

**Pengembangan Program CNC pada Produk yang Dibuat dengan
Sinkronisasi Sumbu Gerak Translasi dan Sumbu Benda Rotasi
dengan CAM**

*Development of CNC Programs on Products Made by
Synchronizing Translational Motion Axis and Rotation Object Axis
with CAM*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Joshua Ramadhan

NPM: 203030084



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Joshua Ramadhan
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030084
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 plagiarism.

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

Bandung, 31 Oktober 2024

Penulis,



Joshua Ramadhan

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Joshua Ramadhan

NPM : 203030084

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:

Pengembangan Program CNC pada Produk yang Dibuat dengan Sinkronisasi Sumbu Gerak Translasi dan Sumbu Benda Rotasi dengan CAM

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, 31 Oktober 2024

Yang menyatakan,



Joshua Ramadhan

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Pengembangan Program CNC pada Produk yang Dibuat dengan Sinkronisasi Sumbu Gerak Translasi dan Sumbu Benda Rotasi dengan CAM



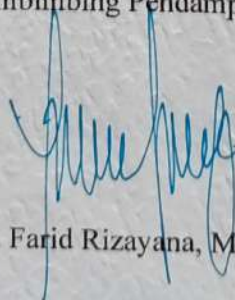
Nama : Joshua Ramadhan
NPM : 203030084

Pembimbing Utama

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ade Bagdja'.

Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Farid Rizayana'.

Ir. Farid Rizayana, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Pengembangan Program CNC pada Produk yang Dibuat dengan Sinkronisasi Sumbu Gerak Translasi dan Sumbu Benda Rotasi dengan CAM



Nama : Joshua Ramadhan
NPM : 203030084

Tanggal sidang skripsi: 31 Oktober 2024

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Sekretaris : Ir. Farid Rizayana, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Endang Achdi, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

(Handwritten signatures in blue ink)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warrahmatullah Wabarakaatuh.

Puji serta syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengembangan Program CNC pada Produk yang Dibuat dengan Sinkronisasi Sumbu Gerak Translasi dan Sumbu Benda Rotasi dengan CAM” guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tingkat Srata-1 pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.

Dalam penyusunan dan penulisan laporan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada:

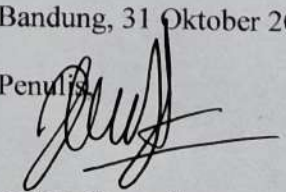
1. Allah SWT atas karunia-Nya yang memberikan kelancaran serta petunjuk dalam proses pembuatan laporan skripsi ini.
2. Kepada orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
3. Kepada Dr. Ir. Ade Bagdja, MME., selaku pembimbing utama yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan laporan skripsi.
4. Kepada Ir. Farid Rizayana, M.T., selaku pembimbing pendamping yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan laporan skripsi.
5. Kepada Dr. Ir. Sugiharto, M.T., selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
6. Mia Nur Amelia, yang senantiasa membantu dan mendukung penulis dari awal sampai akhir.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2020 dan semua pihak yang terlibat dalam membantu penulis menyelesaikan laporan skripsi ini.

Demi perbaikan selanjutnya masukan, kritik, dan saran yang membangun pada laporan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis serta para pembaca dan pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakaatuh.

Bandung, 31 Oktober 2024

Penulis


Joshua Ramadhan

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	XI
ABSTRAK	XII
ABSTRACT	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar Belakang.....	1
2. Rumusan Masalah.....	3
3. Tujuan.....	3
4. Manfaat.....	3
5. Batasan Masalah	3
6. Sistematika Penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Proses Pemesinan.....	5
2. Mesin CNC	8
3. Sinkronisasi <i>Multi-axis</i>	12
4. Meja Putar (<i>Rotary Table</i>)	13
5. Proses <i>Milling</i>	16

6. CAD (<i>Computer Aided Design</i>) dan CAM (<i>Computer Aided Manufacturing</i>)	19
BAB III METODOLOGI	24
1. Tahapan Pengembangan	24
A. Identifikasi Masalah	25
B. Kajian Literatur	25
C. Pemrograman CNC	26
D. Simulasi Pemotongan	26
2. Alat dan Material	26
3. Tempat Pengembangan	26
BAB IV PEMROGRAMAN PROSES PEMESINAN	28
1. Tahapan Pemrograman	28
A. Pemrograman Proses <i>Turning</i>	28
B. Pemrograman Proses <i>Milling</i>	29
C. Pemrograman Pemesinan <i>Multi-axis</i>	30
2. Pemrograman Sinkronisasi <i>Multi-axis</i>	31
A. Pemrograman Sinkronisasi Piala Dunia.....	31
B. Pemrograman Sinkronisasi Patung Manekin	35
C. Pemrograman Sinkronisasi Patung Buddha.....	38
3. Pengaplikasian Program.....	52
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	54
1. Desain yang digunakan	54
A. Material Dasar	54
B. Piala Dunia	54
C. Patung Manekin.....	55
D. Patung Buddha	55
2. Hasil Akhir	56
A. Piala Dunia	56

B. Patung Manekin.....	57
C. Patung Buddha	58
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	59
1. Kesimpulan.....	59
2. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	61
1. Detail Pemrograman Sinkronisasi.....	61
A. Pemrograman Sinkronisasi Piala Dunia.....	61
B. Pemrograman Sinkronisasi Patung Manekin	62
C. Pemrograman Sinkronisasi Patung Buddha.....	63
2. Spesifikasi <i>Tools</i>	64
3. Kodifikasi <i>Tools</i>	66
4. Kode G dan Kode M.....	67
A. Kode G	67
B. Kode M	69
5. Modul Pelatihan <i>Mastercam 2023</i> Versi Edukasi	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Produk umum CNC	1
Gambar 2. Produk CNC dengan sinkronisasi sumbu.....	2
Gambar 3. Proses pemesinan	5
Gambar 4. Mesin CNC <i>Kent USA</i> dan bagian-bagiannya.....	9
Gambar 5. Format <i>word addres</i> mesin CNC	9
Gambar 6. Skematis CL	11
Gambar 7. Contoh skematis sinkronisasi sumbu	12
Gambar 8. Proses sinkronisasi sumbu pada saat <i>machining</i>	13
Gambar 9. Contoh produk CNC dengan sinkronisasi sumbu	13
Gambar 10. Meja putar <i>Dongguan Mihong Machianical Hardware</i>	14
Gambar 11. Proses pemesinan CNC dengan <i>rotary table</i>	15
Gambar 12. Skematis jenis mesin <i>milling</i>	16
Gambar 13. Mesin CNC <i>milling</i>	17
Gambar 14. Desain pada CAD	20
Gambar 15. Pemrograman dengan CAM	22
Gambar 16. Produk sederhana dengan bentuk simetris	25
Gambar 17. Produk dengan ukiran pada permukaan silinder	25
Gambar 18. Lokasi pengembangan	27
Gambar 19. Pemrograman proses <i>turning</i> pertama	28
Gambar 20. Pemrograman proses <i>turning</i> kedua.....	28
Gambar 21. Pemrograman proses <i>turning</i> ketiga	29
Gambar 22. Pemrograman proses <i>milling</i> pertama.....	29
Gambar 23. Pemrograman proses <i>milling</i> kedua	30
Gambar 24. Pemrograman proses <i>milling</i> ketiga.....	30
Gambar 25. Pemrograman <i>multi-axis</i> pertama	30
Gambar 26. Pemrograman <i>multi-axis</i> kedua	31
Gambar 27. Pemrograman <i>multi-axis</i> ketiga	31
Gambar 28. <i>Tools roughing</i> piala dunia	32
Gambar 29. Metode pemotongan <i>roughing</i> piala dunia	32
Gambar 30. Kedalaman potong <i>roughing</i> piala dunia	32
Gambar 31. Proses pemotongan <i>roughing</i> piala dunia	33
Gambar 32. <i>Tools finishing</i> piala dunia.....	33
Gambar 33. Metode pemotongan <i>finishing</i> piala dunia	34

Gambar 34. Kedalaman potong <i>finishing</i> piala dunia.....	34
Gambar 35. Proses pemotongan <i>roughing</i> piala dunia	34
Gambar 36. <i>Tools roughing</i> patung manekin	35
Gambar 37. Metode pemotongan <i>roughing</i> patung manekin.....	35
Gambar 38. Kedalaman potong <i>roughing</i> patung manekin	36
Gambar 39. Proses pemotongan <i>roughing</i> patung manekin	36
Gambar 40. <i>Tools finishing</i> patung manekin.....	37
Gambar 41. Metode pemotongan <i>finishing</i> patung manekin	37
Gambar 42. Kedalaman potong <i>finishing</i> patung manekin.....	37
Gambar 43. Proses pemotongan <i>roughing</i> patung manekin	38
Gambar 44. <i>Tools roughing</i> 1 patung Buddha.....	38
Gambar 45. Metode pemotongan <i>roughing</i> 1 patung Buddha.....	39
Gambar 46. Kedalaman potong <i>roughing</i> 1 patung Buddha	39
Gambar 47. Proses pemotongan <i>roughing</i> 1 patung Buddha.....	39
Gambar 48. <i>Tools roughing</i> 2 kepala Buddha.....	40
Gambar 49. Metode pemotongan <i>roughing</i> 2 kepala Buddha	40
Gambar 50. Kedalaman potong <i>roughing</i> 2 kepala Buddha.....	41
Gambar 51. Proses pemotongan <i>roughing</i> 2 kepala Buddha	41
Gambar 52. <i>Tools roughing</i> 2 badan Buddha.....	41
Gambar 53. Metode pemotongan <i>roughing</i> 2 badan Buddha	42
Gambar 54. Sudut <i>tools</i> pemotongan	42
Gambar 55. Kedalaman potong <i>roughing</i> 2 badan Buddha.....	42
Gambar 56. Proses pemotongan <i>roughing</i> 2 badan Buddha.....	43
Gambar 57. <i>Tools</i> lubang tangan Buddha	43
Gambar 58. Metode pemotongan lubang tangan Buddha.....	44
Gambar 59. Sudut <i>tools</i> pemotongan	44
Gambar 60. Kedalaman potong lubang tangan Buddha	44
Gambar 61. Proses pemotongan lubang tangan Buddha	45
Gambar 62. <i>Tools roughing</i> 2 bawah Buddha	45
Gambar 63. Metode pemotongan <i>roughing</i> 2 bawah Buddha	46
Gambar 64. Kedalaman potong <i>roughing</i> 2 bawah Buddha.....	46
Gambar 65. Proses pemotongan <i>roughing</i> 2 bawah Buddha.....	46
Gambar 66. <i>Tools finishing</i> kepala Buddha.....	47
Gambar 67. Metode pemotongan <i>finishing</i> kepala Buddha.....	47
Gambar 68. Kedalaman potong <i>finishing</i> kepala Buddha.....	48

Gambar 69. Proses pemotongan <i>finishing</i> kepala Buddha.....	48
Gambar 70. <i>Tools finishing</i> badan Buddha	49
Gambar 71. Metode pemotongan <i>finishing</i> badan Buddha.....	49
Gambar 72. Sudut <i>tools</i> pemotongan	49
Gambar 73. Kedalaman potong <i>finishing</i> badan Buddha	50
Gambar 74. Proses pemotongan finishing badan Buddha	50
Gambar 75. <i>Tools finishing</i> bawah Buddha.....	50
Gambar 76. Metode pemotongan <i>finishing</i> bawah Buddha.....	51
Gambar 77. Kedalaman potong <i>finishing</i> bawah Buddha.....	51
Gambar 78. Proses pemotongan <i>finishing</i> bawah Buddha.....	51
Gambar 79. Batasan ekspor <i>GCode Mastercam</i> edukasi.....	52
Gambar 80. Program <i>Gcode Mastercam</i> profesional	53
Gambar 81. Program <i>Gcode</i> setelah diubah AI	53
Gambar 82. Pemosisian piala dunia	61
Gambar 83. Pembuatan alur bantu piala dunia	61
Gambar 84. Pemosisian patung manekin	62
Gambar 85. Pembuatan alur bantu patung manekin	62
Gambar 86. Pemosisian patung Buddha.....	63
Gambar 87. Pembuatan <i>bounding box</i> dan alur bantu patung Buddha	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rekomendasi parameter pemotongan.....	7
Tabel 2. Klasifikasi pemesinan berdasarkan jenis perkakas	8
Tabel 3. Penjelasan format <i>word addres</i> mesin CNC.....	10
Tabel 4. Contoh program <i>GCode</i> mesin CNC.....	11
Tabel 5. Diagram alir pengembangan	24
Tabel 6. Spesifikasi material dasar.....	54
Tabel 7. Desain piala dunia	54
Tabel 8. Desain patung manekin	55
Tabel 9. Desain patung Buddha	55
Tabel 10. Hasil akhir program piala dunia	56
Tabel 11. Hasil akhir program patung manekin	57
Tabel 12. Hasil akhir program patung Buddha.....	58
Tabel 13. Spesifikasi <i>tools ballnose endmill</i> 8 mm	64
Tabel 14. Spesifikasi <i>tools ballnose endmill</i> 5 mm	65
Tabel 15. Tabel kodifikasi <i>tools</i>	66
Tabel 16. Kode G dan penjelasan.....	67
Tabel 17. Kode M dan penjelasan	69

ABSTRAK

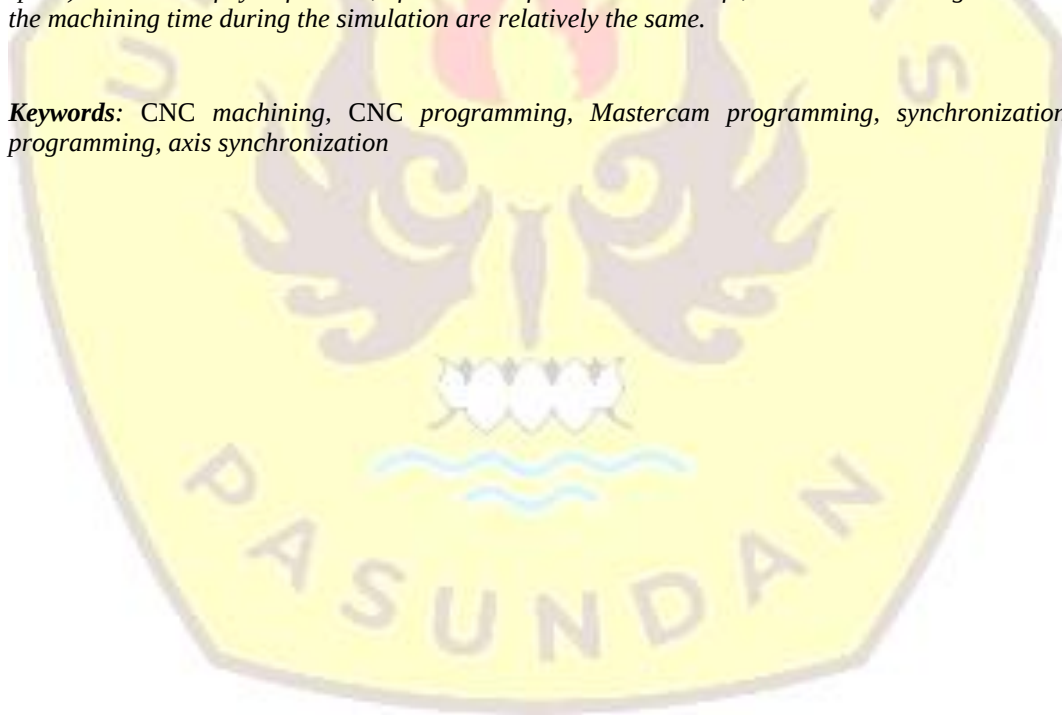
Mesin CNC (Computer Numerical Control) merupakan mesin perkakas yang dikontrol menggunakan komputer yang dijalankan oleh sebuah program numerik yang disebut *G-Code*. Mesin CNC ini digunakan secara umum di industri manufaktur. Tetapi tidak menutup kemungkinan digunakan oleh non manufaktur, contohnya pengrajin kayu / patung. Para Pengrajin Kayu, membuat program CNC dengan menggunakan *software* yang disebut *Vetric Aspire*. Kendala dari *Vetric Aspire* adalah keterbatasan dalam pemrograman multi – sumbu. Sebagai alternatif, *Mastercam* digunakan untuk pemrograman produk yang kompleks. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan cara pemrograman dari *Mastercam* untuk program yang melibatkan sinkronisasi sumbu translasi dan rotasi dalam membuat benda yang mempunyai kompleksitas bentuk yang bervariasi. Pemrograman dilakukan dengan bantuan alur bantu untuk menentukan titik sumbu. Setiap satu kontur dalam titik sumbu tertentu dibuat meliputi kontur melingkar tertutup yang merupakan gerak sinkron sumbu – Z *spindle* dan sumbu – A *rotary table*. Setelah satu kontur terbentuk, kontur berikutnya dibuat dengan menggeser pahat pada sumbu – X. Proses ini terus berlangsung sampai keseluruhan benda kerja terbentuk. Dalam penelitian ini dibuat 3 produk yang berbeda kompleksitas dan kerumitannya: piala bola dunia, patung manekin, dan patung Buddha. Lebih lanjut, 3 variasi jarak antar kontur diterapkan dalam program untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kerataan dan kekasaran permukaan benda kerja. Simulasi jalannya program pemesinan menunjukkan waktu pemesinan secara berturut-turut 68 menit (4080 detik) – 76 menit (4560 detik) – 109 menit (6540 detik). Saat program CNC yang dibuat oleh *Mastercam* dijalankan di mesin CNC, ada perbedaan waktu pemesinan. Hal ini dikarenakan saat running di mesin CNC, kecepatan gerak sumbunya di override (dalam bentuk % terhadap kecepatan geraknya) untuk memastikan keamanan. Tentunya setelah dipastikan aman, maka waktu pemotongan mesin dan waktu pemesinan saat simulasi menjadi relatif sama.

Kata kunci: pemesinan CNC, pemrograman CNC, pemrograman *Mastercam*, pemrograman sinkronisasi, sinkronisasi sumbu

ABSTRACT

CNC (Computer Numerical Control) machines are machine tools that are controlled using a computer that is run by a numerical program called G-Code. These CNC machines are commonly used in the manufacturing industry. But it does not rule out the possibility of being used by non-manufacturers, for example woodcutters / sculptures. The Woodcraftsmen, make CNC programs using software called Vetric Aspire. The obstacle of the Vetric Aspire is the limitations in multi-axis programming. Alternatively, Mastercam is used for complex product programming. The purpose of this study is to develop a programming method from Mastercam for programs that involve synchronization of translation and rotation axes in making objects that have varying shape complexity. Programming is done with the help of an auxiliary flow to determine the axis point. Each one contour within a given axis point is made including a closed circular contour which is the synchronous motion of the axis – Z spindle and axis – A rotary table. Once one contour is formed, the next contour is created by shifting the tool on the – X axis. In this study, 3 products with different complexities and complexity were made: globe cups, mannequin statues, and Buddha statues. Furthermore, 3 variations of the distance between contours were applied in the program to determine their effect on the flatness and roughness of the surface of the workpiece. The simulation of the machining program shows the machining time in a row of 68 minutes (4080 seconds) – 76 minutes (4560 seconds) – 109 minutes (6540 seconds). When the CNC program created by Mastercam is run on a CNC machine, there is a difference in the ordering time. This is because when running on a CNC machine, the axis movement speed is overridden (in % of the movement speed) to ensure safety. Of course, after it is confirmed that it is safe, the machine cutting time and the machining time during the simulation are relatively the same.

Keywords: CNC machining, CNC programming, Mastercam programming, synchronization programming, axis synchronization

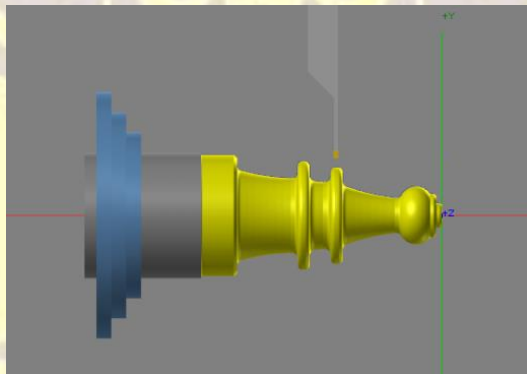


BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan sebuah mesin perkakas otomatis yang dikontrol dengan komputer yang dapat membaca program berupa kode numerik. Kode numerik ini merupakan suatu instruksi-instruksi secara khusus untuk mengontrol pergerakan mesin [1]. Produk modern memiliki geometri yang kompleks dan akurasi yang tinggi, sehingga diperlukan mesin CNC agar produk kompleks dapat dibuat dengan konsisten.

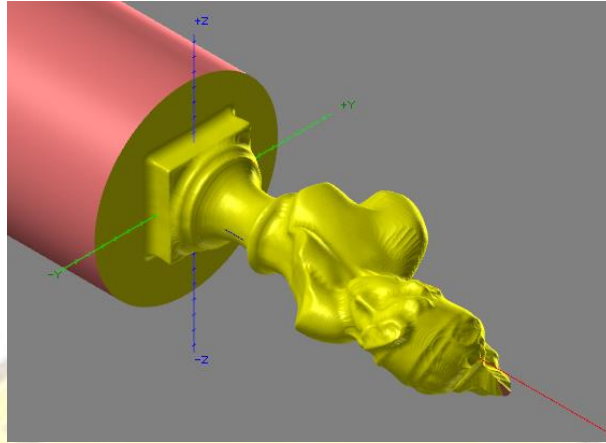
Mesin CNC tidak hanya digunakan di industri manufaktur, mesin CNC mulai digunakan di bidang lain, salah satunya di bidang seni terutama industri seni ukiran kayu. Pengrajin kayu mulai menggunakan mesin CNC untuk replikasi atau produksi massal, karena dengan mesin CNC produk yang dibuat lebih variatif dan hasil yang konsisten [2]. Pengrajin kayu umumnya menggunakan perangkat lunak *Vetric Aspire* untuk pemrograman CNC. Perangkat lunak ini mempunyai fitur yang lengkap untuk pengukiran atau pemahatan kayu, selain itu pembuatan desain dan pemrograman dilakukan pada saat yang bersamaan.



Gambar 1. Produk umum CNC

Namun demikian, pemrograman dengan perangkat lunak *Vetric Aspire* masih terdapat keterbatasan yaitu hanya dapat memprogram produk sederhana seperti pada Gambar 1 dan kurangnya pengaturan metode pemotongan. Agar pemrograman produk geometri kompleks dapat dilakukan, diperlukan perangkat lunak yang mempunyai fitur pemrograman multi-sumbu yang lebih lengkap. Perangkat lunak yang dipilih untuk mengatasi keterbatasan pemrograman benda geometri kompleks ini yaitu perangkat lunak *Mastercam*. *Mastercam* merupakan perangkat lunak CAD/CAM yang banyak digunakan

dalam industri manufaktur dan permesinan. *Mastercam* menawarkan serangkaian fitur pemrograman multi-sumbu yang lengkap dan pilihan metode pemotongan yang beragam, sehingga dapat mengerjakan produk geometri kompleks seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Produk CNC dengan sinkronisasi sumbu

Dalam penelitian ini, pemrograman produk geometri kompleks dilakukan pada perangkat lunak *Mastercam*. Metode pemotongan yang digunakan agar pemrograman produk kompleks dapat dilakukan yaitu dengan sinkronisasi 2 sumbu antara sumbu gerak translasi dan sumbu benda rotasi. Dengan demikian, diperlukan langkah-langkah pemrograman untuk mengatasi permasalahan diatas. Hal itulah yang memicu timbulnya gagasan untuk melakukan pengembangan pemrograman CNC agar pemrograman produk kompleks dapat dilakukan.

2. Rumusan Masalah

Bagaimana mengembangkan pemrograman CNC sinkronisasi 2 sumbu antara sumbu gerak translasi dan sumbu benda rotasi pada *Mastercam* agar dapat memprogram produk geometri kompleks.

3. Tujuan

Mengembangkan pemrograman CNC sinkronisasi 2 sumbu antara sumbu gerak translasi dan sumbu benda rotasi pada *Mastercam* agar dapat memprogram produk geometri kompleks dan diaplikasikan pada mesin CNC.

4. Manfaat

Manfaat dari pengembangan ini yaitu:

- A. Menambah ilmu pengetahuan mengenai pemrograman dengan perangkat lunak *Mastercam*.
- B. Terciptanya inovasi baru yang dapat terus dikembangkan mengikuti perkembangan zaman.
- C. Menjadi ilmu pengetahuan yang dapat menunjang dalam perkembangan pemrograman CNC.
- D. Mencapai keunggulan kompetitif dalam industri dan dapat menawarkan produk-produk yang lebih inovatif, presisi, dan kompleks.

5. Batasan Masalah

Batasan masalah dari pelaksanaan pengembangan ini yaitu:

- A. Pembuatan program ini menggunakan perangkat lunak *Mastercam*.
- B. Produk yang dibuat 3 buah patung yaitu patung piala dunia, patung manekin, patung Buddha.
- C. Produk yang dijalankan pada mesin CNC yaitu patung manekin dengan 3 permukaan yang berbeda.

6. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini disusun dalam 6 bab dan disertai dengan lampiran. Beberapa bab yang dibahas meliputi pendahuluan, studi literatur, metodologi penelitian, pemrograman proses pemesinan, analisis dan pembahasan, kesimpulan dan saran, daftar pustaka serta lampiran.

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

BAB II STUDI LITERATUR: Berisi tentang definisi atau landasan teori dari proses pemesinan, mesin CNC, proses *milling*, pemrograman perangkat lunak *Mastercam*, yang menunjang pengembangan ini.

BAB III METODOLOGI: Berisi tentang prosedur dan tahapan yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari pengembangan.

BAB IV PEMROGRAMAN PROSES PEMESINAN: Berisi tentang tahapan pemrograman yang dilakukan penulis dari awal pemrograman yang sederhana sampai pemrograman sinkronisasi.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN: Berisi tentang analisa dan pembahasan parameter dan hasil dari pemrograman.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN: Berisi tentang kesimpulan dan saran yang berhubungan dengan hasil pengembangan pemrograman yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari dilakukannya pengembangan pemrograman dan pengujian pada mesin CNC, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- A. Dimungkinkan untuk melakukan proses turning didalam mesin CNC milling, dan sebaliknya dengan menerapkan proses sinkronisasi 2 sumbu yaitu sumbu gerak translasi dan sumbu benda rotasi.
- B. Dengan prinsip sinkronisasi 2 sumbu, 3 jenis patung dengan kompleksitas yang berbeda bisa dibuat yaitu patung piala dunia, patung manekin, patung Buddha yang dijalankan pada simulasi, dan patung manekin dengan 3 permukaan yang berbeda yang dijalankan pada mesin CNC.
- C. Estimasi durasi pemesinan berdasarkan simulasi untuk patung piala dunia 68 menit (4080 detik), patung manekin 76 menit (4560 detik), patung budda 109 menit (6540 detik) , dan patung manekin dengan 3 permukaan yang berbeda 58 menit 30 detik (3510 detik).
- D. Pemrograman pemesinan dilakukan dengan sinkronisasi spindel (sumbu - Z) dengan gerak putar sumbu A meja putar. Setiap 1 putaran, pahat akan berpindah pada sumbu - Z untuk membuat putaran pemesinan yang berlanjut sampai selesai.

2. Saran

Alternatif lain dari program sinkronisasi ini adalah proses pemotongan secara linier sumbu - X, setelah proses selesai meja putar (sumbu - A) berputar untuk proses selanjutnya sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kristanto, *Buku Kuliah Proses Manufaktur Universitas Ahmad Dahlan*. Universitas Ahmad Dahlan, 2011. [Online]. Available: [http://eprints.uad.ac.id/24682/1/Modul Matakuliah Proses Manufaktur.pdf](http://eprints.uad.ac.id/24682/1/Modul%20Matakuliah%20Proses%20Manufaktur.pdf)
- [2] P. Kusuma, *Modul Bahan Ajar Proses Pemesinan*. Denpasar: Universitas Udayana, 2017. [Online]. Available: <https://123dok.com/id/docs/module-bahan-ajar-proses-pemesinan.11267962>
- [3] R. K. Arief, *Diktat Mata Kuliah Proses Permesinan*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, 2016. [Online]. Available: [http://eprints.umsb.ac.id/1835/1/Diktat Proses Permesinan-2016.pdf](http://eprints.umsb.ac.id/1835/1/Diktat%20Proses%20Permesinan-2016.pdf)
- [4] P. Smith, *CNC Programming Handbook Third Edition A Comprehensive Guide To Practical CNC Programming*, 3rd ed. New York: Industrial Press, Inc., 2007. [Online]. Available: www.industrialpress.com
- [5] I. G. Yudhyadi, T. Rachmanto, and A. D. Ramadan, "Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses pada Pemrograman CNC Milling dengan Berbasis CAD/CAM," *Din. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 38–50, Jun. 2016, doi: 10.29303/d.v6i1.24.
- [6] E. Prianto and H. S. Pramono, "Proses Permesinan CNC dalam Pembelajaran Simulasi CNC," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 62–68, Aug. 2017, doi: 10.21831/jee.v1i1.15110.
- [7] H. Silaghi, V. Spoială, S. V. A. Caciora, and D. Spoială, "Four-Axis CNC Machine with Microcontroller for Cutting Polystyrene with Hot Wire," *Sci. Bull. Electr. Eng. Fac.*, vol. 0, no. 0, Apr. 2017, doi: 10.1515/sbeef-2016-0006.
- [8] D. M. Sobirin and J. Utama, "Perancangan Sistem Multi CNC (Computer Numerical Control) untuk Plotter dan Laser Engraving," *J. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 51–58, Apr. 2020, doi: 10.34010/komputika.v9i1.2652.
- [9] R. E. Saputro, I. Yaningsih, and H. Sukanto, "Studi Implementasi CAD/CAM pada Proses CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan dan Tingkat Kepresisian Aluminium 6061," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 11, no. 1, pp. 36–40, Mar. 2018, doi: 10.36289/jtmi.v11i1.49.

- [10] A. R. Adi, A. M. Irfan, A. P. Ashar, D. Djuanda, and M. Z. Muhsin, "Pelatihan Simulasi untuk Program NC dengan CAD/CAM Software Mastercam X5 Bagi Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNM," *Vokatek J. Pengabd. Masy.*, vol. 1, no. 3, pp. 366–377, Oct. 2023, doi: 10.61255/vokatekjp.v1i3.266.
- [11] A. Kukreja, M. Dhanda, and S. Pande, "Efficient Toolpath Planning for Voxel-Based CNC Rough Machining," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 18, no. 2, pp. 285–296, Jul. 2020, doi: 10.14733/cadaps.2021.285-296.
- [12] M. M. Dassanayake and M. Tsutsumi, "High Performance Rotary Table for Machine Tool Applications," *Int. J. Autom. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 343–347, May 2009, doi: 10.20965/ijat.2009.p0343.
- [13] R. Rahmatullah, A. Amiruddin, and S. Lubis, "Effectiveness of C Turning and Cnc Milling in Machining Process," *Int. J. Econ. Technol. Soc. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 575–583, Oct. 2021, doi: 10.53695/injects.v2i2.610.
- [14] I. Sudjono, S. Sunomo, M. Romlie, and Y. Sunarto, "Pengembangan Modul CNC PU-2A Berbasis Mastercam untuk Meningkatkan Kompetensi Mahasiswa dalam Praktik Mesin Bubut CNC," *Teknol. dan Kejur. J. Teknol. Kejuruan, dan Pengajarannya*, vol. 41, no. 1, pp. 17–24, Feb. 2018, doi: 10.17977/um031v41i12018p017.
- [15] D. G. Subagio, R. A. Subekti, H. M. Saputra, A. Rajani, and K. H. Sanjaya, "Three Axis Deviation Analysis of CNC Milling Machine," *J. Mechatronics, Electr. Power, Veh. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 93–101, Dec. 2019, doi: 10.14203/j.mev.2019.v10.93-101.
- [16] I. H. Mulyadi and A. I. Shabrina, "Pengaruh Bentuk Lintasan Pemotongan (Cutting Tool-Path) terhadap Konsumsi Energi Listrik," *J. Inov. Rekayasa Mek. dan Termal*, vol. 1, no. 1, pp. 25–30, Jun. 2023, doi: 10.25077/inomet.1.1.25-30.2023.
- [17] 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, Sep. 2022, doi: 10.55927/fjas.v1i4.1089.
- [18] D. R. Hermanto, Y. Burhanuddin, S. Harun, and G. A. Ibrahim, "Analisis Konsumsi Energi Listrik Universal Milling Machine pada Berbagai Keadaan Operasi dan

- Parameter Pemesinan,” *Mechanical*, vol. 9, no. 1, pp. 28–32, Nov. 2018, doi: 10.23960/mech.v9.i1.201806.
- [19] R. Romiyadi, “Pengaruh Kemiringan Benda Kerja dan Kecepatan Pemakanan terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2,” *Mechanical*, vol. 7, no. 2, pp. 52–60, Sep. 2016, doi: 10.23960/mech.v7.i2.201609.
- [20] L. D. Saputra and E. Yudiyanto, “Analisis Performa Mesin CNC Milling Mini 3 Sumbu Terhadap Akurasi Gerak Pemotongan,” *J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–11, Aug. 2024, doi: 10.47134/jme.v1i3.3117.
- [21] L. Anggraini and I. Junixsen, “Optimation Parameters of Cnc Milling Programming Machine on The Process Time and Its Effect on The Efficiency,” *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 3, no. 2, p. 62, Jan. 2019, doi: 10.33021/jmem.v3i2.538.
- [22] S. Klancnik, M. Brezocnik, and J. Balic, “Intelligent CAD/CAM System for Programming of CNC Machine Tools,” *Int. J. Simul. Model.*, vol. 15, no. 1, pp. 109–120, Mar. 2016, doi: 10.2507/IJSIMM15(1)9.330.
- [23] J. Yang and Y. Altintas, “A generalized on-line Estimation and Control of Five-axis Contouring Errors of CNC Machine Tools,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 88, pp. 9–23, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2014.08.004.
- [24] G. Singh, R. Sharma, and S. Singhal, “Cnc Machine Handling for Holes Servicing through Programming,” *SSRN Electron. J.*, 2023, doi: 10.2139/ssrn.4382329.
- [25] A. R. Nasution, R. Rahmatullah, and J. Harahap, “Pengaruh Variasi Putaran Spindel Terhadap Gaya Potong pada Proses Pemesinan,” *Vocat. Educ. Technol. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 92–99, Apr. 2021, doi: 10.38038/vocatech.v2i2.56.
- [26] A. S. Rahmawan, J. Priambodo, and B. Al Kindhi, “Sinkronisasi Motor 2 Axis untuk Automated Storage Retrieval System Menggunakan Web,” *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.71888.
- [27] J. Hardono, “Analisa Total Productive Maintenance (TPM) Menggunakan Overall Equipment Effectiveness (OEE) pada Mesin CNC Milling,” *J. Tek.*, vol. 9, no. 2, pp. 105–115, Dec. 2020, doi: 10.31000/jt.v9i2.3689.
- [28] A. Saxena and B. Sahay, *Computer Aided Engineering Design*, vol. 38, no. 10. Dordrecht: Springer Netherlands, 2005. doi: 10.1007/1-4020-3871-2.
- [29] T. Gawronski, “Optimisation of CNC Routing Operations of Oooden Furniture

Parts,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 67, no. 9–12, pp. 2259–2267, Aug. 2013, doi: 10.1007/s00170-012-4647-5.

- [30] M. Iyas, *Milling Formulas and Definitions*. The Engineers Post, 2022. [Online]. Available: <https://www.theengineerspost.com/milling-formulas/>

