Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X **(Printed)**
5 (3) 2025, Page: 28472-28500

Perancangan Alat Bantu Pemindahan PV Module pada Pemasangan Instalasi PLTS di PT Indonesia Prima Energi

Rasyid Amin[1], Ganda Sirait[2]
[1,2]Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Dan Komputer Universitas Putera Batam
Corresponding Author: Rasyid Amin

Published: Oktober , 2025

ABSTRACT

The study purpose was to design an ergonomic and efficient assistive tool for moving PV Modules during the installation of solar power plants (PLTS) at PT Indonesia Prima Energi to improve work productivity and safety. Materials and methods included problem identification, data collection through direct observation and interviews with workers, literature review, and design using SolidWorks software combined with the Design for Manufacture and Assembly (DFMA) approach. Results showed that the assistive tool reduced the average PV Module handling time from 5.14 minutes to 3.16 minutes per unit, increased productivity by 62%, lowered labor requirements, and significantly decreased operational costs. Conclusions drawn indicate that the designed assistive tool effectively enhances the installation process by speeding up work, improving safety, and supporting sustainable renewable energy development.

Keywords: Alat Bantu Pemindahan, PV Module, Instalasi PLTS, Design for Manufacture and Assembly (DFMA), Efisiensi Kerja

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) semakin menjadi solusi utama di tengah kebutuhan energi yang terus meningkat dan keterbatasan sumber daya fosil. Di Indonesia, potensi energi surya sangat besar karena letak geografisnya yang strategis di kawasan tropis dengan intensitas sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya melalui PLTS tidak hanya memberikan alternatif energi yang berkelanjutan, tetapi juga membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang berdampak buruk pada lingkungan.

Pemerintah Indonesia mendukung upaya pemanfaatan energi terbarukan dengan berbagai kebijakan yang mengarah pada penggunaan teknologi ramah lingkungan. Pengembangan PLTS menjadi salah satu prioritas, terutama dalam rangka mencapai target bauran energi nasional dan mendukung komitmen Indonesia dalam perjanjian perubahan iklim global. Dengan investasi yang terus meningkat di sektor ini, diharapkan pengoperasian PLTS dapat lebih optimal dan menjangkau berbagai wilayah, termasuk daerah terpencil.

Dalam industri manufaktur, khususnya yang terkait dengan instalasi dan perawatan PLTS, perencanaan serta desain produk memegang peranan penting. Desain yang baik mampu menghadirkan

solusi alat bantu yang tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjaga keselamatan para pekerja. Alat bantu yang ergonomis dan efisien akan mengurangi risiko cedera serta mempercepat proses kerja, sehingga proyek dapat berjalan lebih lancar dan tepat waktu.

Salah satu tantangan utama yang dihadapi PT Indonesia Prima Energi, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang Electrical dan Mechanical termasuk instalasi PLTS, adalah proses pemindahan PV Module yang berat dan berisiko tinggi bila dilakukan secara manual. Pemindahan modul surya ini memerlukan tenaga besar dan koordinasi yang tepat agar tidak terjadi kerusakan pada modul maupun cedera pada pekerja. Kondisi ini memicu kebutuhan akan alat bantu yang mampu mengatasi kesulitan tersebut.

Minimnya alat bantu yang efektif dan ergonomis menyebabkan keterlambatan proyek serta meningkatkan potensi kecelakaan kerja di lapangan. Hal ini berdampak negatif tidak hanya pada aspek waktu dan biaya, tetapi juga pada keselamatan tenaga kerja. Oleh sebab itu, diperlukan inovasi alat bantu pemindahan PV Module yang dapat mengurangi beban fisik pekerja sekaligus menjaga keamanan proses instalasi.

Menanggapi permasalahan tersebut, penelitian ini mengangkat topik "Perancangan Alat Bantu Pemindahan PV Module pada Pemasangan Instalasi PLTS di PT Indonesia Prima Energi". Fokus utama dari penelitian ini adalah menciptakan sebuah alat bantu yang ergonomis, efisien, dan aman digunakan dalam proses pemindahan modul surya agar dapat mendukung kelancaran dan efektivitas pekerjaan.

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini meliputi bagaimana merancang alat bantu yang tepat guna untuk pemindahan PV Module serta bagaimana mengukur tingkat efisiensi alat tersebut dalam meningkatkan produktivitas kerja. Penelitian ini bertujuan memberikan solusi inovatif yang dapat mempermudah proses instalasi sekaligus mempercepat waktu pengerjaan proyek.

Dengan terciptanya alat bantu yang dirancang secara optimal, diharapkan produktivitas kerja di PT Indonesia Prima Energi dapat meningkat signifikan. Alat ini tidak hanya membantu memperlancar proses pemindahan modul surya, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan keselamatan kerja, efisiensi operasional, dan pengurangan risiko kecelakaan di lapangan. Hal ini sejalan dengan upaya perusahaan dan pemerintah dalam mendukung pengembangan energi terbarukan secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah, perumusan masalah, serta penetapan tujuan yang fokus pada perancangan alat bantu pemindahan PV Module di PT Indonesia Prima Energi. Data dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara dengan pekerja, serta studi literatur dan lapangan untuk mendapatkan gambaran teori dan kondisi nyata. Analisis data dilakukan dengan uji kecukupan dan keseragaman, kemudian dilanjutkan pada tahap perancangan menggunakan perangkat lunak SolidWorks

dan konsep Design for Manufacture and Assembly (DFMA) guna menghasilkan desain alat bantu yang efisien dan ergonomis.

Variabel utama dalam penelitian ini terdiri dari variabel independen berupa desain alat bantu dan variabel dependen yaitu efisiensi produktivitas kerja yang diharapkan meningkat melalui penggunaan alat tersebut. Sampel penelitian adalah enam pekerja yang terlibat langsung dalam instalasi PLTS di PT Indonesia Prima Energi dengan latar belakang usia dan pengalaman kerja yang beragam. Instrumen penelitian meliputi penggunaan SolidWorks untuk pemodelan dan sketsa manual sebagai tahap awal, serta pengumpulan data primer dan sekunder melalui observasi waktu kerja, wawancara, dan dokumentasi perusahaan.

Penelitian dilaksanakan di lokasi PT Indonesia Prima Energi di Batam selama lima bulan dengan jadwal kegiatan terstruktur mulai dari studi pustaka, pengambilan data, pengolahan data, hingga penyusunan laporan dan publikasi hasil. Metode analisis mencakup penghitungan waktu kerja, uji statistik data, serta evaluasi desain dari segi biaya dan komponen. Akhirnya, efektivitas alat bantu diukur dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penggunaannya, guna menilai peningkatan produktivitas dan efisiensi dalam proses pemindahan PV Module.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengumpulan Data

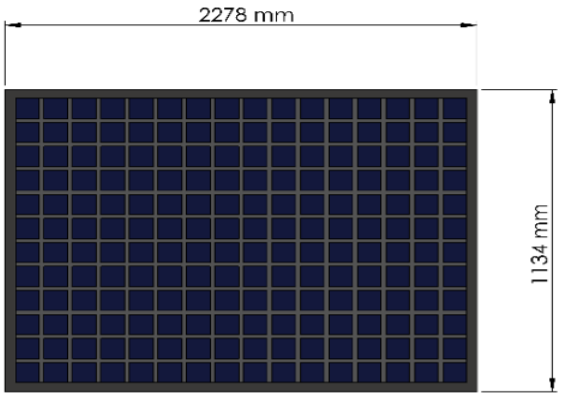
Spesifikasi Produk

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan melalui observasi dan dokumentasi ditemukan spesifikasi alat bantu proses pemindahan yang diinginkan sesuai dengan ukuran atau dimensi dari PV Module untuk proses pemindahan PV Module serta spesifikasi alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses pembuatan alat bantu. Adapun spesifikasi yang diinginkan perusahaan pada alat bantu pemindahan PV Module adalah: (1) Ukuran alat bantu mengikuti ukuran dari PV Module. (2) Material dari alat bantu harus tahan dan kuat, (3) Spesifikasi alat bantu mengikuti ukuran dari PV Module agar bisa menampung banyak PV Module untuk sekali proses pemindahan. Serta membuat alat bantu yang simpel. Pada pengambilan data ukuran atau dimensi dari PV module dilakukan secara manual dikarenakan produk tersebut berupa benda fisik. Berikut merupakan ukuran atau dimensi dari PV module sebagai berikut:

Tabel 1. Rincian ukuran produk

Rincian	Ukuran
Panjang	2278 mm
Lebar	1134 mm

Sumber : Data Penelitian 2024



Gambar 1. Dimensi PV Module

Tahapan Proses Pemindahan PV Module Tanpa Alat Bantu

Berikut merupakan tahapan-tahapan dalam proses pemindahan PV Module sebelum menggunakan alat bantu yang di dalamnya terdapat proses yang menjadi fokus peneliti yaitu:

Tabel 2. Waktu proses pemindahan PV Module

Produk	Waktu (Detik)		Total
	Pengangkatan	Pemindahan	
PV Module	130	305	435

Sumber : Data Penelitian 2024

Data pada tabel diatas ada 2 tahapan yang dilakukan pada pengerjaan pemindahan PV Module di mulai pada proses pengangkatan menggunakan *Hoist Crane* membutuhkan waktu 130 detik di lanjutkan dengan pemindahan PV Module ke *mounting* membutuhkan waktu 305 detik, sebelum adanya alat bantu membutuhkan waktu selama 435 detik atau 7 menit 15 detik = 1 pcs yang mana proses ini akan di lakukan percepatan oleh peneliti. Berikut merupakan gambar proses pengangkatan dan pemindahan PV Module yang di lakukan:



Gambar 2. Proses Pengangkatan PV Module menggunakan hoist crane



Gambar 3. Proses pemindahan PV Module manual

Berdasarkan tahapan yang dilakukan, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemindahan PV Module dengan di dapat total waktu pengerjaan selama 7 menit 15 detik. Dari hasil pengamatan didapati tahapan-tahapan yang menjadi fokus peneliti yaitu pada pemindahan PV Module. Berikut merupakan data pemindahan PV Modul tersebut:

Tabel 3. Waktu pemindahan PV Module tanpa alat bantu

Pengamatan	Pemindahan
1	305
2	301
3	304
4	304
5	301
6	300
7	306
8	302
9	303
10	301
11	305
12	301
13	303
14	301
15	302
16	302

Pengamatan	Pemindahan
21	308
22	308
23	309
24	311
25	313
26	313
27	315
28	313
29	312
30	310
31	316
32	315
33	314
34	312
35	317
36	319

Pengamatan	Pemindahan
17	305
18	303
19	304
20	307

Pengamatan	Pemindahan
37	320
38	318
39	317
40	319
Rata-rata	308.47

Sumber: Data Penelitian 2024

Berdasarkan data tabel diatas diperoleh hasil rata-rata waktu pengerjaan pada proses pemindahan sebesar 308,47 detik atau 5,14 menit.

Pengujian Waktu Sebelum Menggunakan Alat Bantu

Uji Keseragaman Data

Pengujian keseragaman data dilakukan untuk memastikan dan mengelola data yang telah didapatkan memiliki karakteristik sama yang mengacu pada batas kontrol atas dan batas kontrol bawah. Berikut merupakan data yang diperoleh dalam penelitian ini dimasukkan ke dalam rumus uji keseragaman data maka didapatkan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4. Perhitungan uji keseragaman data

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
1	305	12.07
2	301	55.87
3	304	20.02
4	304	20.02
5	301	55.87
6	300	71.82
7	306	6.12
8	302	41.92
9	303	29.97
10	301	55.87
11	305	12.07
12	301	55.87
13	303	29.97
14	301	55.87

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
21	308	0.22
22	308	0.22
23	309	0.27
24	311	6.37
25	313	20.47
26	313	20.47
27	315	42.57
28	313	20.47
29	312	12.42
30	310	2.32
31	316	56.62
32	315	42.57
33	314	30.52
34	312	12.42

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
15	302	41.92
16	302	41.92
17	305	12.07
18	303	29.97
19	304	20.02
20	307	2.17

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
35	317	72.67
36	319	110.77
37	320	132.82
38	318	90.72
39	317	72.67
40	319	110.77
Total	12.339	1.529,97

Sumber : Data Penelitian 2024

Diketahui bahwa tingkat keyakinan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 95% dengan nilai k sebesar 2, jumlah data pengamatan sebanyak 40, rata-rata pengamatan ($\bar{X}$) sebesar 308,47 detik, dan jumlah kuadrat selisih antara nilai X dan rata-rata ($\sum(X - \bar{X})^2$) sebesar 1.529,97. Berdasarkan data tersebut, dilakukan perhitungan standar deviasi (σ) menggunakan rumus $\sigma = \sqrt{(\sum(X - \bar{X})^2 / (n - 1))}$, yang menghasilkan nilai $\sigma = \sqrt{(1.529,97 / 39)} = \sqrt{39,23} = 6,26$. Selanjutnya, ditentukan batas kontrol atas (BKA) dan batas kontrol bawah (BKB), masing-masing dengan rumus $BKA = \bar{X} + k\sigma$ dan $BKB = \bar{X} - k\sigma$. Hasil perhitungannya menunjukkan bahwa BKA = 308,47 + 12,52 = 320,99 dan BKB = 308,47 - 12,52 = 295,95. Dengan demikian, data pengamatan dinyatakan berada dalam batas kontrol jika nilainya berkisar antara 295,95 hingga 320,99 detik.

Berdasarkan pengolahan dari hasil perhitungan uji keseragaman data diatas didapatkan hasil BKA = 320,99 dan BKB = 295,95. Berikut merupakan hasil pengolahan dimasukkan dalam tabel beserta data setiap pengamatan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4. BKA dan BKB

N	BKA	Total (X)	BKB
1	320.99	305	295.95
2	320.99	301	295.95
3	320.99	304	295.95
4	320.99	304	295.95
5	320.99	301	295.95
6	320.99	300	295.95
7	320.99	306	295.95
8	320.99	302	295.95
9	320.99	303	295.95

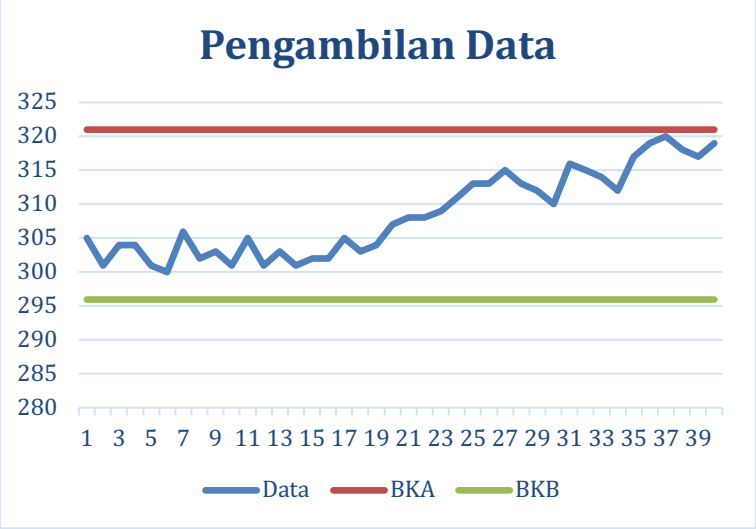
N	BKA	Total (X)	BKB
21	320.99	308	295.95
22	320.99	308	295.95
23	320.99	309	295.95
24	320.99	311	295.95
25	320.99	313	295.95
26	320.99	313	295.95
27	320.99	315	295.95
28	320.99	313	295.95
29	320.99	312	295.95

N	BKA	Total (X)	BKB
10	320.99	301	295.95
11	320.99	305	295.95
12	320.99	301	295.95
13	320.99	303	295.95
14	320.99	301	295.95
15	320.99	302	295.95
16	320.99	302	295.95
17	320.99	305	295.95
18	320.99	303	295.95
19	320.99	304	295.95
20	320.99	307	295.95

N	BKA	Total (X)	BKB
30	320.99	310	295.95
31	320.99	316	295.95
32	320.99	315	295.95
33	320.99	314	295.95
34	320.99	312	295.95
35	320.99	317	295.95
36	320.99	319	295.95
37	320.99	320	295.95
38	320.99	318	295.95
39	320.99	317	295.95
40	320.99	319	295.95

Sumber : Data Penelitian 2024

Berdasarkan hasil pengolahan data tidak ditemukan data yang melewati batas kontrol atas maupun batas kontrol bawah. Untuk melihat pola grafik dari pengolahan data tersebut dengan membuat *control chart* atau peta kontrol. Berikut gambar hasil pola grafik dari data di atas:



Gambar 4. Peta kontrol

Uji Kecukupan Data

Pengujian kecukupan data adalah dimana peneliti mengidentifikasi atau menganalisis berdasarkan pedoman rumusan yang telah ditetapkan dengan jumlah data teoritis atau dikenal dengan N' versus jumlah observasi atau biasa disebut N (total data yang dikumpulkan). Jika N' > N maka data dinyatakan tidak mencukupi dan sebaliknya, jika N' ≤ N maka data dikatakan cukup. Apabila menggunakan rumus untuk mengolah data yang diperoleh maka diperoleh perhitungan sebagai berikut:

Tabel 5. Perhitungan uji kecukupan data

No.	Total (X) Detik	X^2
1	305	93025
2	301	90601
3	304	92416
4	304	92416
5	301	90601
6	300	90000
7	306	93636
8	302	91204
9	303	91809
10	301	90601
11	305	93025
12	301	90601
13	303	91809
14	301	90601
15	302	91204
16	302	91204
17	305	93025
18	303	91809
19	304	92416
20	307	94249
21	308	94864
22	308	94864
23	309	95481
24	311	96721
25	313	97969
26	313	97969
27	315	99225
28	313	97969
29	312	97344
30	310	96100
31	316	99856
32	315	99225
33	314	98596
34	312	97344
35	317	100489
36	319	101761
37	320	102400
38	318	101124
39	317	100489
40	319	101761
Total	12.339	3.807.803

Sumber : Data Penelitian 2024

Diketahui tingkat keyakinan (k) sebesar 95% dengan nilai 2, tingkat ketelitian (s) 5%, jumlah data pengamatan (N) 40, jumlah total data ($\sum X$) sebesar 12.339, jumlah kuadrat data ($\sum X^2$) sebesar 3.807.803, dan kuadrat dari jumlah data ($(\sum X)^2$) sebesar 152.250.921, serta rata-rata pengamatan ($\bar{X}$) 308,47 detik. Berdasarkan rumus uji kecukupan data, nilai N' dihitung dengan formula N' = \[(k / s$\sqrt{}$(N$\sum X^2$ - $(\sum X)^2$) / $(\sum X)$)]^2 dan diperoleh hasil N' = 0,641. Karena nilai N' (0,641) lebih kecil dari jumlah data pengamatan (N = 40), dapat disimpulkan bahwa jumlah data yang dikumpulkan sudah cukup untuk melakukan penelitian lebih lanjut.

Alat dan Bahan Dalam Pembuatan Alat Bantu Pemindahan PV Module

Dalam perancangan atau pembuatan alat bantu pemindahan PV Module alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut: (1 *SolidWorks,* Menulis aplikasi di komputer untuk membuat desain atau gambar dua dan tiga dimensi serta simulasi pemesinan untuk membantu pembuatan alat bantu pergerakan modul fotovoltaik. Aplikasi ini digunakan untuk merancang alat untuk proses pemindahan modul fotovoltaik. (2) Material alat bantu pemindahan PV Module, Material yang digunakan untuk pembuatan alat bantu pemindahan PV Module yang utama adalah L-Feed, Aluminium rail, roller rails dan sekrup. (3) Peralatan alat bantu pemindahan PV Module, Peralatan yang digunakan untuk pembuatan alat bantu pemindahan PV Module yang utama adalah bor baterai dan kunci L.

Design For Manufactur And Assembly

Konsep Rancangan

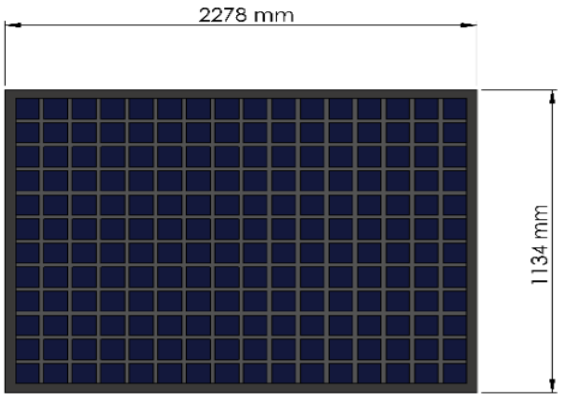
Kualitas konsep desain secara langsung mempengaruhi keberhasilan desain. Desain yang benar akan menghasilkan desain yang baik. Pada penelitian ini konsep desain dilakukan berdasarkan data spesifikasi produk. Data spesifikasi produk akan menjadi dasar alat perancangan dalam penelitian ini

Tabel 6. Rincian ukuran produk

Rincian	Ukuran
Panjang	2278 mm
Lebar	1134 mm

Sumber : Data Penelitian 2024

Tabel di atas merupakan data dimensi PV Module yang akan dipakai sebagai dasar dari rancangan baru pada alat bantu. Yang menjadi fokus penelitian adalah bagian panjang dan lebar pada PV Module. Berikut adalah gambar PV Module tersebut:



Gambar 4. Dimensi PV Module

Dari gambar di atas peneliti dapat menentukan bagaimana rancangan alat bantu yang tepat untuk di rancang.

Variasi Desain

Untuk membuat rancangan dan desain dari alat bantu yang sudah direncanakan, peneliti menggunakan *Solidwork*. *Software* ini berfungsi untuk mendesain dan merancang gambar dari alat bantu dalam tampilan 3D. Berikut merupakan gambar 3D variasi desain dari alat bantu pemindahan PV Module:



Gambar 5. 3D Variasi desain awal

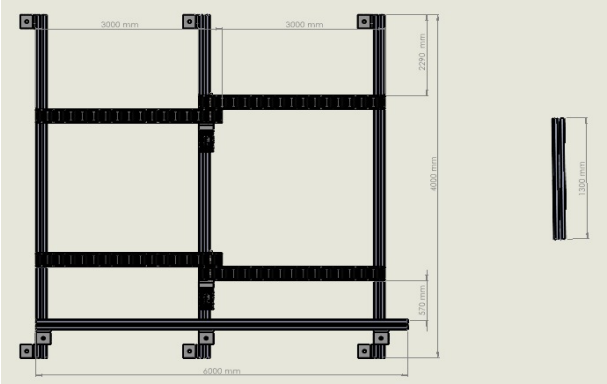


Gambar 7. 3D Variasi desain akhir

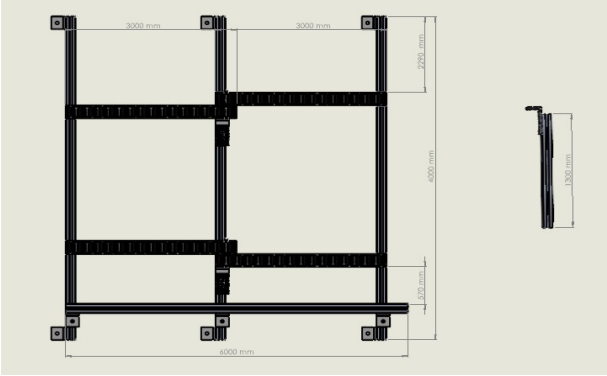
Untuk variasi desain dari alat bantu pemindahan PV Module awal dan akhir, ukuran dimensi mengikuti ukuran material yang ada pada PLTS dan berpatokan dengan ukuran pada PV Module yang berfungsi agar proses pemindahan PV Module bisa dilakukan secara optimal. Perbedaan dari desain di atas adalah variasi desain awal tidak menggunakan L Feed pada tongkat untuk mendorong PV Module dan variasi desain akhir menggunakan L Feed pada tongkat untuk mendorong PV Module.

***Design For Assembly Analysis* (DFA)**

Setelah diperoleh 2 variasi desain alat penggerak modul PV, tahap selanjutnya adalah tahap DFA. Konsep desain akan didokumentasikan secara rinci berdasarkan jumlah dan jenis part, kemudian akan dihitung perkiraan pembuatan setiap part. Karena banyaknya komponen yang dirancang akan mempengaruhi proses manufaktur yang harus dilakukan dan berdampak pada biaya usaha perancangan. Ada beberapa proses utama dalam proses produksi alat bantu pemindahan modul fotovoltaik. Proses tersebut adalah pemasangan braket, braket modul, batang dorong, dan pemandu roller. Dalam setiap proses, bagian-bagian yang diperlukan dibuat sesuai dengan kebutuhan proses. Berikut gambar 2D dan dimensi alat sebagai acuan proses pembuatannya:



Gambar 6. 2D variasi desain awal



Gambar 7. 2D variasi desain akhir

Setelah ukuran gambar 2D dari variasi alat bantu pemindahan PV Module diperoleh, langkah selanjutnya adalah menyusun tabel yang mencakup kebutuhan proses fabrikasi untuk masing-masing variasi. Berikut adalah tabel yang menunjukkan kebutuhan fabrikasi pada alat bantu pemindahan PV Module.:

Tabel 7. Kebutuhan fabrikasi variasi desain awal

No	*Name of Assembly*	*Quantity* (pcs)											
		L-Fedd	Aluminium	Rail	(4000 mm)	Aluminium	Rail	(6000 mm)	Aluminium	Rail	(1300 mm)	Roller rails	Sekrup (50 mm)
1	Support Mounting	14		7			-			-		-	-
2	Penahan Module	20		-			10			-		-	-
3	Roller rails	42		-			-			-		40	40
4	Tongkat Pendorong	-		-			-			1		-	-
	Total	76		7			10			1		40	40

Sumber : Data Penelitian 2024

Tabel 8. Kebutuhan fabrikasi variasi desain akhir

No	*Name of Assembly*	*Quantity* (pcs)											
		L-Fedd	Aluminium	Rail	(4000 mm)	Aluminium	Rail	(6000 mm)	Aluminium	Rail	(1300 mm)	Roller rails	Sekrup (50 mm)
1	Support Mounting	14		7			-			-		-	-
2	Penahan Module	20		-			10			-		-	-
3	Roller rails	42		-			-			-		40	40
4	Tongkat Pendorong	1		-			-			1		-	-
	Total	77		7			10			1		40	40

Sumber : Data Penelitian 2024

Parameter yang mirip ditemukan dari tabel kebutuhan fabrikasi 2 variasi desain di atas; satu-satunya perbedaan adalah komponen L-Feed. Perbedaan terjadi karena pada variasi desain awal tidak memakai L-Feed pada tongkat pendorong PV Module, sedangkan pada variasi desain akhir memakai L-

Feed pada tongkat pendorong PV Module. Agar lebih akurat peneliti akan menghitung waktu proses dalam pembentukan dari kedua desain fabrikasi tersebut, berikut merupakan tabel perhitungan analisa DFA dari kedua desian tersebut:

Tabel 9. Analisa DFA desain awal

No	***Part***		**Parameter**				**Total (detik)**
			Waktu Fabrikasi Di Setiap Proses				
		Quantity	*Support Mounting*	Penahan Module	*Roller Rails*	Tongkat Pendorong	
1	L-Feed	76	853	1.442	1.720	-	4.015
2	Aluminium Rail (4000 mm)	7	1.166	-	-	-	1.166
3	Aluminium Rail (6000 mm)	10	-	1.510	-	-	1.510
4	Roller rails	40	-	-	984	-	984
5	Sekrup	40	-	-	924	-	924
6	Aluminium Rail (1300 mm)	1	-	-	-	60	60
		***Grand Total* Detik**					8.659
		***Grand Total* Menit**					144,31
		***Grand Total* Jam**					2,40
		Biaya Fabrikasi					64.994

Sumber : Data Penelitian 2024

Berdasarkan hasil analisis DFA, pembuatan desain awal memerlukan waktu pembuatan selama 2,40 jam yang dimulai dari proses pemasangan penyangga, penyangga modul, pemandu roller dan batang dorong, dengan biaya pembuatan sebesar Rp 64.994. Biaya dihitung dengan mengalikan jumlah jam produksi dengan upah per 1 jam di Kota Batam. Upah minimum di Kota Batam pada tahun 2024 adalah Rp4.685.050. Menurut undang-undang ketenagakerjaan, upah/gaji per jam dihitung sebagai upah pokok/173. Jika dibagi upah minimum, Kota Batam mendapat penghasilan Rp27.081 per jam.

Tabel 10. Analisis DFA variasi akhir

No	*Part*		Parameter				Total (detik)
			Waktu Fabrikasi Di Setiap Proses				
		Quantity	*Support Mounting*	Penahan Module	*Roller Rails*	Tongkat Pendorong	
1	L-Feed	77	853	1.442	1.720	60	4.075
2	Aluminium Rail (4000 mm)	7	1.166	-	-	-	1.166
3	Aluminium Rail (6000 mm)	10	-	1.510	-	-	1.510
4	Roller rails	40	-	-	984	-	984
5	Sekrup	40	-	-	924	-	924
6	Aluminium Rail (1300 mm)	1	-	-	-	60	60
		***Grand Total* Detik**					8.719
		***Grand Total* Menit**					145,31
		***Grand Total* Jam**					2,42
		Biaya Fabrikasi					65.536

Sumber : Data Penelitian 2024

Early DFM Cost Estimate

Tujuan penggunaan metode estimasi biaya DFM adalah untuk mengetahui estimasi harga material yang digunakan pada kedua desain tersebut. Sebelum menentukan perkiraan harga salah satu desain, ada baiknya mengetahui harga bahan penyusun setiap komponen agar bisa membandingkan harga kedua desain tersebut. Berikut harga bahan yang digunakan:

Tabel 11. Standar harga material

No	*Description*	*Unit*	*Price* (Rp)
1.	L-Feed	Pcs	15.000
2.	Aluminium rail (6000 mm)	Pcs	78.000
3.	Aluminium rail (4000 mm)	Pcs	52.000
4.	Aluminium rail (1300 mm)	Pcs	16.900

No	*Description*	*Unit*	*Price* (Rp)
5.	Roller rails	Pcs	220.000
6.	Sekrup (50 mm)	Pcs	500

Sumber : PT. Indonesia Prima Energi

Biaya material untuk variasi desain awal dan variasi desain akhir dapat dihitung dengan menggunakan data harga material di atas, yang dihitung dengan mengalikan jumlah material yang akan digunakan dengan harga material per unitnya. Hasilnya adalah biaya material untuk variasi desain awal dan variasi desain akhir. Dibawah ini merupakan biaya DMF awal untuk desain awal dan desain akhir.

Tabel 12. Early cost DFM variasi awal

No	*Description*	*Unit*	*Quantity*	Unit Price (Rp)	*Total Price* (Rp)
1.	L-Feed	pcs	76	15.000	1.140.000
2.	Aluminium rail (6000 mm)	pcs	10	78.000	780.000
3.	Aluminium rail (4000 mm)	pcs	7	52.000	364.000
4.	Aluminium rail (1300 mm)	pca	1	16.900	16.900
5.	Roller rails	pcs	40	220.000	8.800.000
6.	Sekrup (50 mm)	pcs	40	500	20.000
Total (Rupiah)					11.120.900

Sumber : Data Penelitian 2024

Tabel 13. Early cost DFM variasi akhir

No	*Description*	*Unit*	*Quantity*	Unit Price (Rp)	*Total Price* (Rp)
1.	L-Feed	pcs	77	15.000	1.155.000
2.	Aluminium rail (6000 mm)	pcs	10	78.000	780.000
3.	Aluminium rail (4000 mm)	pcs	7	52.000	364.000
4.	Aluminium rail (1300 mm)	pcs	1	16.900	16.900
5.	Roller rails	pcs	40	220.000	8.800.000
6.	Sekrup (50 mm)	pcs	40	500	20.000
Total (Rupiah)					11.135.900

Sumber : Data Penelitian 2024

Berdasarkan tabel biaya DFM awal yang ada, total biaya material untuk variasi desain awal tercatat sebesar Rp 11.120.900, sedangkan untuk variasi desain akhir mencapai Rp 11.135.900. Perbedaan biaya ini disebabkan oleh penggunaan L-Feed pada tongkat pendorong pada variasi desain akhir, sementara pada desain awal, tongkat pendorong tidak menggunakan L-Feed. Hal ini yang menyebabkan variasi desain akhir memiliki biaya yang sedikit lebih tinggi.

Design For Manufacturing

Desain yang telah dibuat akan dievaluasi menggunakan DFM, yang akan melibatkan perhitungan biaya manufaktur, biaya komponen dan biaya upah karyawan. Setelah memperoleh biaya manufaktur, biaya komponen dan biaya upah pekerja, selanjutnya peneliti akan melakukan menghitung total biaya produksi untuk mengetahui jumlah biaya yang diperlukan dalam memproduksi alat bantu pemindahan PV Modul desain awal dan desain akhir.

Tabel 14. Analisis Design for Manufacturing (DFM) desain awal

No	*Description*	Unit	Quantity	Unit Price (Rp)	Total Price (Rp)
1.	*L-Feed*	pcs	76	15.000	1.140.000
2.	*Aluminium rail* (6000 mm)	pcs	10	78.000	780.000
3.	*Aluminium rail* (4000 mm)	pcs	7	52.000	364.000
4.	*Aluminium rail* (1300 mm)	pcs	1	16.900	16.900
5.	*Roller rails*	pcs	40	220.000	8.800.000
6	Sekrup (50 mm)	pcs	40	500	20.000
7.	Upah Pekerja	jam	2,40	27.081	64.994
	***Grand Total Price* (Rp)**				11.185.894

Sumber : Data Penelitian 2024

Tabel 15. Analisis Design for Manufacturing (DFM) desain akhir

No	*Description*	Unit	Quantity	Unit Price (Rp)	Total Price (Rp)
1.	*L-Feed*	pcs	77	15.000	1.155.000
2.	*Aluminium rail* (6000 mm)	pcs	10	78.000	780.000
3.	*Aluminium rail* (4000 mm)	pcs	7	52.000	364.000
4.	*Aluminium rail* (1300 mm)	pcs	1	16.900	16.900
5.	*Roller rails*	pcs	40	220.000	8.800.000

6	Sekrup (50 mm)	pcs	40	500	20.000
7.	Upah Pekerja	jam	2,42	27.081	65.536
		***Grand Total Price* (Rp)**			11.201.436

Dari tabel Analisis *Design for Manufacturing* (DFM) di atas terlihat bahwa total biaya perakitan untuk desain awal sebesar Rp 11.185.894 sedangkan variasi desain akhir sebesar Rp 11.201.436. Desain akhir memiliki biaya yang lebih besar dari variasi desain awal karena perbedaan pada waktu perakitan dan tongkat pendorong, pada variasi desain akhir memakai L-feed, sedangkan untuk variasi desain awal tidak memakai L-Feed pada tongkat pendorong. Selisih harga variasi desain awal dan variasi desain akhir hanya berbeda sedikit, Setelah mempertimbangkan berbagai faktor, peneliti memilih untuk melanjutkan dengan variasi desain akhir. Hal ini dikarenakan variasi desain akhir sudah dilengkapi dengan L-Feed pada tongkat pendorong, yang bertujuan untuk memberikan perlindungan ekstra pada PV Module saat proses pemindahan.

Implementasi Alat Bantu Pemindahan PV Module

Pada implementasi alat bantu pemindahan PV Module, pengamatan akan dilakukan sebanyak 40 kali percobaan untuk proses pengujian. Jumlah percobaan ini disesuaikan dengan jumlah pengambilan data sampel yang dilakukan pada kondisi sebelum penggunaan alat bantu pemindahan PV Module. Berikut gambar dari proses pemindahan PV Module menggunakan alat bantu:



Gambar 8. Proses pemindahan PV Module menggunakan alat bantu

Proses sebelum ada alat bantu pemindahan PV Module dilakukan secara manual dan untuk satu kali proses pemindahan PV Module hanya bisa membawa satu PV Module dan membutuhkan 2 operator untuk satu kali proses, setelah dilakukan perancangan alat bantu, proses pemindahan PV Module bisa

membawa dua PV Module dan hanya membutuhkan 1 operator untuk satu kali proses. Sebelum adanya alat bantu proses pemindahan PV Module memiliki total waktu 12,339 atau 3,42 jam untuk 40 kali proses pemindahan, sedangkan setelah adanya alat bantu proses pemindahan PV Module memiliki total waktu 7.584 detik atau 2,10 jam. Selanjutnya peneliti akan menghitung perbandingan biaya produksi sebelum dan sesudah ada alat bantu untuk biaya upah pekerja peneliti memakai upah minimum Kota Batam tahun 2024 senilai Rp 4.685.050. berdasarkan UU ketenagakerjaan cara menghitung upah/gaji perjam adalah gaji pokok/173. Jika di bagi upah minimum Kota Batam mendapat Rp 27.081 perjam. Berikut perhitungan perbandingan biaya produksi sebelum dan sesudah ada alat bantu: (1) Sebelum ada alat bantu : 3,42 x 27,981 (2) = Rp 185.234. (2) Sesudah ada alat bantu : 2,10 x 27,081 (10 = Rp 56.870. Dari perhitungan perbandingan biaya produksi di atas dapat dilihat perbandingan yang sangat jauh dengan selisih biaya Rp 128.364 untuk 40 kali proses pemindahan.

Pengolahan Data Hasil Implementasi Alat Bantu Pemindahan PV Module

Setelah data diperoleh dari implementasi alat bantu pemindahan PV Module, langkah selanjutnya adalah melakukan uji keseragaman data dan uji kecukupan data. Data yang telah dikumpulkan akan digunakan sebagai bahan pembanding dalam penelitian. Data berikut menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan setelah implementasi alat bantu pemindahan PV Module, dengan total percobaan sebanyak 40 kali:

Tabel 16. Waktu proses pemindahan PV Module menggunakan alat bantu

Pengamatan	Pemindahan
1	185
2	183
3	182
4	184
5	181
6	183
7	182
8	181
9	185
10	182
11	182
12	184

Pengamatan	Pemindahan
21	195
22	192
23	191
24	189
25	192
26	193
27	195
28	196
29	192
30	193
31	195
32	195

Pengamatan	Pemindahan
13	183
14	187
15	185
16	188
17	186
18	190
19	192
20	193

Pengamatan	Pemindahan
33	194
34	197
35	195
36	194
37	196
38	198
39	197
40	197
Rata-rata	189.6

Sumber : Data Pengamatan 2024

Dari tabel data diatas uji coba proses pemindahan PV Module dengan menggunakan alat bantu menjadi berubah. Saat sebelum memanfaatkan alat bantu memerlukan waktu rata-rata 308,47 detik atau 5,14 menit, dikarenakan proses pemindahan dilakukan dengan cara manual yaitu dengan mengangkat satu PV Module oleh dua operator. Setelah menggunakan alat bantu proses pemindahan bisa dilakukan dengan cara didorong oleh satu operator.

Dari hasil yang tercatat pada tabel diatas, terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses pemindahan PV Module dengan menggunakan alat bantu desain akhir rata-rata adalah 189,6 detik atau 3,16 menit. Ini menunjukkan adanya peningkatan efisiensi jika dibandingkan dengan kondisi sebelum alat bantu digunakan, yang memerlukan waktu rata-rata 308,47 detik atau 5,14 menit. Data ini selanjutnya akan digunakan untuk melakukan pengujian lebih lanjut, yaitu uji keseragaman data dan uji kecukupan data, sebagai berikut:

Tabel 17. Uji Keseragaman data desain akhir

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
1	185	21.16
2	183	43.56
3	182	57.79
4	184	31.36
5	181	73.96
6	183	43.56
7	182	57.76
8	181	73.96
9	185	21.16

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
21	195	29.16
22	192	5.76
23	191	1.96
24	189	0.36
25	192	5.76
26	193	11.56
27	195	29.16
28	196	40.96
29	192	5.76

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
10	182	57.76
11	182	57.76
12	184	31.36
13	183	43.56
14	187	6.76
15	185	21.16
16	188	2.56
17	186	12.96
18	190	0.16
19	192	5.76
20	193	11.56

N	Total (X) Detik	$(X-\bar{X})^2$
30	193	11.56
31	195	29.16
32	195	29.16
33	194	19.36
34	197	54.76
35	195	29.16
36	194	19.36
37	196	40.96
38	198	70.56
39	197	54.76
40	197	54.76
Total	7.584	1.219.6

Sumber : Data Penelitian 2024

Diketahui tingkat keyakinan (k) 95% sebesar 2, jumlah data pengamatan 40, rata-rata pengamatan ($\bar{X}$) 189,6 detik, dan jumlah kuadrat selisih data terhadap rata-rata ($\sum(X - \bar{X})^2$) sebesar 1.219,6. Perhitungan standar deviasi (σ) didapatkan dengan rumus $\sigma = \sqrt{(\sum(X - \bar{X})^2 / (n-1))} = \sqrt{(1.219,6 / 39)} = \sqrt{31,27} = 5,59$. Selanjutnya, batas kontrol atas (BKA) dihitung sebagai $\bar{X} + k\sigma = 189,6 + (2 \times 5,59) = 200,78$, dan batas kontrol bawah (BKB) sebagai $\bar{X} - k\sigma = 189,6 - (2 \times 5,59) = 178,42$.

Berdasarkan hasil pengolahan data dari perhitungan pengujian keseragaman data di atas, diperoleh nilai BKA = 200,78 dan BKB = 178,42. Berikut ini adalah hasil pengolahan data pengamatan yang telah dimasukkan dalam tabel, yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 18. BKA dan BKB

N	BKA	Total (X)	BKB
1	200.78	185	178.42
2	200.78	183	178.42
3	200.78	182	178.42
4	200.78	184	178.42
5	200.78	181	178.42
6	200.78	183	178.42
7	200.78	182	178.42
8	200.78	181	178.42

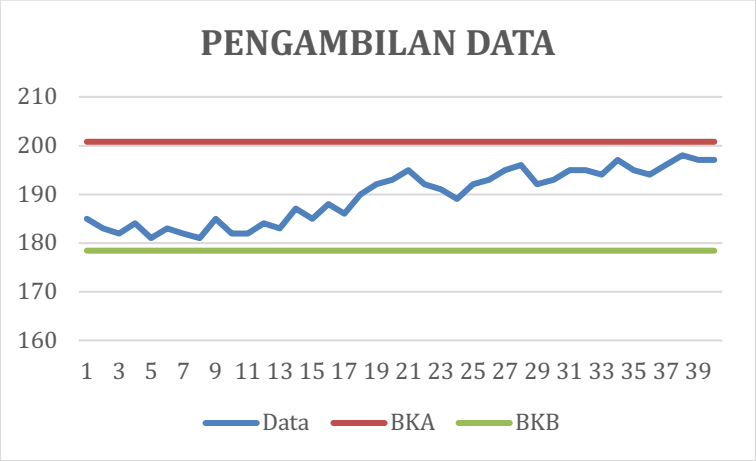
N	BKA	Total (X)	BKB
21	200.78	195	178.42
22	200.78	192	178.42
23	200.78	191	178.42
24	200.78	189	178.42
25	200.78	192	178.42
26	200.78	193	178.42
27	200.78	195	178.42
28	200.78	196	178.42

N	BKA	Total (X)	BKB
9	200.78	185	178.42
10	200.78	182	178.42
11	200.78	182	178.42
12	200.78	184	178.42
13	200.78	183	178.42
14	200.78	187	178.42
15	200.78	185	178.42
16	200.78	188	178.42
17	200.78	186	178.42
18	200.78	190	178.42
19	200.78	192	178.42
20	200.78	193	178.42

N	BKA	Total (X)	BKB
29	200.78	192	178.42
30	200.78	193	178.42
31	200.78	195	178.42
32	200.78	195	178.42
33	200.78	194	178.42
34	200.78	197	178.42
35	200.78	195	178.42
36	200.78	194	178.42
37	200.78	196	178.42
38	200.78	198	178.42
39	200.78	197	178.42
40	200.78	197	178.42

Sumber : Data Penelitian 2024

Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak ada data yang melampaui batas kontrol atas maupun batas kontrol bawah. Untuk memvisualisasikan pola grafik dari data, dapat digunakan peta kontrol atau *control chart*. Gambar berikut ini memperlihatkan pola grafik yang dihasilkan dari data tersebut, yaitu:



Gambar 9. Peta kontrol

Gambar pola grafik pada peta kontrol diatas menunjukkan bahwa data hasil pengolahan tercatat seragam, karena tidak ada nilai yang melebihi batas kontrol atas maupun bawah. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian memenuhi syarat uji keseragaman dan dapat digunakan sebagai data pembanding.

Tabel 19. Uji kecukupan data

N	Total (X) Detik	X^2
1	185	34225
2	183	33489
3	182	33124
4	184	33856
5	181	32761
6	183	33489
7	182	33124
8	181	32761
9	185	34225
10	182	33124
11	182	33124
12	184	33856
13	183	33489
14	187	34969
15	185	34225
16	188	35344
17	186	34596
18	190	36100
19	192	36864
20	193	37249
21	195	38025
22	192	36864
23	191	36481
24	189	35721
25	192	36864
26	193	37249
27	195	38025
28	196	38416
29	192	36864
30	193	37249
31	195	38025
32	195	38025
33	194	37636
34	197	38809
35	195	38025
36	194	37636
37	196	38416
38	198	39204
39	197	38809
40	197	38809
Total	7.584	1.439.146

Sumber : Data Penelitian 2024

Diketahui tingkat keyakinan (k) 95% sebesar 2, jumlah data pengamatan 40, rata-rata pengamatan ($\bar{X}$) 189,6 detik, jumlah total data ($\sum X$) 7.584, jumlah kuadrat data ($\sum X^2$) 1.439.146, dan kuadrat jumlah data $(\sum X)^2$ sebesar 57.517.056. Perhitungan jumlah data teoritis (N') dilakukan dengan rumus N' = \[(k / s $\sqrt{(N\sum X^2 - (\sum X)^2) / \sum X)]^2$ yang menghasilkan N' = 1,34. Karena nilai N' (1,34) lebih kecil dari jumlah data pengamatan (N = 40), maka dapat disimpulkan bahwa jumlah data pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini sudah memadai atau cukup.

Perbandingan Sebelum dan Sesudah Menggunakan Alat Bantu Pada Proses Pemindahan PV Modul

Setelah melakukan pengolahan dan pengumpulan data pada kondisi sebelum dan sesudah penggunaan alat bantu, diperoleh hasil parameter perbandingan dari proses pemindahan PV Module setelah menggunakan alat bantu. Selanjutnya, peneliti melanjutkan pengolahan data dengan mempertimbangkan faktor *allowance* dan faktor penyesuaian. Tabel berikut menunjukkan cara penentuan allowance dan faktor penyesuaian menggunakan metode *Shumard:*

Tabel 20. Perhitungan faktor allowance

Faktor	Keterangan	Kelonggaran
1. Kebutuhan Pribadi	Pria	2%
2. Menghilangkan fatique		
a. Tenaga yang dikeluarkan	Berat	20%
b. Sikap Kerja	Berdiri	1%
c. Gerakan Kerja	Normal	0%
d. Kelelahan Mata	Normal	0%
e. Keadaan Temperatur	Tinggi	5%
f. Keadaan Atmosfer	baik	0%
g. Keadaan Lingkungan	Normal	2%
3. Hambatan tak Terhindarkan		1%
Total		31%

Sumber : Data Penelitian 2024

Berdasarkan perhitungan faktor *allowance*, total kelonggaran yang diperoleh adalah 31%. Untuk menentukan faktor penyesuaian, selanjutnya dapat mengacu pada tabel penentuan faktor penyesuaian yang disajikan berikut ini:

Tabel 21. Penentuan faktor penyesuaian (shumard)

Kelas	Skala	Penyesuaian
Superfast	100	70%
Fast +	95	74%
Fast	90	78%
Fast -	85	82%
Excellent	80	88%
Good +	75	93%
Good	70	100%

Kelas	Skala	Penyesuaian
Good -	65	108%
Normal	60	117%
Fair +	55	127%
Fair	50	140%
Fair -	45	156%
Poor	40	175%

Sumber : Data Penelitian 2024

Berdasarkan evaluasi kinerja operator yang dilakukan peneliti, kategori penyesuaian pekerja dinilai dalam kategori baik dengan faktor penyesuaian sebesar 108%. Dengan data waktu kerja per hari 450 menit dan allowance 31%, perhitungan waktu siklus sebelum menggunakan alat bantu adalah 5,14 menit, sehingga waktu normal menjadi 5,55 menit dan waktu baku sebesar 8,04 menit. Output standar proses pemindahan modul fotovoltaik sebelum penggunaan alat adalah 55 proses per hari. Setelah penggunaan alat bantu, waktu siklus menurun menjadi 3,16 menit, waktu normal 3,41 menit, waktu baku 4,94 menit, dan output standar meningkat menjadi 92 proses per hari. Dengan demikian, produktivitas proses pelepasan modul fotovoltaik meningkat sebesar 65%.

Selain itu, efisiensi alat bantu juga dihitung berdasarkan perbedaan rata-rata waktu siklus sebelum dan sesudah penggunaan, yaitu 1,98 menit, menghasilkan efisiensi sebesar 62%. Sebelum menggunakan alat, output per proses hanya 1 pcs, sedangkan setelah penggunaan alat bantu output naik menjadi 2 pcs per proses, sehingga total output menjadi 182 pcs dalam 91 proses. Hasil ini menunjukkan bahwa alat bantu secara signifikan meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam proses pemindahan modul PV, yang dapat dilihat dari peningkatan jumlah output dan penurunan waktu siklus. Tabel perbandingan output sebelum dan sesudah penggunaan alat bantu memperjelas dampak positif alat tersebut dalam mempercepat proses kerja.

Tabel 22. Parameter perbandingan sebelum dan sesudah menggunakan alat bantu desain awal

Alat Bantu Pemindahan PV Module		
Parameter	Sebelum	Sesudah
Waktu Proses (Menit)	5,14	3,16
Total Proses	55	91
Efisiensi	38%	62%
Kapasitas	1 unit	2 unit
Output	55 pcs	182 pcs

Sumber : Data Penelitian 2024

Pembahasan

Mekanisme pemindahan PV Module dilakukan saat sebelum memanfaatkan alat bantu yaitu terdapat beberapa masalah seperti proses pemindahan PV Module yang masih manual satu persatu, target kurang tercapai hingga menimbulkan tidak tercapainya target produksi dan keterlambatan untuk proses selanjutnya, alhasil peneliti melakukan perancangan alat bantu pemindahan PV Module dengan metode DFMA. Proses pembuatan fabrikasi alat bantu pemindahan PV Module pada desain awal memiliki waktu fabrikasi 2,40 jam, total 174 komponen dengan biaya fabrikasi sebesar Rp 11.185.894, sedangkan untuk desain akhir memiliki waktu fabrikasi 2,42 jam, total 175 komponen dengan biaya fabrikasi sebesar Rp 11.201.436. Alat bantu desain awal dan desain akhir memiliki perbedaan pada tongkat pendorong, alat bantu desain awal tidak memakai L-Feed pada tongkat pendorong, sedangkan alat bantu desain akhir memakai L-Feed pada tongkat pendorong yang berfungsi untuk melindungi PV Module pada saat pemindahan.

Perancangan alat bantu untuk proses pemindahan PV Module yang awalnya dilakukan dengan cara mengangkat PV Module dengan bantuan dua operator dan setelah dilakukan perancangan alat bantu proses pemindahan PV Module dilakukan dengan cara mendorong PV Module di jalur alat bantu yang telah dibuat dan dapat didorong dengan 2 pcs PV Module dengan bantuan satu operator untuk satu kali proses. Sebelum ada alat bantu untuk proses produksi memiliki biaya sebesar Rp 185.234 sedangkan sesudah ada alat bantu memiliki biaya sebesar Rp 56.870. dengan selisih biaya sebesar Rp 128.364 untuk 40 kali proses.

Pengujian alat bantu pemindahan PV Module menunjukkan perkembangan yang sangat signifikan, di mana proses pemindahan menjadi lebih cepat dan target yang ditetapkan dapat tercapai. Sebelum penggunaan alat bantu, waktu yang diperlukan untuk satu kali pemindahan PV Module adalah 5,14 menit, dengan kapasitas membawa 1 unit PV Module. Dalam satu hari kerja yang berlangsung selama 450 menit, hanya dapat dihasilkan output sebanyak 55 pcs/hari. Namun, setelah alat bantu digunakan, waktu untuk satu kali pemindahan PV Module berkurang menjadi 3,16 menit dengan kapasitas 2 unit PV Module per proses. Hal ini menghasilkan total output sebesar 182 pcs/hari, dengan efisiensi sebesar 62%.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dan analisis yang dilakukan, penulis menyimpulkan beberapa hal yang dapat diambil dari penelitian tentang Perancangan Alat Bantu Pemindahan PV Module pada Pemasangan Instalasi PLTS di PT Indonesia Prima Energi, sebagai berikut: (1) Pada perancangan alat bantu untuk proses pemindahan PV Module yang awalnya dilakukan dengan cara mengangkat PV Module dengan bantuan dua operator dan setelah dilakukan perancangan alat bantu proses pemindahan PV Module dilakukan dengan cara mendorong PV Module di jalur alat bantu yang telah dibuat dan dapat didorong dengan 2 pcs PV Module dengan bantuan satu operator untuk satu kali proses. Sebelum ada alat bantu untuk proses produksi memiliki biaya sebesar Rp 185.234 sedangkan sesudah ada alat bantu

memiliki biaya sebesar Rp 56.870. dengan selisih biaya sebesar Rp 128.364 untuk 40 kali proses. (2) Analisis data implementasi sebelum dan setelah penggunaan alat bantu menunjukkan peningkatan output yang signifikan. Sebelumnya, hanya tercatat 55 pcs/hari, namun setelah alat bantu digunakan, output meningkat menjadi 182 pcs/hari, dengan efisiensi mencapai 62%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir sebagai syarat kelulusan Program Studi Teknik Industri Universitas Putera Batam. Penulis menyadari bahwa laporan ini belum sempurna dan dengan rendah hati menerima kritik serta saran yang membangun. Terima kasih disampaikan kepada Rektor Universitas Putera Batam, Dekan Fakultas Teknik dan Komputer, Ketua Program Studi Teknik Industri, pembimbing skripsi, seluruh dosen dan staf, keluarga tercinta, serta teman-teman yang telah memberikan dukungan dan semangat selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Penulis juga mengapresiasi perjuangan diri sendiri dalam menghadapi berbagai tantangan hingga mencapai tahap ini, dengan harapan semoga Tuhan senantiasa melimpahkan berkat dan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu.

DAFTAR PUSTAKA

Antony, K. M., & Arunkumar, S. (2020). DFMA and Sustainability Analysis in Product Design. *Journal of Physics: Conference Series*, *1455*(1), 012028. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1455/1/012028

Ardianto, A., & Suryadi, A. (2021). Pengembangan Produk Mesin Pencuci Telur Bebek Secara Semi Otomatis Dengan Metode Design For Manufacture And Assembly (DFMA). *JUMINTEN*, *2*(2), 13–24. https://doi.org/10.33005/juminten.v2i2.231

Arum, A. U., & Andira, M. H. (2022). *Perancangan Alat Bantu Welding Lengan Meja Dan Pipa Bawah Dengan Pendekatan DFMA (Study Case : PPTI II Teknik Industri UNS)*. 1–5.

Azalia, M., & Mendrofa, D. L. (2023). Perbaikan Produk Blender Portable dengan Menggunakan Metode Design for Manufacturing and Assembly (DFMA). *Talenta Publisher*, *6*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.32734/ee.v6i1.1798

Dongre, S. D., Gulhane, P. U. D., & Kuttarmare, H. C. (2019). Design and Finite Element Analysis of JIGS and Fixtures for Manufacturing of Chassis Bracket. *International Journal of Research in Advent Technology*, *2*(2), 3–5. Retrieved from https://ijrat.org/downloads/Conference_Proceedings/manthan14/manthan14-40.pdf

Effendi, M. S. M., Shayfull, Z., Radhwan, H., Harun, N. H., Ahmad, S. A. S., Norli, K., … Omar, N. (2021). *The utilisation of DFMA and FEA method towards sustainable design improvement: A case study of air freshener*. 020195. https://doi.org/10.1063/5.0044556

Fathoni, A., & Anwar, S. (2020). *Perancangan Mini Forklif Manual Dengan Metode DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)* (Universitas Pasir Pengaraian). Universitas Pasir Pengaraian. Retrieved from https://repository.uin-suska.ac.id/85478/2/SKRISPSI LENGKAP KECUALI BAB %284 DAN 5%29.pdf

Haitami, A., & Hasibuan, R. (2022). Perancangan Baseplate Peletakan Produk Pada Mesin Tester Pada PT XYZ. *Jurnal Comasie*, *7*(4), 65–75. Retrieved from https://ejournal.upbatam.ac.id/index.php/comasiejournal/article/view/5992

Ikhwanda, R. S., & Suryadi, A. (2021). Pengembangan Produk Alat Pengayak Pasir Secara Manual Dengan Metode Design For Manufacture And Assembly (DFMA). *JUMINTEN*, *2*(4), 37–48. https://doi.org/10.33005/juminten.v2i4.290

Imansuri, F. (2019). Perancangan Jig Dan Fixture Pada Proses Freis Dan Gurdi Untuk Memproduksi Komponen Base Plate. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, *17*(1), 10. Retrieved from http://p2m.stmi.ac.id/jurnal/detail_artikel/MTMx/-perancangan-jig-dan-fixture-pada-proses-freis-dan-gurdi-untuk-memproduksi-komponen-base-plate-

Kurnianto, R., Wibowo, R., & Agung Prakosa, T. (2018). Penerapan Metoda Design for Manufacture and Assembly pada Handle Transformer Hand Bike. *Repo ULM*. Retrieved from https://repo-dosen.ulm.ac.id/handle/123456789/9490

Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (2nd ed.). West Sussex: John wiley & sons.

Nasyitah Mohammad, N., Rosli, M. F., Fadzly, M. K., Syaiyidah Mohamad Salikan, N., & Effendi, M. S. M. (2020). Design for Manufacturing and Assembly (DFMA): Redesign of Joystick. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *864*(1), 012212. https://doi.org/10.1088/1757-899X/864/1/012212

Nazarudin, M. E., & Suryadi, A. (2021). Pengembangan Produk Wastafel Portable Secara Manual dengan Metode Design For Manufacturing and Assembly. *JUMINTEN*, *2*(2), 36–47. https://doi.org/10.33005/juminten.v2i2.228

Nugroho, A., & Dianawati, F. (2018). *Perancangan alat bantu untuk proses permesinan pada mesin chamfering DR 99 di industri sepeda motor dengan metode DFMA (design for manufacturing and assembly)* (Universitas Indonesia). Universitas Indonesia. Retrieved from https://lontar.ui.ac.id/detail?id=20250131&lokasi=lokal

Nur Budi Asmiyati, & Sudiro, S. (2022). Optimasi Desain Dan Rekayasa Lori Fast Track dengan Metode DFMA pada Kasus Perbaikan Bodi Kendaraan Roda Empat. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, *12*(1), 53–62. https://doi.org/10.35814/teknobiz.v12i1.3298

Reforiandi, A., & Arief, D. S. (2021). Design of the Vertical Roundness Tester Machine Using the AHP Method (Analytical Hierarchy Process) Through the DFM Approach (Design for Manufacturing). *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace -Science and Engineering- (JOMAse)*, *65*(2), 68–76. https://doi.org/10.36842/jomase.v65i2.251

Salim, M. S., Lajis, M. A., Ros, Z. C., Nawawi, A., Shamsudin, S., & Yusuf, N. K. (2019). Redesigning of Agarwood Extracting Machine Applying DFMA Principle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *637*(1), 012006. https://doi.org/10.1088/1757-899X/637/1/012006

Siswanto, A. A., & Arista, A. (2023). Perancangan Alat Bantu Kerja Pada Proses Painting Bof Nonflip Di PT XYZ. *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)*, *9*(5), 596–605. https://doi.org/10.33884/comasiejournal.v9i5.7750

Situmorang, R. D. R. (2020). *Perancangan dan Pembuatan Moulding Stamping untuk Pembuatan Produk Sesuai Spesifikasi di PT Hassani Can Packaging*. Retrieved from http://repository.upbatam.ac.id/id/eprint/2424%0Ahttp://repository.upbatam.ac.id/2424/1/cover s.d bab III.pdf

Tarigan, U., & Ginting, R. (2020). Pendekatan Metode DFMA (Design for Manufacture and Assembly) Pada Perancangan Produk Matras. *TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)*, *3*(2), 549–555. Retrieved from https://talentaconfseries.usu.ac.id/ee

Venkatean, G., & Palaniswamy, S. (2021). DFMA analysis of front axle assembly of an excavator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1059*(1), 012057. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1059/1/012057

Widodo, W. (2022). Alat Bantu Untuk Pembuatan Ulir Luar Dan Ulir Dalam. *Jurnal Rekayasa Mesin*, *13*(3), 741–749. https://doi.org/10.21776/jrm.v13i3.1127

Wilgen, B. W. van, Measey, J., Richardson, D. M., Wilson, J. R., & Zengeya, T. A. (2020). Biological Invasions in South Africa. In B. W. van Wilgen, J. Measey, D. M. Richardson, J. R. Wilson, & T. A. Zengeya (Eds.), *Biological Invasions in South Africa*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32394-3

Xin, T. J., Farizuan, R. M., Radhwan, H., Shayfull, Z., & Fathullah, M. (2019). *Redesign of drone remote control using design for manufacturing and assembly (DFMA) method*. 020159. https://doi.org/10.1063/1.5118167

Zhang, A., Wang, T., Liu, J., Liu, J., Chen, G., Yang, H., … Jin, L. (2023). Significant improvement in energy storage for BT ceramics via NBT composition regulation. *Journal of Alloys and Compounds*, *968*, 172255. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172255

Zulkarnain, M., & Sirait, G. (2020). Perancangan Alat Bantu Untuk Arranging Charger Outer Devices Crash Stop Di Pt Xyz. *Jurnal Commasie*, *3*(3), 12–21.