

Perancangan Alat Bantu Pencekaman Untuk Mesin CNC Router 3 Axis di Laboratorium Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta

Bayu Ahmad Wicaksono, Muhammad Abdur Rozaq,
Ratnanto Fitriadi

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta Jl.

A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102

Email : d600210179@student.ums.ac.id , ratnanto_fitriadi@ums.ac.id

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

Abstract

In the era of industry 4.0, efficiency and flexibility of the manufacturing process are the main keys to competitiveness. This study aims to redesign the fixture to improve the efficiency and accuracy of the machining process on the 3 Axis CNC Router machine at the Industrial Engineering Laboratory of the Muhammadiyah University of Surakarta. The redesign of the fixture was carried out with a systematic approach including the stages of preliminary studies, data collection, design, manufacture, and testing of tools using SolidWorks software by applying the 3-2-1 locator principle to ensure the stability of the workpiece. The results showed that the use of the new fixture decreased the setup time from 27.20 minutes to 9.88 minutes. In addition, the workpiece gripped using the new fixture was more stable and did not come loose because the force matrix had a positive value. The design of the new fixture is different from the existing fixture because it is capable of machining 3 components at once.

Keywords: CNC Router, Clamping Tool, Machining Efficiency

1. PENDAHULUAN

Jig and Fixture merupakan istilah yang merujuk pada beberapa jenis peralatan yang digunakan dalam industri untuk memfasilitasi operasi produksi, khususnya yang melibatkan mesin (Pandit 2022). *Jig* adalah alat yang dibuat khusus untuk menahan dan memandu alat potong saat operasi. *Fixture* adalah perangkat yang berfungsi menahan, menopang dan menempatkan benda agar tidak bergeser (Setiawan dkk., 2023). Dalam era industri 4.0, terciptanya pabrik-pabrik cerdas yang efisien, fleksibel, dan mendapatkan hasil produk yang sesuai dengan kebutuhan industri merupakan tujuan yang harus dicapai. Dalam proses manufaktur, efisiensi juga menjadi kunci utama dalam bersaing (Deni, 2023). Selain itu, kunci dari terciptanya efisiensi adalah dengan integrasi teknologi digital dan otomasi dalam proses manufaktur. *Computer Numerical Control* (CNC) adalah mesin khusus yang memiliki komputer di dalamnya untuk membantu mempermudah pekerjaan (Ramdani 2024).

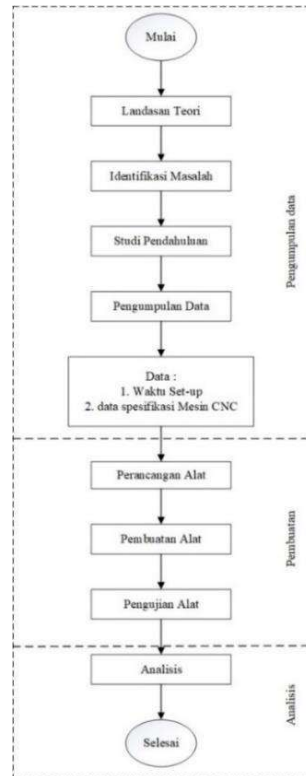
Pada Laboratorium Teknik Industri UMS, mesin CNC digunakan dalam praktikum Perancangan Teknik Industri 1 (PTI 1) untuk menghasilkan produk mobil mainan dengan material PVC foam. Namun penggunaan mesin CNC Router 3 Axis pada praktikum tersebut belum optimal, dan potensi keseluruhan dari mesin belum sepenuhnya terealisasi. Permasalahan yang ditemukan adalah proses pemesinan saat ini membutuhkan tiga kali proses set-up yang terpisah, yang menyebabkan waktu setup yang lama. Selain itu, benda kerja yang digunakan pada proses pemesinan juga masih mengalami pergerakan dan tidak stabil. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang sistem pencekam pada mesin CNC Router 3 Axis sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keakuratan dari hasil kerja mesin CNC di Laboratorium Teknik Industri UMS. Optimalisasi pencekam diharapkan dapat menyederhanakan proses menjadi hanya satu kali *set-up* untuk semua komponen dan menurunkan persentase pergerakan serta terlepasnya benda kerja.

Berbagai penelitian sebelumnya terkait jig dan fixture pada mesin CNC umumnya berfokus pada peningkatan kekakuan pencekaman, akurasi geometrik, atau penerapan sistem modular dan pneumatik untuk satu jenis komponen atau satu kali proses set-up. Sebagian besar desain fixture yang dikembangkan masih ditujukan untuk satu benda kerja per siklus pemesinan dan belum mempertimbangkan konteks pendidikan laboratorium dengan keterbatasan waktu praktikum dan variasi pengguna.

Research gap pada penelitian ini terletak pada belum adanya desain alat bantu pencekam CNC Router 3 Axis yang secara spesifik dirancang untuk melakukan pemesinan beberapa komponen sekaligus dalam satu kali set-up, khususnya pada skenario praktikum pendidikan tinggi. Penelitian ini menawarkan kebaruan berupa desain fixture berbasis prinsip lokator 3-2-1 yang mampu menahan tiga komponen berbeda (*body*, *chasis*, dan *vender*) secara simultan, sekaligus menurunkan waktu set-up secara signifikan tanpa menambah kompleksitas sistem pencekaman. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada aspek teknis perancangan *jig & fixture*, tetapi juga pada efisiensi proses pembelajaran dan utilisasi mesin CNC di lingkungan laboratorium pendidikan.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Industri UMS yang terletak di Gedung H Lantai 3 Sayap Barat, Jl. A. Yani No. 157, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah 57162. Objek penelitian adalah proses pemesinan pada praktikum PTI 1 khususnya proses *set-up* mesin CNC yang dinilai kurang optimal karena desain pencekam yang terbatas. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian ini. Pembuatan alat pencekam baru dibagi menjadi tiga tahap, yaitu perancangan, pembuatan, dan pengujian.

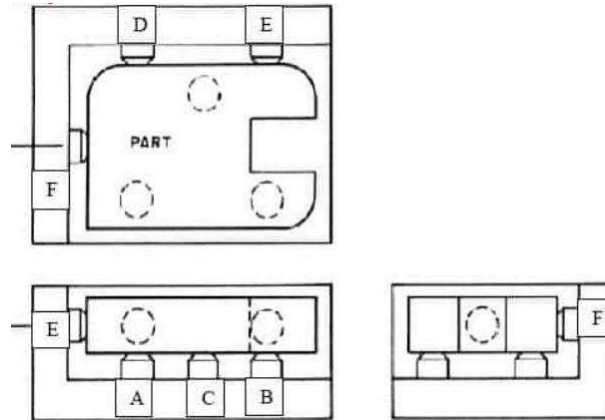


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.1 Perancangan

Perancangan pengecam baru memperhatikan beberapa aspek yang dilakukan dengan cara identifikasi masalah awal, hingga menghitung gaya untuk melakukan pengujian rancangan pengecam pada mesin CNC. Mesin CNC memiliki tingkat ketelitian, ketepatan dan fleksibilitas yang tinggi (Hendrawan, dkk, 2021). Menurut Widiyanti dkk. (2022) *locator* terdiri dari 2 jenis yaitu *support* dan *stopper*. Lokator 3-2-1 juga sering dikenal sebagai prinsip enam titik. Dalam hal ini, benda kerja menempel pada 3-2-1 lokator untuk membatasi 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) (Ramdhan dkk. 2023). Gambar titik lokator 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 (Ramdhan dkk. 2023). Gaya pencekaman dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$F_c = \frac{6156.6576 \cdot x \cdot f_m \cdot x \cdot D}{SS} \quad (1)$$

Dimana:

F_c = Gaya pencekaman (Newton)

SS = Kecepatan spindel (rpm)

D = Diameter mata pahat (mm)

f_m = Kecepatan pemakanan (cm/menit)

Selain gaya pencekaman, ada dua gaya lainnya yang mempengaruhi dalam pembuatan pencekam yaitu 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:

1. Tahap Penempatan

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

$$F_p = -W_p^{-1} \cdot w_l \cdot f_l \quad (2)$$

Keterangan:

F_p = Matriks gaya pada lokator penempatan

W_l = Matriks arah gaya

W_p = Matriks gaya penempatan

F_l = Matriks arah gaya pada lokator

F_l = Matriks arah gaya pada lokator

2. 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

F_a = Matriks gaya pencekam

3. Tahap Pemesinan

Tahap pemesinan dilakukan untuk menguji dan memeriksa apakah lokator 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 pemesian F_k = Matriks gaya pemesian
 Formulasi diatas jika didapatkan hasil akhir *non-negatif* untuk nilai F_p maka dapat dinyatakan benda dalam keadaan seimbang dan terdapat kontak (Azis and Fitriadi, 2019).

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 (Ferdian dkk., 2024). Perhitungan *safety factor* menggunakan persamaan (5).

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

Keterangan :

S_f = *Safety Factor*

S_y = *Yield Strenght*

(Mpa)

σ_e = *Von Misses* (Mpa)

2.2 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 (Kusuma dan Purnomo, 2024). Sedangkan pengertian dari *Bill of Material* (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 (Howay dkk, 2025). *Assembly Process Chart* (APC) merupakan peta kerja yang menggambarkan langkah-langkah dan hubungan antara komponen-komponen yang akan dirakit menjadi sebuah produk (Nasution dkk, 2022).

2.3 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 (Gusdhiarto and Nugroho 2023). Menurut Sumerli dan Mayselah (2023), 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 pada persamaan (6) dan (7) (Wahid dan Chumaidi, 2020).

$$BKA = X + 2\delta x \quad (6)$$

$$BKB = X - 2\delta x \quad (7)$$

Ket:

BKA = Batas kontrol atas BKB =

Batas kontrol bawah

δx = Standar deviasi

X = rata-rata

Uji kecukupan data digunakan untuk menilai apakah jumlah data yang diolah sudah *representative* atau sebaliknya. Data pengamatan dapat dikatakan cukup apabila ($N' \leq N$).

Rumus uji kecukupan dapat dilihat pada persamaan (8) (Sumerli and Mayselah, 2023).

$$N' = \frac{k}{(\sum xi)} \left[\sqrt{s \sqrt{N(\sum xi^2) - (\sum xi)^2}} \right] \quad (8)$$

Ket:

k = Taraf kepercayaan s = Derajat ketelitian

N' =
Kua
ntita
s dan
teorit
is X
=
Data
wakt
u

N = Jumlah data pengamatan

Waktu siklus adalah waktu pekerja menyelesaikan elemen-elemen pekerjaannya pada saat diamati. Waktu siklus dapat ditentukan menggunakan rumus (9) (Haryudiniarti dkk., 2022).

$$W_s = \frac{\sum x}{n} \quad (9)$$

Ket:

Ws = Waktu Siklus

n = Jumlah *subgroup*

x = Waktu penyelesaian ke-i

Waktu normal adalah waktu yang dihitung dari waktu siklus tetapi dengan mempertimbangkan faktor penyesuaiannya. Waktu normal dapat dihitung dengan rumus (10) (Haryudiniarti dkk., 2022).

$$W_n = W_s \times P \quad (10)$$

Ket:

Wn = Waktu Normal

P = Faktor Penyesuaian

Waktu Standar ini digunakan agar dapat mengetahui durasi satu siklus lengkap dari suatu proses produksi setelah diberikan faktor penyesuaian yang tepat dan faktor kelonggaran. Perhitungan waktu standar (baku) dapat menggunakan rumus (11) (Haryudiniarti dkk., 2022).

$$W_b = W_n \times \frac{100}{100 - allowance (\%)} \quad (11)$$

Ket:

Wb = Waktu baku

allowance = faktor kelonggaran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 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 pengecam yang baru meliputi:

1. *Baseplate* dengan desain lokator 3-2-1 untuk stabilitas benda kerja
2. Sistem pengecaman 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 pengecaman yang baru, kemudian dilakukan perancangan alat dengan 3 komponen utama yaitu *baseplate*, *stopper*, dan *clamp*.

3.1.1 Perancangan *Baseplate*

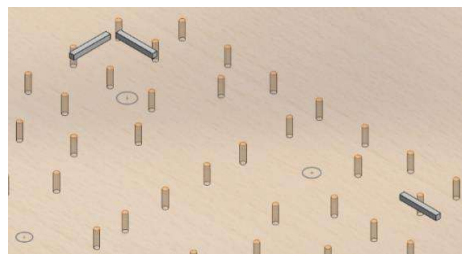
Baseplate dengan dimensi 70×50×1 cm yang dilengkapi dengan lubang M6 untuk penempatan *clamping*. Material yang digunakan adalah HMR (*High Moisture Resistant*) yang dipilih untuk meminimalkan kerusakan pada mata pahat. Alasan penggunaan material HMR adalah karena kemampuannya yang tahan terhadap kelembaban, kuat untuk menahan gaya pemesian, dan tidak terlalu keras sehingga tidak cepat merusak mata pahat jika terjadi kesalahan proses. Rancangan *baseplate* dapat dilihat di Gambar 3.



Gambar 3 Rancangan *Baseplate*

3.1.2 Perancangan *Stopper*

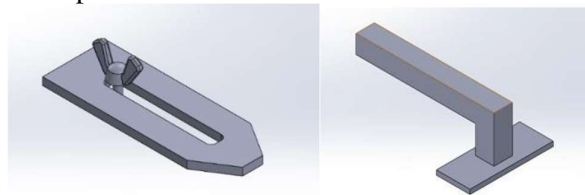
Stopper sebagai titik referensi peletakan benda kerja dengan prinsip lokator 3-2-1. Tiga lokator digunakan untuk menopang benda kerja di *baseplate*, dengan dua *locator* pada sumbu X (kanan-kiri) dan satu pada sumbu Y (depan-belakang). Rancangan *stopper* disajikan di Gambar 4.



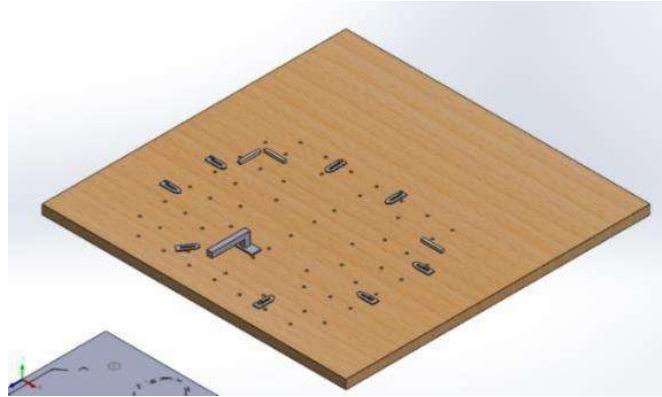
Gambar 4 Rancangan *Stopper*

3.1.3 Perancangan *Clamp*

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 pemesian. Rancangan *clamp* dapat dilihat di Gambar 5, sedangkan rancangan pengecam baru secara keseluruhan dapat dilihat di Gambar 6.



Gambar 5 Rancangan *Clamp*



Gambar 6 Rancangan Keseluruhan Produk

3.2 Pengujian Alat

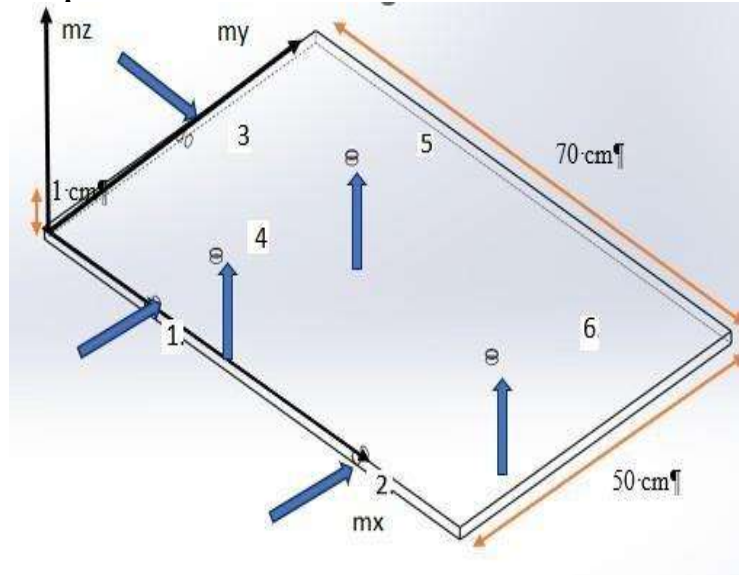
Perhitungan matriks dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas desain dengan menganalisis titik penentu lokasi, memastikan semua hasil tetap *non-negatif*, dengan demikian memastikan integritas dan efektivitas desain dipertahankan selama proses penilaian

3.2.1 Analisis Matriks Pencekaman

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

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

1. Tahap Penempatan



Gambar 7 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 lokator yang diperoleh dari perhitungan, sedangkan Tabel 2 merupakan matriks arah gaya pada lokator.

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 Lokator

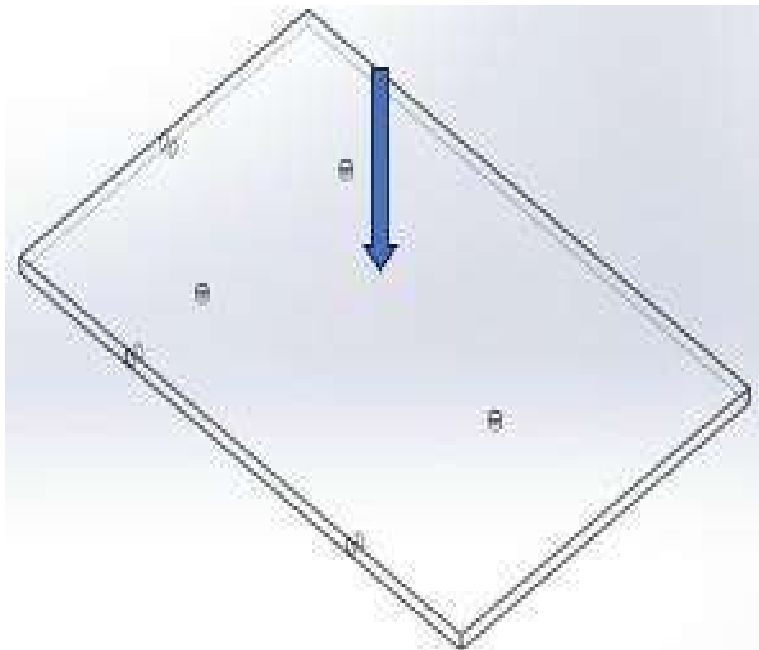
| | | w1 | w2 | w3 | w4 | w5 | w6 |
|----|----|-----|--------|------|------|------|---------|
| Wp | nx | 0 | 0.00 | 1 | 0 | 0 | 0.00 |
| | ny | 1 | 1.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| | mz | 250 | 500.00 | -250 | 0 | 0 | 0.00 |
| | nz | 0 | 0.00 | 0 | 1 | 1 | 1.00 |
| | mx | -5 | -5.00 | 0 | 166 | 166 | 333.00 |
| | my | 0 | 0.00 | 5 | -250 | -500 | -350.00 |

Setelah selesai dengan perhitungan matriks wp, langkah selanjutnya adalah menghitung *invers* dari matriks tersebut, yaitu $-W_p^{-1}$. Tabel 3 menunjukkan hasil dari matriks *invers* $-W_p^{-1}$:

Tabel 3 Matriks *Invers* Arah Gaya pada Lokator

| | | w1 | w2 | w3 | w4 | w5 | w6 |
|-------------|----|-------|-------|------|-------|-------|------|
| $-W_p^{-1}$ | nx | 1.00 | -2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | ny | -1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | mz | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | nz | 0.02 | 0.02 | 0.00 | -2.60 | 0.00 | 0.00 |
| | mx | -0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| | my | 0.00 | -0.03 | 0.00 | 0.99 | -0.01 | 0.00 |

Setelah itu, langkah selanjutnya adalah menghitung matriks wl (arah gaya penempatan) dan matriks fl (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.



| | | w1 | w2 | w3 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| W1 | nx | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | ny | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | mz | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | nz | -1.00 | 0.00 | 0.00 |
| | mx | -250.00 | 0.00 | 0.00 |
| | my | 350.00 | 0.00 | 0.00 |

Gambar 8 Arah Gaya Penempatan

Tabel 4 Matriks Arah Gaya Penempatan

Tabel 5 Matriks Gaya Penempatan

| | | nx | ny | mz | nz | mx | my |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| F1 | f1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 49 | 49 | 49 |
| | f2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | f3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Setelah matriks W_p^{-1} . *wl. fl* 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 Lokator

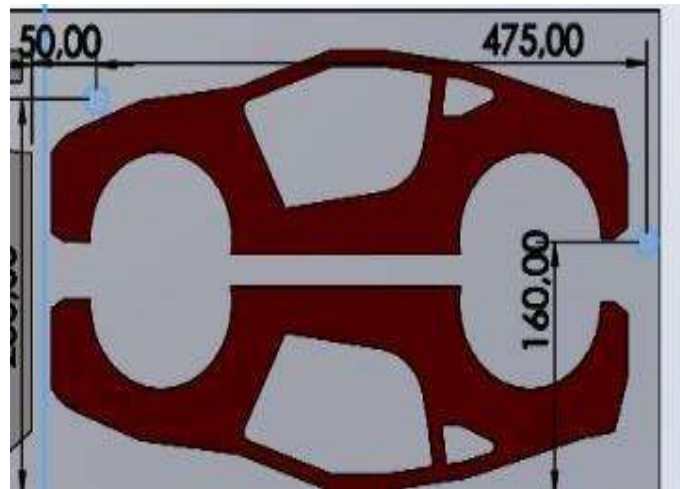
| | | nx | ny | mz | nz | mx | my |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fp | f1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | f2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | f3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | f4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.61 | 14.61 | 14.61 |
| | f5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.74 | 9.74 | 9.74 |
| | f6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.65 | 24.65 | 24.65 |

Nilai Fp yang *non-negatif* menunjukkan bahwa terjadi kontak antara benda kerja dan lokator 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.

Secara umum, hasil perhitungan matriks gaya pada tahap penempatan, pencekaman, dan pemesinan menunjukkan bahwa seluruh nilai gaya reaksi pada locator bernilai non-negatif. Hal ini menandakan bahwa seluruh locator tetap berada dalam kondisi kontak selama proses berlangsung. Rincian nilai numerik disajikan pada tabel-tabel terkait untuk menunjukkan konsistensi hasil perhitungan, sedangkan pembahasan difokuskan pada interpretasi kestabilan sistem pencekaman secara keseluruhan.

2. Tahap Pencekaman

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



Gambar 9 Pembagian Letak Titik *Clamping*

Dari Gambar 9, dapat diketahui lokasi titik-titik pengecaman pada Tabel 7 yang akan dikonversi ke dalam matriks W_a dan F_a . Proses konversi ini penting untuk melakukan perhitungan fp. Perhitungan fp sendiri sangat krusial dalam menganalisis apakah benda dan lokator 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*

| Sumbu | X | Y | Z |
|---------|-----|-----|---|
| Titik 1 | 50 | 250 | 0 |
| Titik 2 | 475 | 160 | 0 |

Tabel 8 Matriks Arah Gaya Penempatan

| | w1 | w2 |
|-----------|------|------|
| nx | 0 | 0 |
| ny | 0 | 0 |
| mz | 0 | 0 |
| nz | -1 | -1 |
| mx | -250 | -160 |
| my | 50 | 475 |

Tabel 9 Matriks Gaya Pengekaman

| | nx | ny | mz | nz | mx | my |
|--------------|------|------|------|--------|--------|--------|
| Fa f1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 738.79 | 738.79 | 738.79 |
| f2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 738.79 | 738.79 | 738.79 |

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

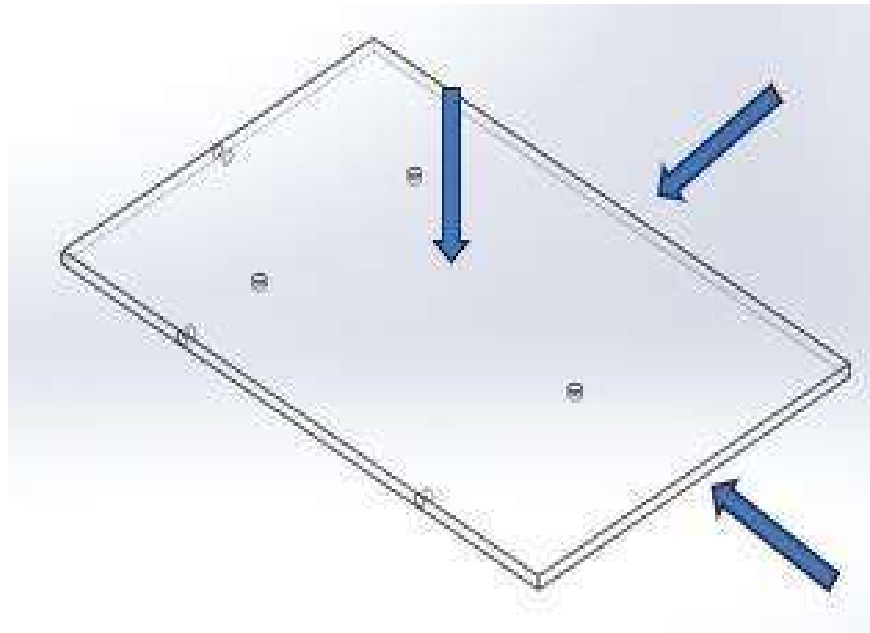
Tabel 10 Matriks Gaya pada Lokator

| | nx | ny | mz | nz | mx | my |
|--------------|------|------|------|--------|--------|--------|
| f1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| f2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fp f3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| f4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 628.85 | 628.85 | 628.85 |
| f5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 839.93 | 839.93 | 839.93 |
| f6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.80 | 8.80 | 8.80 |

Nilai Fp yang *non-negatif* menunjukkan bahwa terjadi kontak antara benda kerja dan *locator* saat benda kerja dilakukan pengekaman. Dalam kondisi ini, benda kerja berada dalam keadaan seimbang, di mana gaya yang diterima oleh *locator* mampu menahan gaya berat dari pengekaman tersebut. Pemahaman mengenai interaksi ini sangat penting untuk memastikan stabilitas dan keamanan dalam proses penanganan benda kerja.

3. Tahap Pemesinan

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



Gambar 10 Arah Gaya Pemesinan

Dari Gambar 10, dapat diketahui arah gaya pemesinan 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 pemesinan.

Tabel 11 Matriks Arah Gaya Pemesinan

| | | w1 | w2 | w3 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Wk | nx | -1.00 | 0.00 | 0.00 |
| | ny | 0.00 | -1.00 | 0.00 |
| | mz | 160.00 | -245.00 | 0.00 |
| | nz | 0.00 | 0.00 | -1.00 |
| | mx | 0.00 | 5.00 | -160.00 |
| | my | -5.00 | 0.00 | 245.00 |

Tabel 12 Matriks Gaya Pemesinan

| | | nx | ny | mz | nz | mx | my |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fk | f1 | 738.79 | 0 | 738.79 | 0 | 0 | 738.79 |
| | f2 | 0 | 738.79 | 738.79 | 0 | 738.79 | 0 |
| | f3 | 0 | 0 | 0 | 738.79 | 738.79 | 738.79 |

Setelah matriks w_k dan 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 Lokator

| | | nx | ny | mz | nz | mx | my |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fp | f1 | 0.00 | 369.40 | 369.40 | 0.00 | 369.39 | 0.00 |
| | f2 | 0.00 | 369.40 | 369.40 | 0.00 | 369.40 | 0.00 |
| | f3 | 738.79 | 0.00 | 738.79 | 0.00 | 0.00 | 738.79 |
| | f4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 184.70 | 184.70 | 184.70 |
| | f5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 184.70 | 184.70 | 184.70 |
| | f6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 369.40 | 369.40 | 369.40 |

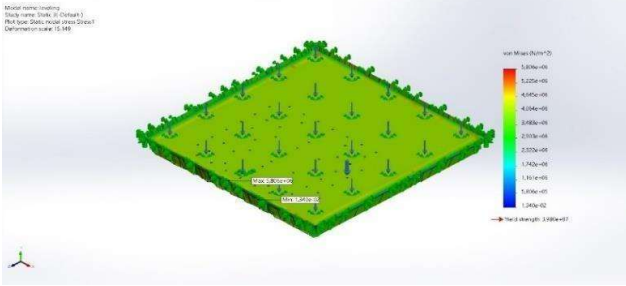
Nilai F_p yang *non-negatif* menunjukkan bahwa terjadi kontak antara benda kerja dan *locator* saat benda kerja dilakukan pemesinan. Dalam kondisi ini, benda kerja berada dalam keadaan seimbang, di mana gaya yang diterima oleh *locator* mampu menahan gaya pemesinan tersebut. Dapat dilihat bahwa nilai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

3.2.2 Safety Factor

Dalam penelitian kali ini *safety factor* diukur menggunakan *software* SolidWorks, dengan memasukkan *yield strenght* HMR sebesar 39,8 Mpa (Fadhilla dkk. 2023). sebelum menghitung *safety factor* dilakukan pengujian *von misses* menggunakan Solidworks. Tabel 14 menunjukkan hasil dari *von misses*.

Tabel 14. *Von Mises*

| Name | Type | Min | Max |
|---------|-----------------------|---|---|
| Stress1 | VON: von Mises Stress | 1,340e-02N/mm ² Node: 25791 | 5,806e+06N/mm ² Node: 46340 |



leveling-Static 3-Stress-Stress1

Setelah *von mises* diketahui dan diambil maksimumnya selanjutnya menghitung *safety factor* dengan menggunakan rumus diatas. Sesuai dengan persamaan (11) 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 11 Sebelum dan Sesudah Penggunaan *Clamping* Tambahan

3.3 Pembuatan Alat

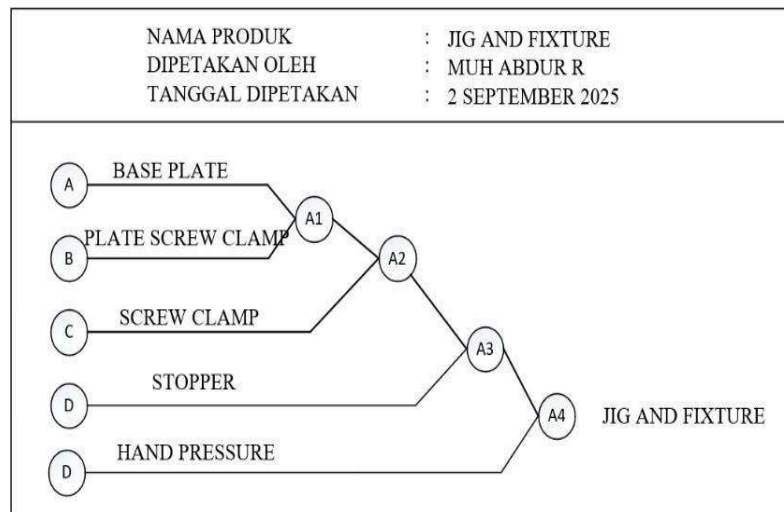
Berdasarkan desain yang telah dirancang, dan dinyatakan memenuhi persyaratan berdasarkan analisis matriks, kemudian dilakukan pembuatan alat. Proses pembuatan alat dijabarkan menggunakan lembar rencana proses, *bill of material*, dan *assembly process chart*.

| 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 Lebar : 1220 mm Tinggi : 10 mm | | | | | | |
| Dibuat Oleh : | | | | | | | | | |
| Tanggal : 4 Maret 2025 | | | | | | | | | |
| 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. | Pengeleman 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 12 LRP Baseplate

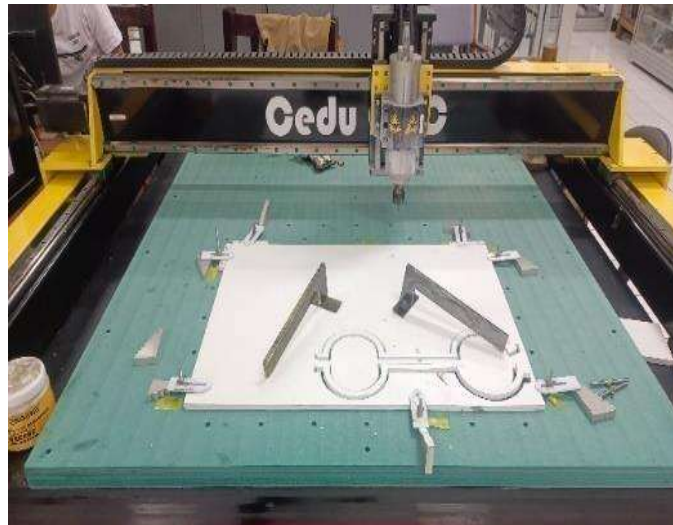
Tabel 15 Bill Of Material

| Part Number | Description | Decision | Quantity |
|-------------|-------------------|----------|----------|
| A | JIG AND FIXTURE | DIRAKIT | 2 |
| A.1 | BASE PLATE | 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 13 Assembly Process Chart

Gambar 14 menunjukkan pencekam baru yang dibuat.

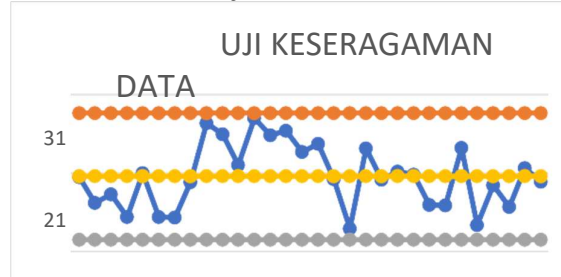


Gambar 14 Produk Jadi

3.4 Implementasi

Implementasi dan pengujian alat dilakukan dengan mengambil data waktu *set-up* dari pencekam yang lama dan baru. Setelah data didapatkan maka data waktu akan dilakukan pengujian menggunakan *time study*.

Dari perhitungan menggunakan persamaan (5) dan (6) diperoleh hasil nilai BKA = 28,64 dan BKB = 12,51. Gambar 15 menunjukkan bahwa data berada dalam batas kendali.



| Keterangan | Nilai |
|--------------|-----------|
| $\sum X$ | 617.218 |
| $\sum X^2$ | 13169.819 |
| $(\sum X)^2$ | 380958.06 |
| N | 30 |
| N' | 23.19 |

Gambar 15 Grafik Keseragaman Data Waktu *Set-Up* Pencekam Lama

Tabel 4 Uji Kecukupan Data Waktu Set-Up Pencekam Lama

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 (2021) dengan nilai faktor penyesuaian 1.13 dan kelonggaran 17.

Tabel 5 Tabel Rekapitulasi Waktu Baku dan Normal Pencekam

| No | Elemen Kerja | Waktu Baku Pencekam Lama (menit) | Waktu Baku Pencekam Baru (menit) |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Menyiapkan bahan | 1.36 | 0.49 |
| 2 | Meletakkan bahan pada meja kerja | 2.72 | 0.99 |
| 3 | Proses clamping | 4.08 | 1.48 |
| 4 | Penyesuaian titik koordinat | 8.16 | 2.96 |
| 5 | Cek clamping | 10.88 | 3.95 |
| Tota | | 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 x 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.

Berdasarkan rekapitulasi waktu baku, terlihat bahwa elemen kerja yang paling signifikan mengalami penurunan waktu adalah proses penyesuaian titik koordinat dan pengecekan pencekaman. Hal ini menunjukkan bahwa desain pencekam baru mampu mengeliminasi aktivitas berulang akibat multi set-up pada sistem sebelumnya.

4. PENUTUP

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 lokator 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 K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja). Penelitian juga dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan sistem pencekam dengan *software* CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, D.C. and Fitriadi, R. (2019) ‘Perancangan Modular Jig And Fixture untuk Mesin Mini CNC Router 3 Axis’. Available at: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/79258>.
- Deni, A. (2023) *Manajemen Strategi di Era Industri 4.0*. Edited by P.T. Cahyono. Kota Batam: Yayasan Cendikia Mulia Mandiri.
- Fadhilla, A.I. *et al.* (2023) ‘Perbandingan sifat fisis dan mekanik pada bahan Medium Density Fibreboard (MDF) dan High Moisture Resistant (HMR) menggunakan Zwick Roell Z005’, *Jurnal Penelitian Sains*, 25(3), pp. 242–248. Available at: <http://ejournal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/index>.
- Ferdian, R. *et al.* (2024) ‘Perancangan Fixture Pada Proses Finishing Gerinda Tangan Sebagai Peningkatan Produktivitas Produk Spindle Knuckle D40 L di PT Manggala Perkasa Engineering’, *Jurnal Mekanik Terapan*, 5(1), pp. 25–33. Available at: <https://doi.org/10.32722/jmt.v5i1.6302>.
- Gusdhiarto, F. and Nugroho, A.J. (2023) ‘Analisis Waktu Standar Guna Mengevaluasi Produktivitas Pencetakan Batako Menggunakan Metode Time Study’, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer*, 3(2), pp. 375–389. Available at: <https://doi.org/10.51903/juritek.v3i2.1907>.
- Haryudiniarti, A.N. *et al.* (2022) ‘Perbaikan Waktu Kerja Dengan Menggunakan Micromotion Study Dan Penerapan Kaizen Dalam Meningkatkan Produktifitas Di Perusahaan Mainan Anak PT.XY’, *Eksergi : Jurnal Teknik Energi*, 18(1), p. 47. Available at: <https://doi.org/10.32497/eksergi.v18i1.3215>.
- Hendrawan, A.B., Qurohman, M.T. and Rasyid, A. (2021) ‘Desain Mesin Cnc Router 3 Axis Berbantu Perangkat Lunak Autodesk Inventor’, *Journal Mechanical Engineering*, 10(1), pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.30591/nozzle.v10i1.2412>.
- Howay, F., Ashad, H. and Watono (2025) ‘Material Requirement Planning (MRP) Pada Pekerjaan Proyek Peningkatan Jalan Klasari-Wonosobo Kabupaten Sorong’, *Teknik sipil dan Lingkungan*, 6141, pp. 340–355.
- Kusuma, H.I. and Purnomo, H. (2024) ‘Analisis Perancangan Stasiun Kerja dalam Memproduksi Produk Inalcafa Jacket dengan Lima Metode Line Balancing’, *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), pp. 546–553. Available at: <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3854>.
- Nasution, A. *et al.* (2022) ‘Perbaikan Produk Helm dengan Menggunakan Metode Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)’, *TALENTA Conference Series: Energy & Engineering*, 5(2), pp. 84–94. Available at: <https://doi.org/10.32734/ee.v5i2.1550>.
- Pandit, H.C. (2022) ‘Jigs and Fixtures in Manufacturing’, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 12(10), pp. 50–55. Available at: <https://doi.org/10.9790/9622-12105055>.
- Ramdani, R. (2024) ‘Rancang Bangun Mesin Cnc Router Mini 3 Axis’, *Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, 2(2), pp. 134–145. Available at: <https://doi.org/10.61132/uranus.v2i2.215>.
- Ramdhan, F.R. *et al.* (2023) ‘Optimalisasi Perancangan Fixture Permesinan Komponen Utama Bantalan Sling menggunakan Pneumatic System’, pp. 1–10.
- Setiawan, I. *et al.* (2023) ‘Penerapan Jig & Fixture pada Produksi Massal di Industri Manufaktur’, *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, 7(2), p. 104. Available at: <https://doi.org/10.35194/jmtsi.v7i2.3165>.
- Sumerli, C.H. and Mayselah, N. (2023) ‘Optimalisasi Produktivitas dengan Metode Time and Motion Study di PT. XYZ’, *Journal of Research on Industrial and System Engineering*, 1(1), pp. 1–12.
- Sutaarga, O. and Setiawan, A. (2021) ‘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, 6(1), pp. 19–26.

Wahid, A. and Chumaidi, A. (2020) ‘Penentuan Waktu Baku Dengan Metode Stopwatch Time Study Proses Produksi Manifold (UD.Jaya Motor Pasuruan’, *Journal Knowledge Industrial Engineering (JKIE)*, 7(2), pp. 54–60. Available at: <http://jurnal.yudharta.ac.id/v2/index.php/jkie>.

Widiyanti, A.B. *et al.* (2022) ‘Rancangan Alat Bantu Proses Welding Produk Rangka H (Studi Kasus : Lab Perencanaan dan Perancangan Produk FT UNS)’, pp. 1–9.