

**Optimasi proses pemesinan rumah komponen menggunakan
metode *one stop machining***

***Optimization of machining process for component housing using one
stop machining method***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: M. Nur Fauzi

NPM: 203030082



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : M. Nur Fauzi
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030082
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,



M. Nur Fauzi

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : M. Nur Fauzi
NPM : 203030082
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 Noneksekutif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Optimasi proses pemesinan rumah komponen menggunakan metode *one stop machining*”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif 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,



M. Nur Fauzi

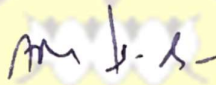
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Optimasi proses pemesinan rumah komponen menggunakan metode *one stop machining*



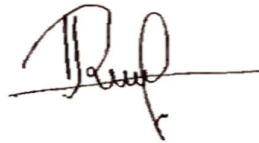
Nama : M. Nur Fauzi
NPM : 203030082

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping



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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Optimasi proses pemesinan rumah komponen menggunakan metode *one stop machining*



Nama : M. Nur Fauzi
NPM : 203030082

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 tercurahkan 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, M.M.E. 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. 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,



M. Nur Fauzi

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.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
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.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	4
1. Mesin CNC	4
2. Proses pemesinan.....	7
A. Klasifikasi proses pemesinan	8
3. Pemesinan <i>milling</i>	9
4. Parameter pemesinan	13
A. Kecepatan potong.....	14
B. Kedalaman pemakanan.....	15
5. Geometri <i>tool</i>	15
6. Kode <i>insert</i>	19
BAB III METODOLOGI	23
1. Tahapan penelitian.....	23
A. Identifikasi masalah.....	24
B. Kajian literatur.....	24
C. Penentuan parameter	24

D. Optimasi proses	24
E. Simulasi pemotongan	24
2. Alat dan material	25
3. Tempat pengembangan.....	25
4. Kriteria pemograman	25
5. Tahapan pemograman	26
6. Alternatif pemograman	26
A. Alternatif 1	26
1. Proses 1.....	26
2. Proses 2.....	31
B. Alternatif 2	35
1. Proses 1.....	35
2. Proses 2.....	39
C. Alternatif 3	44
1. Proses 1.....	44
2. Proses 2.....	48
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	52
1. Matriks keputusan.....	52
2. Alternatif yang digunakan	53
A. Operasi 1.....	53
B. Operasi 2.....	61
3. Jenis dan bentuk <i>raw</i> material rumah komponen	66
A. Sifat mekanik alumunium 7075 T6	66
5. Parameter pemotongan	67
A. Gambar hasil proses 1	68
B. Gambar hasil proses 2	68
6. Waktu Proses Pemesinan.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
1. Kesimpulan	70
2. Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	72
1. <i>Recomendation cutting</i>	72
2. Gambar rumah komponen	74
3. Gambar hasil akhir proses pemesinan	75

4.	Kode G dan kode M.....	76
A.	Kode G	76
B.	Kode M.....	79



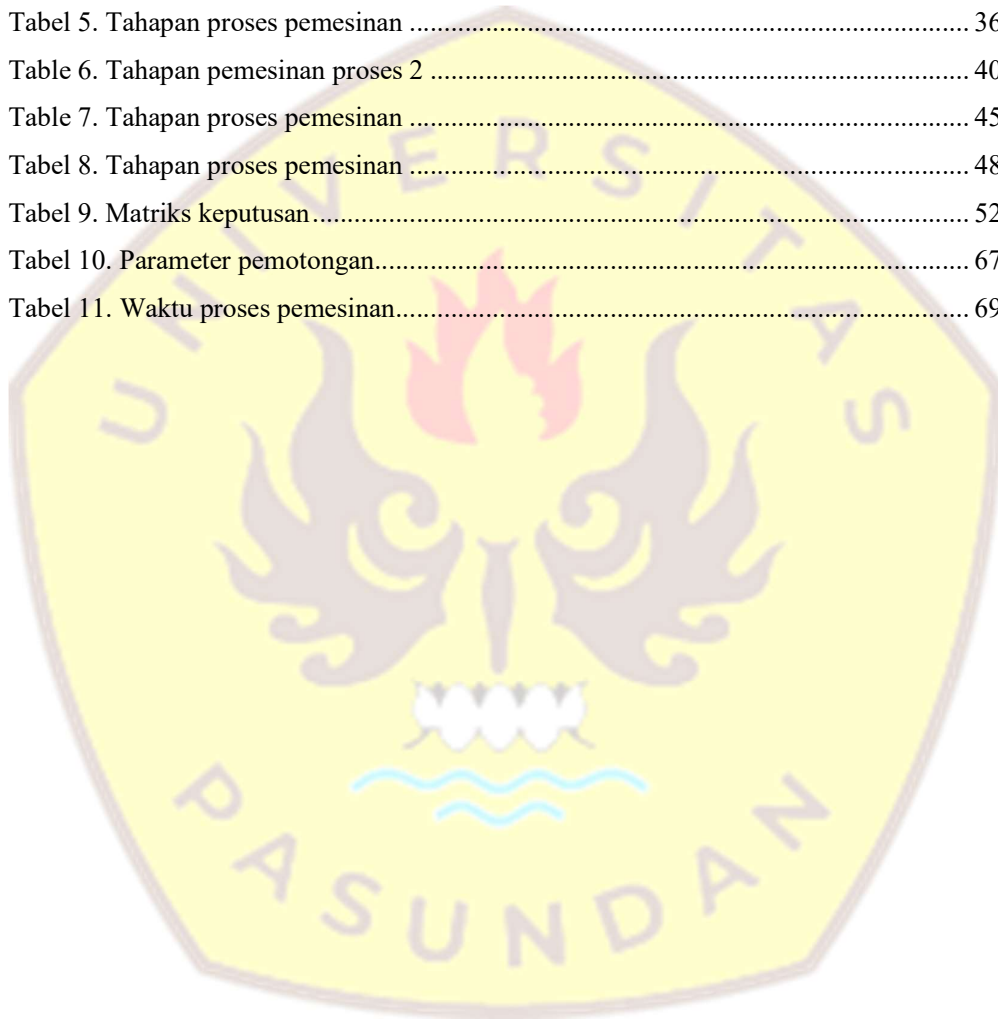
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin CNC <i>plasma cutting</i>	5
Gambar 2. Mesin CNC router.....	5
Gambar 3. Mesin CNC laser.....	6
Gambar 4. Mesin CNC bubut.....	6
Gambar 5. Mesin CNC <i>milling</i>	7
Gambar 6. Skematis jenis <i>milling</i>	10
Gambar 7. Mesin CNC <i>milling</i>	11
Gambar 8. Bagian - bagian pahat bubut.....	16
Gambar 9. Bagian-bagian pahat bubut.....	16
Gambar 10. Sudut pahat <i>endmill</i>	17
Gambar 11. <i>Endmill</i> persegi.....	17
Gambar 12. <i>Endmill</i> bola.....	18
Gambar 13. <i>Endmill round corner</i>	18
Gambar 14. <i>Endmill chamfer</i>	18
Gambar 15. <i>Flute endmill</i>	19
Gambar 16. Kode <i>insert</i> CNMG 120408.....	20
Gambar 17. Kodetifikasi <i>insert</i>	22
Gambar 18. Lokasi penelitian.....	25
Gambar 19. Proses 1.....	26
Gambar 20. Proses 2.....	31
Gambar 21. Komplektifitas pemesinan alternatif 1.....	35
Gambar 22. Proses 1.....	35
Gambar 23. Proses 2.....	39
Gambar 24. Komplektifitas pemesinan alternatif 2.....	44
Gambar 25. Proses 1.....	44
Gambar 26. Proses 2.....	48
Gambar 27. Proses <i>peck drill</i>	53
Gambar 28. <i>Roughing area mill</i>	54
Gambar 29. <i>Finishing area mill</i>	54
Gambar 30. Proses <i>dynamic mill</i>	55
Gambar 31. <i>Dynamic mill</i>	55
Gambar 32. Proses <i>area mill</i>	56
Gambar 33. <i>Contour</i>	56

Gambar 34. Bentuk spesifikasi <i>tool</i> T-slott <i>mill</i>	57
Gambar 35. Proses <i>contour dovetail</i>	57
Gambar 36. Bentuk spesifikasi <i>tool dovetail</i>	58
Gambar 37. <i>Peck drill</i>	58
Gambar 38. <i>Peck drill</i>	58
Gambar 39. Proses <i>area mill</i>	59
Gambar 40. <i>Peck drill</i>	59
Gambar 41. <i>Area mill</i>	59
Gambar 42. <i>Contour</i>	60
Gambar 43. <i>Peck drill</i>	60
Gambar 44. Proses pemesinan 2	60
Gambar 45. <i>Peck drill</i>	61
Gambar 46. <i>Dynamic mill</i>	61
Gambar 47. <i>Area mill</i>	62
Gambar 48. <i>Contour</i>	62
Gambar 49. <i>Contour</i>	63
Gambar 50. Simulasi <i>contour</i>	63
Gambar 51. <i>Toolpath contour</i>	63
Gambar 52. <i>Contour</i>	64
Gambar 53. <i>Contour</i>	64
Gambar 54. <i>Contour</i>	64
Gambar 55. <i>Contour</i>	65
Gambar 56. <i>Area mill</i>	65
Gambar 57. <i>Peck drill</i>	65
Gambar 58. <i>Peck drill</i>	66
Gambar 59. Bentuk <i>raw material</i>	66
Gambar 60. Simulasi hasil proses pemesinan Op1	68
Gambar 61. Simulasi hasil akhir proses pemesinan OP 2	68

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi proses pemesinan berdasarkan gerakan dan jenis pahat	9
Tabel 2. Kecepatan potong sesuai bahan	14
Tabel 3. Tahapan proses pemesinan	27
Tabel 4. Tahapan proses pemesinan 2	32
Tabel 5. Tahapan proses pemesinan	36
Table 6. Tahapan pemesinan proses 2	40
Table 7. Tahapan proses pemesinan	45
Tabel 8. Tahapan proses pemesinan	48
Tabel 9. Matriks keputusan	52
Tabel 10. Parameter pemotongan.....	67
Tabel 11. Waktu proses pemesinan.....	69



ABSTRAK

Proses pemesinan (*Machining processes*) adalah proses pemotongan material menggunakan mesin perkakas, dimana volume benda kerja berkurang atau terbuang dalam bentuk geram (*chip*). Umumnya, proses pemesinan merupakan tahap akhir untuk mencapai kualitas geometri yang diinginkan, baik dari segi ukuran, bentuk, maupun kualitas permukaan sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan. Untuk mencapai kualitas geometri tersebut, dalam proses pemesinan perusahaan manufaktur berusaha meningkatkan kebijaksanaan strategi kompetisinya, dengan fleksibilitas dan keefektifan biaya untuk tetap mampu bersaing dalam ekonomi dunia yang berubah. Proses pemesinan biasanya dilakukan dengan beberapa tahap, dimana benda kerja berpindah dari satu mesin ke mesin berikutnya. Perpindahan ini sangat rawan dengan terjadinya *error*, terutama pada saat proses pemasangan benda kerja pada *fixture* atau *jig*. *Error* ini menyebabkan ukuran atau dimensi dari benda kerja keluar dari batasan toleransi yang sudah ditetapkan. Berdasarkan latar belakang dan permasalahan di atas, penelitian ini menggunakan metode “*One Stop Machining*” dimana proses manufaktur dipusatkan pada 1 atau 2 mesin untuk mengurangi permasalahan yang diakibatkan perpindahan benda kerja. Hasilnya diperoleh salah satu alternatif program pemesinan yang dapat melakukan proses dari semua geometri rumah komponen melalui simulasi *software* MasterCam.

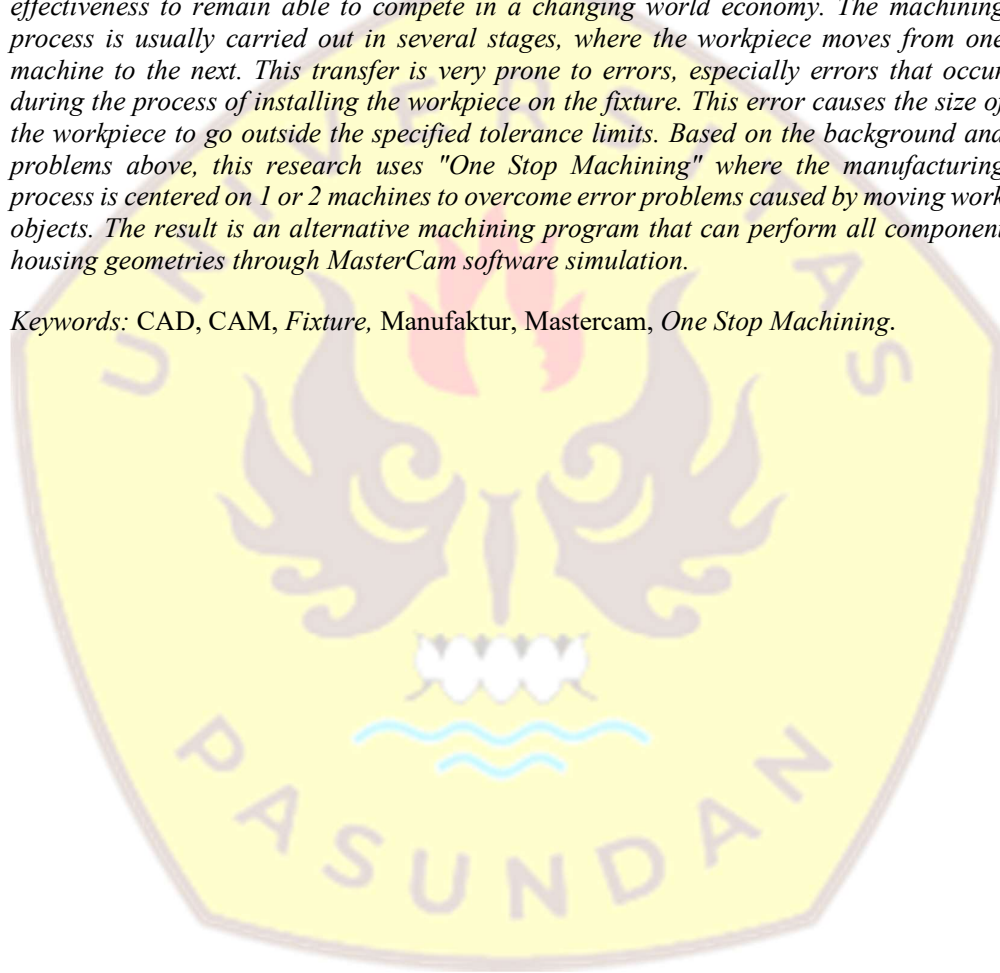
Kata kunci: CAD, CAM, *Fixture*, Manufaktur, Mastercam, *One Stop Machining*.



ABSTRACT

Machining processes are the process of cutting material using machine tools, where the volume of the workpiece is reduced or wasted in the form of chips. Generally, the machining process is the final stage to achieve the desired geometric quality, both in terms of size, shape and surface quality in accordance with predetermined specifications. To obtain good accuracy and precision results in the machining process, manufacturing companies are trying to improve their competitive strategy policy, with flexibility and cost effectiveness to remain able to compete in a changing world economy. The machining process is usually carried out in several stages, where the workpiece moves from one machine to the next. This transfer is very prone to errors, especially errors that occur during the process of installing the workpiece on the fixture. This error causes the size of the workpiece to go outside the specified tolerance limits. Based on the background and problems above, this research uses "One Stop Machining" where the manufacturing process is centered on 1 or 2 machines to overcome error problems caused by moving work objects. The result is an alternative machining program that can perform all component housing geometries through MasterCam software simulation.

Keywords: CAD, CAM, Fixture, Manufaktur, Mastercam, One Stop Machining.



BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Proses Pemesinan (*Machining processes*) adalah proses pemotongan material menggunakan mesin perkakas, dimana volume benda kerja berkurang atau terbuang dalam bentuk geram (*chip*) [1]. Proses pemesinan dilakukan dengan adanya gerak relatif antara pahat dan benda kerja pada mesin perkakas. Salah satu tujuan proses pemesinan adalah untuk mendapatkan hasil akurasi dan ketelitian yang baik, dibandingkan proses-proses lainnya, seperti pengecoran atau pembentukan, juga digunakan untuk membentuk bagian dalam dari suatu objek tertentu.

Untuk mendapatkan hasil akurasi dan ketelitian yang baik, perusahaan manufaktur berusaha meningkatkan kebijaksanaan strategi kompetisinya, dengan fleksibilitas dan keefektifan biaya untuk tetap mampu bersaing dalam ekonomi dunia yang berubah. Fleksibilitas diperlukan untuk memproduksi beragam produk bermutu tinggi, dengan biaya yang efektif untuk memenuhi kebutuhan konsumen yang bermacam-macam.

Proses pemesinan biasanya dilakukan dengan beberapa tahap, dimana benda kerja berpindah dari satu mesin ke mesin berikutnya. Perpindahan ini sangat rawan dengan terjadinya *error*, terutama *error* yang terjadi pada proses pemasangan benda kerja pada *fixture*. *Error* ini menyebabkan ukuran atau benda kerja keluar dari batasan toleransi yang ditentukan.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan di atas, diusulkan perlu adanya penelitian menggunakan metoda manufakturing “*One Stop Machining*” untuk mengatasi permasalahan *error* yang diakibatkan perpindahan benda kerja, pada penelitian ini proses manufaktur dipusatkan pada 1 atau 2 mesin saja. Sehingga perpindahan benda kerja antar mesin diminimalisir dan *error* yang terjadipun dapat dibatasi. Keuntungan lainnya adalah waktu pemesinan dapat lebih dioptimalkan.

Berdasarkan latar belakang di atas terdapat rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

- a. Optimasi proses pemesinan dari beberapa operasi pada mesin CNC yang berbeda – beda menjadi 1 atau 2 mesin,

- b. Menentukan parameter pemesinan dan aspek yang terkait pada proses pemesinan dan
- c. Membuat program pemesinan di software CAM (*computer aided manufacturing*).

3. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengoptimalkan penggunaan mesin untuk proses pemesinan rumah komponen,
- b. Mengatur parameter pemesinan dengan spesifikasi tool dan material benda kerja untuk mencapai tingkat ketelitian dan memperpanjang umur alat, dan
- c. Membantu perusahaan dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas produk.

4. Manfaat

Berdasarkan tujuan di atas manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Proses *machining* menjadi lebih cepat dan efisien,
- b. Meminimalisir perpindahan benda kerja dan mengurangi terjadinya *error*.
- c. Sebagai sarana untuk menerapkan ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis, terutama dalam bidang pemesinan
- d. Sebagai referensi untuk pendidikan atau *training* sehingga membantu mengoptimalkan proses pemesinan, dan
- e. Sebagai acuan bagi industri untuk meningkatkan produktivitas dengan memanfaatkan proses pemesinan yang efisien dan optimal.

5. Batasan masalah

- a. Penelitian ini dibatasi pada proses pemesinan rumah komponen,
- b. Pengerjaan rumah komponen maksimum dilakukan 2 mesin, dan
- c. *Software* yang digunakan yaitu MasterCam versi edukasi,
- d. Proses pemesinan dilakukan pada mesin CNC *milling 4 axis*.

6. Sistematika penulisan

Laporan skripsi ini disusun bab demi bab yang terdiri dari lima bab. Beberapa bab pada skripsi ini terdiri dari pendahuluan, studi literatur, metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

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 mesin CNC, proses pemesinan, pemesinan *milling*, parameter pemesinan, geometri *tool*, kodifikasi *insert*.

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang prosedur dan tahapan yang akan dilakukan dalam pengembangan ini untuk mencapai tujuan dari pengembangan.

BAB IV PEMOGRAMAN PROSES PEMESINAN

Berisi tentang tahapan pemograman dan pemograman utama.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang matriks keputusan, jenis material, penentuan parameter pemesinan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

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

DAFTAR PUSTAKA

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

LAMPIRAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian proses pemesinan rumah komponen dengan menggunakan metode *one stop machining* dapat disimpulkan bahwa:

- a. Proses pemesinan rumah komponen dapat dioptimalkan menjadi 1 kali perpindahan benda kerja.
- b. Parameter pemotongan yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan spesifikasi *tool* yang di rekomendasikan dalam katalog.
- c. Setelah dilakukan simulasi proses pemesinan, pengerjaan rumah komponen menjadi lebih efisien dan kualitas produk dapat di maksimalkan.

2. Saran

Untuk selanjutnya perlu diperhatikan kembali beberapa hal yang dapat membantu perusahaan dalam mengoptimalkan proses pemesinan rumah komponen. Seperti, parameter pemotongan masih dapat diperbaiki dan dioptimalkan sesuai dengan spesifikasi *tool* dan material benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Nasution, R. Rahmatullah, and J. Harahap, "Pengaruh Variasi Putaran Spindel Terhadap Gaya Potong pada Proses Pemesinan," *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 95–103, 2021.
- [2] M. Kovacic, M. Brezocnik, I. Pahole, J. Balic, and B. Kecelj, "Evolutionary Programming of CNC Machines," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 164–165, pp. 1379–1387, 2005, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.047.
- [3] S.T. Newman, "Making CNC Machine Tools More Open, Interoperable and Intelligent—A Review of The Technologies," *Computers in Industry*, vol. 57, no. 2, pp. 141–152, 2006, doi: 10.1016/j.compind.2005.06.002.
- [4] E. Kurniawan, S. 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.
- [5] A. Alasakina, "Berbagai Jenis Mesin CNC Dalam Industri Manufaktur," *Daya Cipta Andalan Persada*. <https://dayacipta.co.id/dnews/207/berbagai-jenis-mesin-cnc-dalam-industri-manufaktur.html>
- [6] M. Iyas, "Milling Formulas and Definitions," pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://www.theengineerspost.com/milling-formulas/>
- [7] A. Kukreja, M. Dhanda, and S. S. Pande, "Efficient Toolpath Planning for Voxel-Based CNC Rough Machining," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 18, no. 2, pp. 285–296, 2020, doi: 10.14733/cadaps.2021.285-296.
- [8] M. Aziz and R. Saraswati, "Optimalisasi Parameter Mesin CNC Milling 3 Axis Terhadap Waktu Produksi dengan Menggunakan *Response Surface Methodology*," *Formosa J. Appl. Sci.*, vol. 1, no. 4, pp. 293–304, 2022.
- [9] N. A. Miftah, D. S. Eka Atmaja, dan A. Oktafiani, "Optimasi Multi-Objektif Proses Pemesinan Milling dengan Metode Taguchi Kolaborasi Grey Relational Analysis," *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 5, no. 2, pp. 117-127, 2022.
- [10] A. Budi dan C.D. Efendi, "Optimasi Parameter Pemesinan CNC untuk Meningkatkan Kualitas Permukaan," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 123-130, 2023. doi: 10.5386, 374.

- [11] A. Abdul dan F. Anton, "Pemrograman CNC Router Berbantu Perangkat Lunak GRBL," *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 75-86, 2019. [Online]. Tersedia: <https://jti.aisyahuniversity.ac.id>.
- [12] A. Nassehi, R. I. R. Allen, R. T. Harrison, and K. D. Cheng, "Strategic Advantages of Interoperability for Global Manufacturing Using CNC Technology," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 24, no. 6, pp. 699–708, 2008, doi: 10.1016/j.rcim.2008.03.001.
- [13] R.I. Campbell, "Rapid Prototyping in Manufacturing," *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 7, no. 4, pp. 32–36, 1996, doi: 10.1108/09576069610120216.
- [14] J. Schmitt and P. Liu, "Optimization Strategies for CNC Programs," *Manufacturing Letters*, vol. 10, pp. 31–38, 2021, doi: 10.1016/j.mfglet.2021.07.003.
- [15] H.Y. Feng, "Toolpath Generation for 5-axis CNC Machining," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 123, no. 4, pp. 699–706, 2001, doi: 10.1115/1.1387988.
- [16] M.F. Zaeh, G. Reinhart, and S. Ostgathe, "Energy Consumption Simulation for Machine Tools," *CIRP Annals*, vol. 58, no. 1, pp. 21–24, 2009, doi: 10.1016/j.cirp.2009.03.073.
- [17] M. Weck, P. McKeown, R. Bonse, and C. Herbst, "Production Engineering and Machine Tools," *CIRP Annals*, vol. 46, no. 2, pp. 521–532, 1997, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60838-2.
- [18] T. A. Meyer, S. U. Thompson, and S. P. Sabri, "Cutting Processes Prediction Model for CNC Turning Process," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 56, pp. 32–45, 2021, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.11.004.
- [19] J. Lee, B. Bagheri, and H. A. Kao, "A Cyber Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems," *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18–23, 2015, doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
- [20] H. Hendra, Y. Saputra, Putri, Hernadewita, dan Nasril, "Perbandingan Pembuatan Produk Menggunakan Simulasi Program CNC dan CNC Milling," *Jurnal Metal*, vol. 6, no. 1, pp. 53-59, 2022. doi: 10.25077/metal.6.1.53-59.2022.
- [21] D.S. Eka Atmaja, A.S. Wibowo, "Analisa Pengukuran Produktivitas Mesin CNC Milling Dengan Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 151-156, 2019. doi: 10.21831/jptm.

v9i1.31090.

- [22] B.S.H. Purwoko, "Pengembangan Mesin CNC Virtual sebagai Media Interaktif dalam Pembelajaran Pemrograman CNC," *Jurnal Penelitian dan Evaluasi Pendidikan*, vol. 13, no. 2, 2009. doi: 10.21831/pep.13i2.1408.
- [23] A. J. Suteja, S. Candra, dan Y. Aquarista, "Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 1-7, 2008.
- [24] D. A. Dornfeld, "Green Manufacturing: Fundamentals and Applications," *Procedia CIRP*, vol. 1, pp. 1–10, 2012, doi: 10.1016/j.procir.2012.04.001.
- [25] A. Vijayaraghavan and D. Dornfeld, "Automated energy monitoring of machine tools," *CIRP Annals*, vol. 59, no. 1, pp. 21–24, 2010, doi: 10.1016/j.cirp.2010.03.098.
- [26] S.J. "Evolving Paradigms of Manufacturing: From Production to Customization and Personalization," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 3–8, 2013, doi: 10.1016/j.procir.2013.05.002.
- [27] Siska, M. Siregar, I. Saputra, A. Juliana, & Afifudin, "Kecerdasan Buatan dan Big Data dalam Industri Manufaktur: Sebuah Tinjauan Sistematis," *Nusantara Technology and Engineering Review*, vol. 1, no. 1, pp. 41-53, 2023.
- [28] Dwipayana, H., & Fadli, K. M., "Optimasi Perawatan Pada Mesin Bubut Automatic Feed Bench Lathe BV 20 Di Laboratorium Proses Manufaktur Universitas Tamansiswa Palembang," *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, vol. 5, no. 2, pp. 195-201, 2019.
- [29] C. Sovannara, T. Widagdo, M. Yunus, dan A.A. Sani, "Analisis Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Milling dengan Metode Taguchi," *Majalah Mecha*, vol. 3, no. 2, pp. 27–32, 2016. doi: 10.31284/j.jmech.2016.v3i2.3274
- [30] T. Prihutomo dan R. Prasetyo, "Optimasi Proses Pemesinan Sudu Turbin Fd Fan Terhadap Waktu Dan Biaya Produksi," *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, vol. 14, no. 2, hlm. 56-67, 2019. DOI: 10.31588/jstt.14.2.56.

