


PERANCANGAN ALAT BANTU PENCEKAMAN UNTUK MESIN CNC ROUTER 3 AXIS DI LABORATORIUM TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

Muhammad Abdur Rozaq¹, Ratnanto Fitriadi²

¹Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Tromol Pos1, Pabelan
Kartasura, Surakarta, Indonesia

²Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Ahmad Yani, Tromol Pos1, Pabelan
Kartasura, Surakarta, Indonesia

 abdurrozaqmuhamad8@gmail.com, ratnanto11@gmail.com

Abstrak. Dalam era industri 4.0, efisiensi dan fleksibilitas proses manufaktur menjadi kunci utama kompetitivitas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang pencekam (fixture) untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses pemesinan pada mesin CNC Router 3 Axis di Laboratorium Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta. Perancang ulang pencekam dilakukan dengan pendekatan sistematis meliputi tahapan studi pendahuluan, pengumpulan data, perancangan, pembuatan, dan pengujian alat menggunakan software SolidWorks dengan mengaplikasikan prinsip lokator 3-2-1 untuk menjamin stabilitas benda kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pencekam baru dapat mengurangi waktu setup dari 27,20 menit menjadi 9,88 menit. Selain itu, benda kerja yang dicekam menggunakan pencekam baru lebih stabil dan tidak terlepas karena matriks gaya bernilai positif. Desain pencekam yang baru berbeda dengan pencekam yang sudah ada karena mampu melakukan pemesinan untuk tiga komponen sekaligus.

Kata kunci: CNC Router, Alat Bantu PENCEKAMAN, Efisiensi Permesinan

PENDAHULUAN

Jig and Fixture merupakan istilah yang merujuk pada beberapa jenis peralatan yang digunakan dalam industri untuk memfasilitasi operasi produksi, khususnya yang



melibatkan mesin [1]. Jig adalah alat yang dibuat khusus untuk menahan dan memandu alat potong saat operasi, sedangkan fixture adalah perangkat yang berfungsi menahan, menopang dan menempatkan benda kerja agar tidak bergeser [2]. Dalam konteks era Industri 4.0 yang menuntut terciptanya pabrik-pabrik cerdas yang efisien dan fleksibel [3], optimalisasi penggunaan alat bantu produksi seperti fixture menjadi semakin krusial. Kunci pencapaian efisiensi ini terletak pada integrasi teknologi digital dan otomasi dalam proses manufaktur, di mana mesin Computer Numerical Control (CNC) sebagai mesin khusus yang memiliki sistem komputer terintegrasi memegang peranan penting [4].

Pada Laboratorium Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta, mesin CNC Router 3 Axis digunakan dalam praktikum Perancangan Teknik Industri 1 untuk memproduksi komponen mobil mainan dari bahan PVC foam. Namun implementasinya belum optimal, dengan potensi keseluruhan mesin yang belum sepenuhnya terealisasi. Observasi menunjukkan beberapa masalah kritis: proses pemesinan membutuhkan tiga kali setup terpisah yang memakan waktu cukup lama, benda kerja sering mengalami pergerakan dan tidak stabil selama proses pemesinan, serta sistem fixture yang ada belum mampu menangani multi-komponen secara simultan. Kondisi ini menyebabkan inefisiensi waktu, potensi kesalahan produksi, dan pemborosan material.

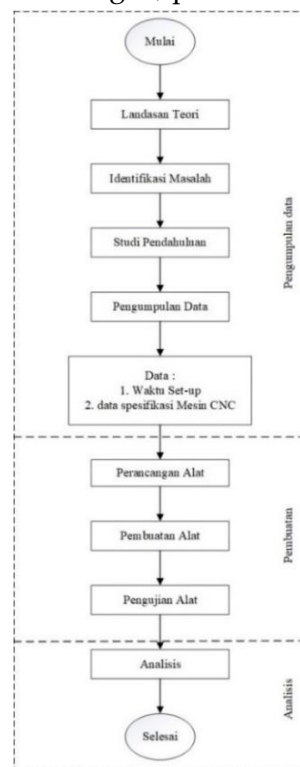
Kajian literatur menunjukkan bahwa optimasi sistem fixture dapat meningkatkan efisiensi mesin CNC hingga 35% [5]. Penelitian sebelumnya oleh Ba'ayafra dkk. [6] berfokus pada perancangan alat bantu welding, sementara Setiawan dkk. [2] mengkaji penerapan jig and fixture di industri manufaktur. Indrayati dkk. [7] mengembangkan jig and fixture untuk pengelasan, namun belum menyentuh optimasi fixture untuk mesin CNC Router 3 Axis dengan pendekatan multi-component setup. Adapun penelitian Rukma dkk. [8] tentang simulasi pemrograman CNC memberikan dasar untuk integrasi desain dan manufaktur. Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan ulang fixture dengan prinsip lokasi 3-2-1 dan kemampuan pemrosesan multi-komponen menggunakan SolidWorks.

Melalui penelitian ini, diharapkan sistem fixture baru yang dikembangkan mampu menyederhanakan proses setup menjadi satu kali untuk semua komponen, meningkatkan stabilitas benda kerja dengan mengurangi pergerakan hingga 50%, serta mengoptimalkan penggunaan mesin CNC Router 3 Axis di laboratorium. Solusi ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi praktikum PTI 1, tetapi juga memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan sistem manufaktur yang lebih efisien, khususnya di industri skala kecil dan menengah yang menghadapi tantangan serupa.



METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta, yang berlokasi di Gedung H Lantai 3 Sayap Barat, Jl. A. Yani No. 157, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah 57162. Fokus penelitian adalah proses pemesinan dalam praktikum Perancangan Teknik Industri 1, khususnya pada tahap set-up mesin CNC Router 3 Axis. Permasalahan utama terletak pada desain fixture yang belum optimal, menyebabkan waktu set-up yang lama dan ketidakstabilan benda kerja selama pemesinan. Proses penelitian mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1, dengan tiga tahap utama yaitu perancangan, pembuatan, dan pengujian.



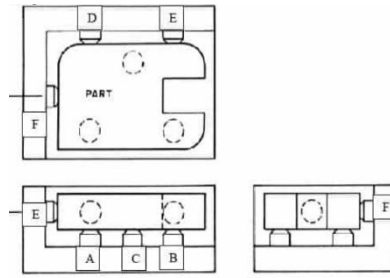
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Perancangan

Perancangan pencekam baru memperhatikan beberapa aspek yang dilakukan dengan cara identifikasi masalah awal, hingga menghitung gaya untuk melakukan pengujian rancangan pencekam pada mesin CNC. Mesin CNC memiliki tingkat ketelitian, ketepatan dan fleksibilitas yang tinggi [9]. Menurut Widiyanti dkk. [6] locator terdiri dari 2 jenis yaitu support dan stopper. Locator 3-2-1 juga sering dikenal sebagai prinsip enam titik. Dalam hal ini, benda kerja menempel pada 3-2-1 locator untuk mematikan 6 derajat kebebasan. Pada prinsip ini, 3 pin terletak pada bidang primer (menghilangkan 3 derajat kebebasan pada sumbu Z, rotasi sumbu X dan rotasi sumbu Y), 2 pin terletak pada bidang sekunder (menghilangkan 2 derajat kebebasan pada sumbu Y dan rotasi sumbu Z), dan 1



pin terletak pada bidang tersier (menghilangkan 1 derajat kebebasan pada sumbu X) [10]. Titik locator 3-2-1 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Titik Locator Prinsip 3-2-1

Gaya pencekam merupakan parameter kritis dalam proses pemesinan yang menentukan stabilitas benda kerja. Teknik ini penting untuk memastikan benda kerja tidak bergerak dan tetap akurat selama proses pemesinan berlangsung [10]. Gaya pencekaman dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$F_c = \frac{6156,6576 \times f_m \times D}{SS} \quad (1)$$

Keterangan,

F_c = Gaya pencekaman (N) SS = Kecepatan spindel (rpm)
 D = Diameter mata pahat (mm) f_m = Kecepatan pemakanan (cm/s)

Selain gaya pencekaman, ada dua gaya lainnya yang mempengaruhi dalam pembuatan pencekamyaitu gaya peletakan dan gaya pemesinan. Proses pemesinan dapat dibagi menjadi 3 tahap yaitu tahap penempatan, pencekaman dan pemesinan. Berikut formulasi yang digunakan dalam 3 tahap tersebut:

Tahap Penempatan

Gaya penempatan bekerja secara langsung melawan dari arah berlawanan dengan arah gaya locator. Persamaan (2) merupakan rumus untuk menghitung gaya penempatan

$$F_p = -W_p^{-1} \cdot w_1 \cdot f_1 \quad (2)$$

Keterangan,

F_p = Matriks gaya pada locator w_1 = Matriks arah gaya penempatan
 W_p = Matriks arah gaya f_1 = Matriks gaya penempatan

Tahap pencekaman

Gaya pencekaman bekerja untuk menekan benda kerja dan searah dengan gaya peletakan, persamaan (3) merupakan rumus untuk menghitung gaya pencekaman.

$$F_p = -W_p^{-1} \cdot w_a \cdot f_a \quad (3)$$

Keterangan,

w_a = Matriks arah gaya pencekam f_a = Matriks gaya pencekam

Tahap pemesinan



Tahap pemesinan dilakukan untuk menguji dan memeriksa apakah locator dan benda kerja terdapat kontak atau tidak saat melakukan pemesinan. Persamaan gaya dapat dilihat pada persamaan (4).

$$F_p = -W_p^{-1} \cdot w_k \cdot f_k \quad (4)$$

Keterangan,

w_k = Matriks arah gaya pemesinan f_k = Matriks gaya pemesinan

Formulasi diatas jika didapatkan hasil akhir non-negatif untuk nilai F_p maka dapat dinyatakan benda dalam keadaan seimbang dan terdapat kontak [11]. Safety factor merupakan faktor yang menjadi indikator untuk mengevaluasi sebuah desain apakah material atau kontruksi yang digunakan sudah aman atau belum untuk menahan beban sehingga desain terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum [12]. Perhitungan safety factor menggunakan persamaan (5).

$$s_f = \frac{S_y}{\sigma_e} \quad (5)$$

Keterangan,

s_f = Safety factor σ_e = Von misses (Mpa)
 S_y = Yield stenght (Mpa)

Pembuatan

Pembuatan pencekam pada penelitian ini diuraikan dengan membuat Lembar Rencana Proses, Bill of Material (BOM), dan Assembly Process Chart (APC). Lembar Rencana Proses merupakan representasi dalam bentuk tabular yang menyatakan urutan-urutan operasi beserta parameternya dalam pembuatan part dari suatu produk. Lembar rencana proses sangat dibutuhkan dalam proses perancangan produk sebelum dilakukan produksi [13]. Sedangkan pengertian dari BOM adalah daftar komponen yang lengkap, formal, dan terstruktur yang mencantumkan keanggotaan hierarkis dan menyangkut tentang kebutuhan material yang meliputi hubungan kuantitas dari bahan baku ke bagian, komponen hingga produk akhir [14]. APC merupakan peta kerja yang menggambarkan langkah-langkah dan hubungan antara komponen-komponen yang akan dirakit menjadi sebuah produk [15].

Implementasi

Implementasi pencekam baru dilakukan dengan cara melakukan perbandingan dengan pencekam yang lama dengan menggunakan metode time study. Time study adalah teknik pengukuran pekerjaan dengan cara pengumpulan data berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan [16]. Menurut Sumerli dan Mayselah [17], dalam melakukan perhitungan time study dapat dilakukan dengan beberapa tahap di antaranya sebagai berikut: melakukan pengukuran kerja, melakukan pengumpulan data waktu, melakukan uji keseragaman data, melakukan uji kecukupan data,



menentukan faktor penyesuaian, menghitung waktu normal, menentukan faktor kelonggaran, menentukan waktu baku atau waktu standar. Uji keseragaman data merupakan metode evaluasi penting yang menilai apakah data yang dikumpulkan berada dalam batas kendali yang ditetapkan. Proses ini bergantung pada rumus khusus yang dirancang untuk menganalisis distribusi dan konsistensi data [18].

HASIL

Identifikasi kebutuhan

Berdasarkan observasi awal di Laboratorium Teknik Industri UMS, ditemukan beberapa permasalahan pada sistem pencekam yang ada, yaitu:

1. Waktu *set-up* yang lama karena proses dilakukan sebanyak 3 kali untuk komponen yang berbeda (*body, vender, dan chasis*).
2. Belum adanya *stopper* tetap untuk penempatan material dan koordinat titik nol.
3. Terjadinya pergerakan benda kerja pada saat proses pemesinan
4. Kesulitan dalam memastikan posisi yang konsisten antar kelompok praktikum.

Kebutuhan untuk alat bantu pencekam yang baru meliputi:

1. *Baseplate* dengan desain *locator* 3-2-1 untuk stabilitas benda kerja
2. Sistem pencekaman yang lebih kuat
3. Penempatan yang memungkinkan setup satu kali untuk semua komponen
4. Material yang tidak merusak mata pahat jika terjadi kesalahan

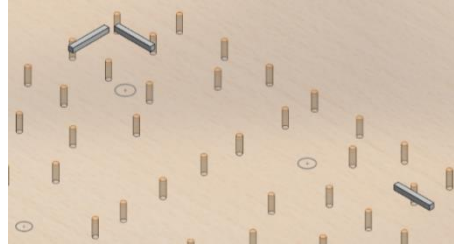
Setelah ditemukannya kebutuhan untuk alat bantu pencekaman yang baru, kemudian dilakukan perancangan alat dengan 3 komponen utama yaitu *baseplate, stopper, dan clamp*. *Baseplate* dengan dimensi 70×50×1 cm yang dilengkapi dengan lubang M6 untuk penempatan *clamping*. Material yang digunakan adalah *High Moisture Resistant* (HMR) yang dipilih untuk meminimalkan kerusakan pada mata pahat. Alasan penggunaan material HMR adalah karena kemampuannya yang tahan terhadap kelembaban, kuat untuk menahan gaya pemesinan, dan tidak terlalu keras sehingga tidak cepat merusak mata pahat jika terjadi kesalahan proses. Rancangan *baseplate* dapat dilihat di Gambar 3.



Gambar 1. Rancangan *Baseplate*

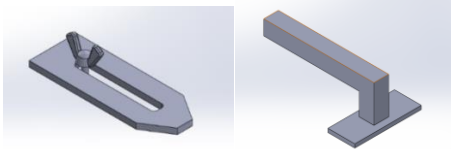


Stopper sebagai titik referensi peletakan benda kerja dengan prinsip *locator* 3-2-1. Tiga *locator* digunakan untuk menopang benda kerja di *baseplate*, dengan dua *locator* pada sumbu X (kanan-kiri) dan satu pada sumbu Y (depan-belakang). Rancangan *stopper* disajikan di Gambar 4.

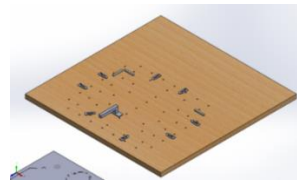


Gambar 2. Rancangan *Stopper*

Screw clamp merupakan jenis *clamping* yang dipilih, jenis tersebut dipilih karena pengoperasiannya yang sederhana dan kontrol tekanan yang mudah. Selain *clamp*, alat bantu tambahan berupa hand pressure digunakan untuk menekan benda kerja selama proses pemesinan. Rancangan *clamp* dapat dilihat di Gambar 5, sedangkan rancangan pengecam baru secara keseluruhan dapat dilihat di Gambar 6.



Gambar 3. Rancangan *Clamp*



Gambar 4. Rancangan Keseluruhan Produk

Pengujian alat

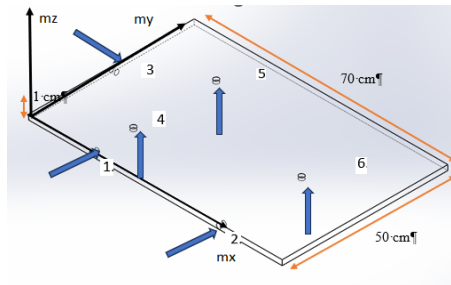
Perhitungan matriks dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas desain dengan menganalisis titik penentu lokasi, memastikan semua hasil tetap non-negatif, dengan demikian memastikan integritas dan efektivitas desain dipertahankan selama proses penilaian.

1. Analisis matriks pengecaman

Perhitungan matriks digunakan untuk mengevaluasi kualitas desain dengan menganalisis titik penentu lokasi. Untuk pengecam lama, perhitungan matriks pengecaman menunjukkan beberapa nilai F_p yang negatif, yang mengindikasikan ketidakstabilan dan potensi benda kerja terlepas selama proses pemesinan.

Untuk pengecam baru, analisis dilakukan untuk tiga bagian utama: *body*, *chasis*, dan *vender*. Berikut adalah contoh perhitungan analisis matriks pengecaman untuk bagian *body*.





Gambar 5. Titik Locator

Dari Gambar 7, dapat diketahui lokasi titik-titik *locator* pada Tabel 1 yang akan dikonversi ke dalam matriks W_p . Proses konversi ini penting untuk melakukan perhitungan f_p . Perhitungan f_p sendiri sangat krusial dalam menganalisis apakah benda dan *locator* berada dalam kontak atau tidak. Tabel 1 menunjukkan titik *locator* yang diperoleh dari perhitungan, sedangkan Tabel 2 merupakan matriks arah gaya pada *locator*.

Tabel 1. Titik *Locator* Full

Sumbu	X	Y	Z
Titik 1	250	0	5
Titik 2	500	0	5
Titik 3	0	250	5
Titik 4	250	166	0
Titik 5	500	166	0
Titik 6	350	33	0

Tabel 2. Matriks Arah Gaya pada *Locator*

	W1	W2	W3	W4	W5	W6
W_p	n_x	0	0,00	1	0	0,00
	n_y	1	1,00	0	0	0,00
	m_z	250	500,00	-250	0	0,00
	n_z	0	0,00	0	1	1,00
	m_x	-5	-5,00	0	166	166, 333,00
	m_y	0	0,00	5	-250	-500 -350,00

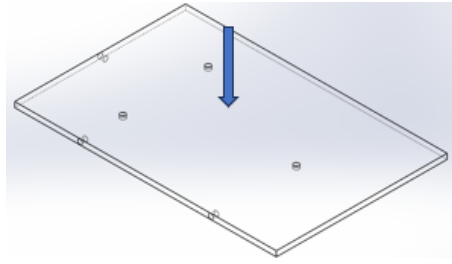
Setelah selesai dengan perhitungan matriks w_p , langkah selanjutnya adalah menghitung invers dari matriks tersebut, yaitu $-W_p^{-1}$ yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Invers Arah Gaya pada *Locator*

	W1	W2	W3	W4	W5	W6
$-W_p^{-1}$	n_x	1,00	-2,00	0,00	0,00	0,00
	n_y	-1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	m_z	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	n_z	0,02	0,02	0,00	-2,60	0,00
	m_x	-0,02	0,01	0,00	0,60	0,00
	m_y	0,00	-0,03	0,00	0,99	-0,01

Setelah itu, langkah selanjutnya adalah menghitung matriks w_l (arah gaya penempatan) dan matriks f_l (gaya penempatan). Kedua matriks ini sangat penting dalam analisis yang akan dilakukan. Gambar 8 menunjukkan Arah gaya penempatan dan matriks pada Tabel 4 dan Tabel 5.





Gambar 6. Arah Gaya Penempatan

Tabel 4. Matriks Arah Gaya Penempatan				Tabel 5. Matriks Gaya Penempatan									
	w ₁	w ₂	w ₃		nx	ny	mz	nz	mx	my			
w ₁	nx	0,00	0,00	0,00	f ₁	0,0	0,0	0,0	49	49	49		
	ny	0,00	0,00	0,00		0	0	0					
	mz	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,0				0,0	0,0
	nz	-1,00	0,00	0,00		0	0	0				0	0
	mx	-250,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,0				0,0	0,0
	my	350,00	0,00	0,00		0	0	0				0	0

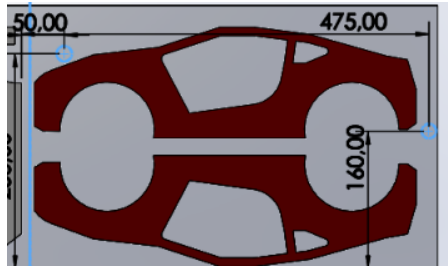
Setelah matriks $-W_p^{-1} \cdot w_l \cdot f_l$ selesai, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai (fp) dengan cara mengalikan ketiga matriks tersebut. Tabel 6 menunjukkan hasil dari matriks (fp).

Tabel 6. Matriks Gaya pada Locator							
		nx	ny	mz	nz	mx	my
$-W_p^{-1}$	f ₁	1,00	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	f ₂	-1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	f ₃	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	f ₄	0,02	0,02	0,00	-2,60	0,00	0,00
	f ₅	-0,02	0,01	0,00	0,60	0,00	0,00
	f ₆	0,00	-0,03	0,00	0,99	-0,01	0,00

Nilai Fp yang non-negatif menunjukkan bahwa terjadi kontak antara benda kerja dan locator saat benda kerja ditempatkan. Dalam kondisi ini, benda kerja berada dalam keadaan seimbang, di mana gaya yang diterima oleh locator mampu menahan gaya berat dari benda kerja tersebut. Pemahaman mengenai interaksi ini sangat penting untuk memastikan stabilitas dan keamanan dalam proses penanganan benda kerja. Kemudian dilakukan perhitungan matriks penempatan setiap part-nya dengan langkah yang sama.

Perhitungan gaya penempatan dibagi menjadi 3 section gaya penempatan pada *body*, *chasis* dan *underframe*. Besar gaya penempatan yang diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan (1) adalah 738.79 Newton.





Gambar 7. Pembagian Letak Titik Clamping

Dari Gambar 9, dapat diketahui lokasi titik-titik pencekaman pada Tabel 7 yang akan dikonversi ke dalam matriks W_a dan F_a . Proses konversi ini penting untuk melakukan perhitungan f_p . Perhitungan f_p sendiri sangat krusial dalam menganalisis apakah benda dan *locator* berada dalam kontak atau tidak. Tabel 7 menunjukkan hasil titik *locator* yang diperoleh dari perhitungan. Untuk matriks arah gaya penempatan dan gaya pecekaman dapat dilihat di Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 7. Titik Clamping Body				Tabel 8. Matriks Arah Gaya Penempatan			Tabel 9. Matriks Gaya Penempatan								
Sumb	X	Y	Z	u	w ₁	w ₂	F _a	f ₁	f ₂	nx	ny	mz	nz	mx	my
Titik 1	50	25	0							Wa	nx	0	0	0,00	0,00
Titik 2	47	16	0		ny	0	0								
	5	0	0		mz	0	0								
					nz	-1	-1								
					mx	-250	-160								
					my	50	475								

Setelah matriks $w_l \cdot f_l$ selesai, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai (f_p) dengan cara mengalikan kedua matriks tersebut dengan matriks $-W_p^{-1}$ yang telah dihitung pada tahap penempatan. Tabel 10 menunjukkan hasil dari matriks (f_p).

Tabel 10. Matriks Gaya pada Locator

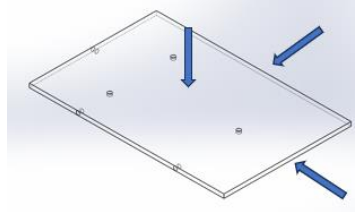
		nx	ny	mz	nz	mx	my
F _p	f ₁	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	f ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	f ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	f ₄	0,00	0,00	0,00	628,85	628,85	628,85
	f ₅	0,00	0,00	0,00	839,93	839,93	839,93
	f ₆	0,00	0,00	0,00	8,80	8,80	8,80

Nilai F_p yang non-negatif menunjukkan bahwa terjadi kontak antara benda kerja dan *locator* saat benda kerja dilakukan pencekaman. Dalam kondisi ini, benda kerja berada dalam keadaan seimbang, di mana gaya yang diterima oleh *locator* mampu menahan gaya berat dari pencekaman tersebut. Pemahaman mengenai interaksi ini sangat



penting untuk memastikan stabilitas dan keamanan dalam proses penanganan benda kerja.

Pada tahap pemresinan ini setiap *locator* diuji apakah terjadi kontak dan bekerja dengan benda kerja selama tahap pemresinan ini. Pada tahap pemresinan ini juga dibagi menjadi 3 *section* sama seperti pada tahap pengecaman. Gambar untuk perhitungan matriks gaya pemresinan disajikan di Gambar 10.



Gambar 8. Arah Gaya Pemresinan

Dari Gambar 10, dapat diketahui arah gaya pemresinan yang akan dikonversi ke dalam matriks W_k dan F_k . Proses konversi ini penting untuk melakukan perhitungan f_p . Perhitungan f_p sendiri sangat krusial dalam menganalisis apakah benda dan *locator* berada dalam kontak atau tidak. Tabel 11 menunjukkan titik *locator* yang diperoleh dari perhitungan, sedangkan Tabel 12 adalah matriks gaya pemresinan.

Tabel 11. Matriks Arah Gaya Pemresinan

		w_1	w_2	w_3
w_k	n_x	-1,00	0,00	0,00
	n_y	0,00	-1,00	0,00
	m_z	160,00	-245,00	0,00
	n_z	0,00	0,00	-1,00
	m_x	0,00	5,00	-160,00
	m_y	-5,00	0,00	245,00

Tabel 12. Matriks Gaya Pemresinan

	n_x	n_y	m_z	n_z	m_x	m_y
f_1	738,79	0,00	738,79	0,00	0,00	738,79
F_k f_2	0,00	738,79	738,79	0,00	738,79	0,00
f_3	0,00	0,00	0,00	738,79	738,79	738,79

Setelah matriks $w_k \cdot f_k$ selesai, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai (f_p) dengan cara mengalikan kedua matriks tersebut dengan matriks $-W_p^{-1}$ yang telah dihitung pada tahap penempatan. Tabel 13 menunjukkan hasil dari matriks (f_p).



Tabel 13. Matriks Gaya pada *Locator*

	nx	ny	mz	nz	mx	my
f ₁	0,00	369,40	369,40	0,00	369,40	0,00
f ₂	0,00	369,40	369,40	0,00	369,40	0,00
F _p f ₃	738,79	0,00	738,79	0,00	0,00	738,79
f ₄	0,00	0,00	0,00	184,70	184,70	184,70
f ₅	0,00	0,00	0,00	184,70	184,70	184,70
f ₆	0,00	0,00	0,00	369,40	369,40	369,40

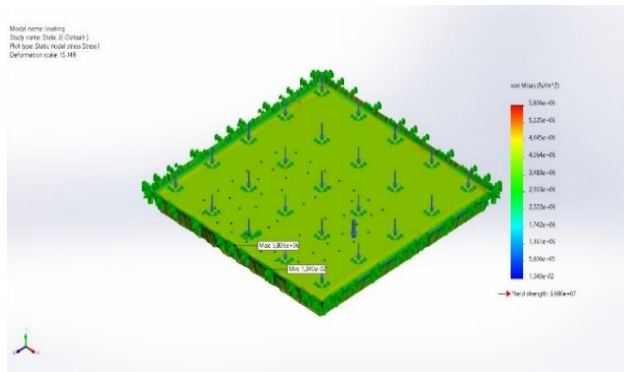
Nilai F_p yang non-negatif menunjukkan bahwa terjadi kontak antara benda kerja dan *locator* saat benda kerja dilakukan pemesinan. Dalam kondisi ini, benda kerja berada dalam keadaan seimbang, di mana gaya yang diterima oleh *locator* mampu menahan gaya pemesinan tersebut. Dapat dilihat bahwa nilai F_p bernilai non-negatif pada setiap section *body*, *chasis*, dan *vender*. Sehingga usulan pencekam dapat digunakan.

2. Safety factor

Dalam penelitian kali ini *safety factor* diukur menggunakan *software* SolidWorks, dengan memasukkan yield strenght HMR sebesar 39,8 Mp [19]. Sebelum menghitung *safety factor* dilakukan pengujian *von misses* menggunakan Solidworks. Tabel 14 menunjukkan hasil dari *von misses*.

Tabel 14. Von Misses

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: <i>von misses</i> stress	1,340e-02N/mm ² Node: 25791	5,806e+06N/mm ² Node: 46340



Leveling-Static 3-Stress-Stress1

Setelah *von misses* diketahui dan diambil maksimumnya selanjutnya menghitung *safety factor* dan didapatkan nilai *safety factor* sebesar 6,699. Jika *safety factor* < dari 1 maka komponen dinyatakan tidak aman, dan jika *safety factor* > dari 1 maka komponen dinyatakan aman. Dari hasil salah satu gaya geser tersebut, *safety factor* yang didapatkan sebesar 6,699 MPa dan > dari 1 maka komponen tersebut dinyatakan aman.

Selain keamanan material keamanan untuk user juga dipertimbangkan yaitu dengan adanya *clamping* tambahan (*hand pressure*), Gambar 11 merupakan visualisasi keamanan sesudah dan sebelum menggunakan *clamping* tambahan. Dengan adanya *Clamping* tambahan tangan dari



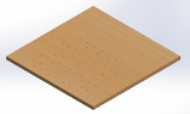
operator lebih terjaga keamanannya karena tidak langsung bersentuhan dengan material dan jauh dari mata pahat yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja.



Gambar 9. Sebelum dan Sesudah Penggunaan *Clamping* Tambahan

Pembuatan alat

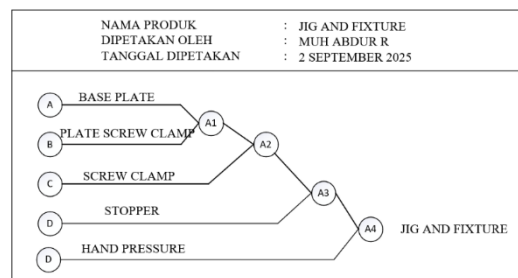
Berdasarkan desain yang telah dirancang, dan dinyatakan memenuhi persyaratan berdasarkan analisis matriks, kemudian dilakukan pembuatan alat. Proses pembuatan alat dijabarkan menggunakan lembar rencana proses, *bill of material*, dan *assembly process chart*.

PP-01 LEMBAR RENCANA PROSES											
Nama : JIG & FIXTURE			Halaman Ke- : 1/5		File gambar :						
No. Part : 1			Material : HMR								
Nama Part : BASE PLATE			Ukuran							Panjang : 2440 mm	
Dibuat Oleh :										Lebar : 1220 mm	
Tanggal : 4 Maret 2025										Tinggi : 10 mm	
No. Proses	Uraian Operasi	Stasiun Kerja	Set Up		Feed Rate (mm/m)	Spindle Speed (rpm)	Waktu Set Up (m)	Waktu Proses (m)	Waktu Total (m)		
			Alat Bantu	Tools							
1.	Membuat marking dengan ukuran Panjang 1200 x 1200	Kerja Bangku	Mistar	Pensil	-	-	5.00	20.00	25.00		
2.	Pemotongan HMR sesuai ukuran menggunakan mesin CNC.	CNC	Clamp	Flat Mill 8 mm	480	24000	15.00	60.00	75.00		
3.	Pengcleman HMR.	Kerja Bangku		Lem			10.00	720.00	730.00		
4.	Pelubangan HMR.	CNC	Clamp	Flat Mill 8 mm	480	24000	10.00	120.00	130.00		
Waktu Total Pembuatan Base Plate (m)									960.00		

Gambar 10. LRP Baseplate

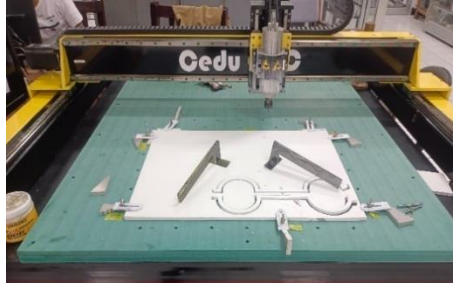
Tabel 15. *Bill of Material*

Part Number	Description	Desicio n	Quantit y
A	Jig and Fixture	Dirakit	2
A.1	Baseplate	Dibuat	2
A.2	Plate Screw Clamp	Dibuat	16
A.3	Screw Clamp	Dibeli	16
A.4	Stopper	Dibuat	6
A.5	Hand Pressure	Dibuat	2



Gambar 11. *Assembly Process Chart*

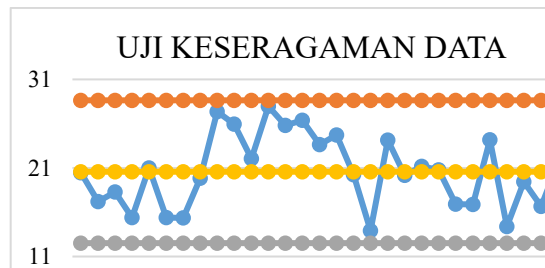




Gambar 12. Produk Jadi

Implementasi

Implementasi dan pengujian alat dilakukan dengan mengambil data waktu *set-up* dari pengecam yang lama dan baru. Setelah data didapatkan maka data waktu akan dilakukan pengujian menggunakan *time study*. Diperoleh hasil nilai BKA sebesar 28,64 dan BKB sebesar 12,51. Gambar 15 menunjukkan bahwa data berada dalam batas kendali.



Gambar 13. Grafik Keseragaman Data Waktu Set Up Pengecam Lama

Tabel 16. Uji Kecukupan Data Waktu Set Up Pengecam Lama

Keterangan	Nilai
$\sum X$	617,218
$\sum X^2$	13169,819
$(\sum X)^2$	380958,06
N	30
N'	23,19

Berdasarkan hasil perhitungan kecukupan data pada Tabel 4, nilai $N' < N$ maka dapat disimpulkan bahwa data cukup. Dimana $N' < N$ adalah data dianggap layak. Perhitungan waktu baku diperoleh dari perkalian faktor penyesuaian dan faktor kelonggaran yang diambil dari penelitian Sutaarga dan Setiawan [20], dengan nilai faktor penyesuaian 1.13 dan kelonggaran 17.

Tabel 17. Rekapitulasi Waktu Baku dan Normal Pengecam

No	Elemen Kerja	Waktu Baku	Waktu Baku
		Pengecam Lama (menit)	Pengecam Baru (menit)
1	Menyiapkan bahan	1,36	0,49
2	Meletakkan bahan pda meja kerja	2,72	0,99
3	Proses <i>clamping</i>	4,08	1,48
4	Penyesuainain titik koordinat	8,16	2,96
5	Cek <i>clamping</i>	10,88	3,95
Total		27,20	9,88



Diketahui waktu baku dari *set-up* pencekam lama adalah 27.20 menit jika dihitung untuk 30 kelompok maka waktu baku x jumlah kelompok, 27.20×30 maka dihasilkan waktu sebesar 816.02 menit atau 14 jam. Jadi didapatkan untuk pengerjaan 30 kelompok memerlukan waktu *set-up* sebesar 14 jam waktu baku dari *set-up* pencekam baru adalah 9.88 menit jika dihitung untuk 30 kelompok maka waktu baku dikali dengan jumlah kelompok, 9.88×30 maka dihasilkan waktu sebesar 296.28 menit atau 5 jam. Jadi didapatkan untuk pengerjaan 30 kelompok memerlukan waktu *set-up* dengan pencekam baru sebesar 5 jam dan ada penurunan 9 Jam untuk waktu *set-up*-nya.

PEMBAHASAN

Masalah utama yang ditemukan pada sistem pencekaman lama menunjukkan bahwa operasi pemesinan untuk beberapa komponen sekaligus membutuhkan pendekatan yang lebih efisien. Waktu *set-up* yang mencapai 27,20 menit untuk setiap siklus kerja menunjukkan adanya *inefisiensi* yang signifikan dalam proses manufaktur. Temuan ini sejalan dengan penelitian Setiawan et al. (2023) yang menekankan pentingnya penerapan jig & fixture pada produksi massal untuk meningkatkan efisiensi proses [2]. Penggunaan prinsip lokator 3-2-1 dalam merancang sistem pencekaman baru merupakan solusi yang tepat karena prinsip ini dapat mengontrol enam derajat kebebasan benda kerja dengan optimal, sesuai dengan konsep dasar yang dijelaskan oleh Pandit (2022) dalam desain jig and fixture [1]. Pemilihan material High Moisture Resistant (HMR) untuk baseplate juga merupakan keputusan yang strategis karena sifat material yang relatif lunak dapat melindungi mata pahat dari kerusakan jika terjadi kesalahan proses. Hasil penelitian Intan et al. (2023) menunjukkan bahwa material HMR memiliki sifat fisis dan mekanik yang lebih baik dibandingkan MDF konvensional, dengan kekuatan *yield* 39,8 MPa yang menghasilkan *safety factor* 6,699 sehingga memenuhi standar keamanan yang diperlukan [19].

Validasi desain menggunakan analisis matriks pencekaman menunjukkan bahwa sistem yang dirancang memiliki stabilitas yang baik. Hasil perhitungan yang menunjukkan semua nilai F_p bernilai positif mengindikasikan bahwa sistem pencekaman baru dapat menjaga kestabilan benda kerja selama proses pemesinan. Hal ini berbeda dengan sistem pencekaman lama yang menghasilkan nilai F_p negatif, yang menunjukkan potensi benda kerja dapat bergeser selama proses berlangsung. Gaya pencekaman sebesar 738,79 Newton yang diperoleh dari perhitungan menunjukkan bahwa sistem mampu menahan gaya pemesinan yang diaplikasikan. Pendekatan ini sejalan dengan metodologi yang dikembangkan oleh Azis dan Fitriadi (2019) dalam



perancangan modular jig and fixture untuk mesin mini CNC router [11]. Penurunan waktu set-up dari 27,20 menit menjadi 9,88 menit atau berkurang sebesar 63,68% merupakan peningkatan yang sangat signifikan. Analisis waktu ini dilakukan menggunakan metode time study sebagaimana yang diterapkan oleh Gusdhiarto dan Nugroho (2023) untuk mengevaluasi produktivitas dalam proses manufaktur [16]. Kemampuan sistem untuk mengakomodasi ketiga komponen dalam satu kali setup mengurangi waktu yang terbuang untuk perpindahan dan menunggu, sedangkan penambahan hand pressure sebagai pencekam tambahan meningkatkan keselamatan operator dengan menjauhkan tangan dari area cutting tool.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam beberapa aspek, yaitu berhasil menerapkan prinsip 3-2-1 locator dalam konteks pemesinan multi-komponen dan menggunakan material HMR sebagai inovasi untuk melindungi cutting tool. Hasil ini mendukung temuan Ferdian et al. (2024) yang menunjukkan bahwa perancangan fixture yang tepat dapat meningkatkan produktivitas secara signifikan [12]. Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Analisis matriks pencekaman yang dilakukan bersifat statis dan belum mempertimbangkan efek dinamis yang mungkin terjadi saat proses pemesinan berlangsung. Selain itu, pengujian dilakukan dalam lingkungan laboratorium yang mungkin tidak sepenuhnya mewakili kondisi produksi di industri. Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan validasi empiris melalui pengukuran perpindahan dan getaran selama operasi pemesinan aktual. Penentuan waktu baku menggunakan metode stopwatch time study dengan faktor penyesuaian 1,13 dan kelonggaran 17% sesuai dengan penelitian Sutaarga dan Setiawan (2021) menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat memberikan hasil yang akurat dalam mengevaluasi efisiensi proses [20]. Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis yang penting untuk industri manufaktur, terutama untuk produksi batch kecil hingga menengah di mana optimalisasi waktu setup menjadi faktor kritis, dengan metodologi yang dapat diadaptasi untuk berbagai aplikasi pemesinan dengan karakteristik benda kerja yang serupa.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan alat bantu pencekam baru untuk mesin CNC Router 3 Axis di Laboratorium Teknik Industri UMS. Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan pada waktu setup dari 27,20 menit menjadi 9,88 menit per kelompok, sehingga untuk 30 kelompok terjadi penurunan total waktu setup dari 14 jam menjadi 5 jam serta tidak terdapat pergerakan benda kerja. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah pengembangan sistem alat bantu pencekam yang mengaplikasikan prinsip *locator* 3-2-1 untuk menjamin stabilitas benda kerja selama proses pemesinan. Sistem ini berhasil



menyederhanakan proses setup yang sebelumnya dilakukan tiga kali menjadi hanya satu kali, meningkatkan efisiensi waktu dan akurasi hasil pemesinan.

Batasan dalam penelitian ini adalah fokus pada produk mobil mainan dengan material PVC foam, sehingga untuk aplikasi pada material dan produk lain perlu dilakukan penyesuaian. Selain itu, penelitian ini hanya berfokus pada aspek teknis dan belum mempertimbangkan aspek ekonomis secara menyeluruh. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk melakukan perbaikan pada alat bantu hand pressure dengan mempertimbangkan aspek ergonomi dan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Penelitian juga dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan sistem pencekam dengan *software Computer-Aided Manufacturing (CAM)* untuk otomatisasi penentuan titik referensi. Selain itu, analisis ekonomi dapat dilakukan untuk mengevaluasi penghematan biaya dari implementasi pencekam baru, termasuk penghematan material akibat penurunan tingkat kegagalan produksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Pertama, terima kasih kepada Laboratorium Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah menyediakan fasilitas dan akses untuk melakukan observasi serta pengujian sistem pencekaman. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh staff dan teknisi laboratorium yang telah membantu dalam proses pembuatan dan implementasi alat bantu pencekaman. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan masukan konstruktif dan saran perbaikan selama proses penelitian berlangsung. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan moral dan teknis dalam penyelesaian penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang manufaktur dan teknik industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H.C. Pandit, *Jigs and Fixtures in Manufacturing*, 2022.
- [2] Setiawan, Indra, R. Setiawan, R. Zahabiyah, T. D. Lestari, V. W. Triantoro, V. Farrel, Y. A. Haryanto, and W. Y. Puspita, "Penerapan Jig & Fixture pada Produksi Massal di Industri Manufaktur," *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, vol. 7, no. 2, pp. 104, 2023.
- [3] A. Deni, *Manajemen Strategi di Era Industri 4.0*. 2023.
- [4] R. Ramdani, "Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini 3 Axis," *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 134-145, 2024.



- [5] H. Purnomo, R. Sari, and A. Wibowo, "Optimasi Sistem *Fixture* untuk Peningkatan Produktivitas Mesin CNC Router," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 20, no. 1, pp. 45-57, 2021.
- [6] A. B. Widiyanti, D. Z. Wati, F. V. Sitanggang, M. F. N. Azizi, and P. W. Laksono, "Rancangan Alat Bantu Proses Welding Produk Rangka H (Studi Kasus: Lab Perencanaan dan Perancangan Produk FT UNS)," in Seminar dan Konferensi Nasional IDEC, 2022.
- [7] M. P. Indrayati, R. Djoenaidi, and A. Setiawan, "Jig and *Fixture* Pengelasan Sudut Siku Ukuran Lebar Profil (3-60 mm) di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang," *J. Energi Teknol. Manufaktur (JETM)*, vol. 4, no. 2, pp. 17-20, 2021.
- [8] A. Rukma, A. M. Irfan, A. P. Ashar, Djuanda, and M. Z. Muhsin, "Pelatihan Simulasi untuk Program NC dengan CAD/CAM *Software* Mastercam X5 bagi Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNM," *Vokatek: J. Pengabdian Masyarakat*, vol. 1, no. 3, pp. 366-377, 2023.
- [9] A. B. Hendrawan and M. T. Qurohman, "Desain Mesin CNC Router 3 Axis Berbantu Perangkat Lunak Autodesk Inventor," *Nozzle: J. Mech. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 1-5, 2021.
- [10] F. R. Ramdhan et al., "Optimalisasi Perancangan *Fixture* Permesinan Komponen Utama Bantalan Sling Menggunakan Pneumatic System," in *Proc.*, pp. 1-10, 2023.
- [11] D. C. Azis and R. Fitriadi, "Perancangan Modular Jig and *Fixture* untuk Mesin Mini CNC Router 3 Axis," 2019.
- [12] R. Ferdian, B. Basuki, L. D. Setyana, and A. Hendaryanto, "Perancangan *Fixture* pada Proses Finishing Gerinda Tangan sebagai Peningkatan Produktivitas Produk Spindle Knuckle D40L di PT Manggala Perkasa Engineering," *J. Mek. Terapan*, vol. 5, no. 1, pp. 25-33, 2024.
- [13] H. I. Kusuma and H. Purnomo, "Analisis Perancangan Stasiun Kerja dalam Memproduksi Produk Inalcafa Jacket dengan Lima Metode Line Balancing," *G-Tech: J. Teknol. Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 546-553, 2024.
- [14] F. Howay, H. Ashad, and Watono, "Material Requirement Planning (MRP) pada Pekerjaan Proyek Peningkatan Jalan Klasari-Wonosobo Kabupaten Sorong," *Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 6141, pp. 340-355, 2025.
- [15] A. Nasution et al., "Perbaikan Produk Helm dengan Menggunakan Metode Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)," *TALENTA Conference Series: Energy & Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 84-94, 2022.
- [16] F. Gusdhiarto and A. J. Nugroho, "Analisis Waktu Standar guna Mengevaluasi Produktivitas Pencetakan Batako Menggunakan Metode Time Study," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 375-389, 2023.
- [17] C. H. Sumerli and N. Mayselah, "Optimalisasi Produktivitas dengan Metode Time and Motion Study di PT. XYZ," *Journal of Research on Industrial and System Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1-12, 2023.



- [18] A. Wahid and A. Chumaidi, "Penentuan Waktu Baku dengan Metode Stopwatch Time Study Proses Produksi Manifold (UD. Jaya Motor Pasuruan)," *Journal Knowledge Industrial Engineering (JKIE)*, vol. 7, no. 2, pp. 54–60, 2020.
- [19] F. A. Intan, P. F. S. Ramlan, and A. Johan, "Perbandingan sifat fisis dan mekanik pada bahan Medium Density Fibreboard (MDF) dan High Moisture Resistant (HMR) menggunakan Zwick Roell Z005," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 25, no. 3, pp. 242–248, 2023.
- [20] O. Sutaarga and A. Setiawan, "Penentuan waktu baku dalam pengecekan bonding sampel sepatu pada PT. Ching Luh Indonesia (Determine standard time for shoes bonding sample inspection at PT. Ching Luh Indonesia)," *Journal Industrial Manufacturing*, vol. 6, no. 1, pp. 19–26, 2021.

