i>	Pendorong Besi	Pendorong Kayu
Mekanisme transfer material	<i>Toggle</i>	Pneumatik	
Mekanisme clamping material	Sistem Penjepit Lengan	<i>Double</i> Pneumatik	
Mekanisme part catcher	Seluncuran	Penahan Otomatis	
Mekanisme perubahan tinggi meja	<i>Adjuster</i> Kaki Meja	<i>Adjuster</i> Rangka Meja	
Sistem pelindung	<i>Frame</i> Keseluruhan	Pelindung Tabung	

Kombinasi yang dapat dihasilkan adalah sejumlah 864 kombinasi, namun terdapat kombinasi yang tidak dapat dilakukan pada mesin *Auto Loader Spot Welding*. Sehingga kombinasi memungkinkan untuk dikembangkan adalah sejumlah enam kombinasi.

### 3.2.4 Evaluasi Alternatif

Terdapat dua tahapan yang dilalui dalam melakukan evaluasi alternatif yang diantaranya adalah penyaringan konsep dan penilaian konsep. Penyaringan konsep ini bertujuan untuk mempersempit jumlah jumlah konsep yang ada. Langkah dalam melakukan penyaringan konsep adalah membuat matriks penyaringan konsep dengan beberapa tahapan yaitu menentukan kriteria seleksi berdasarkan dari atribut kebutuhan, kemudian menentukan *reference* sebagai pembanding dengan konsep lainnya, menentukan nilai (+), (0), (-) terhadap masing-masing konsep dan diakhiri dengan pemeringkatan berdasarkan total nilai dari masing-masing konsep.

**Tabel 3 Matriks Penyaringan Konsep**

Kriteria Seleksi	Konsep A	Konsep B	Konsep C	Konsep D	Konsep E	Konsep F (ref)
Memiliki rangka meja yang kokoh	-	-	-	-	0	0
<i>Hopper</i> dengan kapasitas yang besar	0	0	0	0	0	0
Memiliki penjepit material yang kuat	+	0	+	0	+	0

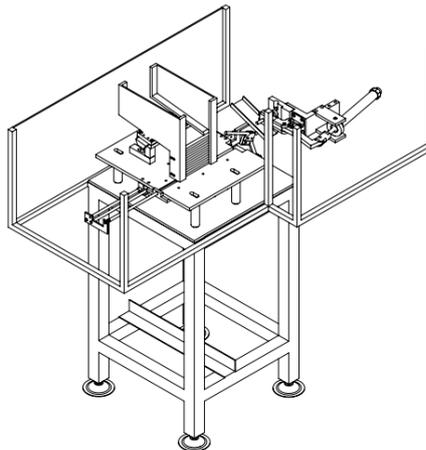
Kemudahan dalam mengatur ketinggian rangka	0	0	0	0	0	0
Keamanan terhadap orang sekitar	0	0	0	0	0	0
Kemudahan dalam pembuatan	+	+	-	-	0	0
Jumlah (+)	2	1	1	0	1	0
Jumlah (0)	3	4	3	4	5	6
Jumlah (-)	1	1	2	2	0	0
Nilai Akhir	1	0	-1	-2	1	0
Peringkat	1	4	5	6	1	4
Lanjutkan	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak

Berdasarkan matriks penyaringan konsep, terpilih tiga konsep dengan nilai tertinggi yaitu konsep A dan konsep E yang akan dilanjutkan dengan menggunakan metode *weighted objectives*. Langkah yang dilakukan dalam penilaian konsep adalah dengan memberikan bobot terhadap masing masing kriteria dengan total nilai keseluruhan yaitu 100%. Selanjutnya diberikan penilaian disetiap konsep dan dilakukan perhitungan bobot dengan perkalian antara persentase bobot pada kriteria seleksi dengan nilai skala disetiap konsep. Konsep dengan nilai bobot tertinggi menjadi konsep terpilih yang akan dikembangkan selanjutnya.

**Tabel 4 Matriks Penilaian Konsep**

<i>Kriteria Seleksi</i>	<i>Bobot</i>	<i>Konsep A</i>		<i>Konsep E</i>		<i>Konsep F (ref)</i>	
		<i>Rating</i>	<i>Weighted Score</i>	<i>Rating</i>	<i>Weighted Score</i>	<i>Rating</i>	<i>Weighted Score</i>
Memiliki rangka meja yang kokoh	24%	1	0,24	2	0,72	3	0,72
<i>Hopper</i> dengan kapasitas yang besar	19%	3	0,57	3	0,57	3	0,57
Memiliki penjepit material yang kuat	29%	4	1,16	4	1,16	3	0,87
Kemudahan dalam mengatur ketinggian rangka	14%	3	0,42	3	0,42	3	0,42
Keamanan terhadap orang sekitar	9%	3	0,27	3	0,27	3	0,27
Kemudahan dalam pembuatan	5%	4	0,20	3	0,15	3	0,15
Total Nilai		2,89		3,08		3	
Peringkat		3		1		2	
Kembangkan		Tidak		Ya		Tidak	

Dari hasil seleksi konsep didapatkan konsep E yang merupakan konsep terpilih. Konsep E ini merupakan konsep dengan menggunakan empat kaki sebagai rangka meja, *hopper* kotak sebagai tempat menampung material, menggunakan pendorong besi sebagai *feeder material*, menggunakan *toggle* untuk melakukan proses *transfer part*, menggunakan sistem penjepit lengan dalam proses penjepit material, menggunakan penahan otomatis pada *part catcher*, *adjuster* pada kaki meja, dan menggunakan *frame* keseluruhan sebagai sistem pelindung.



**Gambar 4 Konsep Auto Loader Spot Welding Terpilih**

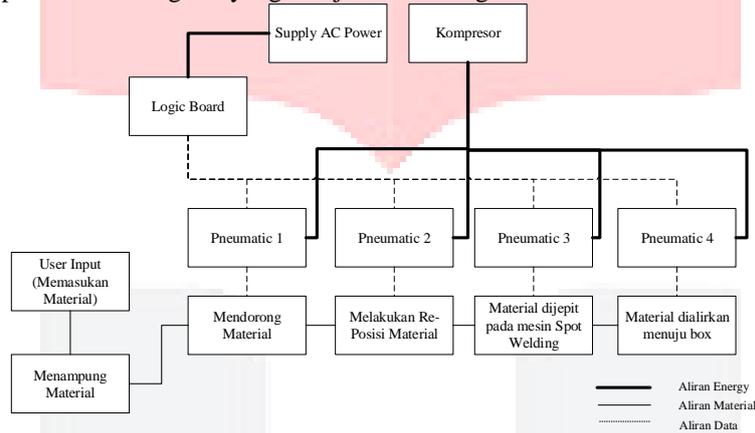
### 3.3 Tahap Perencanaan Tingkat Sistem

#### 3.3.1 Arsitektur Produk

Arsitektur produk merupakan suatu skema elemen-elemen fungsional dari suatu produk yang disusun menjadi suatu kesatuan yang bersifat fisik dan menjelaskan interaksi diantara elemen-elemen tersebut. Tujuan dari adanya arsitektur produk ini adalah untuk menguraikan komponen fisik dasar dari sebuah produk yang menjelaskan mengenai apa yang dilakukan dan seperti apa bentuk dari keseluruhan alat.

##### 3.3.1.1 Membuat Skema Produk

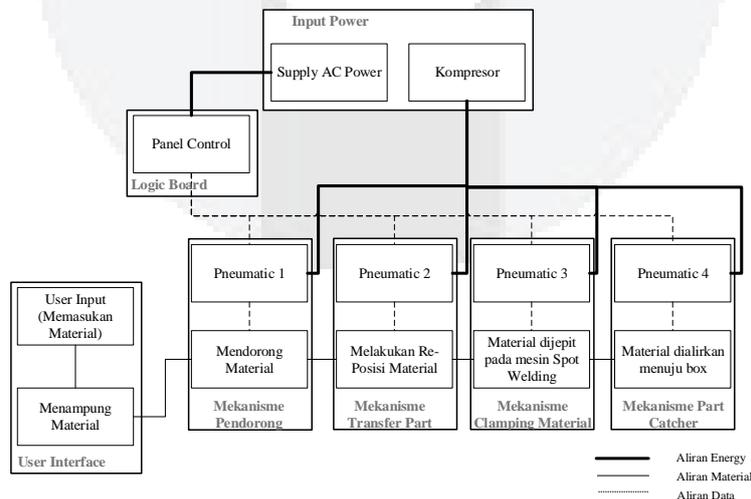
Skema produk merupakan suatu diagram yang menjelaskan mengenai unsur inti dari elemen produk.



Gambar 4 Skema Produk Auto Loader Spot welding

##### 3.3.1.2 Pengelompokan Skema Elemen Produk

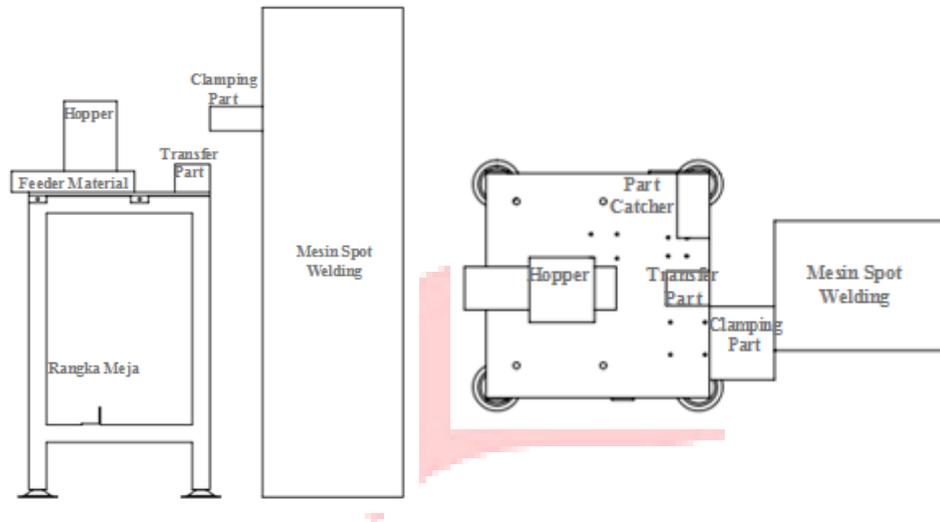
Tahap selanjutnya setelah pembuatan skema produk adalah pengelompokan skema elemen tersebut menjadi sebuah *chunk*. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam pengontrolan hubungan fisik diantara elemen-elemen.



Gambar 5 Skema Elemen Produk

##### 3.3.1.3 Susunan Geometris Produk

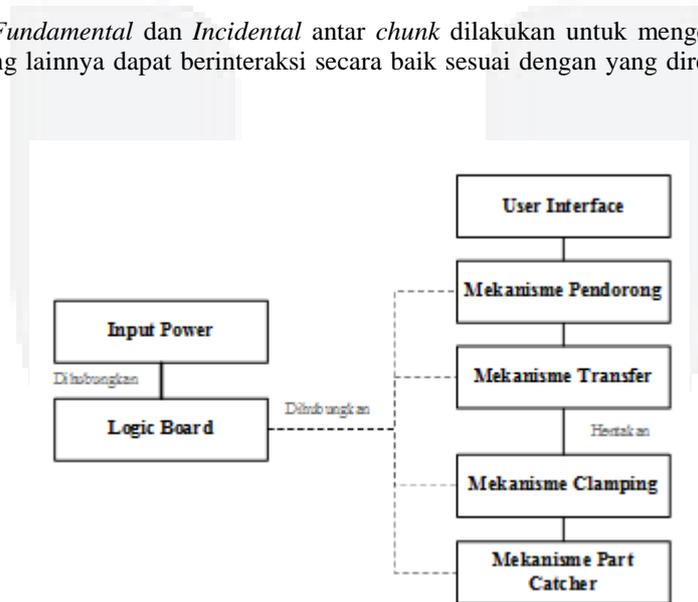
Dalam pembuatan *layout* geometri dapat dilakukan dalam pembuatan bentuk dua atau tiga dimensi. Hal ini dilakukan untuk menjelaskan hubungan atau interaksi antara satu *chunk* dengan yang lainnya dalam bentuk *layout* geometri.



Gambar 6 Geometris Produk

### 3.3.1.4 Identifikasi Interaksi Fundamental dan Incidental

Identifikasi interaksi *Fundamental* dan *Incidental* antar *chunk* dilakukan untuk mengetahui bagaimana antara *chunk* satu dengan yang lainnya dapat berinteraksi secara baik sesuai dengan yang direncanakan maupun yang tidak direncanakan.



Gambar 7 Interaksi Fundamental dan Incidental

## 4 Kesimpulan

Setelah dilakukan evaluasi dalam tahap akhir pengembangan konsep, maka didapatkan satu konsep terpilih. Konsep terpilih ini merupakan konsep dengan menggunakan empat kaki sebagai rangka meja, *hopper* kotak sebagai tempat menampung material, menggunakan pendorong besi sebagai *feeder material*, menggunakan *toggle* untuk melakukan proses *transfer part*, menggunakan sistem penjepit lengan dalam proses penjepit material, menggunakan penahan otomatis pada *part catcher*, *adjuster* pada kaki meja, dan menggunakan *frame* keseluruhan sebagai sistem pelindung dengan memiliki spesifikasi target sebagai berikut :

Tabel 5 Spesifikasi *Auto Loader Spot Welding*

No	Karakteristik Teknis	Nilai	Satuan
1	Kekuatan rangka meja	2461,7	N/m <sup>2</sup>
2	Panjang rangka meja	520	mm
3	Lebar rangka meja	515	mm

4	Tinggi rangka meja	892	mm
5	Panjang tempat penyimpanan material	300	mm
6	Lebar tempat penyimpanan material	180	mm
7	Tinggi tempat penyimpanan material	120	mm
8	Mampu mendorong material menuju transfer part	Ya	Ya/ Tidak
9	Dapat mereposisi material	Ya	Ya/ Tidak
10	Besar gaya penjepit	5025.50	N
11	Memiliki part untuk mengalirkan material secara otomatis	Ya	Ya/ Tidak
12	Maksimal perubahan tinggi meja	100	mm
13	Mekanisme pelindung	Ya	Ya/ Tidak

#### Daftar Pustaka

- [1] Cross, N. (2005). *Engineering Design Methods : Strategies Product Design (3th edition)*. United Kingdom: Wiley.
- [2] Ginting, R. (2010). *Perancangan Produk*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [3] Irwanto. (2006). *Focus Group Discussion*. Indonesia: Yayasan Obor Indonesia.
- [4] Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Product Design and Development (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill.