

PENINGKATAN EFISIENSI MANUFAKTUR RING INJECT CAVITY MOULD DENGAN PENGGUNAAN FIXTURE PADA MESIN CNC MILLING DI PT. BIL

¹Bemly Hartman, ²Albait Malikul Izzat, ³Rachmat Nursalam, ⁴Ghany Heryana

^{1,2,3}Program Studi Magister Terapan Rekayasa Manufaktur, Pasca Sarjana, Politeknik Negeri Jakarta, ⁴Program Studi Teknik Mesin, Universitas Presiden

^{1,2,3}Jl. Prof. G. Siwabessy, Kampus UI, Depok, Indonesia

⁴Jababeka Education Park, Jl. Ki Hajar Dewantara, Kota Jababeka, Cikarang Utara, Bekasi, Jawa Barat

¹bemly.hartman.tm23@stu.pnj.ac.id, ²albaitmalikulizzat.tm23@stu.pnj.ac.id,

³rachmat.nursalam.tm23@stu.pnj.ac.id, ⁴heryanaghany@gmail.com

Abstrak

Ring inject cavity mould adalah komponen penting dalam proses injection stretch blow pada mesin pembuat botol plastik. Proses ini melibatkan lima langkah utama: injeksi, conditioning, stretching, blowing, dan ejecting. Namun, kerusakan pada ring inject cavity mould sering terjadi, yang mengharuskan penggantian komponen tersebut secara berkala. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi metode produksi yang lebih efisien untuk pembuatan ring inject cavity mould di PT BIL. Saat ini, proses pembuatan dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional, yang memerlukan waktu 64 jam untuk menghasilkan 16 buah dalam satu work order. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan mesin CNC (Computer Numerical Control) milling sebagai alternatif yang lebih efisien. Metodologi yang digunakan melibatkan perbandingan waktu produksi antara mesin bubut konvensional dan CNC milling, serta penerapan fixture sebagai alat bantu dalam proses CNC milling. Data yang dikumpulkan mencakup waktu produksi dan kualitas hasil produk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CNC Milling secara signifikan mengurangi waktu produksi menjadi hanya 24 jam untuk 16 ring dalam satu work order, dibandingkan dengan 64 jam yang diperlukan oleh mesin bubut konvensional. Selain itu, kualitas produk yang dihasilkan juga memenuhi standar yang diharapkan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa transisi dari mesin bubut konvensional ke CNC milling dengan penggunaan fixture dapat meningkatkan efisiensi produksi ring inject cavity mould di PT BIL, dengan waktu produksi yang lebih cepat dan kualitas yang tetap terjaga.

Kata kunci: CNC, fixture, injection stretch blow

Abstract

Ring inject cavity mould is a crucial component in the injection stretch blow process used in plastic bottle manufacturing machines. This process involves five main steps: injection, conditioning, stretching, blowing, and ejecting. However, damage to the ring inject cavity mould is a common occurrence, necessitating periodic component replacement. The objective of this research is to identify a more efficient production method for manufacturing ring inject cavity moulds at PT BIL. Currently, the manufacturing process is carried out using a conventional lathe, which requires 64 hours to produce 16 pieces in a single work order. This research aims to evaluate the effectiveness of using a CNC (Computer Numerical Control) milling machine as a more efficient alternative. The methodology employed involves comparing the production time between the conventional lathe and CNC milling, as well as implementing a fixture as an auxiliary tool in the CNC milling process. The data collected includes production time and product quality. The research results indicate that the use of CNC Milling significantly reduces production time to only 24 hours for 16 rings in a single work order, compared to the 64 hours required by the conventional lathe. Additionally, the quality of the products produced also meets the expected standards. The conclusion of this research is that the transition from a

conventional lathe to CNC milling with the use of a fixture can improve the production efficiency of ring inject cavity moulds at PT BIL, with faster production time and maintained quality.

Keywords: *CNC, fixture, injection stretch blow*

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi manufaktur, industri permesinan terus bertransformasi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk. Salah satu perubahan signifikan dalam proses produksi adalah pergeseran dari penggunaan mesin bubut konvensional menuju mesin CNC *milling* yang lebih canggih [1]. Hal ini menciptakan dampak yang signifikan dalam pembuatan berbagai komponen, termasuk *spare part ring inject cavity mould*. *Ring inject cavity mould* adalah *spare part* yang berperan penting pada proses *injection stretch blow* mesin.

Proses pembuatan *spare part ring inject cavity mould* sebelumnya dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional, yang melibatkan pemotongan material secara berputar untuk membentuk bentuk dan ukuran yang diinginkan. Namun, dengan kemunculan mesin CNC *milling*, pendekatan produksi ini telah mengalami perubahan yang signifikan. Mesin CNC *milling* menggunakan kontrol komputer untuk mengatur pergerakan alat pemotong dalam tiga dimensi, memungkinkan pembuatan *spare part ring* dengan tingkat presisi yang lebih tinggi dan waktu produksi yang lebih cepat. Dibandingkan dengan mesin bubut konvensional, mesin CNC *milling*

menawarkan fleksibilitas yang lebih besar dalam pembentukan berbagai geometri dan desain kompleks. Pergeseran ini tidak hanya mempengaruhi teknik produksi, tetapi juga mempengaruhi kualitas dan keandalan *spare part ring* yang dihasilkan. Proses produksi yang terkontrol secara ketat dan kemampuan untuk menghasilkan komponen dengan toleransi yang sangat ketat membuat mesin CNC *milling* menjadi pilihan utama dalam pembuatan *spare part ring* untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi.

Fixture merupakan alat yang dirancang secara spesifik dan digunakan untuk meletakkan dan menyangga benda kerja dalam proses produksi [2]. Tujuan utama penggunaan *fixture* adalah untuk membantu proses produksi dengan cara menahan benda kerja agar tetap pada posisi yang diinginkan [3]. Selain itu, penggunaan *fixture* ditujukan agar benda kerja dapat direkayasa secara massal dengan presisi dan dalam waktu yang lebih singkat [4]. Benda kerja dapat disebut dengan benda uji karena *fixture* pada penelitian ini digunakan untuk membantu mempercepat proses pembuatan *ring inject cavity mould*. Proses pembuatan *ring inject* ini di PT BIL (pada umumnya masih menggunakan mesin bubut konvensional yang menghabiskan waktu cukup lama dengan data yang ada yakni 16 buah dalam waktu 64 jam

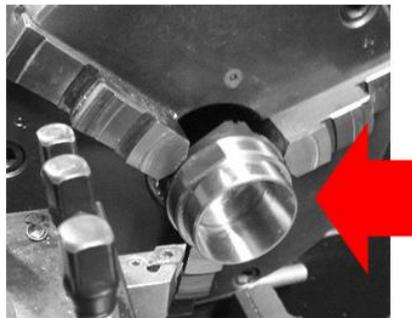
dalam satu *Work Order* (WO). Oleh sebab itu, dibutuhkan alternatif pembuatan yang cukup efektif dan efisien dalam pembuatan *ring inject cavity mould*.

Ring cavity mould dibuat dari silinder dengan dimensi diameter 52,92 mm bahan *stainless steel*, yang kemudian dilakukan proses permesinan dengan mesin bubut konvensional selama 4 jam per buah seperti yang terlihat pada Gambar 1. *Ring cavity mould* yang sudah jadi dapat dilihat pada Gambar 2, kemudian dipasang pada mesin *injection stretch blow moulding*.

Di PT BIL sendiri hanya memiliki satu unit mesin bubut konvensional sehingga pengerjaan pembuatan *ring inject cavity mould* di mesin bubut konvensional hanya

bisa dilakukan 1 buah per proses serta tidak bisa dilakukan secara massal. Apabila mesin bubut tersebut dalam keadaan rusak (*downtime*), maka proses *machining* tidak dapat dilakukan [5]. Selain itu, *finishing area taper kontak lip cavity* di mesin bubut tidak stabil sehingga menyebabkan ketidakpresisian.

Berikut beberapa penelitian sebidang terkait desain dan pembuatan *fixture* CNC *milling*. Patwardhan melakukan desain dan pembuatan *fixture* baru untuk tutup *casing* bantalan yang bertujuan meningkatkan efisiensi produksi di industri otomotif. *Fixture* baru ini berhasil mengurangi waktu siklus produksi sebesar 9,38% dan meningkatkan jumlah produksi bulanan sebesar 9,09%.



Gambar 1. Proses dengan Mesin Bubut Konvensional



Gambar 2. *Ring Inject Cavity Mould* Setelah Dilakukan Proses *Machining*

Desain dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak CATIA (*Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application*), memberikan hasil yang lebih efisien dibandingkan *fixture* lama [6]. Prashanth dan Sachidananda melakukan desain dan pembuatan *fixture* alat khusus untuk *turret* CNC yang digunakan dalam industri otomotif. Penelitian ini menunjukkan bahwa *fixture* ini meningkatkan efisiensi produksi dengan mengurangi biaya instalasi dan waktu pemesinan untuk operasi seperti pengeboran dan pembentukan *chamfer*. Analisis tegangan menggunakan perangkat lunak ANSYS juga dilakukan untuk memastikan kekuatan dan stabilitas *fixture* selama proses pemesinan [7]. Maniar and Vakharia melakukan desain dan pengembangan *fixture rotary* untuk pusat pembubutan CNC, yang digunakan untuk mengolah komponen industri minyak. Metode yang dikembangkan berhasil menyeimbangkan massa *fixture* secara otomatis sebelum proses manufaktur menggunakan perangkat lunak Creo Elements/Pro 5.0, menghemat biaya hingga 10 juta rupee dibandingkan mesin HMC yang lebih mahal. Analisis elemen hingga dan metode *quadrant balancing* digunakan untuk mengoptimalkan desain dan performa *fixture* dalam lingkungan produksi nyata [8]. Li, Xin, Wu, dan Kong melakukan pemilihan material yang mempengaruhi akurasi *fixture* pada mesin CNC. Berdasarkan eksperimen menggunakan dua material *fixture* (45# dan 65Mn), material 65Mn dengan kekerasan dan kekuatan lebih tinggi

menghasilkan akurasi penempatan ulang yang lebih baik dibandingkan 45#. Simetri struktur *fixture* juga terbukti meningkatkan akurasi, dengan struktur simetris menunjukkan performa lebih baik dibandingkan yang asimetris [9]. Hidayat merancang *jig* dan *fixture* untuk proses pembubutan rata pada plat besi menggunakan mesin CNC *turning*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan plat mempengaruhi nilai kekasaran permukaan, di mana plat dengan ketebalan 5,5 mm memiliki kekasaran tertinggi 3,669 μm pada kedalaman pemakanan 3 mm, sedangkan plat 2,5 mm menghasilkan kekasaran 1,347 μm pada kedalaman 2 mm. *Jig* dan *fixture* yang dirancang berhasil meningkatkan presisi dalam proses pemotongan plat [10]. Indrawan *et al.* merancang *jig* dan *fixture* untuk proses *milling suction casing* di mesin CNC 3-Axis. *Jig* dan *fixture* dirancang untuk meningkatkan efisiensi produksi massal *suction casing*, menghasilkan dua produk dalam waktu kurang dari 12 menit dengan total produksi 192 unit per *shift*. Penggunaan *jig* dan *fixture* terbukti meningkatkan kapasitas produksi dan presisi produk dengan mengurangi waktu pemrosesan dan meningkatkan akurasi dimensi produk [11]. Sonjaya, Massaguni, dan Amaluddin melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengurangi waktu siklus produksi *Circular Pattern Interpolation Products* (CPIP) menggunakan *fixture* khusus pada mesin CNC 3 sumbu. Desain *fixture* yang dibuat mampu mengurangi waktu setup awal sebesar 63,11% dan waktu transfer

clamping sebesar 83,55%. Hasilnya menunjukkan efisiensi yang signifikan dalam produksi komponen seperti *disk brake* dan *turbine disk runners*, yang berpotensi mengurangi biaya produksi di masa depan [12].

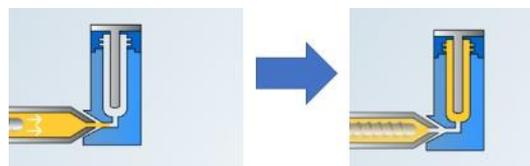
Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang diulas di atas, maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan *fixture* pada *ring inject cavity mould* dan penelitian terhadap efisiensi waktu pembuatan *fixture* tersebut. Dalam penelitian ini, dilakukan eksplorasi lebih dalam tentang desain *fixture* guna peralihan dari penggunaan mesin bubut konvensional ke mesin CNC *milling* dalam pembuatan *spare part ring inject cavity mould* agar dapat mengoptimalkan proses secara cepat dengan kualitas yang sangat baik.

METODE PENELITIAN

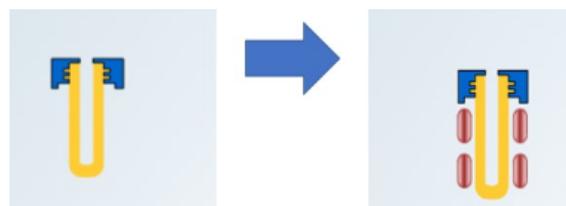
Metode yang digunakan dalam penelitian ini terpacu pada *input*, proses, dan *output* [13]. Penelitian dilakukan dengan merujuk pada berbagai metode perancangan dan menggunakan *root cause analysis* untuk membantu

proses analisis data [14]. Mesin *injection stretch blow* merupakan jenis mesin yang digunakan dalam proses manufaktur untuk membuat botol plastik dari *preform* plastik. Prosesnya utama melibatkan 5 langkah utama yaitu [15]:

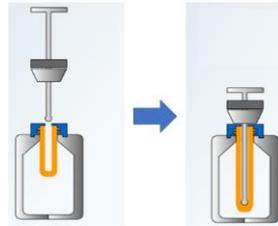
- a. *Injection* yaitu pembuatan *preform* dengan cara memasukkan material plastik ke dalam cetakan seperti yang terlihat pada Gambar 3.
- b. *Conditioning* yaitu mengkondisikan *preform* dengan menjaga temperaturnya dengan diberi panas serta dijaga posisinya agar tetap lurus seperti yang terlihat pada Gambar 4.
- c. *Stretching* yaitu proses menekan atau meregangkan *preform* di dalam *blow cavity* sebelum proses selanjutnya seperti yang terlihat pada Gambar 5.
- d. *Blowing* yaitu proses peniupan atau pengembangan *preform* di dalam *cavity*, sehingga *preform* membesar mengikuti kontur atau bentuk yang ada pada *blow cavity* seperti yang terlihat pada Gambar 6.
- e. *Ejecting* yaitu proses melepas produk dari *mould* (terlihat pada Gambar 7).



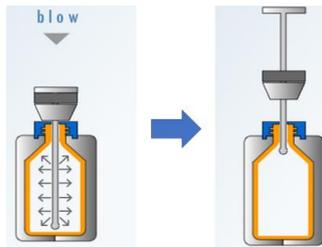
Gambar 3. Langkah *Injection*



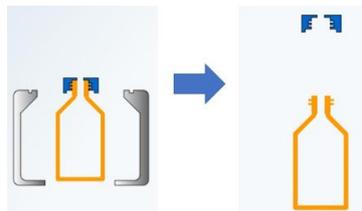
Gambar 4. Langkah *Conditioning*



Gambar 5. Langkah *Stretching*



Gambar 6. Langkah *Blowing*



Gambar 7. Langkah *Ejecting*

Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun alat bantu *fixture* untuk proses pembubutan plat pada mesin CNC *milling*. Perancangan alat bantu *fixture* menggunakan aplikasi desain yaitu SolidWorks. Adapun komponen dari alat bantu *jig* dan *fixture* ialah plat besi dengan panjang \times lebar \times tebal yaitu 400 mm \times 200 mm \times 30 mm. Kemudian dilakukan proses permesinan untuk membuat lubang kotak sepanjang 45 mm sebanyak 8 buah yang kemudian dibuat ulir, sebagai penghubung plat ke *ring cavity mould*.

Setelah proses permesinan pada *fixture* selesai, dilakukan uji coba pembuatan *ring*

cavity mould dengan menggunakan mesin CNC *milling*. Benda kerja sebanyak 8 buah diletakkan pada *fixture* dengan cara dibaut pada bagian belakangnya. Kemudian dilakukan *programming* pada mesin CNC *milling* lalu proses permesinan dijalankan dan dihitung waktu kerja pada proses tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu permesinan merupakan waktu total mesin yang sedang mengerjakan benda kerja [16]. Data waktu pengerjaan satu benda kerja dalam *operation plan* mesin bubut konvensional didapat pada Tabel 1.

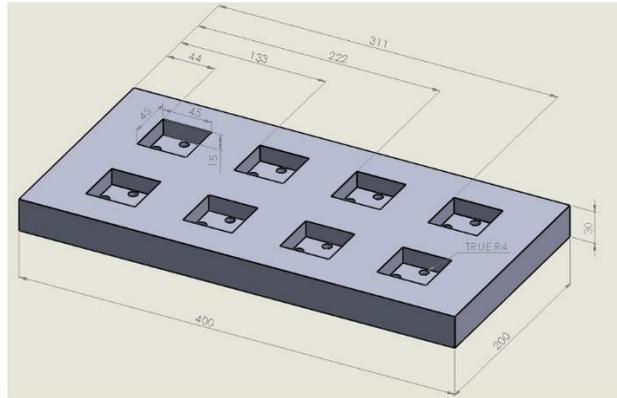
Tabel 1. *Machining Time* Mesin Bubut Konvensional

| No | Proses | Waktu |
|--------------|---|------------------|
| 1 | <i>Facing just clean</i> menggunakan pahat ISO 2 <i>carbide</i> . | 13,9 menit |
| 2 | Pengerjaan Ø45,9 menggunakan pahat ISO 6 <i>carbide</i> dengan sepanjang 10,2 mm. | 20,4 menit |
| 3 | Lubang TD Ø10 (<i>Full Depth</i>). | 1,3 menit |
| 4 | Lubang TD Ø15 (<i>Full Depth</i>). | 1,9 menit |
| 5 | Lubang TD Ø20 (<i>Full Depth</i>). | 2,5 menit |
| 6 | Lubang Ø36 <i>full depth</i> menggunakan ISO 9 <i>carbide</i> . | 47,1 menit |
| 7 | Lubang Ø39 sepanjang 17,3 mm menggunakan ISO 9 <i>carbide</i> . | 29,4 menit |
| 8 | Lubang Ø42,7 sepanjang 14,05 mm dengan <i>angle</i> 7,5 menggunakan ISO 9 <i>carbide</i> . | 26,3 menit |
| 9 | Balik benda kerja, cekam Ø45,9 sepanjang 8 mm, lalu masukkan panjang 20,2 mm menggunakan ISO 2 <i>carbide</i> . | 61,1 menit |
| 10 | Ø52,92 sepanjang 10 mm menggunakan ISO 6 <i>carbide</i> . | 23,1 menit |
| TOTAL | | 227 menit |

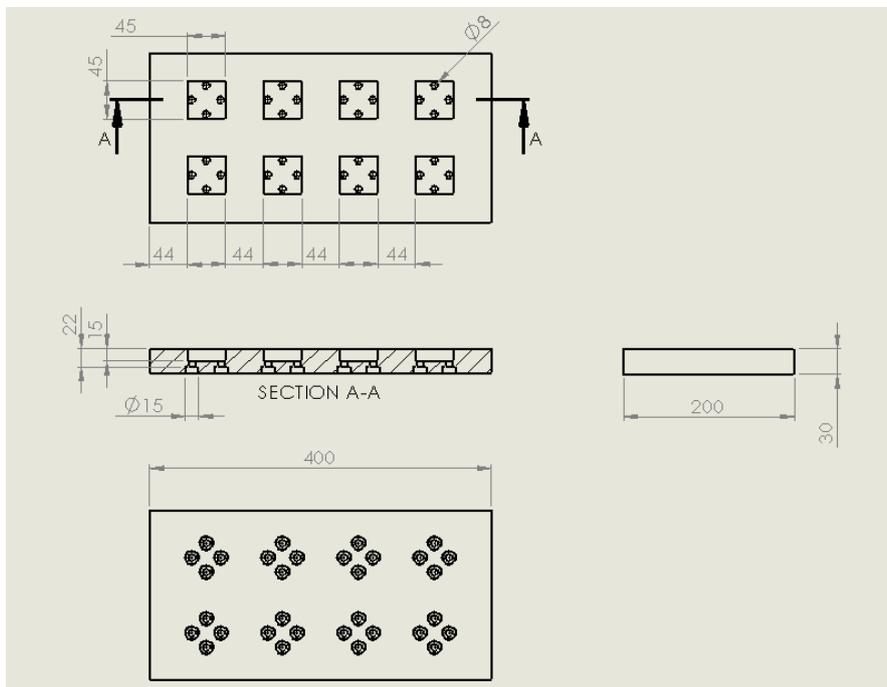
Berdasarkan Tabel 1, waktu total yaitu 227 menit atau 3,78 jam per benda kerja, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu WO atau 16 buah benda kerja adalah 60,53 jam. Melalui proses observasi lapangan dan analisis industri, permintaan pembuatan *ring inject cavity* per WO rata-rata sebanyak 16 buah dan membutuhkan waktu pengerjaan di mesin bubut > 60 jam. Untuk meminimalisir waktu pengerjaan, dapat dilakukan proses permesinan dengan menggunakan mesin CNC *milling*, yang dapat melakukan proses *cutting* pada benda kerja secara lebih cepat. Perancangan *fixture* menggunakan *software* SolidWorks dan didapat ukuran *fixture* seperti

yang terlihat pada Gambar 8 yaitu $p \times l \times t$ yaitu 400 mm \times 200 mm \times 30 mm dengan lubang berbentuk persegi sebanyak 8 buah dengan ukuran 45 mm \times 45 mm \times 15 mm dan dibuat lubang baut pada masing-masing kotak 4 x Ø8 mm. Hasil *drawing fixture* dua dimensi dapat dilihat pada Gambar 9.

Setelah dilakukan proses rancangan desain di SolidWorks, dilakukan fabrikasi *fixture* dengan kapasitas 8 buah *ring injection cavity mould* dengan menggunakan material baja *stainless* dengan proses *milling*. Hasil pembuatan *fixture* dan proses *machining* benda kerja dengan menggunakan *fixture* tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



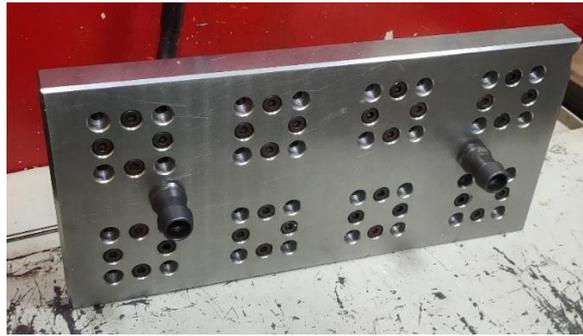
Gambar 8. Desain *Fixture* 3D



Gambar 9. Desain *Fixture* 2D



Gambar 10. *Fixture Ring Cavity Injection Mould* Tampak Atas



Gambar 11. *Fixture Ring Cavity Injection Mould* Tampak Bawah

Tabel 2. *Machining Time CNC Milling*

| No | Proses | Waktu |
|--------------|--|--------------------------|
| 1 | <i>Facing just clean Ø63</i> | 1 menit 9 detik |
| 2 | Pengerjaan <i>Blocking finishing Ø52,92.</i> | 7 menit 60 detik |
| 3 | Pengerjaan <i>Blocking finishing Ø45,9.</i> | 3 menit 3 detik |
| 4 | <i>NC Drill</i> | 6 detik |
| 5 | <i>Twist Drill Ø10</i> | 32 detik |
| 6 | <i>Twist Drill Ø20</i> | 1 menit 5 detik |
| 7 | Pengerjaan <i>Blocking finishing Ø36.</i> | 29,4 menit |
| 8 | Pengerjaan <i>Blocking finishing Ø39.</i> | 5 menit 35 detik |
| 9 | Tirus Ø39 ke Ø42.83 dengan sudut 7,5° | 8 menit 2 detik |
| 10 | <i>SW 49</i> | 10 menit |
| 11 | Balik benda kerja | 1 menit |
| 12 | <i>Facemill 2 mm</i> | 3 menit |
| 13 | Pemakanan 13 mm | 40 menit |
| TOTAL | | 88 menit 52 detik |

Tabel 3. Perbandingan *Machining Part* dengan Bubut vs *CNC Milling*

| No. | Metode | Jumlah | Waktu |
|-----|---------------------------------------|--------|--------------------------|
| 1 | <i>Machining</i> - bubut konvensional | 1 ring | 227 menit |
| 2 | <i>Machining</i> - <i>CNC Milling</i> | 1 ring | 88 menit 52 detik |

Setelah *fixture* dipastikan sesuai dengan desain, maka perlu dilakukan uji coba pembuatan *ring injection cavity mould* pada *CNC milling*. Sebelum dilakukan proses permesinan, dilakukan perhitungan *machining time* pada satu buah benda kerja (*ring injection cavity mould*). Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil perhitungan waktu pengerjaan (T) pada proses *machining* pada mesin *CNC*

milling yaitu 88 menit 52 detik. Jadi, untuk dapat membuat satu *ring cavity* dibutuhkan waktu sebanyak 88 Menit 52 detik, maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu WO yang terdiri 16 *ring cavity* yaitu 85312 detik atau 23 jam 10 menit (23,69 jam).

Setelah dilakukan perhitungan pembuatan *spare part ring inject cavity mould* pada mesin *CNC milling* maka didapatkan perbandingan, proses yang sebelumnya

dilakukan pada mesin bubut konvensional dapat diproses di CNC *milling*, dengan perbandingan waktu yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Setelah dilakukan perhitungan, maka dilakukan pengerjaan di mesin CNC *milling* menggunakan *fixture* yang sudah dibuat.

Langkah pertama menempatkan material di *fixture* (terlihat pada Gambar 12), kemudian menempatkan material di mesin CNC (terlihat pada Gambar 13). Selanjutnya menjalankan program *G code* pada mesin CNC *milling* (terlihat pada Gambar 14) dan diperiksa hasil kualitas produk (terlihat pada Gambar 15).



Gambar 12. Penempatan Benda Kerja pada *Fixture*



Gambar 13. Penempatan *Fixture* dan Benda Kerja pada Mesin CNC



Gambar 14. Program G Code Dijalankan pada CNC Milling



Gambar 15. Pemeriksaan Kualitas dari Proses CNC Milling

KESIMPULAN DAN SARAN

Pembuatan *fixture* berdampak proses pada pembuatan *ring inject cavity mould* yang sebelumnya diproses pada mesin bubut konvensional dapat diproses di CNC *milling*. Waktu yang dibutuhkan apabila satu WO dengan 16 buah *ring inject cavity* dikerjakan oleh mesin bubut konvensional yaitu 60,53 jam, sedangkan waktu yang dibutuhkan jika dikerjakan dengan mesin CNC *milling* yaitu

23,69 jam. Dengan kata lain, waktu pengerjaan bisa dipersingkat 2,5 kali lebih cepat dari sebelumnya. Ukuran *fixture* yang didapat, $p \times l \times t$ yaitu 400 mm \times 200 mm \times 30 mm dengan lubang berbentuk persegi sebanyak 8 buah dengan ukuran 45 mm \times 45 mm \times 15 mm dan dibuat lubang baut pada masing-masing kotak 4 \times \varnothing 8 mm.

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengkaji efektivitas penggunaan material alternatif untuk *fixture*

dalam rangka meningkatkan durabilitas dan stabilitas proses produksi. Selain itu, eksplorasi algoritma pemrograman CNC yang lebih canggih atau otomatisasi berbasis kecerdasan buatan dapat dipertimbangkan untuk mengoptimalkan efisiensi waktu pengerjaan. Studi ini juga dapat diperluas dengan mengukur dampak perubahan tersebut terhadap biaya produksi, konsumsi energi, dan pengurangan limbah material dalam skala yang lebih besar. Penelitian lebih lanjut dapat mencakup simulasi dan analisis digital berbasis *software* untuk memvalidasi desain sebelum tahap produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sevic and P. Keller, "Design of CNC milling machine as a base of industry 4.0 enterprise," *MM Science Journal*, vol. 05, Dec., pp. 3555–3560, 2019.
- [2] H. Prasetiyo, R. Rispianda, and H. Adanda, "Rancangan jig dan fixture pembuatan produk cover on-off," *Teknoin*, vol. 22, no. 5, pp. 350–360, 2016.
- [3] C. C. Okpala and O.C. Ezeanyim, "The design and need for jigs and fixtures in manufacturing," *Science Research*, vol. 3, no. 4, p. 213-219, 2015.
- [4] E. J. H. Jones and H. C. Town, "Production engineering: jig and tool design," p. 289, 1972.
- [5] Y. Purnomo, A. A. Sibarani, and I. Prakoso, "Analisis dan peningkatan kinerja mesin bubut menggunakan failure mode effects criticality analysis di bengkel xyz," *Din. Rekayasa*, vol. 19, August, p. 147, 2023.
- [6] M. Patwardhan, "Design & manufacturing of fixture for bearing casing cap design & manufacturing of fixture for bearing casing cap," *Gis Science Journal*, vol. 11, no. 6, June, pp 1869-9391, 2024.
- [7] P. V. Prashanth and H. K. Sachidananda, "Design and fabrication of special purpose tool fixture for cnc turrets," *Int. J. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 17–21, 2016.
- [8] N. P. Maniar and D. P. Vakharia, "Design & development of rotary fixture for cnc with computer aided mass balancing method as pre-mortem tool," *Procedia Technology*, vol. 14, p. 397–404, 2014.
- [9] R. Li, M. Xin, J. Wu, and B. Kong, "Influence of material selection on fixture accuracy of CNC machine tools," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1986, August, no. 1, 2021.
- [10] M. F. Hidayat, "Rancang bangun jig dan fixture komponen plat pada proses," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 12 no. 2, August, p. 107-111, 2024.
- [11] R. Indrawan *et al.*, "Rancang bangun jig and fixture suction casing untuk proses milling di mesin CNC milling 3-axis," *J. Pendidik. Tek. Mesin*

- Undiksha*, vol. 10, no. 2, pp. 212–220, 2022.
- [12] M. L. Sonjaya, M. Massaguni, and M. N. H. Amaluddin, “Reducing cycle time in the manufacturing process of circular pattern interpolar products (CPIP) using special fixtures on a 3-axis CNC machine,” *INTEK J. Penelit.*, vol. 10, no. 2, pp. 131–136, 2023.
- [13] A. Asrin, “Metode penelitian eksperimen,” *Maqasiduna J. Educ. Humanit. Soc. Sci.*, vol. 2, Feb., pp. 21–29, 2022.
- [14] H. Wang, Z. Zhao, Z. Dai, Z. Peng, and S. Li, “Using data mining and root cause analysis method for failure analysis in electronic components,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1043, no. 2, 2021.
- [15] P.-C. Hsieh, “Intelligent temperature control of a stretch blow moulding machine using deep reinforcement learning,” *Processes*, vol. 11, Jun., p. 1872, 2023.
- [16] S. A. Pratama and E. Koswara, “Proses produksi part shaft mixer vertical menggunakan mesin bubut konvensional dan mesin milling CNC,” *Semin. Teknol. Majalengka*, vol. 7, Nov., p. 341-352, 2023.