

## MENDEFINISIKAN PARAMETER DESAIN UNTUK PERANCANGAN JIG MENGGUNAKAN METODE AXIOMATIC DESIGN DAN Matriks KONTRADIKSI DARI TRIZ

### DEFINE DESIGN PARAMETER TO JIG DESIGN USING TRIZ AND AXIOMATIC DESIGN METHOD

Muhammad Fakhrul Mukmin<sup>1</sup>, Sri Martini<sup>2</sup>, Rino Andias Anugraha<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>fakhrulmukmin@student.telkomuniversity.ac.id,<sup>2</sup>

<sup>2</sup>martini@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>rinoandias@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Mesin Stirling adalah mesin timbal balik yang dipanaskan secara eksternal. Panas ditransfer ke gas yang bekerja dan kemudian dikonversi untuk bekerja melalui penambahan gas di dalam silinder. Pada proses pembuatan mesin stirling ini melewati beberapa tahap, salah satunya adalah proses perakitan, yang merupakan suatu pekerjaan yang diawali dari objek atau komponen-komponen yang sudah siap untuk dipasang hingga proses tersebut terpasang secara sempurna. Pada proses perakitan mesin stirling ini ditemukan beberapa posture canggung yaitu, pada saat memosisikan *part base*, posture saat menyangga *part Outrigger Bearing Pedestrial*, dan posture saat mengangkat mesin stirling. Posture canggung ini didapatkan dari analisis menggunakan metode RULA, Dan hasil analisis ini didapatkan skor RULA yang menunjukkan kondisi cukup berbahaya dan diperlukan investigasi lebih lanjut. Selanjutnya, dilakukan Perancangan desain dengan menggunakan metode *Axiomatic Design* dengan matriks kontradiksi dari *TRIZ*. Pada jurnal ini *Axiomatic Design* yang berfokus pada dua aksiom yaitu *independence axiom* dan *information axiom* yang dapat digunakan dalam kerangka kerja *TRIZ* untuk memperoleh kemungkinan solusi standar untuk diterapkan jika ada kontradiksi fisik. Didalam *TRIZ* jika adanya kontradiksi fisik akan menggunakan matriks kontradiksi untuk memunculkan desain parameter

Kata kunci : Axiomatic Design, TRIZ, jig, mesin stirling, perakitan.

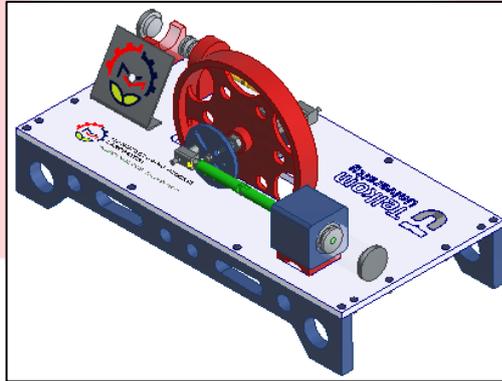
#### Abstract

The Stirling engine is a reciprocating, externally-heated engine. The heat is transferred to the working gas and is then converted to work via expanding the gas inside the cylinder. In the process of making this Stirling engine through several stages, one of which is the assembly process, namely the work that starts from the object or component that is ready to be installed until the installation process is perfect. In the Stirling engine assembly process, some awkward postures are found namely, when positioning the bottom, posture when supporting the Pedestrial Bearing Outrigger, and posture when lifting the Stirling engine. This awkward posture is obtained from the analysis using the RULA method. Posture analysis uses jack software to simulate the effect of the Stirling engine load on the posture when lifting the Stirling engine. And the results of the RULA analysis using Jack's software obtained as many RULA scores which indicate this condition is quite dangerous and further investigation is needed. urthermore, the design is carried out using the Axiomatic Design method with a contradiction matrix from TRIZ. In this journal, Axiom Design takes two axioms, an axiom of independence and an axiom of information that can be used in the TRIZ framework to get a standard of convenience to apply if there are physical contradictions. In TRIZ if there are physical contradictions, it will use a contradiction matrix get the design parameter

Keywords: Axiomatic Design, TRIZ, Jig, Stirling Engine, Assembly.

1. Pendahuluan

Laboratorium Proses Manufaktur merupakan laboratorium yang didirikan pada tahun 2011 yang bertujuan memberikan pembelajaran bagi mahasiswa strata satu teknik industri di Universitas Telkom mengenai teknik dasar pembuatan produk yang dapat diproduksi secara massal. Laboratorium ini menghasilkan beberapa produk yang salah satunya adalah mesin stirling seperti pada gambar 1. Mesin Stirling sendiri adalah mesin timbal balik yang dipanaskan secara eksternal. Panas ditransfer ke gas yang bekerja dan kemudian dikonversi untuk bekerja melalui penambahan gas di dalam silinder [1].



Gambar 1 Mesin Stirling

Pada proses pembuatan mesin stirling ini melewati beberapa tahap, salah satunya adalah proses perakitan, yang merupakan suatu pekerjaan yang diawali dari objek atau komponen-komponen yang sudah siap untuk dipasang hingga proses tersebut terpasang secara sempurna [2]. Dan pada proses perakitan mesin stirling terdapat masalah yang ditimbulkan yaitu postur canggung yang menitik beratkan kekuatan berlebih pada sendi serta membebani otot dan tendon di sekitar sendi yang dapat mengakibatkan fatigue, dan jika dibiarkan secara terus-menerus dapat menyebabkan cedera atau *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Pada proses perakitan mesin stirling ditemukan beberapa posture canggung yaitu, pada saat memosisikan *part base*, Posture saat menyangga *part Outrigger Bearing Pedestrial*, dan Posture saat mengangkat mesin stirling. Posture canggung ini dapat dianalisis dengan menggunakan metode RULA, metode ini untuk mengevaluasi postur kerja untuk menemukan masalah spesifik [3], seperti berikut.

**ERGONOMICS RULA Employee Assessment Worksheet** Task Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

**A. Arm and Wrist Analysis**

**Step 1: Locate Upper Arm Position:** **2** Upper Arm Score

**Step 2: Locate Lower Arm Position:** **2** Lower Arm Score

**Step 3: Locate Wrist Position:** **1** Wrist Score

**Step 4: Wrist Twist:** **1** Wrist Twist Score

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A:** Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A. **3** Posture Score A

**Step 6: Add Muscle Use Score** If posture mainly static (i.e. held 10 minutes), or if action repeated occurs 4x per minute: +1 **1** Muscle Use Score

**Step 7: Add Force/Load Score** If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0 **0** Force / Load Score

**Step 8: Find Row in Table C** Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C. **4** Wrist & Arm Score

**Table A: Wrist Score**

Upper Arm	Lower Arm	Wrist Score				
		Twist	Twist	Twist	Twist	
1	1	1	2	2	3	3
2	2	2	2	2	3	3
3	2	3	3	3	3	4
4	3	3	3	3	4	4
5	3	4	4	4	4	5
6	4	4	4	4	5	5
7	4	4	4	4	5	5
8	4	4	4	4	5	5
9	5	5	5	5	6	6
10	5	5	5	5	6	6
11	6	6	6	6	7	7
12	6	6	6	6	7	7
13	7	7	7	7	8	8
14	7	7	7	7	8	8
15	8	8	8	8	9	9
16	8	8	8	8	9	9

**Table C: Neck, Trunk, Leg Score**

Neck	Trunk	Leg Score
1	2	4
2	3	4
3	4	5
4	5	6
5	6	7
6	7	8
7	8	9
8	9	9

**B. Neck, Trunk and Leg Analysis**

**Step 9: Locate Neck Position:** **3** Neck Score

**Step 9a: Adjust...** If neck is twisted: +1 **3** Neck Score

**Step 9b: Adjust...** If neck is side bending: +1 **3** Neck Score

**Step 10: Locate Trunk Position:** **2** Trunk Score

**Step 10a: Adjust...** If trunk is twisted: +1 **2** Trunk Score

**Step 10b: Adjust...** If trunk is side bending: +1 **2** Trunk Score

**Step 11: Legs:** If legs and feet are supported: +1 **1** Leg Score

**Step 11a: Adjust...** If not: +2 **1** Leg Score

**Table B: Trunk Posture Score**

Neck	Trunk	Legs	Legs	Legs	Legs
1	2	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3
3	4	4	4	4	4
4	5	5	5	5	5
5	6	6	6	6	6
6	7	7	7	7	7
7	8	8	8	8	8
8	9	9	9	9	9

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B:** Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B. **3** Posture B Score

**Step 13: Add Muscle Use Score** If posture mainly static (i.e. held 10 minutes), or if action repeated occurs 4x per minute: +1 **0** Muscle Use Score

**Step 14: Add Force/Load Score** If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0 **0** Force / Load Score

**Step 15: Find Column in Table C** Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find column in Table C. **3** Neck, Trunk, Leg Score

**Scoring: (final score from Table C)**  
 3-2 = acceptable posture  
 3-4 = further investigation, change may be needed  
 5-6 = further investigation, change soon  
 7 = investigate and implement change

**Final RULA Score: 3**

Gambar 2 RULA score posture memosisikan part base

Part base ini merupakan salah satu komponen penting yang dimana tiap sisinya memiliki bagian yang akan di gabungkan dengan part lainnya. Sehingga apabila akan menggabungkan part base dengan part lainnya, harus meposisiakan sisi yang akan dikerjakan dengan cara membolak balikkan. Hasil dari posture ini setelah dianalisis dengan menggunakan metode RULA sebesar tiga yang ditunjukkan pada gambar 3.

**ERGONOMICS PLUS RULA Employee Assessment Worksheet**

**A. Arm and Wrist Analysis**

**Step 1: Locate Upper Arm Position:** (Diagrams showing shoulder abduction and flexion) Upper Arm Score: 1

**Step 2: Locate Lower Arm Position:** (Diagrams showing forearm pronation/supination and wrist deviation) Lower Arm Score: 2

**Step 3: Locate Wrist Position:** (Diagrams showing wrist flexion/extension and ulnar/radial deviation) Wrist Score: 3

**Step 4: Wrist Twist:** (Diagram showing forearm rotation) Wrist Twist Score: 1

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A:** (Using values from steps 1-4) Posture Score A: 3

**Step 6: Add Muscle Use Score:** (Based on posture) Muscle Use Score: 1

**Step 7: Add Force/Load Score:** (Based on load) Force / Load Score: 0

**Step 8: Find Row in Table C:** (Using Posture Score A and Muscle Use Score) Wrist & Arm Score: 4

**Table A: Wrist Score**

Upper Arm	Lower Arm	Wrist Score			
		Twist	Twist	Twist	Twist
1	1	1	2	2	3
1	2	2	2	2	3
1	3	3	3	3	3
2	1	2	3	3	3
2	2	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3
3	1	3	4	4	4
3	2	3	4	4	4
3	3	4	4	4	4
4	1	4	4	4	5
4	2	4	4	4	5
4	3	4	4	4	5
5	1	5	5	5	6
5	2	5	5	5	6
5	3	6	6	6	7
6	1	7	7	7	8
6	2	8	8	8	9
6	3	9	9	9	9

**Table C: Neck, Trunk, Leg Score**

Wrist / Arm Score	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	2	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3 <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td>	3	4	4	5	6	6
4	4	4	4	5	6	7	7
5	5	5	5	6	7	7	7
6	6	6	6	6	7	7	7
7	7 <td>7 <td>7 <td>7 <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> </td></td></td>	7 <td>7 <td>7 <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> </td></td>	7 <td>7 <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> </td>	7 <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td>	7	7	7
8	8 <td>8 <td>8 <td>8 <td>8 <td>8 <td>8 </td></td></td></td></td></td>	8 <td>8 <td>8 <td>8 <td>8 <td>8 </td></td></td></td></td>	8 <td>8 <td>8 <td>8 <td>8 </td></td></td></td>	8 <td>8 <td>8 <td>8 </td></td></td>	8 <td>8 <td>8 </td></td>	8 <td>8 </td>	8

**B. Neck, Trunk and Leg Analysis**

**Step 9: Locate Neck Position:** (Diagrams showing neck flexion/extension and rotation) Neck Score: 3

**Step 10: Locate Trunk Position:** (Diagrams showing trunk flexion/extension and rotation) Trunk Score: 3

**Step 11: Legs:** (Diagrams showing leg posture) Leg Score: 1

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B:** (Using values from steps 9-11) Posture B Score: 4

**Step 13: Add Muscle Use Score:** (Based on posture) Muscle Use Score: 1

**Step 14: Add Force/Load Score:** (Based on load) Force / Load Score: 0

**Step 15: Find Column in Table C:** (Using Posture B Score and Force/Load Score) Neck, Trunk, Leg Score: 5

**Final RULA Score: 5**

**Scoring: (Final score from Table C)**  
 3-2 = acceptable posture  
 3-4 = further investigation, change may be needed  
 5-6 = further investigation, change soon  
 7 = investigate and implement change

Gambar 3 RULA score posture pemasangan part Outrigger Bearing Pedestrial

Pada proses pemasangan part *Outrigger Bearing Pedestrial* ini akan disatukan dengan part base. Pada saat pemasangannya baut yang akan dipasang berada pada sisi bawah base yang mengakibatkan tangan harus menjangkau sisi bagian bawah. Hasil dari posture ini setelah dianalisis dengan menggunakan metode RULA sebesar lima yang ditunjukkan pada gambar 4.

**Task Entry | Reports | Analysis Summary**

Job Title: \_\_\_\_\_ Job Number: \_\_\_\_\_  
 Location: \_\_\_\_\_ Analyst: \_\_\_\_\_  
 Comments: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

**Body Group A Posture Rating**

Upper arms: 1  
 Lower arms: 2  
 Wrist: 2  
 Wrist Twist: 1  
 Total: 6

**Body Group B Posture Rating**

Neck: 2  
 Trunk: 1  
 Total: 3

**Muscle Use:** Action repeated more than 4 times per minute  
**Force/Load:** More than 10 kg static. Shock forces.  
**Arms:** Not supported

**Legs and Feet Rating**

Standing, weight even. Room for weight changes.

**Grand Score: 5**

**Action:** Investigation and changes are required soon.

**Update Analysis** | Usage | Dismiss

Gambar 4 RULA score posture pada saat mengagkat mesin stirling

Pada Gambar 5 merupakan analisis posture dengan menggunakan *software jack* untuk mensimulasikan pengaruh beban mesin stirling terhadap posture pada saat mengangkat mesin stirling. Dan hasil analisis RULA dengan menggunakan *software Jack* ini didapatkan skor RULA sebesar yang menunjukkan kondisi ini cukup berbahaya dan diperlukan investigasi lebih lanjut

Dari pembahasan sebelumnya, dapat dilihat pada seluruh rangkaian pembuatan mesin stirling belum adanya alat bantu pada proses perakitan. Alat bantu ini digunakan untuk mengurangi permasalahan yang sudah dibahas sebelumnya. Oleh karena itu, dilakukannya perancangan pembuatan alat bantu perakitan untuk memudahkan dalam proses perakitan. Alat bantu ini diharapkan dapat mengurangi kendala seperti sulitnya menahan beban, mengarahkan, dan juga dapat mengefektifkan proses perakitan mesin stirling. Metode yang digunakan untuk merancang alat bantu ini adalah metode *axiomatic design* dan dibantu dengan menggunakan metode *TRIZ* untuk menghasilkan desain alat bantu yang dapat menghilangkan masalah tersebut.

## 2. Dasar Teori

Dalam perancangan desain alat bantu jig untuk perakitan mesin stirling ini digunakan metode *axiomatic design* sebagai metode utama dan didukung dengan *TRIZ* sebagai alat bantu untuk mendapatkan konsep desain yang sesuai dengan permasalahan yang ada

### 2.1 Axiomatic Design

*Axiomatic Design* adalah menyiptakan dasar ilmiah dalam bidang desain. Pada bidang desain ataupun pembuatan disiplin akademik dapat digunakan untuk pengajaran & pembelajaran lebih sistematis serta dapat digeneralisasikan. Oleh karena itu, ide dasar *Axiomatic Design* telah diterapkan di banyak bidang seperti mendesain produk, proses, sistem, dan organisasi. Desain itu sendiri adalah kegiatan universal yang di mana harus memenuhi banyak persyaratan fungsional dengan menggunakan serangkaian input. Dalam *Axiomatic Design* terdiri dari empat domain yaitu, domain pelanggan (*customer domain*), domain fungsional (*functional domain*), domain fisik (*physical domain*), dan domain proses (*process domain*). [4].

Perancangan desain dengan menggunakan metode *axiomatic design* ini berfokus pada dua aksiom yaitu *independence axiom* dan *information axiom*. *Independence axiom* menyatakan sebuah produk harus menjaga kebebasan fungsi (FR). Maksudnya adalah, idealnya suatu perubahan pada suatu parameter desain (DP) hanya memiliki efek pada satu fungsi saja, dan tidak mempengaruhi parameter lain. Sedangkan *information axiom* menyatakan bahwa desain yang ideal haruslah memiliki informasi yang lebih sederhana [4,5].

mengaplikasikan *Axiomatic Design* melewati beberapa proses sebagai berikut [5]:

1. Mendefinisikan *top-level* dari FRs untuk design yang dirancang
2. Melakukan proses *zigzagging* untuk menentukan DPs, di mana DP dipilih setelah FR didefinisikan, dan bukan sebaliknya. Ketika FR didefinisikan, kita harus "zig" ke domain fisik, dan setelah pemilihan DP yang tepat, kita harus "zag" ke domain fungsional untuk dekomposisi lebih lanjut.
3. Menyusun matrik desain yang terdiri dari FRs dan DPs, dengan cara:
  - Menyusun matrik desain terdiri dari,  $[FR] = [A] [DP]$ , dengan "A" yang menyatakan elemen matrik desain yang menunjukkan efek perubahan pada DPs terhadap FRs

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$$

- DPs ditentukan dari FRs yang berpengaruh berdasarkan kondisi fisik
- memberikan dua notasi didalam matrik yaitu, "X" untuk DPs yang berpengaruh dan "0" untuk DPs yang tidak berpengaruh.
- Menyusun persamaan matrik desain untuk hubungan FRs dan DPs, Contoh
 
$$\begin{bmatrix} FR_{1,1} \\ FR_{1,2} \\ FR_{1,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & 0 & X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DP_{1,1} \\ DP_{1,2} \\ DP_{1,3} \end{bmatrix}$$
- Menentukan matrik desain *couple* atau *uncoupled* dan jika pola matrik desain *coupled* maka dilakukannya proses *decoupled*.

## 2.2 TRIZ

*TRIZ (Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch)* yang diartikan dalam Bahasa Inggris *theory of inventive problem-solving* yang dikembangkan oleh ilmuwan Rusia bernama G.S Altshuller pada tahun 1946. Pemeriksaan Altshuller tentang penemuan mengarah pada pengamatannya bahwa sistem memiliki tingkat kebaikan yang disebutnya idealitas dan bahwa penemuan terjadi ketika perubahan dilakukan untuk meningkatkan atribut produk atau sistem ini [6].

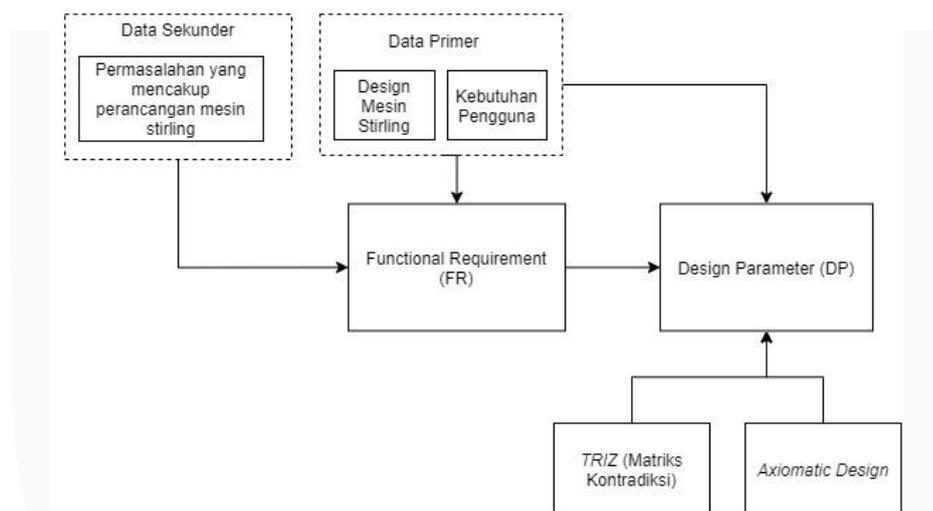
Dari hasil penelitian, Altshuller menemukan perbedaan teknik dan teknologi proses dari ribuan paten diseluruh dunia ada kesamaan dalam evolusinya, dapat disimpulkan bahwa permasalahan paling sedikit terdiri dari satu kontradiksi. Dalam *TRIZ* ada beberapa tools untuk menemukan solusi masalah [5],

1. Jika masalah berupa kontradiksi fisik, gunakan 4 prinsip separasi.
2. Jika masalah berupa kontradiksi teknik, gunakan 39 parameter *engineering* kemudian gunakan matriks kontradiksi, atau 40 prinsip *inventive*.

Kontradiksi teknik adalah kondisi dimana usaha untuk memperbaiki atribut teknik dari sebuah sistem akan berpengaruh pada atribut teknik yang lain. Misalkan untuk membuat mobil dengan akselerasi yang tinggi akan menambah konsumsi bahan bakar. Permasalahan dengan kontradiksi fisik dapat diselesaikan dengan menggunakan prinsip separasi. Sedangkan Kontradiksi teknik adalah kondisi dimana usaha untuk memperbaiki atribut teknik dari sebuah sistem akan berpengaruh pada atribut teknik yang lain [5].

## 3. Metodologi Penelitian

Penelitian kali ini melewati beberapa tahap yang dijelaskan pada gambar 5,



Gambar 5 Metode Penelitian

Perancangan ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan desain alat bantu jig yang sesuai untuk proses perakitan mesin stirling, maka diperlukan identifikasi masalah yang menghasilkan *customer attributes* (CAs) dan kemudian diterjemahkan menjadi *functional requirements* (FRs). Setelah didapatkan FRs, maka ditentukan *design parameters* (DPs) yang dapat memenuhi FRs. Dalam menentukan DPs perlu diperhatikan permasalahan yang ada dan spesifikasi dari mesin stirling itu sendiri. Apabila terjadi kontradiksi fisik dalam penentuan DPs maka digunakannya matriks kontradiksi dalam metode *TRIZ* sebagai alat pemecahan masalah. Didalam *TRIZ* jika adanya kontradiksi fisik akan menggunakan matriks kontradiksi untuk memunculkan desain parameter [7].

## 4. Design Consideration

### 4.1. Customer Attribute

Hubungan antara domain proses *Axiomatic Design* bahwa *functional requirements (FRs)* bisa ditentukan berdasarkan *customer attributes (CAs)*. Dari identifikasi masalah pada penelitian kali ini, disimpulkan *CAs* sebagai berikut.

$CA_1$  = Alat bantu jig dapat memudahkan mobilitas perakitan, pada part *base* diharapkan dapat bergerak sesuai dengan komponen lain yang akan digabungkan.

$CA_2$  = Untuk memudahkan pada saat merakit dibutuhkan penyangga salah satu komponen untuk memudahkan proses perakitan mesin stirling.

$CA_3$  = Alat bantu jig diharapkan dapat menahan beban untuk membantu dalam memindahkan mesin stirling.

### 4.2. Penentuan FR dan DP

Menentukan *functional requirements (FRs)* dapat ditentukan berdasarkan *CAs* yang sudah dari *CAs* yang ada dalam penelitian ini, disimpulkan bahwa *FRs* adalah sebagai berikut.

$FR_1$  = Dapat membantu mobilitas pada *part base*

$FR_2$  = Dapat menyangga part (*Outrigger Bearing Pedestrial*) yang akan dirakit

$FR_3$  = Dapat mengakomodasi beban mesin stirling saat akan dipindahkan

Setelah mendapatkan *FRs* selanjutnya menentukan *Design Parameter (DPs)* pada setiap *FRs*. Menentukan *DPs* untuk setiap *FRs* sebagai berikut.

#### 1. Design Parameter 1 ( $DP_1$ )

Dinyatakan sebelumnya bahwa  $FR_1$  harus dapat membantu mobilitas *part base*. Pada perakitan *existing* yang tidak menggunakan alat bantu, orang yang melakukan perakitan harus meposisi *part* tersebut dengan cara mengangkat serta mebolak balikannya, untuk membantu menentukan  $DP_1$  akan dilakukan dengan mengaplikasikan metode *TRIZ*.

Metode *TRIZ* digunakan untuk mengembangkan daya cipta dan imajinasi kreatif serta untuk menekan inersia psikologis. Metode *TRIZ* juga memiliki mekanisme "built-in" untuk mengatasi inersia psikologis [5]. Dalam *TRIZ* permasalahan ini termasuk dalam kontradiksi Teknik yang dimana terdapat konflik antara dua hal dari sebuah system. Konflik disini yaitu fitur yang harus di *improve* dan fitur yang harus dirubah atau hilangkan, Berikut adalah pengaplikasian *TRIZ* untuk membangkitkan  $DP_1$  yang memenuhi fungsi  $FR_1$ :

Feature to change \ Feature not to change	Convenience of use	stability of subsystem
Weight	6. Multifunctionality 8. Weight compensation 10. Preliminary action	14. Curvature increase 15. Dynamic parts
harmful side effects	9. Preliminary counteraction	1. Segmentation 4. Symmetry change

Tabel 1 Matrik Kontradiksi  $DP_1$

Pada tabel 1 diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah kepermasalahan adalah *weight compensation* dan *dynamic parts*, penjelasan kombinasi prinsip *inventive* terpilih sebagai berikut.

- *weight compensation*: Untuk mengkompensi beban objek buat interaksi untuk mengakomodasi beban pada objek
- *dynamic parts*: Prinsip ini membuat objek bergerak secara relative dan membuat objek lebih *adaptive*.

Jadi untuk memenuhi  $FR_1$  yang diharapkan dapat membantu mobilitas *part base*, maka  $DP_1$  ditentukan yaitu diperlukannya *rotating clamp* agar dapat membantu membolak balikan *part base* tanpa harus menahan beban serta dapat membantu mobilitas *part*.

2. Design Parameter 2 ( $DP_2$ )

$FR_2$  menyatakan bahwa jig harus dapat menyangga *part (Outrigger Bearing Pedestrial)* yang akan dirakit. Di dalam *TRIZ* permasalahan ini termasuk dalam kontradiksi Teknik, Berikut adalah pengaplikasian *TRIZ* untuk membangkitkan  $DP_2$  yang memenuhi fungsi  $FR_2$

Feature to change \ Feature not to change	Convenience of use	Adaptability
Complexity of control	1. segmentation 2. separation 3. Merging	1. Segementation 15. Dynamics Parts
harmful side effects	15. Dynamic parts 24. Intermediary	5. Merging 8. Weight Compensation

Tabel 2 Matrik Kontadiksi  $DP_2$ 

Pada tabel 2 dari matrik kontradiksi pada table 4.2 diperoleh kombinasi prinsip inventive yang mengarah ke permasalahan adalah merging prinsip mengabungkan part yang identic agar proses menjadi *pararel* dan *dynamic parts* prinsip membuat part yang adaptif, *penjelasan kombinasi prinsip inventive terpilih sebagai berikut.*

- *Merging*: dengan mengabungkan objek yang identic serta membuat pengoprasian menjadi *pararel* untuk memudahkan control pada saat proses perakitan
- *dynamic parts*: Prinsip ini membuat objek bergerak secara relative dan mebuat objek lebih *adaptive*.

Jadi untuk memenuhi  $FR_2$  yang jig harus dapar menyangga *part (Outrigger Bearing Pedestrial)* yang akan diraki, maka  $DP_2$  ditentukan yaitu diperlukannya *part holder* sebagai penyangga dan untuk membantu mengarahkan objek yang akan dikerjakan.

3. Design Parameter 3 ( $DP_3$ )

$FR_3$  harus dapat mengakomodasi beban mesin stirling pada saat akan dipindahkan. Di dalam *TRIZ* permasalahan ini termasuk dalam kontradiksi Teknik, Berikut adalah pengaplikasian *TRIZ* untuk membangkitkan  $DP_2$  yang memenuhi fungsi  $FR_2$

Feature to change \ Feature not to change	Convenience of use
Weight	5. Merging 8. Weight Compensation
harmful side effects	15. Dynamic parts 24. Intermediary

Tabel 3 Matr Kontradiksi  $DP_3$ 

Dari matrik kontradiksi pada table 4.3 diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke permasalahan adalah *weight compensation* sebagai prinsip mengurangi beban dan *dynamic parts* prinsip membuat part yang adaptif, *penjelasan kombinasi prinsip inventive terpilih sebagai berikut.*

- *weight compensation*: Untuk mengkompensi beban objek buat interaksi untuk mengakomodasi beban pada objek
- *dynamic parts*: Prinsip ini membuat objek bergerak secara relative dan mebuat objek lebih *adaptive*.

Jadi untuk memenuhi  $FR_3$  yang dimana jig harus dapat menopang beban mesin stirling pada saat akan dipindahkan, maka  $DP_3$  ditentukan yaitu diperlukannya penerapan *material handling* pada alat bantu jig ini.

Dari uraian sebelumnya, Didapatkan  $DP_s$  untuk setiap  $FR_s$ , yaitu

$DP_1 = Rotating\ Clamp$

$DP_2 = Part\ Holder$

$DP_3 = Material\ Handling$

Matriks dari FRs dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$(FR_s) = [A] (DP_s)$$

Berdasarkan definisi di atas maka didapatkan matriks desain dari FRs dan DP<sub>s</sub> adalah sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{pmatrix}$$

Bentuk design matrix di atas adalah diagonal sebagai syarat desain yang uncoupled dan dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu detail design. Desain yang uncoupled dimana ketika jumlah DP<sub>s</sub> = FR<sub>s</sub>, maka desain merupakan desain yang ideal. Artinya setiap FR<sub>s</sub> yang harus dipenuhi fungsinya, berkorespondensi satu-satu dengan DP<sub>s</sub> sebagai solusi domain fisiknya [6].

## 6. Kesimpulan

Pada penelitian ini dengan menggunakan metode *Axiomatic Design* (AD) dan Matriks kontradiksi dari *TRIZ* dapat digunakan untuk menentukan desain parameter untuk desain jig. Pada pengaplikasian metode AD mendefinisikan solusi untuk permasalahan yang terjadi, sedangkan *TRIZ* menjadi teknik sistematis untuk menghasilkan solusi yang inovatif. Pada tahap awal metode AD pada penelitian ini mengidentifikasi masalah untuk mengetahui customer attributes (CA). Selanjutnya menentukan *functional requirements* (FR) yang dapat ditentukan berdasarkan CA yang sudah didapat sebelumnya. Setelah mendapatkan FR selanjutnya adalah menentukan *Design Parameter* (DP) pada setiap FR tersebut. Untuk menentukan parameter desain dibantu menggunakan metode *TRIZ* sebagai alat untuk memunculkan konsep desain, sehingga menghasilkan parameter desain untuk usulan desain jig yang sesuai serta dapat memenuhi tujuan penelitian. Dan didapatkan tiga parameter yaitu *rotating clamp*, *part holder*, dan *material handling*.

## Daftar Pustaka:

- [1] Palo Alto. (2002). Stirling Engine Assessment. 3(3)
- [2] Murdiyanto, D., Pratikto, P., & Budi Santoso, P. (2016). Rakayasa Sistem Informasi Manajemen Perakitan Berbasis Group Technology untuk Mendukung Proses Assembly Frame Body Bus. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(2), 75–85. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2016.007.02.5>
- [3] Anugraha, R. A., Sutan, W., & Mufidah, I. (2015). The Design of Batik Stamp tool Scraping Working Table Using Ergonomics Principles. *Procedia Manufacturing*, 4(Iess), 543–551. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.074>
- [4] Suh, N. P. (1998). Engineering Design Axiomatic Design Theory for Systems. *Research in Engineering Design*, 10(4), 189–209.
- [5] Yang, K., & Basem El-Haik. (2016). *Design for Six Sigma: Roadmap to product development*, 2nd Edition.
- [6] Savransky, S. D. (2000). *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Mrthodology of Inventive Problem Solving*. In CRC Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [7] Ogot, M. (2011). Conceptual design using axiomatic design in a TRIZ framework. *Procedia Engineering*, 9, 736–744. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.163>