

**Perancangan *fixture* untuk proses pemesinan rumah komponen
dengan penggerak pneumatik di mesin CNC**

*Fixture design for component housing machining process with
pneumatic drive on CNC machines*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Septian Dwi Riyanto

NPM: 203030063



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Septian Dwi Riyanto
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030063
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 20 Desember 2024

Penulis,



Septian Dwi Riyanto

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Septian Dwi Riyanto

NPM : 203030063

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Perancangan *fixture* untuk proses pemesinan rumah komponen dengan penggerak pneumatik di mesin CNC”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 20 Desember 2024

Yang menyatakan,



Septian Dwi Riyanto

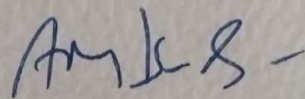
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Perancangan *Fixture* untuk Proses Pemesinan Rumah Komponen Dengan Penggerak Pneumatik di Mesin CNC



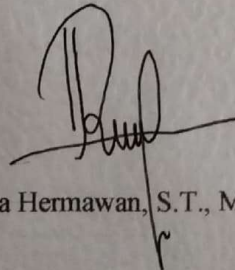
Nama: Septian Dwi Riyanto
NPM: 203030063

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping



M. Reza Hermawan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Perancangan *Fixture* untuk Proses Pemesinan Rumah Komponen Dengan Penggerak Pneumatik di Mesin CNC



Nama: Septian Dwi Riyanto
NPM: 203030063

Tanggal sidang skripsi: 20 Desember 2024

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Sekretaris : M. Reza Hermawan, S.T., M.T.

Anggota : Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan karunia-Nya, penyusunan laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu dengan keadaan sehat jasmani dan rohani. Tak lupa shalawat serta salam selalu tecurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik untuk umat manusia.

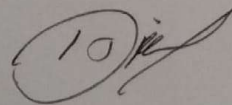
Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberi dukungan dan bantuan hingga terselesaikannya laporan skripsi ini dengan sebaik – baiknya. Terutama kepada:

1. Keluarga besar saya yang selalu memberikan dukungan dan bantuan, baik secara moril maupun materil, serta doa yang tiada henti-hentinya,
2. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan,
3. Bapak Dr. Ir. Ade Bagdja, MME. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan laporan skripsi,
4. Bapak M. Reza Hermawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan laporan skripsi,
5. Sania Nurronnavisa yang senantiasa selalu memberikan support, semangat, dan juga membantu dalam penyusunan laporan skripsi ini,
6. Teman – teman Fakultas Teknik Mesin UNPAS angkatan 2020 dan Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan skripsi ini.

Dengan ini, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang dan setulus-tulusnya, untaian doa senantiasa terucap, semoga membawa amal ibadah yang tiada henti. Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kata sempurna, dan tentunya masih banyak sekali kekurangan dan penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan skripsi ini bermanfaat bagi semua pembaca.

Bandung, 20 Desember 2024

Penulis,



Septian Dwi Riyanto

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	1
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat	2
5. Batasan masalah.....	2
6. Sistematika penulisan.....	2
BAB II STUDI LITERATUR	4
1. <i>Fixture</i>	4
2. Proses <i>machining</i>	10
3. Mesin CNC	11
4. Penelitian yang relevan	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
1. Tahapan penelitian	14
2. Kriteria perancangan	16
3. Perancangan	16
A. Alternatif desain A	16
B. Alternatif desain B	19
C. Alternatif desain C	23
D. Alternatif desain D	26
4. Rincian biaya	29

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	31
1. Perhitungan gaya yang terjadi pada proses pemesinan.....	31
A. Proses <i>milling</i>	32
B. Proses <i>drilling</i>	36
2. Simulasi	41
3. Pemilihan desain yang digunakan	44
4. Detail perancangan alternatif D	46
A. <i>Base fixture</i> proses 1	47
B. <i>Base fixture</i> proses 2	47
C. <i>Pneumatic swing clamp</i>	48
D. Katup manual (<i>manual valve</i>).....	49
E. Filter udara (<i>regulator</i>).....	50
F. <i>Pneumatic rotary joint</i>	50
G. Rangkaian sistem <i>pneumatic</i>	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
1. Kesimpulan.....	52
2. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	56
1. Gambar teknik	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Referencing the tool to the work</i> [1]	4
Gambar 2. Pengaturan titik lokator sesuai dengan prinsip 3-2-1 [1]	6
Gambar 3. Jenis - jenis <i>clamping system</i>	7
Gambar 4. <i>Manual fixture</i>	8
Gambar 5. <i>Pneumatic fixture</i> [8]	9
Gambar 6. <i>Hydraulic fixture</i> [8]	9
Gambar 7. <i>Hydropneumatic fixture</i> [8]	10
Gambar 8. Proses pemesinan [10]	11
Gambar 9. Mesin CNC HAAS 4 axis vertikal [15]	12
Gambar 10. Diagram alir tahapan penelitian	14
Gambar 11. <i>Fixture</i> operasi pertama alternatif A	17
Gambar 12. Titik lokator	17
Gambar 13. Bagian proses operasi pertama alternatif A	18
Gambar 14. <i>Fixture</i> operasi kedua alternatif A	18
Gambar 15. Titik lokator	19
Gambar 16. Bagian proses operasi kedua alternatif A	19
Gambar 17. <i>Fixture</i> operasi pertama alternatif B	20
Gambar 18. Titik lokator	20
Gambar 19. Bagian proses operasi pertama alternatif B	21
Gambar 20. <i>Fixture</i> operasi kedua alternatif B	21
Gambar 21. Titik lokator	22
Gambar 22. Bagian proses operasi kedua alternatif B	22
Gambar 23. <i>Fixture</i> operasi pertama mesin horizontal	23
Gambar 24. Titik lokator	23
Gambar 25. Bagian proses operasi pertama alternatif C	24
Gambar 26. <i>Fixture</i> operasi kedua alternatif C	24
Gambar 27. Titik lokator	25
Gambar 28. Bagian proses operasi kedua alternatif C	25
Gambar 29. <i>Fixture</i> operasi pertama alternatif D	26
Gambar 30. Titik lokator	26
Gambar 31. Bagian proses operasi pertama alternatif D	27
Gambar 32. <i>Fixture</i> operasi kedua alternatif D	27
Gambar 33. Titik lokator	28

Gambar 34. Bagian proses operasi kedua alternatif D.....	28
Gambar 35. Katalog <i>tool drill</i> yang dipakai [21].....	37
Gambar 36. Simulasi proses <i>drill</i> (dia 20 mm).....	42
Gambar 37. Simulasi proses <i>drill</i> (dia 9,9 mm).....	43
Gambar 38. Simulasi proses <i>groove milling</i> (dia 8 mm)	43
Gambar 39. Simulasi proses <i>side milling</i> (dia 8 mm).....	43
Gambar 40. Simulasi proses <i>drill</i> (dia 11 mm).....	44
Gambar 41. <i>Base fixture</i> proses 1	47
Gambar 42. <i>Base fixture</i> proses 2.....	48
Gambar 43. Spesifikasi <i>pneumatic clamp</i> [22].....	48
Gambar 44. Grafik <i>clamping force</i> [22].....	49
Gambar 45. Manual <i>pneumatic valve</i> [23]	50
Gambar 46. Regulator [24]	50
Gambar 47. <i>Pneumatic rotary joint</i> [24]	51
Gambar 48. Skematis sistem <i>pneumatic</i>	51



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rincian biaya	29
Tabel 2. Bagan material alluminium alloy 7075 t6 [19]	32
Tabel 3. Parameter <i>tool endmill</i> untuk <i>groove milling</i> [20].....	33
Tabel 4. Parameter <i>tool endmill</i> untuk <i>side milling</i> [20].....	33
Tabel 5. Parameter <i>tool drill</i> [21].....	37
Tabel 6. Kriteria perancangan yang diperoleh.....	45
Tabel 7. <i>Decision matrix</i>	45



ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya permintaan akan produk manufaktur berkualitas tinggi yang dihasilkan secara efisien dalam skala besar. *Jig* dan *fixture* memegang peran penting dalam kelancaran berbagai proses produksi, terutama dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi. Penggunaan *fixture* untuk membantu proses pemesinan rumah komponen sudah diterapkan oleh PT Mikron Presisi Indonesia. *Fixture* yang digunakan saat ini menggunakan sistem manual *clamping* (pencekam), *fixture* tersebut berjumlah 3 (tiga) buah dengan 7 (tujuh) posisi pengerjaan. Dimana 6 posisi terbagi menjadi 2 (dua) buah *fixture* yang terpasang pada satu mesin CNC *milling* dua palet tipe horizontal dan 1 (satu) buah *fixture* terpasang pada mesin CNC *milling* tipe vertikal. Dari masing – masing *fixture* tersebut, rumah komponen harus melalui 7 kali perpindahan posisi yang berbeda untuk dilakukan proses pemesinan. Saat ini, untuk membentuk rumah komponen dari material mentah sampai jadi membutuhkan ± 70 tahapan proses pemesinan. Meski demikian, terdapat potensi peningkatan pada *fixture* yang digunakan dalam proses pemesinan rumah komponen. Peningkatan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu, dengan membuat desain *fixture* baru yang mampu membantu proses pemesinan rumah komponen dengan menggunakan dua buah mesin CNC saja, dan mengaplikasikan *pneumatic clamping* pada sistem pencekamannya (*clamping*). Penelitian ini bertujuan mendesain *fixture* untuk membantu proses pemesinan rumah komponen dengan menggunakan *pneumatic clamping* serta mengurangi jumlah *fixture* yang digunakan, agar dapat meminimalisir pergeseran dan perpindahan rumah komponen. Metode yang digunakan untuk menentukan alternatif desain terbaik, yaitu dengan membuat tabel *decision matrix*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain yang optimal dapat memproses seluruh bagian rumah komponen dalam satu perpindahan tanpa menimbulkan defleksi. Dengan demikian, penggunaan *pneumatic clamping* dapat diterapkan untuk menjaga stabilitas rumah komponen dan memungkinkan proses pemesinan dilakukan dalam satu kali perpindahan.

Kata kunci: manufaktur, desain *fixture*, *jig & fixture*, *machining*, *pneumatic clamping*

ABSTRACT

This research is motivated by the increasing demand for high-quality manufactured products that are produced efficiently on a large scale. Jigs and fixtures play an important role in the smooth running of various production processes, especially in improving accuracy and efficiency. The use of fixtures to help the machining process of component houses has been implemented by PT Mikron Presisi Indonesia. The fixture currently used uses a manual clamping system, the fixture consists of 3 (three) pieces with 7 (seven) working positions. Where the 6 positions are divided into 2 (two) fixtures installed on one CNC milling machine, two horizontal type pallets and 1 (one) fixture installed on a vertical type CNC milling machine. From each of these fixtures, the component housing must go through 7 different position changes to carry out the machining process. Currently, to form a component housing from raw materials to finished requires ± 70 stages of the machining process. However, there is a potential for improvement in the fixtures used in the machining process of component housings. The improvement made in this study is by making a new fixture design that is able to help the machining process of the component house by using only two CNC machines, and applying pneumatic clamping to the clamping system. This research aims to design fixtures to help the machining process of component houses by using pneumatic clamping and reducing the number of fixtures used, in order to minimize the shift and displacement of component houses. The method used to determine the best design alternatives is to create a decision matrix table. The results show that the optimal design can process all parts of the component housing in one move without causing deflection. Thus, the use of pneumatic clamping can be applied to maintain the stability of the component housing and allow the machining process to be carried out in a single displacement.

Keywords: manufacturing, fixture design, jig & fixture, machining, pneumatic clamping

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Dalam dunia industri, untuk memproduksi suatu produk massal terdapat perusahaan manufaktur yang memiliki peran sangat penting. Perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur semakin bertambah seiring dengan perkembangan zaman. Permintaan akan produk manufaktur terus meningkat dengan pesat. Dengan demikian, untuk memenuhi permintaan tersebut produsen selalu berupaya mengadopsi inovasi untuk memproduksi produk berkualitas tinggi secara lebih efisien [1].

PT Mikron Presisi Indonesia adalah perusahaan manufaktur yang menghasilkan berbagai produk, termasuk rumah komponen. Dalam proses produksinya, perusahaan ini telah menggunakan *jig* dan *fixture* sebagai alat bantu pemesinan. *Jig* dan *fixture* ini berperan sangat penting dalam dunia manufaktur, terutama untuk memperlancar berbagai proses produksi, baik dalam pemesinan, perakitan, maupun produksi massal [2]. Kedua alat ini memastikan setiap langkah produksi berjalan lebih cepat, tepat, dan akurat, sehingga hasil akhir memiliki kualitas yang konsisten sesuai standar yang ditetapkan.

Penggunaan *fixture* untuk membantu proses pemesinan rumah komponen sudah diterapkan oleh PT Mikron Presisi Indonesia. *Fixture* yang digunakan saat ini menggunakan sistem manual *clamping* (pencekam), *fixture* tersebut berjumlah 3 (tiga) buah dengan 7 (tujuh) posisi pengerjaan. Dimana 6 posisi terbagi menjadi 2 (dua) buah *fixture* yang terpasang pada satu mesin CNC *milling* dua palet tipe horizontal dan 1 (satu) buah *fixture* terpasang pada mesin CNC *milling* tipe vertikal. Dari masing – masing *fixture* tersebut, rumah komponen harus melalui 7 kali perpindahan posisi yang berbeda untuk dilakukan proses pemesinan. Saat ini, untuk membentuk rumah komponen dari material mentah sampai jadi membutuhkan ± 70 tahapan proses pemesinan.

Meski demikian, terdapat potensi peningkatan pada *fixture* yang digunakan dalam proses pemesinan rumah komponen. Peningkatan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu, dengan membuat desain *fixture* baru yang mampu membantu proses pemesinan rumah komponen dengan menggunakan dua buah mesin CNC saja, apabila terlalu sering memindahkan rumah komponen dari *fixture* satu ke *fixture* yang lain, dapat menimbulkan perubahan geometri yang disebabkan oleh pergeseran pada saat rumah komponen dipindahkan. Serta mengaplikasikan *pneumatic clamping* pada sistem pencekamannya

(*clamping*) supaya mempermudah dan mempersingkat proses perpindahan dari *fixture* satu ke *fixture* yang lain.

2. Rumusan masalah

Bagaimana mendesain *fixture* untuk membantu proses pemesinan rumah komponen dengan menggunakan *pneumatic clamping* serta mengurangi jumlah *fixture* yang digunakan, sehingga dapat meminimalkan geseran dan perpindahan rumah komponen.

3. Tujuan

Mendesain *fixture* untuk membantu proses pemesinan rumah komponen dengan menggunakan *pneumatic clamping* serta mengurangi jumlah *fixture* yang digunakan, agar dapat meminimalisir geseran dan perpindahan rumah komponen.

4. Manfaat

Manfaat dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- A. Menambah ilmu pengetahuan mengenai perancangan desain *fixture* dengan menggunakan *software* CAD.
- B. Terciptanya inovasi baru yang dapat terus dikembangkan mengikuti perkembangan zaman.
- C. Bagi Industri, penelitian ini diharapkan dapat mempermudah proses *machining* suatu produk dengan kualitas yang konsisten.

5. Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- A. Penelitian ini dibatasi pada benda kerja yaitu rumah komponen.
- B. Penelitian ini dibatasi pada penggunaan *software* CAD sebagai sarana desain dan simulasi.
- C. Penelitian ini dibatasi pada penggunaan mesin CNC 4 *axis*.
- D. Penelitian ini dibatasi untuk mendesain *fixture* dengan *pneumatic clamping*.

6. Sistematika penulisan

BAB I PENDAHULUAN: Berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan pada laporan skripsi ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA: Berisi tentang definisi-definisi dan teori dari proses pemesinan dan *fixture*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN: Berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dan tahapan perancangan *fixture* yang dilakukan penulis dari merancang beberapa alternatif desain dan *engineering calculation*.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN: Berisi tentang analisa hasil rancangan yang telah dibuat, menentukan desain yang digunakan, dan detail perancangan yang digunakan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN: Berisi tentang kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini dan saran bagi siapapun yang ingin melanjutkan penelitian ini apabila masih terdapat beberapa kekurangan.

DAFTAR PUSTAKA: Berisi daftar sumber-sumber yang dirujuk dalam skripsi, mencakup buku, artikel, dan dokumen lain yang digunakan untuk mendukung argument atau penelitian.

LAMPIRAN: Berisi tambahan informasi pendukung, seperti gambar teknik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan pada penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- A. Pengaplikasian *pneumatic clamping* dapat dilakukan sebagai pencekaman rumah komponen pada desain *fixture* yang dibuat.
- B. Proses pemesinan rumah komponen dapat dilakukan dengan sekali perpindahan dengan menggunakan dua buah *fixture*.
- C. Jumlah tahapan proses pemesinan dapat dipersingkat dengan menggunakan desain *fixture* ini, yang awalnya ± 70 proses menjadi 64 proses.

2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya terdapat beberapa hal yang dapat ditingkatkan lagi dari penelitian ini antara lain seperti:

- A. Hasil rancangan *fixture* pada penelitian ini masih dapat dikembangkan lagi pada bagian *pneumatic* dengan menggunakan sistem otomasi.
- B. *Fixture* dapat dikembangkan lagi untuk mengurangi waktu proses pemesinan dengan mempersingkat tahapan proses pemesinannya.
- C. Hasil rancangan *fixture* pada penelitian ini masih bisa dikembangkan lagi supaya dapat diaplikasikan pada mesin CNC 5 axis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Kumar, A. Y. C. Nee, and Z. J. Tao, *An Advanced Treatise on Jigs and Fixture Design*, 5th ed., vol. 2, no. 8. Toh Tuck Link, Singapore 596224: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2004. doi: 10.1142/5671.
- [2] K. Li, R. Liu, G. Bai, and P. Zhang, "Development of an Intelligent Jig and Fixture Design System," in *2006 7th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design*, Nov. 2006, pp. 1–5, doi: 10.1109/CAIDCD.2006.4694247.
- [3] S. Kumar, R. D. S. G. Campilho, and F. J. G. Silva, "Rethinking Modular Jigs Design Regarding the Optimization of Machining Times," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, no. 2019, pp. 876–883, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.169.
- [4] F. R. Ramdhan, F. Azri, and G. Heryana, "Optimalisasi Perancangan Fixture Permesinan Komponen Utama Bantalan Sling menggunakan Pneumatic System," *Jurnal Teknologika*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2023, doi: 10.51132/teknologika.v13i1.273.
- [5] C. Liu, "A systematic conceptual design of modular fixtures," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 217–224, 1994. doi: 10.1007/BF01751119.
- [6] R. Wernke, "Designing a Novel Society Feeding System for CNC Turning Machines," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 1144–1153, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.020.
- [7] H. Möhring, P. Wiederkehr, M. Putz, and P. M. Putz, "Intelligent Fixtures for High Performance Machining," vol. 46, pp. 383–390, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.04.042.
- [8] M. Hemanth, P. R. Dheeraj, S. Hamritha, B. Rajesh, dan S. V. Krishna, "Design of work holding device for machining wheel hubs," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1706, no. 1, p. 012204, Desember 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1706/1/012204.
- [9] T. Husni, A. Asmadi, Y. Pusvyta, dan T. Hidayat, "Pengaruh Jenis Pahat dan Kedalaman Pemakanan pada Proses Pembubutan Terhadap Kekasaran Permukaan

- AISI 4340," *Teknika: Jurnal Teknik*, vol. 6, no. 2, pp. 119–133, 2020. doi: 10.35449/teknika.v6i2.110.
- [10] K. Ishfaq, I. Anjum, C. I. Pruncu, M. Amjad, M. S. Kumar, dan M. A. Maqsood, "Progressing Towards Sustainable Machining of Steels: a Detailed Review," *Materials*, vol. 14, no. 18, p. 5162, 2021, doi: 10.3390/ma14185162.
- [11] A. B. Hendrawan dan M. T. Qurohman, "Desain Mesin CNC Router 3 Axis Berbantu Perangkat Lunak Autodesk Inventor," *Nozzle: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 2–6, 2021, doi: 10.30591/nozzle.v10i1.2412.
- [12] E. Prianto dan H. S. Pramono, "Proses Permesinan CNC dalam Pembelajaran Simulasi CNC," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 62–68, 2017, doi: 10.21831/jee.v1i1.15110.
- [13] E. Kurniawan, Syaifurrahman, and B. Jekky, "Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2020, doi: 10.30588/jeemm.v4i2.769.
- [14] I. S. Harrizal, S. Syafri, dan A. Prayitno, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau (JOM FTEKNIK)*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [15] C. T. Centers, "HAAS VF-4," *Haas Automation Inc.*, 2013. <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/vf-series/models/medium/vf-4.html> (accessed Oct. 12, 2023).
- [16] A. I. Komara and R. R. Rinaldy, "Perancangan Ulang Machining Fixture untuk Produk Cylinder Head dan Cover Crankcase Tipe 168," *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.33019/jm.v6i1.1367.
- [17] M. Matejic, B. Tadic, M. Lazarevic, M. Misic, dan D. Vukelic, "Modelling and Simulation of a Novel Modular Fixture for a Flexible Manufacturing System," *International Journal of Simulation and Modeling*, vol. 17, no. 1, pp. 18–29, 2018, doi: 10.2507/IJSIMM17(1)407.
- [18] A. I. Simanjuntak dan N. Sinaga, "Perancangan Jig and Fixture Pengelasan untuk Mencegah Distorsi pada Saat Pengelasan Rangka Depan Maung 4x4," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 4, pp. 483–490, 2021.
- [19] S. Jayaram, S. G. Kapoor, dan R. E. Devor, "Estimation of the specific cutting

- pressures for mechanistic cutting force models," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 41, no. 2, pp. 265–281, 2001, doi: 10.1016/S0890-6955(00)00076-6.
- [20] Sumitomo, "Endmills," in *Catalog Tool Sumitomo*, sumitool.com, 2015, pp. I1–I141. [Online]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sumitool.com/id/downloads/cutting-tools/general-catalog/assets/pdf/i.pdf](https://www.sumitool.com/id/downloads/cutting-tools/general-catalog/assets/pdf/i.pdf)
- [21] Sumitomo, "Drills," in *Catalog Tool Sumitomo*, sumitool.com, 2015, pp. J1–J170. [Online]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sumitool.com/id/downloads/cutting-tools/general-catalog/assets/pdf/j.pdf](https://www.sumitool.com/id/downloads/cutting-tools/general-catalog/assets/pdf/j.pdf)
- [22] Vektek, "Swing Clamps," in *Catalog Book*, 2022, p. B-2. [Online]. Available: <https://www.vektek.com/pdfs/Catalog/enus/Pneumatic/TopFlangeSwingClamps.pdf>
- [23] Vektek, "Valves," in *Catalog Book*, 2022, p. F-5. [Online]. Available: <https://www.vektek.com/pdfs/Catalog/en-us/Pneumatic/Ported.pdf>
- [24] Vektek, "Miscellaneous Plumbing," in *Catalog Book*, 2022, p. E-4. [Online]. Available: <https://www.vektek.com/pdfs/Catalog/en-us/Pneumatic/QuadPathRotaryUnion.pdf>
- [25] H. Wang, Y. K. Rong, H. Li, and P. Shaun, "Computer Aided Fixture Design: Recent Research and Trends," *Computer-Aided Design*, vol. 42, no. 12, pp. 1085–1094, 2010, doi: 10.1016/j.cad.2010.07.003.
- [26] Z. M. Bi and W. J. Zhang, "Flexible Fixture Design and Automation: Review, Issues and Future Directions," *International Journal of Production Research*, vol. 39, no. 13, pp. 2867–2894, 2001, doi: 10.1080/00207540110054579.
- [27] I. Boyle, Y. Rong, dan D. C. Brown, "A Review and Analysis of Current Computer-Aided Fixture Design Approaches," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 27, no. 1, pp. 1–12, 2011. doi: 10.1016/j.rcim.2010.05.008.
- [28] R. J. Menassa dan W. R. Devries, "Optimization Methods Applied to Selecting Support Positions in Fixture Design," *Journal of Engineering for Industry*, vol. 113, no. 4, pp. 412–418, 1991. doi: 10.1115/1.2899715.

- [29] R. Hunter, J. Rios, J. M. Perez, dan A. Vizan, "A Functional Approach for The Formalization of The Fixture Design Process," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 46, no. 6, pp. 683–697, 2006. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2005.04.018.
- [30] S. Kashyap dan W. R. Devries, "Finite Element Analysis and Optimization in Fixture Design," *Structural Optimization*, vol. 18, no. 2–3, pp. 193–201, 1999. doi: 10.1007/BF01195994.

