



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISA PARAMETER *HELICAL RAMP* SEBAGAI
STRATEGI *LEAD-IN* PADA PROSES *POCKET
MILLING* DI MESIN CNC *MILLING* UNTUK
MATERIAL BAJA ST42**

LAPORAN SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana
Terapan Program studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik mesin

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Fadil Fatahillah Akbar

NIM. 2502415005

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA
MANUFAKTUR**

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

JULI, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISA PARAMETER *HELICAL RAMP* SEBAGAI
STRATEGI *LEAD-IN* PADA PROSES *POCKET
MILLING* DI MESIN CNC *MILLING* UNTUK
MATERIAL BAJA ST42**

LAPORAN SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana
Terapan Program studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik mesin

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Fadil Fatahillah Akbar

NIM. 2502415005

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA
MANUFAKTUR**

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

JULI, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*Tugas akhir ini saya Persembahkan untuk orang tua saya tercinta abi dan ummi,
serta almamater yang saya banggakan”*

*“bila kau tak tahan lelahnya belajar, maka kau harus menahan perihnya
kebodohan”*

-imam asy syafii-

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

LAPORAN SKRIPSI

ANALISA PARAMETER *HELICAL RAMP* SEBAGAI STRATEGI *LEAD-IN* PADA PROSES *POCKET MILLING* DI MESIN *CNC MILLING* UNTUK MATERIAL BAJA ST42

Oleh:

Fadil Fatahillah Akbar

NIM : 2502415005

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Laporan skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Budi Yuwono, S.T

NIP. 196306191990031002

Pembimbing 2

Radhi Maladzi, S.T., M.T

NIP. 199307282024061001

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Radhi Maladzi, S.T., M.T

NIP. 199307282024061001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN SKRIPSI

ANALISA PARAMETER *HELICAL RAMP* SEBAGAI STRATEGI *LEAD-IN* PADA PROSES *POCKET MILLING* DI MESIN *CNC MILLING* UNTUK MATERIAL BAJA ST42

Oleh:

Fadil Fatahillah Akbar

NIM : 2502415005

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 15 juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana terapan pada Program sarjana terapan Teknologi rekayasa manufaktur Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi penguji	Tanda tangan	tanggal
1	Drs Nugroho Eko Setijogiarto, Dipl, Ing, M.T	Ketua/Dewan Penguji 1		20/07/26
2	Ir. sepriandi parningotan, S.T., M.T., IPM.	Anggota/Dewan Penguji 2		20/07-26
3	Budi Yuwono S.T	Moderator/Dewan Penguji 3		20/07/26

Depok 28 Juli 2026

Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Euad Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Fadil Fatahillah Akbar

NIM : 2502415005

Program studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Menyatakan bahwa yang dituliskan dalam laporan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan bukan plagiasi hasil karya orang lain baik sebagian maupun seluruhnya pendapat, gagasan dan temuan yang terdapat dalam skripsi ini saya telah kutip dan saya rujuk dengan etika yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar benarnya.

Depok, 15 juli 2026



Fadil Fatahillah Akbar
NIM: 2502415005



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALISA PARAMETER *HELICAL RAMP* SEBAGAI STRATEGI *LEAD-IN* PADA PROSES *POCKET MILLING* DI MESIN CNC *MILLING* UNTUK MATERIAL BAJA ST42

Fadil Fatahillah Akbar¹, Budi Yuwono², Radhi Maladzi³

Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl Prof G.A Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

E-mail address: fadilfatahillahcnc@gmail.com

ABSTRAK

Proses *machining* menggunakan mesin CNC merupakan salah satu proses yang banyak digunakan pada industri manufaktur, salah satunya adalah proses *pocket milling*. Pada proses *pocket milling*, strategi *lead-in* yang umum digunakan adalah *helical ramp*, yaitu metode masuk *cutting tool* secara bertahap melalui lintasan heliks. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik beban proses dan waktu pemesinan akibat pengaruh parameter *helical ramp* berupa *ramp angle* dan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool*. Pengujian dilakukan secara eksperimental pada material baja ST42 menggunakan *cutting tool* diameter 6 mm dan 8 mm dengan variasi *ramp angle* 1°, 2°, dan 3°, serta rasio 0,5; 0,75; dan 1. Respon yang dianalisis meliputi *spindle load*, *servo load*, dan *cycle time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *ramp angle* menyebabkan *spindle load* meningkat secara bertahap tanpa lonjakan beban awal sehingga menunjukkan kondisi proses yang stabil. *Servo load* lebih dipengaruhi oleh rasio *helical ramp* akibat perubahan lintasan interpolasi pahat, sedangkan *cycle time* dipengaruhi oleh panjang *toolpath*. Berdasarkan hasil pengujian, dilakukan optimasi menggunakan pendekatan *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yang membantu pemilihan alternatif terbaik berdasarkan beberapa kriteria penilaian. Pada penelitian ini, alternatif yang dievaluasi berupa kombinasi parameter *helical ramp*, sedangkan kriterianya meliputi *spindle load*, *servo load*, dan *cycle time*. Proses pengambilan keputusan dilakukan menggunakan metode *Weighted Sum Method* (WSM) sehingga diperoleh parameter optimum pada *ramp angle* 2° dan rasio *helical ramp* 0,5.

Kata kunci: *helical ramp*, *pocket milling*, *CNC milling*, *spindle load*, *servo load*, ST42, *multi criteria decision making*, *weight sum method*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALISA PARAMETER *HELICAL RAMP* SEBAGAI STRATEGI *LEAD-IN* PADA PROSES *POCKET MILLING* DI MESIN CNC *MILLING* UNTUK MATERIAL BAJA ST42

Fadil Fatahillah Akbar¹, Budi Yuwono², Radhi Maladzi³

Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl Prof G.A Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

E-mail address: fadilfatahillahcnc@gmail.com

ABSTRACT

CNC machining is one of the most widely used manufacturing processes, with pocket milling being one of its common operations. In pocket milling, one of the most frequently applied lead-in strategies is helical ramping, in which the cutting tool gradually enters the workpiece along a helical toolpath. This study aims to analyze the characteristics of process load and machining time affected by helical ramp parameters, namely the ramp angle and the ratio of helical ramp diameter to cutting tool diameter. Experimental tests were conducted on ST42 mild steel using 6 mm and 8 mm diameter cutting tools with ramp angle variations of 1°, 2°, and 3°, and diameter ratios of 0.5, 0.75, and 1. The evaluated responses included spindle load, servo load, and cycle time. The results showed that increasing the ramp angle gradually increased the spindle load without causing an initial load spike, indicating a stable machining process. The servo load was found to be more influenced by the helical ramp ratio due to changes in the tool interpolation path, while the cycle time was affected by the variation in toolpath length. Based on the experimental results, parameter optimization was performed using a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approach, which assists in selecting the best alternative based on multiple evaluation criteria. In this study, the alternatives consisted of different combinations of helical ramp parameters, while the evaluation criteria included spindle load, servo load, and cycle time. The decision-making process was carried out using the Weighted Sum Method (WSM), resulting in the optimum parameter combination of a 2° ramp angle and a helical ramp ratio of 0.5.

Kata kunci: *helical ramp*, *pocket milling*, *CNC milling*, *spindle load*, *servo load*, *ST42*, *multi criteria decision making*, *weight sum method*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Pertama-tama Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa. Karena Berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“ANALISA PARAMETER HELICAL RAMP SEBAGAI STRATEGI LEAD-IN PADA PROSES POCKET MILLING DI MESIN CNC MILLING UNTUK MATERIAL BAJA ST42”** Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi sarjana terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini penulis menyampaikan rasa terima kasih, ke semua pihak yang telah membantu penyelesaian laporan tugas akhir ini diantaranya

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
2. Bapak Radhi Maladzi S.T., M.T Selaku ketua program studi sarjana terapan teknologi rekayasa manufaktur, sekaligus sebagai Dosen pembimbing dua skripsi penulis
3. Bapak Budi Yuwono S.T, sebagai Dosen Pembimbing satu skripsi penulis yang telah memberikan banyak masukan terkait laporan tugas akhir ini
4. Orang tua penulis, yang telah memberi semangat dan mendukung secara moril maupun materil untuk semua kegiatan perkuliahan penulis selama ini dan sampai saat ini di Politeknik Negeri Jakarta
5. Teman teman di prodi studi teknologi rekayasa manufaktur program RPL khususnya kelas 2A RPL yang telah sama sama berjuang selama masa perkuliahan ekstensi ini
6. Pak Teguh dan semua civitas akademika jurusan teknik mesin politeknik negeri jakarta yang telah memberi bantuan dan memfasilitasi penulis dalam melakukan kegiatan untuk tugas akhir ini.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rekan kerja penulis di PT Hydraxle Perkasa Manufaktur *Engineering* Tangerang khususnya yang telah memberi support dan masukan kepada penulis Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Talitha Nazla Shafa Gani atas dukungan, perhatian dan semangat yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini

Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu namun tidak mengurangi rasa terima kasih penulis atas bantuan terkait tugas akhir ini

Akhir kata penulis berharap laporan skripsi ini dapat bermanfaat umumnya bagi masyarakat dan khususnya bagi para akademisi dan mahasiswa yang menggeluti Teknik mesin bidang pemesinan.



Depok, 15 Juli, 2026

Fadil Fatahillah Akbar



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	4
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II STUDI LITERATUR.....	8
2.1 Landasan teori.....	8
2.1.1 Proses pemesinan	8
2.1.2 <i>Computer Numerical Control (CNC)</i>	9
2.1.3 CAD/CAM.....	11
2.1.4 Toolpath.....	12
2.1.5 Cutting tools.....	13
2.2 Kajian literatur.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Jenis Penelitian	19
3.2 Objek Penelitian.....	19
3.3 Metode Pengambilan Sampel	19
3.3.1. Jenis Sampel.....	19
3.3.2. Teknik <i>Sampling</i>	20
3.3.3 Kriteria Sampel	20
3.3.4 Jumlah Sampel.....	20



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3.5 Pengendalian Variabel	20
3.4 Jenis dan Sumber Data.....	21
3.4.1. jenis data	21
3.4.2 Sumber data	21
3.5 Metode Pengumpulan Data.....	22
3.6 Metode analisis data	22
3.7 Flowchart metode penelitian.....	24
3.8 Uraian Flowchart Metode Penelitian	25
3.8.1 Identifikasi Masalah.....	25
3.8.2 Studi Pustaka.....	25
3.8.3 Tujuan penelitian	25
3.8.4 Pembatasan masalah	25
3.8.5 Penetapan metode penelitian.....	26
3.8.6 Pengumpulan data	26
3.8.7 pengolahan data	26
3.8.8 Analisis & Pembahasan	27
3.9 Flowchart uji coba proses dan pengumpulan data.....	27
BAB IV HASIL & PEMBAHASAN	27
4.1 Persiapan alat dan bahan.....	28
4.1.1 Persiapan material.....	28
4.1.2 Persiapan <i>cutting tool</i>	28
4.1.3 Persiapan mesin dan alat.....	29
4.2 persiapan <i>design</i> dan pembuatan program.....	31
4.2.1 pembuatan matriks uji coba proses ramping.....	32
4.2.2 Desain sampel dengan CAD	33
4.2.3 pembuatan <i>toolpath</i> dengan <i>Mastercam</i>	35
4.3 Uji coba proses dan pengambilan data	42
4.3.1 transfer program ke mesin CNC <i>milling</i>	42
4.3.2 Menjalankan program di mesin CNC <i>milling</i>	42
4.3.3 Melakukan pengamatan uji coba proses <i>helical ramping</i>	43
4.3.4 melakukan pengambilan data hasil pengujian	44



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4 Analisis dan pembahasan.....	45
4.4.1 karakteristik <i>spindle load</i> pada proses <i>helical ramping</i>	46
4.4.2 karakteristik <i>servo load</i> pada proses <i>helical ramping</i>	50
4.4.3 Hubungan nilai <i>spindle load</i> dengan indikator kestabilan proses...	55
4.4.4 Hubungan nilai <i>cycle time</i> dengan efisiensi waktu proses.....	57
4.4.5 Optimasi nilai parameter dengan <i>Weighted Sum Method (WSM)</i> ...	59
AB V PENUTUP.....	69
5.1 kesimpulan.....	69
5.1 Saran	70
Daftar Pustaka.....	72
Lampiran	74

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



DAFTAR GAMBAR

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 2.1 Contoh proses pemesinan konvensional benda kerja	8
Gambar 2.2 Contoh proses pemesinan non konvensional dengan EDM	9
Gambar 2.3 Mesin CNC milling	10
Gambar 2.4 Sumbu gerakan pahat (Axis) pada mesin CNC	10
Gambar 4.1 spesifikasi <i>cutting tool</i> sesuai katalog	29
Gambar 4.2 mesin CNC <i>milling</i> okuma millac44v	30
Gambar 4.3 spesifikasi mesin CNC <i>milling</i> okuma millac44v	30
Gambar 4.4 fitur load meter pada mesin CNC milling okuma millac44v	31
Gambar 4.5 desain sampel untuk uji coba proses	34
Gambar 4.6 <i>import</i> 3D ke CAM	36
Gambar 4.7 <i>Setting</i> posisi dan benda kerja	36
Gambar 4.8 <i>setting</i> ukuran <i>raw material</i>	37
Gambar 4. 9 pemilihan jenis <i>toolpath</i>	37
Gambar 4.10 pemilihan geometri <i>toolpath</i>	38
Gambar 4.11 <i>input</i> parameter <i>cutting tool</i>	38
Gambar 4.12 <i>input cutting</i> parameter	39
Gambar 4.13 <i>toolpath</i> proses <i>helical ramp</i>	40
Gambar 4.14 simulasi <i>toolpath</i> dengan CAM	41
Gambar 4.15 konversi <i>toolpath</i> ke G code	41
Gambar 4.16 <i>transfer</i> program ke mesin CNC	42
Gambar 4.17 Uji coba proses <i>helical ramp</i>	43
Gambar 4.18 kondisi <i>cutting tools</i> setelah proses uji coba	43
Gambar 4.19 pengamatan <i>load meter</i> pada mesin	44
Gambar 4.20 grafik persentase <i>spindle load cutting tool</i> 8 mm	46
Gambar 4.21 grafik persentase <i>spindle load cutting tool</i> 6 mm	47
Gambar 4.22 grafik persentase <i>servo load X-Y cutting tool</i> 8 mm	50
Gambar 4.23 grafik persentase <i>servo load X-Y cutting tool</i> 6 mm	51
Gambar 4.24 grafik persentase <i>servo load Z axis cutting tool</i> 8 mm	54
Gambar 4.25 grafik persentase <i>servo load Z axis cutting tool</i> 6 mm	55
Gambar 4.26 grafik <i>cycle time cutting tool</i> 8 mm	58



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.27 grafik *cycle time cutting tool* 6 mm..... 59



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 nilai gaya potong spesifik material	16
Tabel 2.2 Kajian literatur	17
Tabel 4.1 <i>material properties</i> ST42	28
Tabel 4.2 Variabel bebas	32
Tabel 4.3 Variabel tetap	33
Tabel 4.4 matriks parameter uji coba proses	33
Tabel 4.5 matriks pola uji coba proses	34
Tabel 4.6 hasil uji coba proses	45
Tabel 4.7 nilai respon berdasarkan <i>input</i> parameter	61
Tabel 4.8 nilai bobot berdasarkan tingkat kepentingan	63
Tabel 4.9 nilai normalisasi data uji coba dengan <i>cutting tool</i> 8 mm	64
Tabel 4.10 nilai normalisasi data uji coba dengan <i>cutting tool</i> 6 mm	65
Tabel 4.11 nilai <i>scoring</i> uji coba dengan <i>cutting tool</i> 8mm	66
Tabel 4.12 nilai <i>scoring</i> uji coba dengan <i>cutting tool</i> 6 mm	67

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Proses manufaktur merupakan bagian penting dalam industri manufaktur yang berfungsi mengubah bahan baku menjadi produk jadi atau setengah jadi yang bernilai tambah melalui pemanfaatan mesin, peralatan, tenaga kerja, dan metode produksi tertentu. Proses ini mencakup berbagai tahapan seperti pembentukan, pemesinan, perakitan, dan finishing, yang secara langsung memengaruhi kualitas dan ketelitian produk akhir (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Perkembangan industri manufaktur saat ini menuntut kemampuan produksi dengan kualitas tinggi dan waktu yang semakin singkat. Untuk memenuhi tuntutan tersebut, industri membutuhkan teknologi manufaktur yang mampu menghasilkan produk presisi secara konsisten, efisien, dan ekonomis. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah mesin *Computer Numerical Control* (CNC). Menurut Groover (2020), CNC merupakan sistem otomasi manufaktur di mana mesin perkakas dikendalikan oleh instruksi yang disimpan dalam bentuk kode digital sehingga menghasilkan proses pemesinan yang presisi dan konsisten.

Proses pemesinan pada mesin CNC *milling* dapat diprogram secara manual maupun dengan bantuan perangkat lunak *Computer Aided Manufacturing* atau CAM. Penggunaan *software* CAM memungkinkan perencanaan jalur pemotongan (*toolpath*) yang lebih sistematis dan terprediksi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses pemesinan serta mengurangi risiko kesalahan yang dapat berakibat pada kerusakan *cutting tool*, benda kerja, maupun mesin. Selain itu, *software* CAM juga memungkinkan pengguna untuk mengatur berbagai parameter pemesinan seperti kecepatan *spindle*, *feedrate*, kedalaman potong, serta strategi jalur pemotongan yang sesuai dengan karakteristik material dan jenis pahat yang digunakan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Salah satu material yang sering dilakukan proses pemesinan adalah baja ST42, baja ST42 merupakan baja karbon rendah atau *mild steel* yang memiliki kemampuan mesin yang baik, Selain itu, baja ST42 memiliki sifat mekanik yang mewakili material baja karbon rendah yang umum dijumpai di industri, sehingga hasil penelitian diharapkan dapat diaplikasikan pada berbagai proses pemesinan sejenis (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Dalam proses pemesinan Salah satu proses pemesinan yang umum digunakan pada CNC *milling* adalah proses *pocket milling*. Proses *Pocket milling* merupakan proses penghilangan material pada area tertutup (*closed area*) hingga kedalaman tertentu sehingga membentuk rongga atau kantong pada benda kerja dan umumnya memiliki geometri seperti lubang. Proses ini banyak digunakan pada pembuatan komponen mekanik seperti untuk pembuatan *slot*, *counterbore*, maupun ruang perakitan untuk komponen lain, Salah satu tahapan penting dalam proses *pocket milling* adalah proses awal masuk pahat (*lead-in*), karena pada tahap ini *cutting tool* mulai melakukan kontak dengan material sehingga terjadi perubahan beban pemotongan yang mempengaruhi kestabilan proses.

Strategi *lead-in* pada proses *pocket milling* umumnya dibedakan menjadi metode *plunge entry* dan metode *ramping*. Metode *plunge entry* dilakukan dengan memasukkan pahat secara vertikal ke dalam material sehingga gaya potong dan beban pemotongan terjadi secara tiba-tiba. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan beban kejutan, meningkatkan gaya potong, mempercepat keausan *cutting tool*, bahkan meningkatkan risiko kerusakan pahat. Sebagai alternatif, digunakan strategi *helical ramping*, yaitu metode masuk pahat secara bertahap melalui lintasan heliks sehingga kedalaman pemakanan meningkat secara kontinu selama pahat bergerak melingkar. Strategi ini memungkinkan distribusi beban pemotongan berlangsung lebih bertahap sehingga proses pemesinan menjadi lebih stabil (Conical Tool Company, 2017).

Karakteristik proses *helical ramping* dipengaruhi oleh beberapa parameter, di antaranya *ramp angle* dan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool*. *Ramp angle* menentukan besarnya penurunan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

aksial pada setiap putaran heliks, sedangkan rasio diameter lintasan *helical ramp* menentukan panjang lintasan interpolasi yang harus ditempuh pahat selama mencapai kedalaman target.

Dalam sistem CNC modern, perubahan kondisi pemotongan dapat diamati melalui data *spindle load*, *servo load* dan *cycle time* yang ditampilkan oleh kontrol mesin. *Spindle load* menunjukkan besarnya beban yang diterima spindle selama proses pemotongan dan berhubungan dengan kebutuhan torsi serta daya pemotongan, sedangkan *servo load* menggambarkan besarnya beban kerja motor servo pada masing-masing sumbu akibat pergerakan interpolasi selama proses pemesinan. Selain itu, perubahan geometri lintasan juga akan mempengaruhi *cycle time*, karena panjang lintasan pemotongan yang berbeda.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data ilmiah ,menganalisis dan menentukan parameter proses helical ramping pada proses *pocket milling* menggunakan metode eksperimental. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja *mild steel* ST42 , karena material tersebut secara luas digunakan dalam praktik manufaktur sebagai material untuk komponen mekanik dan tooling. Proses pemrograman CNC dilakukan menggunakan Mastercam X5.

Data yang dianalisis meliputi *spindle load*, *servo load* sumbu X-Y dan Z, serta *cycle time* selama satu siklus penuh proses *helical ramping*. Selanjutnya, hasil analisis karakteristik tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kombinasi parameter proses yang memberikan karakteristik beban dan waktu pemesinan terbaik menggunakan pendekatan *Multi criteria decision making* (MCDM) dengan metode *weight sum method* (WSM)

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh parameter *helical ramp* terhadap karakteristik beban proses serta waktu pemesinan pada proses *pocket milling*. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pemilihan parameter *helical ramp* pada pemrograman CAM sehingga mampu meningkatkan kestabilan proses pemesinan, memperpanjang umur *cutting tool*, serta meningkatkan efisiensi proses CNC *milling* pada material baja ST42.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, proses *pocket milling* pada mesin CNC *milling* merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan dalam bidang manufaktur, namun memiliki risiko yang cukup tinggi terutama pada tahap masuk pahat (*lead in*) di area tertutup.

Strategi *lead in* dengan metode *helical ramping* dinilai lebih aman dibandingkan metode *plunge entry* karena *cutting tool* memasuki material secara bertahap sehingga beban pemotongan dapat terdistribusi lebih merata dan mengurangi terjadinya lonjakan beban *spindle*.

Namun efektivitas strategi *helical ramping* sangat dipengaruhi oleh dua parameter utama yaitu *ramp angle* dan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool*. Selain itu, parameter proses lain seperti *spindle speed*, *feedrate*, juga turut mempengaruhi kestabilan proses *machining* serta waktu proses selama pemesinan berlangsung

Oleh karena itu, diperlukan penelitian eksperimental untuk menganalisis parameter strategi *lead in* dengan metode *helical ramping* tersebut dengan melihat karakteristik *spindle load*, *servo load* dan *cycle time* yang terjadi untuk memperoleh data yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi penentuan kombinasi parameter optimum dalam kestabilan dan waktu proses pada strategi *lead in* saat proses *pocket mill* di mesin CNC *miling* untuk material baja ST42.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, maka pertanyaan penelitian yang dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. bagaimana pengaruh variasi parameter *helical ramping* berupa *ramp angle* dan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool* terhadap karakteristik beban pemotongan dan beban gerak mesin CNC *milling* berdasarkan nilai *spindle load* dan *servo load*?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Bagaimana karakteristik kestabilan proses *helical ramping* sebagai strategi *lead in* pada proses *pocket milling* berdasarkan perubahan nilai *spindle load* selama proses pemakanan awal material?
3. Bagaimana menentukan kombinasi parameter *helical ramping* yang optimal berdasarkan respon *spindle load*, *servo load X-Y*, dan *cycle time* pada variasi diameter *cutting tool* yang berbeda menggunakan pendekatan MCDM dengan metode *weight sum method*(WSM)?

4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh variasi parameter *helical ramping* berupa *ramp angle* dan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool* terhadap karakteristik beban pemotongan dan beban gerak mesin CNC *milling* berdasarkan nilai *spindle load* dan *servo load* selama proses masuk *cutting tool* sebelum *pocket milling*.
2. Menganalisis kestabilan proses *helical ramping* sebagai strategi *lead in* pada proses *pocket milling* berdasarkan pola perubahan *spindle load* selama proses pemakanan awal material.
3. Menentukan kombinasi parameter *helical ramping* yang optimal berdasarkan penggabungan respon *spindle load*, *servo load X-Y*, dan *cycle time* menggunakan menggunakan pendekatan MCDM dengan metode *weight sum method* (WSM) pada kondisi pengujian tool dengan diameter yang berbeda

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi akademik berupa kajian ilmiah mengenai proses machining di CNC *milling* khususnya terkait strategi *lead in* dengan *helical ramp* dan hubungannya dengan kestabilan dan efisiensi proses.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Menyediakan referensi teknis terkait strategi *lead in* dengan metode *helical ramping* yang dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran dan pengembangan materi *CAD/CAM* dan *CNC milling* di pendidikan vokasi.
3. Memberikan rekomendasi parameter proses pada strategi *lead in* dengan *helical ramping* yang dapat dijadikan acuan dalam proses pemrograman *CNC milling* menggunakan pahat atau *cutting tool* karbida dan material ST42
4. Membantu mahasiswa dan praktisi pemesinan dalam memahami hubungan antara parameter pemesinan, karakteristik material, dan perilaku pahat pada proses *machining* di *CNC milling* serta dasar bagi penelitian lanjutan yang berkaitan dengan optimasi strategi *toolpath* dan parameter pemesinan *CNC milling* pada berbagai jenis material dan kondisi pemesinan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi 5 (lima) bab yang saling berkaitan satu sama lain, sistematika penulisan skripsi ini disusun sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan terkait beberapa teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan berdasarkan pada sumber referensi seperti buku, jurnal dan tesis, pada bab ini juga menjelaskan teori terkait metode penelitian yang digunakan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi metode atau tahapan tahapan yang digunakan dalam penelitian, seperti metode pengumpulan, pengolahan, analisis data dan penyajian data untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Bab ini merupakan inti pembahasan dari penelitian yang menjelaskan hasil penelitian yang dilakukan berikut penjelasannya, serta Analisa perbandingan hasil penelitian sebelum dan sesudah dilakukan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian sebagai penutup akhir dari penelitian yang dilakukan serta saran saran terkait yang perlu dilakukan yang berhubungan dengan tujuan penelitian.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis parameter *helical ramp* sebagai strategi *lead-in* pada proses *pocket milling* di mesin CNC *milling* menggunakan material baja ST42, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi *ramp angle* dan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool* memberikan pengaruh terhadap karakteristik pembebanan selama proses *helical ramping*. Peningkatan *ramp angle* menyebabkan kecenderungan peningkatan nilai *spindle load* akibat meningkatnya beban pemotongan yang terjadi selama *cutting tool* melakukan penetrasi menuju kedalaman target. Pada pengujian menggunakan *endmill* diameter 8 mm, nilai *spindle load* meningkat secara bertahap dari 0% hingga maksimum 2% pada kondisi *ramp angle* 3°. Sedangkan pada penggunaan *endmill* diameter 6 mm, peningkatan *spindle load* terjadi lebih rendah dengan nilai maksimum 1%. Nilai *spindle load* yang relatif rendah menunjukkan bahwa proses *helical ramp* pada kondisi penelitian masih berada dalam kondisi pembebanan ringan dan belum menunjukkan indikasi *overload* pada *spindle*. Selain itu, perubahan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool* memberikan pengaruh lebih dominan terhadap *servo load* X-Y dibandingkan perubahan *ramp angle*. Peningkatan rasio menyebabkan diameter lintasan heliks menjadi lebih besar sehingga jarak interpolasi sumbu X dan Y meningkat. Hal tersebut menyebabkan kebutuhan pergerakan motor servo meningkat yang ditunjukkan dengan kenaikan nilai *servo load* X-Y.
2. Kestabilan proses *helical ramp* dapat diamati berdasarkan pola perubahan *spindle load* selama proses masuk pahat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi proses diawali dengan nilai *spindle load* sebesar 0% dan tidak ditemukan adanya peningkatan beban secara tiba-tiba pada saat



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tool mulai memasuki material. Peningkatan *spindle load* terjadi secara bertahap seiring meningkatnya *ramp angle* dan ketika *cutting tool* mendekati kedalaman target pemakanan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa strategi helical ramp mampu mendistribusikan beban pemotongan secara bertahap sehingga mengurangi potensi terjadinya beban kejut pada awal proses pemakanan. Dengan demikian, metode *helical ramp* dapat digunakan sebagai strategi lead-in pada proses *pocket milling* karena mampu menghasilkan karakteristik masuk pahat yang lebih terkendali berdasarkan respon perubahan *spindle load*.

3. Penentuan parameter optimum *helical ramp* dilakukan menggunakan pendekatan *multi criteria decision making* (MCDM) dengan metode *weight sum method* (WSM) dengan menggabungkan beberapa respon penelitian yaitu *servo load X-Y*, *spindle load*, dan *cycle time*. Metode ini digunakan untuk memperoleh satu nilai evaluasi yang dapat menggambarkan keseimbangan antara kestabilan beban proses dan efisiensi waktu pemesinan. Berdasarkan hasil pengolahan data, pada pengujian menggunakan *cutting tool* diameter 8 mm diperoleh nilai skor tertinggi sebesar 0,637 pada uji coba nomor 4 dengan parameter *ramp angle* 2 derajat dan rasio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool* sebesar 0,5. Sedangkan pada pengujian menggunakan *cutting tool* diameter 6 mm, nilai skor tertinggi diperoleh pada uji coba nomor 4 dengan nilai 0,882 menggunakan parameter yang sama yaitu *ramp angle* 2 derajat dan rasio 0,5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa parameter *ramp angle* 2 derajat dengan rasio 0,5 merupakan kombinasi parameter optimum pada kondisi penelitian karena mampu memberikan keseimbangan antara rendahnya beban proses berdasarkan respon *spindle load* dan *servo load X-Y* serta efisiensi waktu proses berdasarkan *cycle time*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan variasi parameter *helical ramp* yang lebih luas, terutama pada variasi ratio diameter lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool* untuk mengetahui batas optimal antara kestabilan beban dan efisiensi proses.
2. Pengujian selanjutnya dapat menggunakan metode pengukuran gaya potong secara langsung seperti *dynamometer* untuk memvalidasi hubungan antara *spindle load*, *torsi spindle*, dan gaya pemotongan aktual.
3. Penelitian lanjutan dapat menambahkan respon kualitas hasil pemesinan seperti kekasaran permukaan, akurasi dimensi *pocket*, dan keausan *cutting tool* agar optimasi parameter tidak hanya berdasarkan beban proses tetapi juga kualitas hasil machining.
4. Pengujian dengan variasi diameter *cutting tool* yang lebih banyak dapat dilakukan untuk mengetahui apakah hubungan rasio lintasan *helical ramp* terhadap diameter *cutting tool* yang diperoleh dapat diterapkan secara lebih umum pada berbagai ukuran *cutting tool*.
5. Metode optimasi lain seperti *Grey Relational Analysis* (GRA) atau metode statistik dapat digunakan sebagai pembanding untuk melihat konsistensi hasil optimasi parameter *helical ramp*.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Pustaka

- G. A. Protázio, A. Hassui, C. E. H. Ventura, and L. W. G. Barbosa, “*Avaliação dos esforços de corte no processo de abertura de cavidades por interpolação helicoidal no microfresamento*,” in *Proceedings of the 10^o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação*, São Carlos, Brazil, 2019.
- Y. Wen, X. Nie, and N. Huang, “*Adaptive NC machining control technology based on spindle load identification*,” 2023.
- T. Y. Kim et al., “*Indirect cutting force measurement in multi-axis simultaneous NC milling processes*,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1999.
- S. Pawar, T. C. Bera, and K. S. Sangwan, “*Modelling of spindle energy consumption in CNC milling*,” *Procedia CIRP*, vol. 105, pp. 192–197, 2022, doi: 10.1016/j.procir.2022.02.032.
- [5] S. Wang, X. Guan, and Y. Huang, “*CNC load monitor system development based on LabVIEW*,” *Machine Tool & Hydraulics*, vol. 45, no. 22, pp. 169–171, 175, 2017, doi: 10.3969/j.issn.1001-3881.2017.22.043.
- [6] M. Zhou, K. Zhou, G. Zheng, and T. Li, “*Ramp Approach Parameter Correction Method for 3-axis Web Machining*,” *Computer-Aided Design & Applications*, vol. 18, no. 5, pp. 1050–1060, 2021, doi: 10.14733/cadaps.2021.1050-1060.
- [7] K. He, R. Tang, and M. Jin, “*Pareto fronts of machining parameters for trade-off among energy consumption, cutting force and processing time*,” *International Journal of Production Economics*, vol. 185, pp. 113–127, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.12.012.
- [8] D.D. Trung, “*Multi-criteria Decision Making under the MARCOS Method and the Weighting Methods: Applied to Milling, Grinding and Turning Processes*,” *Manufacturing Review*, vol. 9, art. no. 3, 2022.
- [9] Han, M. Kamber, and J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, 3rd ed. Waltham, MA, USA: Morgan Kaufmann, 2012.
- [10] S.Kalpajian and S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 7th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education, 2014.
- [11] I.M. Arifin, E. Yudo, and N. Pranandita, “*Pengaruh Optimasi Parameter Machining CNC Milling Berbasis CAD/CAM Terhadap Percepatan Waktu Pemesinan Dudukan Cetakan Kampas Rem*,” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan (JITT)*, vol. 4, no. 1, pp. 74–78, 2026.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

[2] W.Hanif and N. E. Setjiogiarto, "Analisa Perbandingan Machining Time Toolpath Vortex dan Konvensional pada Proses CNC Milling," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, pp. 682–688, 2022.

[3] N. Ariyanto, *Optimasi Parameter Permesinan Pemrograman CNC Milling Terhadap Waktu Proses untuk Meningkatkan Efisiensi di PT. Mekar Armada Jaya*. Skripsi S1, Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Magelang, Magelang, Indonesia, 2018.

[4] Helical Solutions, LLC, *Helical Machining Guidebook*. Gorham, ME, USA: Helical Solutions, LLC, 2016.

[5] Conical Tool Company, *Machining Methods Guidebook*, 2017.

[6] Okuma Corporation, *MILLAC 44V II Vertical Machining Center*, Pub. No. MILLAC 44V II-E-(19a)-200, Aichi, Japan, Feb. 2021.



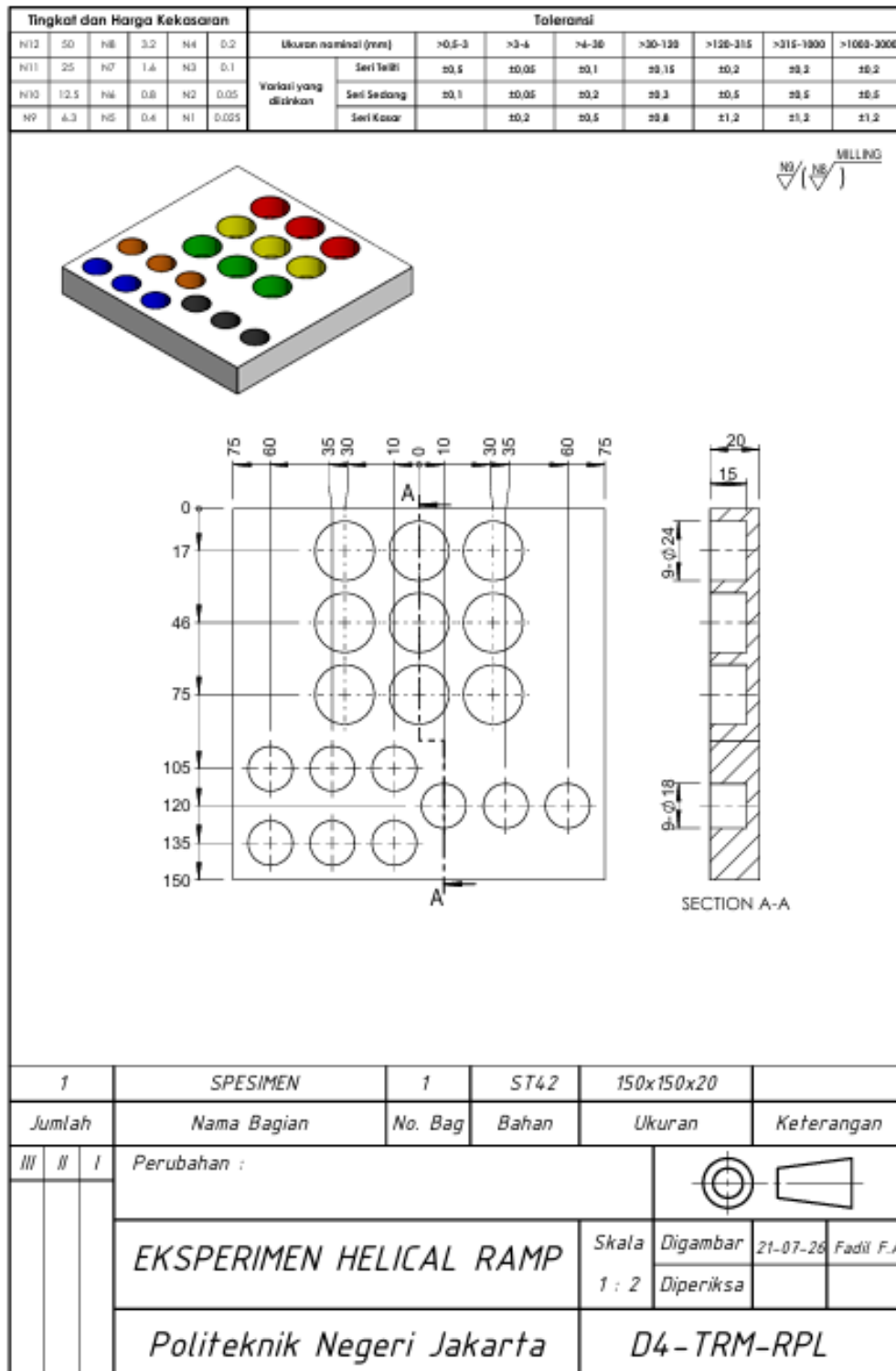
POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Lampiran

Lampiran 1. Drawing spesimen uji coba

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Lampiran 2. Spesifikasi *cutting tools*

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

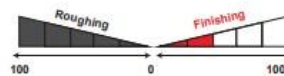
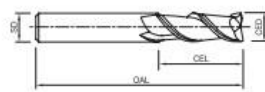
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

S500⁺ - 11352TN

◆ Square Type - 2F End Mills 35°

**Parts Processing
& General Processing**



Dia (mm)		Tolerance (mm)
Above	Up to	
1	3	0--0.020
3	12	0--0.025
12	20	0--0.030

※ 3 types of coating to choose from



h6 (unit : mm)

★ Customized size, Coating, Inches size service available.

	CED	CEL	SD	OAL
S500 ⁺ -11352TN	1	3	4	50
	2	6		
	3	8		
	4	12		
	6	16	6	60
	8	20	8	
	10	30	10	75
	12	32	12	

WORKING MATERIAL	ALLOY STEELS/ TOOLS STEELS		HARDENED STEEL				CAST IRON		REFERENCE	
HARDNESS	25~35 HRC		25~35 HRC		35~50 HRC		--		--	
DIAMETER	R.P.M	FEED	R.P.M	FEED	R.P.M	FEED	R.P.M	FEED	a _p	a _e
1MM	15050	150	8400	90	6740	70	16800	280	1	0.8
2MM	11320	160	6350	90	5065	70	12650	280	2	1.1
3MM	8540	170	4770	96	3820	75	9550	285	3	1.4
4MM	6400	190	3580	108	2865	87	7160	285	4	1.8
6MM	4270	215	2390	96	1900	75	4770	240	6	2.7
8MM	3200	190	1790	108	1430	87	3590	250	8	3.6
10MM	2560	205	1430	100	1150	81	2870	260	10	4.5
12MM	2135	215	1190	108	955	87	2390	265	12	5.4

※ The cutting parameters is for reference value only. Please adjust it according to your working conditions.

Lampiran 2. Spesifikasi mesin CNC milling okuma MILLAC44

Machine Specifications

	Model	Unit	MILLAC 44V II		MILLAC 44V II (2P-APC)	
			General Applications	Die/Mold Applications	General Applications	Die/Mold Applications
Travels	X-axis (table L/R)	mm (in)	560 (22.05)			
	Y-axis (table F/B)	mm (in)	410 (16.14)			
	Z-axis (spindlehead vertical)	mm (in)	410 (16.14)			
	Table top to spindle nose	mm (in)	150 to 560 (5.91 to 22.05)		200 to 610 (7.87 to 24.02)	
Table	Column to spindle center	mm (in)	450 (17.72)			
	Work surface	mm (in)	630 × 400 (24.80 × 15.75)		(Pallet) 400 × 400 (15.75 × 15.75)	
	Floor to table top	mm (in)	850 (33.46)		(Pallet top) 1,000 (39.37)	
	Max load capacity	kg (lb)	250 (550)		200 (440)	
Spindle	Spindle speed	min ⁻¹	120 to 12,000 [20,000] *1			
	Speed ranges		Stepless			
	Taper bore		7/24 taper No. 40			
	Bearing dia	mm (in)	ø60 (2.36)			
Feedrates	Rapid traverse (X-, Y-, Z-axis)	m/min (fpm)	50 (164.05)	30 (98.43)	50 (164.05)	30 (98.43)
	Cutting feedrate (X-, Y-, Z-axis)	mm/min (ipm)	20,000 (787)			
Motors	Spindle	kW (hp)	15/11 (20/15) (25% ED/cont) [OSP: 30/22 (40/30) (10 min/cont), FANUC: 18.5/11 (25/15) (15% ED/cont)] *1			
	Feed axes	kW (hp)	OSP: X: 2.2 (3) Y: 3.0 (4) Z: 5.5 (7.5), FANUC: X: 2.5 (3.3) Y: 2.7 (3.6) Z: 4.5 (6)			
ATC	Tool shank		MAS BT40			
	Pull stud		MAS 2			
	Tool capacity	tools	16 [24]			
	Max tool dia (w/adjacent / w/o adjacent)	mm (in)	ø90/ø115 (ø3.54/ø4.53)			
	Max tool length	mm (in)	250 (9.84)			
	Max tool mass / moment	kg/N-m	5/4.9 (11 lb/3.6 ft-lbf)			
	Tool selection		Memory random			
APC	No. of pallets		-		2	
	APC time	sec	-		5	
	Servomotor for APC rotation	kW (hp)	-		OSP: 1.7 (2.3), FANUC: 1.2 (1.6)	
Machine size	Height	mm (in)	2,630 (103.54)			
	Floor space width × depth	mm (in)	OSP: 1,600 × 3,380 (62.99 × 133.07) FANUC: 1,600 × 3,320 (62.99 × 130.71)		1,600 × 3,545 (62.99 × 139.57)	
	Mass	kg (lb)	4,500 (9,900)		5,000 (11,000)	
Control			OSP-P300MA FANUC 0i-MF	OSP-P300MA FANUC 31i-B	OSP-P300MA FANUC 0i-MF	OSP-P300MA FANUC 31i-B

[]: Optional *1. 20,000 min⁻¹ spindle

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3. CNC controller *fanuc guide book*

Integrated Operation & Programming Guidance with extremely simplified operations

FANUC MANUAL GUIDE i

This is an integrated operation guidance, which provides handy operation guidance for programming through machine operation on one single screen.

- Icon menu soft-keys provide convenient programming for sophisticated turning and milling.
- By adopting ISO code format, widely used in part programming, machining program made by CAD/CAM can be used as it is.
- Entered program can be checked easily by realistic animation of milling and turning.
- Set-up operations before and after of machining can be reduced by various automatic measuring of cutting tools and machined workpiece.
- For machining center, lathe, compound machine with milling and turning, and multi-path lathe with plural tool posts and spindles.



Menu-format program input screen



Animation screen

Positive Safety Measures

Prevention of Operator Errors

Various types of checks are made and many confirmation messages are displayed for CNC operation, which prevents unintentional operator errors from occurring.

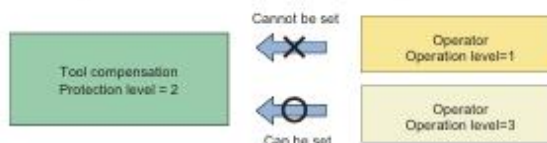
- Preventing data input errors
- Preventing execution of an invalid program



Tool offset screen

Protection of Data at Eight Levels

If operators having different degrees of skill operate the same machine, data can be protected from operators unfamiliar with operation. More specifically, operators are classified into eight levels of skill and each types of CNC data are also classified into eight levels of protection. When an operator attempts to change data or output it to an external unit, the operator cannot change or output data if the operator level is lower than the data protection level. This function is effective particularly in automobile and other large plants.





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Uji coba penelitian skripsi

