

Implementasi Penggunaan Jig *CNC Milling* untuk Efisiensi Waktu Produksi

Muhammad Ridha *, Insan Kamil*

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

E-mail: muhammadridha1902@gmail.com

Abstrak

Proses produksi menggunakan mesin CNC milling memerlukan waktu setting yang cukup besar, terutama pada tahap pemasangan, penjepitan, dan penyetelan posisi benda kerja sebelum proses machining dilakukan. Kondisi tersebut dapat menurunkan efisiensi waktu produksi, khususnya pada benda kerja silindris yang memerlukan kestabilan posisi selama proses pemesinan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* terhadap efisiensi waktu produksi dan kualitas dimensi benda kerja pada proses CNC milling benda kerja silindris. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif dengan membandingkan waktu produksi dan hasil pengukuran dimensi antara metode milling konvensional dan metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*. Pengumpulan data dilakukan menggunakan metode time study untuk mengukur waktu setting dan waktu machining, serta pengukuran dimensi benda kerja menggunakan alat ukur presisi pada satu siklus produksi yang terdiri atas delapan benda kerja. Data dianalisis secara deskriptif melalui perhitungan total waktu produksi, penghematan waktu, efisiensi penggunaan jig, dan perbandingan hasil pengukuran dimensi benda kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total waktu produksi pada metode milling konvensional sebesar 125,02 menit, sedangkan pada metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* sebesar 53,98 menit. Implementasi jig menghasilkan penghematan waktu produksi sebesar 71,04 menit dengan tingkat efisiensi waktu produksi sebesar 56,82%. Selain itu, hasil pengukuran menunjukkan bahwa benda kerja yang diproses menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* memiliki dimensi yang lebih seragam dan lebih mendekati ukuran nominal dibandingkan metode milling konvensional. Dengan demikian, implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* terbukti mampu meningkatkan efisiensi waktu produksi sekaligus menghasilkan kualitas dimensi benda kerja yang lebih baik melalui penyederhanaan proses setting dan peningkatan kestabilan penekaman benda kerja.

Kata kunci: *CNC milling, Jig Pin Pusher Wave Pallet*, efisiensi waktu produksi, benda kerja silindris

Abstract

The CNC milling production process requires considerable setup time, particularly during the installation, clamping, and positioning of the workpiece before the machining process begins. This condition can reduce production time efficiency, especially for cylindrical workpieces that require stable positioning throughout the machining process. This study aimed to analyze the effect of implementing the Jig Pin Pusher Wave Pallet on production time efficiency and workpiece dimensional quality in the CNC milling process of cylindrical workpieces. The research employed a quantitative experimental method by comparing production time and dimensional measurement results between the conventional milling method and the method using the Jig Pin Pusher Wave Pallet. Data were collected using a time study approach to measure setup time and machining time, while workpiece dimensions were measured using precision measuring instruments in one production cycle consisting of eight workpieces. The collected data were analyzed descriptively by calculating the total production time, time savings, production time efficiency, and comparing the dimensional measurement results. The results showed that the total production time using the conventional milling method was 125.02 minutes, whereas the implementation of the Jig Pin Pusher Wave Pallet reduced the total production time to 53.98 minutes. The use of the jig resulted in a production time saving of 71.04 minutes, corresponding to a production time efficiency of 56.82%. In addition, the dimensional measurements showed that workpieces machined using the Jig Pin Pusher Wave Pallet exhibited more uniform dimensions and were closer to the nominal dimensions than those produced by the conventional milling method. Therefore, the implementation of the Jig Pin Pusher Wave Pallet proved effective in improving production time efficiency while also enhancing workpiece dimensional quality by simplifying the setup process and improving workpiece clamping stability.

Keywords: *CNC milling, Jig Pin Pusher Wave Pallet*, production time efficiency, cylindrical workpiece

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi manufaktur menuntut setiap industri mampu menghasilkan produk dengan kualitas yang baik, tingkat presisi tinggi, serta waktu produksi yang efisien. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk memenuhi tuntutan tersebut adalah Computer Numerical Control (CNC). Mesin CNC, khususnya *CNC milling*, merupakan mesin perkakas yang dikendalikan secara numerik melalui program komputer untuk melakukan proses pemotongan, perataan permukaan, pembuatan kontur, pelubangan, dan berbagai proses pemesinan lainnya dengan tingkat akurasi yang tinggi [1]. Penggunaan *CNC milling* memberikan keunggulan dalam hal konsistensi hasil, pengurangan kesalahan operator, serta kemampuan memproduksi komponen secara berulang dengan kualitas yang relatif seragam [15]. Seiring dengan perkembangan industri 4.0, penerapan mesin CNC juga menjadi bagian penting dalam upaya meningkatkan produktivitas dan efisiensi sistem manufaktur modern [17].

Dalam proses pemesinan *CNC milling*, efisiensi produksi tidak hanya dipengaruhi oleh parameter pemotongan seperti cutting speed, feed rate, dan depth of cut, tetapi juga oleh proses persiapan (setup) benda kerja sebelum pemesinan dilakukan [10]. Proses setup meliputi pemasangan benda kerja pada meja mesin, penjepitan, penyetelan posisi, pengecekan kestabilan, serta pelepasan benda kerja setelah proses pemesinan selesai [18]. Tahapan tersebut sering memerlukan waktu yang cukup besar, terutama apabila benda kerja memiliki bentuk yang sulit diposisikan secara stabil [10]. Semakin lama waktu setup yang dibutuhkan, semakin besar pula total waktu produksi yang diperlukan dalam satu siklus pemesinan [18]. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi pada tahap setup menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung produktivitas proses *CNC milling* [10].

Salah satu jenis benda kerja yang memerlukan perhatian khusus dalam proses setup adalah benda kerja silindris. Permukaan yang melengkung menyebabkan benda kerja silindris lebih mudah bergeser, berputar, atau berubah orientasi ketika ditempatkan pada meja mesin secara konvensional [11]. Apabila benda kerja tidak tertahan dengan baik, operator harus melakukan penyetelan posisi secara berulang hingga benda kerja berada pada posisi yang sesuai dengan sumbu pemesinan [16]. Kondisi tersebut menyebabkan waktu pemasangan, penjepitan, dan penyetelan menjadi lebih lama dibandingkan benda kerja dengan permukaan datar [11]. Selain meningkatkan waktu produksi, ketidakstabilan posisi benda kerja juga dapat memengaruhi ketelitian hasil pemesinan [16]. Dalam konteks efektivitas mesin, pemborosan waktu pada proses setup merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan efisiensi pemanfaatan mesin *CNC milling* [11].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, industri manufaktur umumnya menggunakan jig dan *fixture* sebagai alat bantu pemosisian dan pencekaman benda kerja. Jig dan *fixture* berfungsi untuk menempatkan benda kerja pada posisi yang tepat, menjaga kestabilannya selama proses pemesinan, serta membantu operator mempercepat proses setup [2]. Penerapan jig dan *fixture* pada proses produksi telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi, memperbaiki konsistensi kualitas, dan mengurangi variasi kesalahan penempatan benda kerja [2]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa rancangan jig pada proses *CNC milling* berperan penting dalam mempercepat waktu persiapan, meningkatkan akurasi posisi benda kerja, serta mendukung kelancaran proses produksi [3]. Selain itu, penggunaan jig dapat mendukung pengulangan posisi benda kerja secara lebih konsisten pada proses pemesinan berulang [7]. Perancangan jig machining yang tepat juga mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses pemesinan [9].

Dalam penelitian ini digunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* sebagai alat bantu pemosisian dan pencekaman benda kerja silindris pada mesin *CNC milling*. Jig tersebut memiliki dimensi 120 mm × 80 mm, dilengkapi dengan lubang dudukan berdiameter 12 mm dan kedalaman 13 mm, serta menggunakan sistem penjepit side clamping bolt atau baut pencekam samping. Lubang dudukan berfungsi sebagai tempat penempatan benda kerja agar posisinya tetap dan stabil selama proses pemesinan, sedangkan side clamping bolt berfungsi mengunci benda kerja dari arah samping sehingga mengurangi kemungkinan pergeseran selama proses milling berlangsung. Berdasarkan karakteristik konstruksinya, *Jig Pin Pusher Wave Pallet* termasuk dalam kategori plate jig, karena menggunakan

pelat dasar yang dirancang sebagaiudukan benda kerja untuk mempermudah proses pemosisian dan pencekaman secara berulang.

Penggunaan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* diharapkan mampu meningkatkan efisiensi waktu produksi, terutama pada tahap setup. Dengan adanya lubangudukan yang telah disesuaikan dengan dimensi benda kerja, operator tidak perlu lagi melakukan penyetelan posisi secara berulang sebagaimana pada milling konvensional. Selain itu, sistem pencekaman menggunakan side clamping bolt memungkinkan proses penjepitan dan pelepasan benda kerja dilakukan dengan lebih cepat. Kondisi tersebut diperkirakan dapat mengurangi waktu pemasangan, penjepitan, penyetelan posisi, dan pelepasan benda kerja. Sementara itu, waktu proses machining relatif tidak berubah karena parameter pemotongan yang digunakan pada kedua metode dibuat sama. Dengan demikian, peningkatan efisiensi waktu produksi lebih dipengaruhi oleh berkurangnya waktu setup dan aktivitas penanganan (handling) benda kerja.

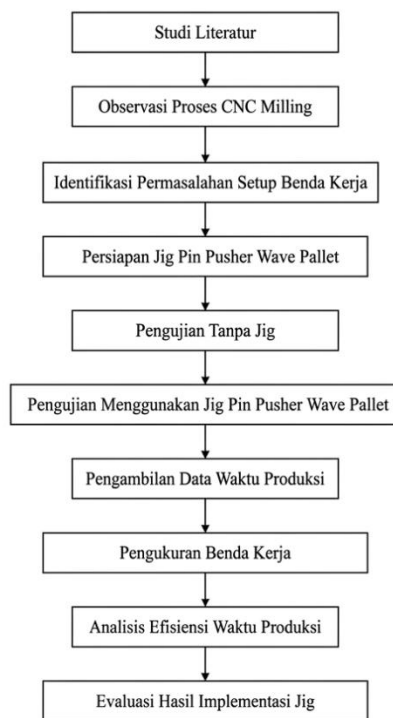
Penelitian mengenai desain dan optimasi jig menunjukkan bahwa penggunaan jig yang sesuai dengan karakteristik benda kerja dapat memberikan manfaat yang signifikan terhadap efektivitas proses produksi. Hibaitulah dkk. menjelaskan bahwa optimasi desain jig mampu meningkatkan ketepatan penempatan benda kerja sekaligus mempercepat proses kerja operator [8]. Purbaningrum dkk. juga menyatakan bahwa perancangan jig machining yang tepat mampu mendukung proses pemesinan menjadi lebih efektif dan efisien [9]. Selain itu, Popa dan Popan menunjukkan bahwa penggunaan jig dalam proses manufaktur dapat membantu menciptakan alur kerja yang lebih terkontrol, terutama pada proses yang membutuhkan pengulangan posisi benda kerja secara konsisten [7]. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling* layak dikaji sebagai salah satu alternatif untuk meningkatkan efisiensi waktu produksi pada benda kerja silindris [8].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling* untuk meningkatkan efisiensi waktu produksi benda kerja silindris. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan waktu produksi antara milling konvensional dan metode menggunakan jig. Komponen waktu yang dianalisis meliputi waktu setting, waktu machining, dan total waktu produksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas penggunaan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* dalam meningkatkan efisiensi proses produksi, serta menjadi referensi bagi pengembangan alat bantu pencekaman pada proses *CNC milling* di lingkungan industri maupun pendidikan vokasi.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan implementatif untuk menganalisis pengaruh penggunaan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling* terhadap efisiensi waktu produksi benda kerja silindris. Metode ini dilakukan melalui beberapa tahapan penelitian yang disusun secara sistematis, mulai dari studi literatur hingga evaluasi hasil implementasi jig. Tahapan penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur, yaitu pengumpulan referensi dari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan *CNC milling*, jig dan *fixture*, efisiensi waktu produksi, serta penerapan alat bantu pencekaman dalam proses manufaktur. Studi literatur bertujuan untuk memperoleh landasan teori, memahami konsep-konsep yang relevan, serta menyusun kerangka pemikiran penelitian [6]. Referensi yang digunakan terutama berfokus pada penelitian mengenai peran jig dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi proses pemesinan, termasuk studi yang membahas penerapan jig pada produksi massal dan proses *CNC milling* [9].



Gambar 1. Alur Proses Penelitian

Setelah studi literatur, dilakukan observasi awal terhadap proses pemesinan *CNC milling* untuk memahami kondisi aktual proses setup benda kerja silindris sebelum implementasi jig. Menurut Sugiyono, observasi awal dilakukan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai kondisi objek penelitian sebelum perlakuan diberikan, sehingga peneliti dapat memahami alur kerja dan menemukan potensi permasalahan pada proses yang diamati [21]. Observasi difokuskan pada tahapan pemasangan benda kerja, penjepitan, penyetelan posisi, proses machining, dan pelepasan benda kerja. Menurut Arikunto, observasi merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengamati secara langsung aktivitas atau proses yang menjadi objek penelitian agar peneliti memperoleh data faktual di lapangan [22]. Tahap observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang paling banyak menyita waktu pada milling konvensional, sehingga dapat diketahui titik-titik inefisiensi yang nantinya dibandingkan dengan metode menggunakan jig. Menurut Nazir, observasi awal penting dilakukan untuk mengetahui kondisi asli lapangan yang akan dijadikan dasar dalam penyusunan langkah penelitian selanjutnya [23].

Tahap berikutnya adalah persiapan alat dan bahan penelitian. Pada tahap ini, peneliti menyiapkan seluruh kebutuhan penelitian agar proses eksperimen dapat berjalan secara sistematis dan terkontrol. Menurut Sugiyono, dalam penelitian eksperimen peneliti perlu mempersiapkan instrumen, alat, bahan, dan prosedur penelitian secara cermat agar data yang dihasilkan sesuai dengan tujuan penelitian [21]. Alat utama yang digunakan meliputi mesin *CNC milling*, *Jig Pin Pusher Wave Pallet*, alat ukur waktu berupa stopwatch, serta benda kerja silindris sebagai sampel pemesinan. Jig yang digunakan berfungsi sebagai alat bantu pemosisian dan pencekaman benda kerja agar proses setup menjadi lebih cepat, stabil, dan konsisten. Benda kerja diletakkan pada lubang dudukan jig, kemudian dikunci menggunakan baut pencekam samping (*side clamping bolt*) agar tidak bergeser selama proses pemesinan berlangsung.

Pengambilan data dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap proses produksi untuk membandingkan waktu pengerjaan menggunakan milling konvensional (bubut) dan metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling*. Satu siklus pengamatan didefinisikan sebagai proses penyelesaian 8 benda kerja secara berurutan. Pada milling konvensional, setiap benda kerja memerlukan proses setting dan machining secara

terpisah, sedangkan pada metode menggunakan jig, proses setting hanya dilakukan satu kali pada awal produksi, kemudian dilanjutkan dengan proses machining untuk seluruh benda kerja.

Secara umum, total waktu produksi dalam satu siklus dihitung menggunakan persamaan:

$$T = T_s + T_m$$

(Sumber : Sriyanto,2012)

dengan:

T = total waktu produksi per siklus

T_s = total waktu setting

T_m = total waktu machining

Pada metode tanpa jig, total waktu produksi dapat dituliskan sebagai:

$$T_k = \sum_{i=1}^8 (t_{si} + t_{mi})$$

(sumber: Anton Efendi & Rizki Prakasa Hasibuan,2022)

dengan:

T_k = total waktu produksi milling konvensional tanpa jig

T_{si} = waktu setting benda kerja ke-i

T_{mi} = waktu machining benda kerja ke-i

Sementara itu, pada metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* , proses setting hanya dilakukan satu kali pada awal produksi, kemudian dilanjutkan dengan proses machining untuk seluruh benda kerja dalam satu siklus produksi. Total waktu produksi pada metode menggunakan jig dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_j = t_{sj} + \sum_{i=1}^8 t_{mi}$$

(Sumber : Agus Prastyo, 2023)

dengan:

T_j = total waktu produksi milling konvensional tanpa jig

t_{sj} = waktu setting benda kerja ke-i

t_{mi} = waktu machining benda kerja ke-i

Setelah diperoleh total waktu produksi pada masing-masing metode, selanjutnya dilakukan perhitungan penghematan waktu produksi untuk mengetahui selisih waktu antara milling konvensional dan metode menggunakan jig. Penghematan waktu dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta T = T_k - T_j$$

(Sumber : Agus Prastyo, 2023)

dengan:

ΔT = penghematan waktu produksi

T_k = rata-rata total waktu produksi milling konvensional

T_j = rata-rata total waktu produksi metode menggunakan jig

Selanjutnya, tingkat efisiensi waktu produksi dihitung untuk mengetahui persentase pengurangan waktu produksi setelah penggunaan jig. Efisiensi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{T_k - T_j}{T_k} \times 100\%$$

(Sumber : Amanda Salshadilla, 2021)

dengan:

E = efisiensi waktu produksi (%)

T_k = rata-rata total waktu produksi milling konvensional

T_j = rata-rata total waktu produksi metode menggunakan jig

Nilai efisiensi yang diperoleh menunjukkan besarnya penurunan waktu produksi setelah implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* dibandingkan milling konvensional. Semakin besar nilai efisiensi yang dihasilkan, semakin besar pula kontribusi penggunaan jig dalam mempercepat proses produksi, khususnya pada tahapan setting benda kerja.

Data waktu produksi yang diperoleh dari milling konvensional dan metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* selanjutnya dianalisis secara deskriptif dengan menghitung total waktu produksi, penghematan waktu produksi, dan tingkat efisiensi penggunaan jig. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan waktu produksi pada kedua metode sehingga dapat diketahui besarnya pengaruh implementasi jig terhadap efisiensi proses pemesinan benda kerja silindris.

Secara keseluruhan, metodologi penelitian ini dirancang untuk memberikan gambaran yang sistematis mengenai implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling* benda kerja silindris. Melalui perbandingan antara milling konvensional dan metode menggunakan jig, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan waktu produksi pada setiap metode sehingga dapat diketahui tingkat efisiensi penggunaan jig sebagai alat bantu pencekaman dalam meningkatkan efektivitas proses pemesinan CNC.

3 Analisa Data dan Pembahasan

1. Deskripsi *Jig Pin Pusher Wave Pallet*

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan implementatif untuk menganalisis pengaruh penggunaan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling* terhadap efisiensi waktu produksi benda kerja silindris. Metode ini dilakukan melalui beberapa tahapan penelitian yang disusun secara sistematis, mulai dari studi literatur, observasi proses produksi, persiapan alat dan bahan, pelaksanaan eksperimen, pengambilan data, hingga analisis hasil implementasi jig. Tahapan penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur, yaitu pengumpulan referensi dari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan *CNC milling*, jig dan *fixture*, efisiensi waktu produksi, serta penerapan alat bantu pencekaman dalam proses manufaktur. Studi literatur bertujuan untuk memperoleh landasan teori, memahami konsep-konsep yang relevan, serta menyusun kerangka pemikiran penelitian. Referensi yang digunakan terutama berfokus pada penelitian mengenai peran jig dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi proses pemesinan, termasuk studi yang membahas penerapan jig pada produksi massal dan proses *CNC milling*.

Setelah studi literatur, dilakukan observasi awal terhadap proses pemesinan *CNC milling* untuk memahami kondisi aktual proses setup benda kerja silindris sebelum implementasi jig. Observasi dilakukan pada tahapan pemasangan benda kerja, penjepitan, penyetelan posisi, proses machining, dan pelepasan benda kerja. Tahap observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang paling banyak menyita waktu pada milling konvensional, sehingga dapat diketahui titik-titik inefisiensi yang nantinya dibandingkan dengan metode menggunakan jig.

Tahap berikutnya adalah persiapan alat dan bahan penelitian. Pada tahap ini, peneliti menyiapkan seluruh kebutuhan penelitian agar proses eksperimen dapat berjalan secara sistematis dan terkontrol. Alat utama yang digunakan meliputi mesin *CNC milling*, *Jig Pin Pusher Wave Pallet*, alat ukur waktu berupa stopwatch, serta benda

kerja silindris sebagai sampel pemesinan. Jig yang digunakan berfungsi sebagai alat bantu pemosisian dan pencekaman benda kerja agar proses setup menjadi lebih cepat, stabil, dan konsisten. Benda kerja diletakkan pada lubang dudukan jig, kemudian dikunci menggunakan baut pencekam samping (side clamping bolt) agar tidak bergeser selama proses pemesinan berlangsung.

Tahap inti penelitian adalah pelaksanaan eksperimen. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui perbedaan efisiensi waktu produksi antara milling konvensional tanpa jig dan metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*. Dalam penelitian ini, pengukuran waktu produksi dilakukan pada satu siklus produksi yang terdiri atas 8 benda kerja. Dua kondisi pengujian yang dibandingkan adalah metode tanpa jig dan metode menggunakan jig.

Pada metode tanpa jig, setiap benda kerja silindris dipasang langsung pada sistem pencekaman mesin tanpa menggunakan jig. Operator melakukan pemasangan, penjepitan, dan penyetelan posisi benda kerja secara manual pada setiap benda kerja sampai siap diproses pada mesin *CNC milling*. Karena jumlah benda kerja dalam satu siklus produksi adalah 8 buah, maka pada metode ini proses setting dilakukan sebanyak 8 kali, yaitu satu kali untuk masing-masing benda kerja.

Pada metode menggunakan jig, benda kerja silindris ditempatkan pada lubang dudukan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* yang telah dirancang sesuai dengan titik koordinat program *Mastercam*. Pada metode ini, setting sumbu X, Y, dan Z dilakukan satu kali di awal proses untuk keseluruhan 8 benda kerja. Setelah setting awal selesai, benda kerja berikutnya dapat langsung diproses tanpa penyetelan ulang posisi, karena titik koordinat pada setiap lubang jig telah disamakan dengan program pemesinan. Dengan demikian, penggunaan jig memungkinkan proses setup dilakukan lebih singkat dan lebih konsisten dibandingkan milling konvensional.

Pengambilan data dilakukan pada satu siklus produksi yang terdiri atas 8 benda kerja. Pada milling konvensional, setiap benda kerja diproses secara terpisah sehingga proses setting dilakukan sebanyak 8 kali sebelum masing-masing benda kerja dikerjakan. Sebaliknya, pada metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling*, proses setting hanya dilakukan satu kali pada awal siklus, kemudian seluruh 8 benda kerja diproses secara berurutan tanpa penyetelan ulang. Data yang diperoleh berupa total waktu produksi pada masing-masing metode, yang selanjutnya dibandingkan untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan jig terhadap waktu produksi.

Pada setiap pengulangan, dicatat total waktu produksi untuk menyelesaikan 8 benda kerja. Total waktu produksi pada metode tanpa jig merupakan akumulasi waktu setting dan machining untuk seluruh benda kerja dalam satu siklus produksi. Sementara itu, total waktu produksi pada metode menggunakan jig merupakan penjumlahan antara waktu setting awal jig dan total waktu machining 8 benda kerja. Secara umum, total waktu produksi dapat dirumuskan sebagai berikut

Tabel 1. Spesifikasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet*

No	Parameter	Spesifikasi
1	Nama jig	<i>Jig Pin Pusher Wave Pallet</i>
2	Jenis jig	Jig pencekam benda kerja silindris untuk <i>CNC milling</i>
3	Panjang jig	120 mm
4	Lebar jig	80 mm
5	Diameter lubang dudukan	12 mm
6	Kedalaman lubang dudukan	13 mm
7	Sistem penjepit	Side clamping bolt / baut pencekam samping
8	Fungsi	Membantu pemosisian dan pencekaman benda kerja silindris

(Sumber : Observasi peneliti, 2026)



Gambar 2. *Jig Pin Pusher Wave Pallet*

Gambar 2 menunjukkan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* yang digunakan sebagai alat bantu pencekaman benda kerja silindris pada proses *CNC milling*. Jig ini memiliki ukuran 120 mm × 80 mm, dilengkapi dengan lubang dudukan berdiameter 12 mm dan kedalaman 13 mm untuk menempatkan benda kerja secara stabil. Pada bagian samping jig terdapat side clamping bolt yang berfungsi sebagai mekanisme penguncian benda kerja agar tidak bergeser selama proses pemrosesan berlangsung. Desain jig ini dirancang untuk mempermudah proses pemasangan benda kerja, mempercepat setup, dan meningkatkan kestabilan posisi benda kerja selama proses machining.

2. Implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada Proses *CNC milling*

Setelah jig disiapkan, tahap berikutnya adalah implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling* benda kerja silindris. Implementasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan jig terhadap efisiensi waktu produksi dengan cara membandingkan dua kondisi proses, yaitu proses tanpa jig dan proses menggunakan jig. Dalam penelitian ini, waktu produksi yang diamati adalah total waktu proses per benda kerja, yaitu dimulai dari pemasangan benda kerja, penjepitan, penyetelan posisi, proses machining, hingga pelepasan benda kerja setelah proses pemotongan selesai dilakukan.

Pada kondisi tanpa jig, operator harus meletakkan benda kerja silindris secara manual pada area pencekaman mesin, kemudian melakukan penjepitan serta penyetelan posisi secara bertahap hingga benda kerja berada pada posisi yang sesuai untuk proses pemrosesan. Karena bentuk benda kerja berbentuk silindris, proses ini membutuhkan ketelitian yang tinggi agar benda kerja tidak mudah bergeser saat dijepit maupun saat terkena gaya potong dari pahat. Selain itu, operator juga harus memastikan posisi benda kerja telah sejajar dengan jalur pemotongan, sehingga proses setup pada metode ini membutuhkan waktu yang relatif lebih lama.

Sebaliknya, pada kondisi menggunakan jig, benda kerja silindris langsung ditempatkan pada lubang dudukan yang telah tersedia pada *Jig Pin Pusher Wave Pallet*. Setelah benda kerja berada pada dudukan, operator cukup mengunci benda kerja menggunakan side clamping bolt sehingga posisinya menjadi stabil dan siap untuk diproses. Dengan adanya dudukan dan sistem pencekaman yang telah disesuaikan, operator tidak perlu lagi melakukan penyetelan posisi secara berulang seperti pada *milling konvensional*. Kondisi ini membuat proses setup menjadi lebih sederhana, lebih cepat, dan lebih konsisten.

Implementasi jig dalam penelitian ini terutama ditujukan untuk menurunkan waktu non-machining, khususnya pada tahap pemasangan, penjepitan, dan penyetelan posisi benda kerja. Meskipun waktu machining inti cenderung tetap karena parameter pemotongan tidak diubah, penggunaan jig tetap memberikan pengaruh terhadap total waktu produksi, karena waktu setup merupakan bagian dari keseluruhan siklus proses. Dengan demikian, implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* diharapkan mampu memberikan penghematan waktu yang nyata pada proses *CNC milling* benda kerja silindris.



Gambar 3. Proses Pemasangan Benda Kerja pada *Jig Pin Pusher Wave Pallet*

Gambar 3 menunjukkan proses pemasangan benda kerja silindris pada *Jig Pin Pusher Wave Pallet* sebelum proses *CNC milling* dilakukan. Pada tahap ini, benda kerja ditempatkan pada lubang dudukan jig, kemudian dikencangkan menggunakan *side clamping bolt* agar posisi benda kerja tetap stabil. Tahap pemasangan ini merupakan bagian dari proses setup yang diamati dalam penelitian, karena waktu yang dibutuhkan pada proses ini berpengaruh langsung terhadap total waktu produksi.



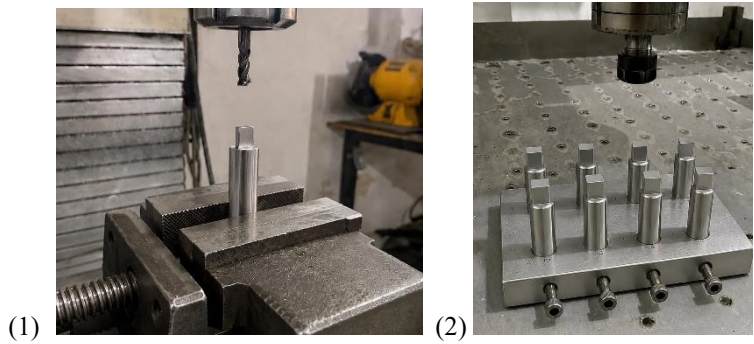
Gambar 4. Benda Kerja Silindris yang Digunakan pada Pengujian

Gambar 4 menunjukkan benda kerja silindris bertingkat yang digunakan dalam penelitian pada proses *CNC milling*. Benda kerja ini dipasang pada *Jig Pin Pusher Wave Pallet* sebelum dilakukan proses pemesinan. Penggunaan benda kerja berbentuk silindris dipilih karena memerlukan kestabilan posisi saat proses penjepitan, sehingga implementasi jig diharapkan mampu mempercepat proses setup dan meningkatkan efisiensi waktu produksi.

3. Data Hasil Pengujian Waktu Produksi

Pengumpulan data dilakukan menggunakan metode time study, yaitu dengan mencatat waktu produksi pada dua kondisi pengujian, yaitu proses milling konvensional dan proses CNC milling menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*. Pengukuran dilakukan terhadap satu siklus produksi yang terdiri atas delapan benda kerja. Waktu produksi yang diamati meliputi waktu setting dan waktu machining hingga seluruh benda kerja selesai diproses.

Pengukuran dilakukan menggunakan stopwatch sejak operator memulai proses pemasangan dan penyetelan benda kerja hingga seluruh proses machining selesai. Pada proses milling konvensional, setiap benda kerja memerlukan proses setting dan machining secara terpisah sehingga proses setting dilakukan sebanyak delapan kali. Sebaliknya, pada metode menggunakan Jig Pin Pusher Wave Pallet, proses setting hanya dilakukan satu kali pada awal proses produksi, sedangkan benda kerja berikutnya dapat langsung diproses karena posisi benda kerja telah ditentukan oleh jig. Dengan demikian, penggunaan jig mampu mengurangi waktu setup sehingga total waktu produksi menjadi lebih efisien.



Gambar 5. Milling konvensional (1) dan Metode *Jig Pin Pusher Wave Pallet* (2)

Tabel 2. Hasil Pengukuran Waktu Proses Jig Cnc milling

Benda Kerja	Setting Jig cnc milling (menit)	Machining Jig cnc milling (menit)
1	17,24	4,62
2	0,00	4,58
3	0,00	4,60
4	0,00	4,55
5	0,00	4,63
6	0,00	4,56
7	0,00	4,61
8	0,00	4,59
Total	17,24	36,74

Tabel 3. Hasil Pengukuran Waktu Proses Cnc milling Konvensional

Benda Kerja	Setting milling Konvensional (menit)	Machining milling Konvensional (menit)
1	6,72	8,91
2	6,58	8,87
3	6,81	8,95
4	6,64	8,89
5	6,75	8,93
6	6,69	8,86
7	6,83	8,98
8	6,71	8,90
Total	53,73	71,29

(Sumber : Olah data peneliti,2026)

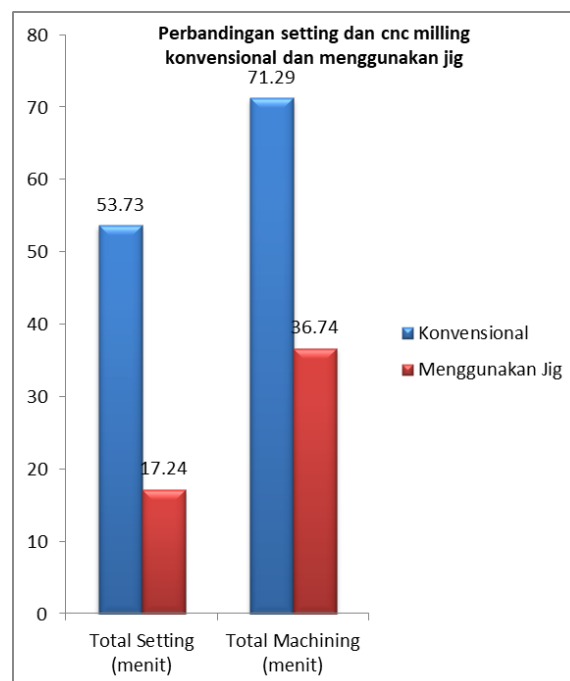
Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, terlihat bahwa proses cnc milling konvensional memerlukan waktu setting pada kisaran 6–7 menit untuk setiap benda kerja, sedangkan waktu machining berada pada kisaran 8–9 menit.

Karena setiap benda kerja harus dipasang, dijepit, dan disetel secara manual, maka proses setting dilakukan sebanyak delapan kali dalam satu siklus produksi. Kondisi tersebut menyebabkan akumulasi waktu produksi menjadi relatif lebih besar.

Sebaliknya, pada metode menggunakan Jig Pin Pusher Wave Pallet, proses setting hanya dilakukan satu kali pada awal produksi dengan waktu sekitar 17 menit, kemudian seluruh benda kerja diproses tanpa perlu melakukan penyetelan ulang posisi. Waktu machining setiap benda kerja relatif seragam karena posisi benda kerja telah ditentukan oleh jig. Dengan demikian, penggunaan jig mampu mengurangi aktivitas setup yang berulang sehingga total waktu produksi menjadi lebih singkat dibandingkan metode konvensional.

Untuk memperjelas hasil perbandingan antara kedua metode, data total waktu setting, waktu machining, dan total waktu produksi selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik batang. Grafik tersebut digunakan untuk memberikan gambaran visual mengenai perbedaan waktu produksi antara milling konvensional dan metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*, sehingga pengaruh implementasi jig terhadap efisiensi proses produksi dapat diamati dengan lebih jelas.

Grafik 1. Perbandingan Waktu



(Sumber : Olah data peneliti,2026)

Grafik 1 menunjukkan perbandingan total waktu setting dan total waktu machining antara metode milling konvensional dan metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses CNC milling benda kerja silindris. Berdasarkan hasil pengukuran, total waktu setting pada milling konvensional sebesar 53,73 menit, sedangkan pada metode menggunakan jig sebesar 17,24 menit. Sementara itu, total waktu machining pada milling konvensional sebesar 71,29 menit, sedangkan pada metode menggunakan jig sebesar 36,74 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* mampu menurunkan total waktu produksi, terutama pada tahap setting benda kerja sebelum proses machining dilakukan.

Berdasarkan Grafik 1, terlihat bahwa waktu setting pada metode menggunakan jig jauh lebih rendah dibandingkan dengan milling konvensional. Perbedaan tersebut terjadi karena pada milling konvensional operator harus melakukan proses pemasangan, penjepitan, dan penyetelan posisi pada setiap benda kerja, sehingga dalam satu siklus produksi yang terdiri atas delapan benda kerja diperlukan delapan kali proses setting. Sebaliknya, pada metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*, proses setting hanya dilakukan satu kali pada awal produksi.

Setelah setting awal selesai, benda kerja berikutnya dapat langsung diproses tanpa penyetelan ulang posisi karena setiap lubang pada jig telah memiliki koordinat yang sama. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan jig mampu menyederhanakan proses setup sekaligus meningkatkan efisiensi kerja operator selama proses CNC milling.

Selain mengurangi waktu setting secara signifikan, penggunaan Jig Pin Pusher Wave Pallet juga menghasilkan waktu machining yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional. Penurunan waktu tersebut menunjukkan bahwa penggunaan jig memberikan kestabilan pencekaman dan posisi benda kerja selama proses pemesinan sehingga proses machining dapat berlangsung lebih lancar dan konsisten. Dengan demikian, implementasi Jig Pin Pusher Wave Pallet terbukti mampu meningkatkan efisiensi proses CNC milling, baik melalui pengurangan waktu setup maupun penurunan total waktu produksi dalam satu siklus pemesinan.

4. Analisa Efisiensi Waktu Produksi

Analisis efisiensi waktu produksi dilakukan untuk mengetahui besarnya penghematan waktu yang diperoleh setelah implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* pada proses *CNC milling* benda kerja silindris. Perhitungan efisiensi didasarkan pada perbandingan total waktu produksi antara milling konvensional (bubut) dan metode menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*. Semakin besar nilai efisiensi yang diperoleh, maka semakin besar pula penghematan waktu produksi yang dihasilkan melalui penggunaan jig. Dalam penelitian ini, efisiensi waktu produksi dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{T_k - T_j}{T_k} \times 100\%$$

Berdasarkan hasil pengukuran, diketahui bahwa :

$$T_k = 125,02 \text{ Menit}$$

$$T_j = 53,98 \text{ Menit}$$

Maka perhitungan efisiensi adalah:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{125,02 - 53,98}{125,02} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{71,04}{125,02} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi (\%)} = 56,82\%.$$

Selain itu, selisih waktu produksi antara kedua metode dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta T = 125,02 - 53,98 = 71,04 \text{ menit}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa implementasi Jig Pin Pusher Wave Pallet mampu menghemat waktu produksi sebesar 71,04 menit dalam satu siklus produksi yang terdiri atas delapan benda kerja, dengan tingkat efisiensi waktu produksi sebesar 56,82%.

Tabel 4. Hasil Analisis Efisiensi Waktu Proses

No	Parameter	Nilai
1	Total waktu produksi milling konvensional	125,02 menit
2	Total waktu produksi metode menggunakan jig	53,98 menit
3	Penghematan waktu produksi	71,04 menit
4	Efisiensi waktu produksi	56,82%

Sumber: Olah data peneliti, 2026.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat dinyatakan bahwa penggunaan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* memberikan pengaruh positif terhadap penurunan total waktu produksi pada proses CNC milling benda kerja silindris. Efisiensi waktu produksi sebesar 56,82% menunjukkan bahwa penggunaan jig mampu mengurangi waktu produksi secara signifikan dibandingkan metode milling konvensional. Penghematan waktu tersebut terutama

diperoleh karena proses setting yang semula dilakukan sebanyak delapan kali dapat dikurangi menjadi satu kali pada awal proses produksi. Selain itu, penggunaan jig juga membantu menjaga konsistensi posisi benda kerja sehingga proses machining berlangsung lebih efektif dan efisien. Dengan demikian, implementasi *Jig Pin Pusher Wave Pallet* dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan produktivitas proses CNC milling pada produksi yang dilakukan secara berulang.

5. Hasil Pengukuran Dimensi Benda Kerja

Pengukuran dimensi benda kerja dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi hasil pemesinan pada metode mesin milling konvensional dan mesin CNC milling menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*. Pengukuran dilakukan setelah proses pemesinan selesai dengan mengacu pada dimensi nominal benda kerja, yaitu 8 mm × 5 mm. Instrumen yang digunakan dalam pengukuran dimensi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Instrumen Pengukuran Dimensi Benda Kerja

No.	Dimensi yang Diukur	Instrumen Pengukuran	Ketelitian
1	Panjang benda kerja	Jangka Sorong (Vernier Caliper)	0,02 mm
2	Lebar benda kerja	Jangka Sorong (Vernier Caliper)	0,02 mm
3	Tinggi/Ketebalan benda kerja	Jangka Sorong (Vernier Caliper)	0,02 mm
4	Diameter luar	Mikrometer Luar	0,01 mm
5	Kedalaman lubang/alur	Depth Gauge pada Jangka Sorong	0,02 mm
6	Radius atau profil lengkung	Radius Gauge	Menyesuaikan spesifikasi alat

Sumber: Peneliti (2026).

Hasil pengukuran dimensi benda kerja yang diproses menggunakan mesin milling konvensional disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Dimensi Benda Kerja Mesin Milling Konvensional

No.	Kode Benda Kerja	Panjang (mm)	Lebar (mm)
1	BK-01	8,18	5,16
2	BK-02	7,84	4,91
3	BK-03	8,29	5,22
4	BK-04	7,76	5,08
5	BK-05	8,13	4,83
6	BK-06	7,95	5,31
7	BK-07	8,37	4,77
8	BK-08	8,06	5,12

Sumber: Hasil Pengukuran Peneliti (2026).

Hasil pengukuran dimensi benda kerja yang diproses menggunakan mesin CNC milling menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengukuran Dimensi Benda Kerja Mesin CNC Milling

No.	Kode Benda Kerja	Panjang (mm)	Lebar (mm)
1	BK-01	8,02	5,01
2	BK-02	7,99	5,00
3	BK-03	8,01	4,99
4	BK-04	8,03	5,02
5	BK-05	8,00	5,00
6	BK-06	7,98	5,01
7	BK-07	8,01	4,98
8	BK-08	8,00	5,02

Sumber: Hasil Pengukuran Peneliti (2026).

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 6 dan Tabel 7, benda kerja yang diproses menggunakan mesin milling konvensional memiliki variasi dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan benda kerja yang diproses menggunakan mesin CNC milling menggunakan *Jig Pin Pusher Wave Pallet*. Hal tersebut terlihat dari rentang hasil

pengukuran panjang dan lebar pada metode konvensional yang lebih besar dibandingkan dengan metode CNC milling.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata dimensi benda kerja yang diproses menggunakan CNC milling lebih mendekati dimensi nominal, yaitu $8\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, serta memiliki penyimpangan yang lebih kecil dibandingkan metode konvensional. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan Jig Pin Pusher Wave Pallet mampu menjaga posisi benda kerja tetap stabil selama proses pemesinan sehingga menghasilkan dimensi yang lebih seragam dan konsisten.

Secara keseluruhan, kedua metode masih menghasilkan benda kerja yang memenuhi spesifikasi dimensi yang ditetapkan. Namun, penggunaan Jig Pin Pusher Wave Pallet memberikan tingkat akurasi dan konsistensi dimensi yang lebih baik sehingga selain meningkatkan efisiensi waktu produksi, penggunaan jig juga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas hasil pemesinan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa implementasi Jig Pin Pusher Wave Pallet pada proses CNC milling benda kerja silindris memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan efisiensi waktu produksi dan kualitas hasil pemesinan. Penggunaan jig mampu mempercepat proses setting benda kerja, terutama pada tahap pemasangan, penjepitan, dan penyetelan posisi, karena benda kerja dapat ditempatkan padaudukan yang telah disediakan dan dikunci menggunakan sistem side clamping bolt. Dengan demikian, proses pemosisian benda kerja menjadi lebih cepat, lebih stabil, dan lebih konsisten dibandingkan metode milling konvensional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa total waktu produksi pada metode milling konvensional sebesar 125,02 menit, sedangkan pada metode menggunakan Jig Pin Pusher Wave Pallet sebesar 53,98 menit untuk satu siklus produksi yang terdiri atas delapan benda kerja. Penggunaan jig menghasilkan penghematan waktu produksi sebesar 71,04 menit dengan tingkat efisiensi waktu produksi sebesar 56,82%. Penghematan waktu tersebut terutama diperoleh karena proses setting yang semula dilakukan sebanyak delapan kali dapat dikurangi menjadi satu kali pada awal proses produksi.

Selain meningkatkan efisiensi waktu, penggunaan Jig Pin Pusher Wave Pallet juga menghasilkan dimensi benda kerja yang lebih seragam dibandingkan metode milling konvensional. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa dimensi benda kerja hasil CNC milling memiliki penyimpangan yang lebih kecil terhadap ukuran nominal sehingga menghasilkan tingkat akurasi dan konsistensi yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan jig tidak hanya mampu mempercepat proses produksi, tetapi juga meningkatkan kualitas hasil pemesinan melalui kestabilan posisi benda kerja selama proses machining.

Secara keseluruhan, implementasi Jig Pin Pusher Wave Pallet terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi proses CNC milling benda kerja silindris melalui pengurangan waktu setting, penyederhanaan proses pencekaman, serta peningkatan konsistensi dimensi benda kerja. Oleh karena itu, penggunaan jig dapat direkomendasikan sebagai salah satu alternatif perbaikan proses produksi pada kegiatan pemesinan CNC milling, khususnya untuk proses produksi yang dilakukan secara berulang atau melibatkan jumlah benda kerja yang lebih banyak.

5 Daftar Pustaka

- [1] M. Yusril, A. Sunding, and N. R. Wibowo, "Rancang bangun mesin cnc router," *J. Tematis*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.politeknikbosowa.ac.id/index.php/TMT/article/view/246>
- [2] I. Setiawan *et al.*, "Penerapan Jig & Fixture pada Produksi Massal di Industri Manufaktur," *J. Media Tek. dan Sist. Ind.*, vol. 7, no. 2, p. 104, 2023, doi: 10.35194/jmtsi.v7i2.3165.
- [3] N. A. Ariyanto and S. S. Budi, "Rancang Bangun Jig & Fixture Pemesinan *CNC milling* dengan Area Kerja 300x300mm," vol. 17, no. 01, pp. 152–159, 2026, doi: 10.35970/infotekmesin.v17i1.2849.
- [4] M. Z. Yaqub and A. Alsabban, "Industry-4.0-Enabled Digital Transformation: Prospects, Instruments, Challenges, and Implications for Business Strategies," *Sustain.*, vol. 15, no. 11, 2023, doi: 10.3390/su15118553.
- [5] Sugiyono, "Sugiyono. (2022). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. CV. ALFABETA.," *Metod. Penelit. Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*, vol. 9798433640, 2022.
- [6] K. P. Rajagukguk, *Bab Vii Populasi Dan Sampel*. 2023. [Online]. Available: <https://penerbitzaini.com/>
- [7] R. F. Popa and I. A. Popan, "RAPID PROTOTYPING USING *CNC MILLING*, CASE STUDY: JIG FOR ROBOTIC CELL „DP2022”,," *Acad. J. Manuf. Eng.*, vol. 20, no. 3, 2022.
- [8] H. Hibaitulah, K. Karyadi, D. Mulyadi, A. Amir, A. Supriyanto, and R. Aulia Nanda, "Optimasi Desain Jig Untuk Check Hole Pada Komponen Dudukan Shockbreaker Mobil," *J. Mek. Terap.*, vol. 6, no. 3, 2025, doi: 10.32722/jmt.v6i3.7848.
- [9] S. P. Purbaningrum, A. Muttaqin, F. Sumasto, and E. S. Solih, "Perancangan Jig Machining untuk Perbaikan Electroda ST-03," *J. Serambi Eng.*, vol. IX, no. 2, 2024.
- [10] A. D. Ramadan, I. G. N. K. Yudhyadi, and T. Rachmanto, "Optimize of machining parameters toward the process time of programming *CNC milling* based with CAD/CAM," *J. Tek Mesin*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [11] R. Mustofa *et al.*, "Analisis Tingkat Efisiensi Mesin *CNC milling* Berdasarkan Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses," vol. 27, no. 2, pp. 64–70, 2025.
- [12] Bohari, S. D. Ramdani, and W. Prasetyo, "Proses Pembuatan Gasket Menggunakan Mesin *CNC milling* Berbasis CAD/CAM," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 01, 2022.
- [13] R. Marcel, H. Reinhard, and K. Andreas, "Accuracy of CAD/CAM-fabricated bite splints: milling vs 3D printing," *Clin. Oral Investig.*, vol. 24, no. 12, 2020, doi: 10.1007/s00784-020-03329-x.
- [14] S. Omirou, M. Charalambides, A. Lontos, M. Menicou, and G. Demosthenous, "A dedicated CAD/CAM module for high-precision *CNC milling* of complex threads," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 140, no. 3–4, 2025, doi: 10.1007/s00170-025-16449-z.
- [15] L. Dwi Saputra and E. Yudiyanto, "Analisis Performa Mesin *CNC milling* Mini 3 Sumbu Terhadap Akurasi Gerak Pemotongan," *J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 3, 2024, doi: 10.47134/jme.v1i3.3117.
- [16] F. Sumasto, R. Ramadhani Jiwanto, B. Handoko Purwojatmiko, and I. Rizki Pratama, "IMPLEMENTASI PENJADWALAN PREVENTIVE MAINTENANCE UNTUK MENINGKATKAN NILAI EFEKTIVITAS MESIN PADA MESIN *CNC MILLING* VL-10i," *J. Ind. View*, vol. 5, no. 1, 2023.
- [17] M. Sevic and P. Keller, "Design of *CNC milling* machine as a base of industry 4.0 enterprise," *MM Sci. J.*, vol. 2019, no. December, 2019, doi: 10.17973/MMSJ.2019_12_2019042.
- [18] V. Samsonov, E. Chrismarie, H. G. Köpken, S. Bär, D. Lütticke, and T. Meisen, "Deep representation learning and reinforcement learning for workpiece setup optimization in *CNC milling*," *Prod. Eng.*, vol. 17, no. 6, 2023, doi: 10.1007/s11740-023-01209-3.
- [19] R. C. Reis, S. Kokare, J. P. Oliveira, J. C. O. Matias, and R. Godina, "Life cycle assessment of metal products: A comparison between wire arc additive manufacturing and *CNC milling*," *Adv. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 6,

- 2023, doi: 10.1016/j.aime.2023.100117.
- [20] J. Brtiš, J. Ždánsky, J. Hrbček, and K. Rástočný, "Development and Application of a Safety-Related Control System Implementing a Safety Function for a *CNC milling* Machine," *Electron.*, vol. 13, no. 24, 2024, doi: 10.3390/electronics13244870.
 - [21] Sugiyono. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta, 2019.
 - [22] Arikunto, S. Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik. Jakarta: Rineka Cipta, 2013.
 - [23] Nazir, M. Metode Penelitian. Bogor: Ghalia Indonesia, 2014.
 - [24] Sudjana. Metode Statistika. Bandung: Tarsito, 2005.
 - [25] Sriyanto. "Penerapan Metode RETAD untuk Mengurangi Waktu Set Up pada Mesin Milling P1 dan P2 Departemen Machining PT. Kubota Indonesia." *J@TI Undip: Jurnal Teknik Industri*, 2012.
 - [26] Efendi, A., & Hasibuan, R. P. "Perancangan *Fixture* in Jig sebagai Alat Bantu Proses Produksi Casebase di PT Team Metal Indonesia." *Comasie Journal*, 2022.
 - [27] Prastyo, A. Perancangan Jig and *Fixture* untuk Proses Pemesinan *CNC milling* Komponen Lip Cavity Insert di Industri Plastik. Skripsi/Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2023.
 - [28] Salshadilla, A. Usulan Perbaikan Waktu Set Up Mesin *CNC milling*: Studi Kasus di PT. Zae Elang Perkasa. Skripsi, Universitas Tarumanagara, 2021