

SKRIPSI

**OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN
PEMROGRAMAN CNC *MILLING*
TERHADAP WAKTU PROSES
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
DI PT. MEKAR ARMADA JAYA**



**Disusun Oleh:
NUR ARIYANTO
NPM. 14.0501.0016**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI (S1)
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
2018**

SKRIPSI

**OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN
PEMROGRAMAN CNC *MILLING*
TERHADAP WAKTU PROSES
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
DI PT. MEKAR ARMADA JAYA**

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Industri Jenjang Strata Satu (S-1) Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Magelang**



**Disusun Oleh:
NUR ARIYANTO
NPM. 14.0501.0016**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI (S1)
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
2018**

HALAMAN PENEGASAN

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Nur Ariyanto
NPM : 14.0501.0016

Magelang, 8 Agustus 2018

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Nur Ariyanto', with a stylized flourish at the end.

Nur Ariyanto
NPM. 14.0501.0016

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nur Ariyanto
NPM : 14.0501.0016
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Judul Laporan Skripsi : Optimasi Parameter Permesinan
Pemrograman CNC Milling
Terhadap Waktu Proses
Untuk Meningkatkan Efisiensi
Di PT. Mekar Armada Jaya

Dengan ini menyatakan bahwa laporan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan bukan merupakan Plagiat dari hasil karya orang lain.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Magelang, 8 Agustus 2018



Nur Ariyanto

NPM. 14.0501.0016

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN PEMROGRAMAN CNC *MILLING* TERHADAP WAKTU PROSES UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DI PT. MEKAR ARMADA JAYA

disusun oleh

NUR ARIYANTO
NPM. 14.0501.0016

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 8 Agustus 2018

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing I



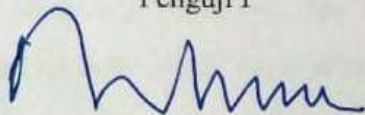
Ir. Eko Muh Widodo, M.T.
NIDN.0013096501

Pembimbing II



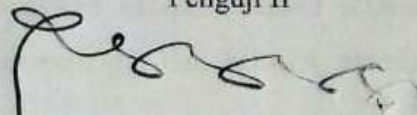
Tuessi Ari P., S.T., M.Tech., M.SE.
NIDN.0626037302

Penguji I



Ir. Mochamad Aman, M.T.
NIDN.0613066301

Penguji II



M. Imron Rosyidi, S.T., M.Si.
NIDN.0626127201

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Pada tanggal 8 Agustus 2018
Dekan



Yun Arifatul Fatimah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK.987408139

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Muhammadiyah Magelang, yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nur Ariyanto

NPM : 14.0501.0016

Program Studi : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN PEMROGRAMAN CNC MILLING TERHADAP WAKTU PROSES UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DI PT. MEKAR ARMADA JAYA

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang berhak menyimpan, mengalihmedia/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi tersebut selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa paksaan dari pihak manapun.

Dibuat di : Magelang

Pada tanggal : 8 Agustus 2018

Yang menyatakan



Nur Ariyanto

NPM. 14.0501.0016

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan. Penyusunan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang.

Dalam penyelesaiannya banyak memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, diucapkan terima kasih kepada :

1. Yun Arifatul Fatimah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang.
2. Ir. Eko Muh Widodo, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, memberikan saran dan masukan demi terselesainya Skripsi ini.
3. Tuessi Ari Purnomo, S.T., M.Tech, M.SE. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, memberikan saran dan masukan demi terselesainya Skripsi ini.
4. Ir. Moehamad Aman, M.T. selaku Dosen Penguji I.
5. M. Imron Rosyidi, S.T., M.Si selaku Dosen Penguji II.
6. Beberapa pihak yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang diperlukan.
7. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan baik moril, material maupun motivasi untuk dapat menyelesaikan Skripsi ini.
8. Para sahabat yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Magelang, 8 Agustus 2018



Nur Ariyanto

NPM. 14.0501.0016

DAFTAR ISI

HALAMAN KULIT MUKA	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Penelitian Yang Relevan	5
B. Optimasi	10
C. Parameter Permesinan.....	10
D. Proses Permesinan.....	16
E. CNC <i>Milling</i>	16
F. Waktu Proses.....	21
G. Efisiensi.....	21
H. CATIA V5R20	22
I. Pahat/ <i>Cutter</i>	25
J. Landasan Teori.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
A. Studi Pendahuluan.....	31
B. Studi Lapangan	31
C. Studi Pustaka	32
D. Perumusan Masalah	32
E. Tujuan Penelitian	32
F. Pengumpulan Data	32
G. Pembuatan Geometri Benda Kerja (CAD).....	33
H. Pemilihan Parameter (CAM)	36
I. Desain Proses Permesinan	37
J. Simulasi Program Permesinan	37
K. Waktu Proses Hasil Simulasi yang Optimal	41
L. Kesimpulan dan Saran	41

BAB IV	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	Error! Bookmark not defined.
	A. Pengumpulan Data	Error! Bookmark not defined.
	B. Pengolahan Data	Error! Bookmark not defined.
	C. Pembahasan.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V	PENUTUP	42
	A. Kesimpulan	42
	B. Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis	9
Tabel 2.2. Kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan untuk beberapa jenis bahan.....	13
Tabel 4.3. Data Katalog Permesinan <i>Milling</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4. Standar Parameter CAD/CAM PT. Mekar Armada Jaya.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5. Faktor Parameter dan Level Penelitian <i>Cutter Ball Nose Ø32 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6. Faktor Parameter dan Level Penelitian <i>Cutter Ball Nose Ø30 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7. Desain Kombinasi Parameter Percobaan <i>Cutter Ball Nose Ø32 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8. Desain Kombinasi Parameter Percobaan <i>Cutter Ball Nose Ø30 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.9. Hasil Pengukuran Waktu Proses Permesinan <i>Cutter Ball Nose Ø32 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.10. Hasil Pengukuran Panjang Langkah Pemotongan <i>Cutter Ball Nose Ø32 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.11. Hasil Pengukuran Waktu Proses <i>Cutter Ball Nose Ø30 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.12. Hasil Pengukuran Panjang Langkah Pemotongan <i>Cutter Ball Nose Ø30 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.13. Hasil Analisis <i>Means</i> dari Waktu Proses <i>Cutter Ball Nose Ø32 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.14. Hasil Analisis <i>Means</i> dari Panjang Langkah Pemotongan <i>Cutter Ball Nose Ø32 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.15. Hasil Analisis <i>Means</i> dari Waktu Proses <i>Cutter Ball Nose Ø30 mm</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.16. Hasil Analisis <i>Means</i> dari Panjang Langkah Pemotongan <i>Cutter Ball Nose Ø30 mm</i>	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Definisi Mengenai Toleransi	15
Gambar 2.2. Sistem Persumbuan pada Mesin CNC <i>Milling</i>	17
Gambar 2.3. Motor Utama CNC <i>Milling</i>	18
Gambar 2.4. Motor Step	18
Gambar 2.5. Meja Mesin.....	19
Gambar 2.6. <i>Spindle</i>	19
Gambar 2.7. Ragum	20
Gambar 2.8. <i>Coolant Hose</i>	20
Gambar 2.9. Bagian Pengendali (<i>Controll</i>).....	21
Gambar 2.10. Fitur-fitur CATIA.....	22
Gambar 2.11. Fitur dalam Pengembangan Produk CATIA	23
Gambar 2.12. Fitur dalam Pengembangan Produk CATIA	24
Gambar 2.13. Fitur dalam Proses <i>Manufacturing</i>	24
Gambar 2.14. Fitur Analisis Ergonomi	25
Gambar 2.15. <i>End Mill</i>	26
Gambar 2.16. <i>Ball Nose</i>	26
Gambar 2.17. <i>Face Mill</i>	27
Gambar 2.18. <i>T-Slot Cutter</i>	27
Gambar 2.19. <i>Helical Cutter</i>	28
Gambar 2.20. Kerangka Konsep Penelitian	29
Gambar 3.1. <i>Flow Chart</i> Penelitian	30
Gambar 3.2. <i>Preview Generative Shape Design</i>	33
Gambar 3.3. <i>Preview Point Definition</i>	33
Gambar 3.4. <i>Preview Line Definition</i>	34
Gambar 3.5. <i>Skecth.1</i>	34
Gambar 3.6. <i>Skecth.2</i>	35
Gambar 3.7. <i>Skecth.3</i>	35
Gambar 3.8. <i>Skecth.4</i>	35
Gambar 3.9. <i>Skecth.5</i>	35
Gambar 3.10. <i>Preview Trim Definition</i>	36
Gambar 3.11. <i>Edge Fillet Definition</i>	36
Gambar 3.12. <i>Part Eksperimen</i>	36
Gambar 3.13. <i>Preview Part Eksperimen Dalam Bentuk .CATPart</i>	38
Gambar 3.14. <i>Preview Surface Machining</i>	38
Gambar 3.15. <i>Preview Part Operation</i>	38
Gambar 3.15. <i>Preview ZLevel Program</i>	39
Gambar 3.17. <i>Preview Sweeping Program</i>	39
Gambar 3.18. <i>Preview Operation Time ZLevel</i>	40
Gambar 3.19. <i>Preview Operation Time Sweeping</i>	40
Gambar 4.2. Desain Benda Kerja (Pandangan Atas)	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.3. Desain Benda Kerja (Isometri) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 1 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.5. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 1 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.6. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 1 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.7. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 2 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.8. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 2 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.9. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 2 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.10. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 3 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.11. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 3 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.12. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 3 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 4 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 4 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.15. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 4 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 5 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.17. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 5 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.18. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 5 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.19. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 6 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.20. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 6 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.21. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 6 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.22. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 7 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.23. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 7 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.24. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 7 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.25. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 8 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.26. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 8 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.27. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 8 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.28. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 9 Proses *Roughing*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.29. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 9 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.30. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 9 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.31. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 1 Proses *Roughing*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.32. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 1 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.33. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 1 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.34. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 2 Proses *Roughing*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.35. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 2 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.36. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 2 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.37. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 3 Proses *Roughing*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.38. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 3 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.39. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 3 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.40. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 4 Proses *Roughing*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.41. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 4 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.42. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 4 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.43. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 5 Proses *Roughing*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.44. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 5 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.45. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 5 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.46. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 6 Proses *Roughing*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.47. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 6 Proses *Semifinish*..... **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.48. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 6 Proses *Finishing* **Error!**
Bookmark not defined.

- Gambar 4.49. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 7 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.50. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 7 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.51. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 7 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.52. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 8 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.53. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 8 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.54. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 8 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.55. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 9 Proses *Roughing*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.56. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 9 Proses *Semifinish*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.57. Hasil *Toolpath Geometry* Percobaan 9 Proses *Finishing* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.58. Grafik Hubungan Kombinasi Parameter Faktor Permesinan *Cutter Ball Nose Ø32 mm* Terhadap Waktu Proses .**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.59. Grafik Hubungan Kombinasi Parameter Faktor Permesinan *Cutter Ball Nose Ø30 mm* Terhadap Waktu Proses .**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.60. Grafik Hubungan *Cutting Speed* Terhadap Waktu Proses **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.61. Grafik Hubungan *Cutting Speed* Terhadap Waktu Proses **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.62. Grafik Hubungan *Feed Rate* Terhadap Waktu Proses **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.63. Grafik Hubungan *Feed Rate* Terhadap Waktu Proses **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.64. Grafik Hubungan *Depth Of Cut* Terhadap Waktu Proses **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.65. Grafik Hubungan *Depth Of Cut* Terhadap Waktu Proses **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.66. Grafik Hubungan *Machining Tolerance* Terhadap Waktu Proses**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.67. Grafik Hubungan *Machining Tolerance* Terhadap Waktu Proses**Error! Bookmark not defined.**

ABSTRAK

OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN PEMROGRAMAN CNC *MILLING* TERHADAP WAKTU PROSES UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DI PT. MEKAR ARMADA JAYA

Oleh : Nur Ariyanto
Pembimbing : Ir. Eko Muh Widodo, M.T.
: Tuessi Ari P., S.T., M.Tech., M.SE.

Departemen *Tooling* adalah departemen yang bergerak dalam bidang manufacturing *die* yaitu pembuatan alat cetak untuk membuat suatu komponen / *pressed part* yang dibuat sesuai dengan desain yang diinginkan dan diproses diatas mesin *press*, *die* diorder dari *customer* yaitu agen tunggal pemegang merk (ATPM). Proses manufacturing selama ini berjalan sudah baik, tetapi untuk meningkatkan pelayanan dan untuk menurunkan biaya manufacturing *die* maka perlu dilakukan peningkatan efisiensi waktu dengan cara optimasi parameter permesinan proses *machining*. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter permesinan yang menghasilkan waktu proses optimal pada pemrograman CNC *milling*. Penelitian ini menggunakan Metode Taguchi dengan pola *Orthogonal Array* L9. Faktor yang akan diteliti meliputi *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut* dan *machining tolerance* menggunakan *cutter ball nose* Ø32 mm dan Ø30 mm. Parameter yang menghasilkan waktu proses permesinan optimal pada pemrograman CNC *milling* untuk *cutter ball nose* Ø32 mm adalah pada kondisi *cutting speed* optimal = 100480 mm/min, kondisi *feed rate* optimal = 1200 mm/min, kondisi *depth of cut* optimal = 1.5 mm, dan kondisi *machining tolerance* = 0.09 mm. Waktu proses permesinan yang dihasilkan pada kondisi tersebut adalah 265.73 menit. Sedangkan untuk *cutter ball nose* Ø30 mm adalah pada kondisi *cutting speed* optimal = 103620 mm/min, kondisi *feed rate* optimal = 1280 mm/min, kondisi *depth of cut* optimal = 1.5 mm, dan kondisi *machining tolerance* = 0.09 mm. Waktu proses permesinan yang dihasilkan pada kondisi tersebut adalah 265.51 menit. Dari hasil penelitian ini, dapat direkomendasikan bahwa untuk menghasilkan waktu proses permesinan yang singkat dilakukan dengan mengoptimalkan parameter *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan *machining tolerance*. Pengembangan optimasi parameter permesinan yang lebih kompleks dengan variabel respon seperti kualitas permukaan pada proses pemmesinan CNC *milling*, sehingga rekomendasi pemilihan parameter yang optimal lebih akurat.

Kata kunci : parameter permesinan, waktu proses, pemrograman CNC *milling*.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF MACHINING PARAMETERS ON CNC MILLING PROGRAMMING TOWARDS THE PROCESS TIME TO INCREASE EFFICIENCY IN PT. MEKAR ARMADA JAYA

By : Nur Ariyanto
Counsellor : Ir. Eko Muh Widodo, M.T.
: Tuessi Ari P., S.T., M.Tech., M.SE.

Tooling department is the department which is engaged in manufacturing dies that is making a molding tool to create a component / pressed parts made in suitable with the desired design and processed on a press machine, dies ordered from the customer is the sole agent for the brand (car manufacturers). The manufacturing process that has been running so far is good, but to improve service and to reduce manufacturing costs, it is necessary to increase the efficiency of time by optimizing the machining parameters of the machining process. The purpose of this research is to determine the machining parameters that produce optimal processing time in CNC milling programming. This research uses the Taguchi Method with the L9 Orthogonal Array pattern. The factors to be research include cutting speed, feed rate, depth of cut and machining tolerance using a cutter ball nose Ø32 mm and Ø30 mm. The parameters that produce optimal machining process time on CNC milling programming for cutter ball nose Ø32 mm are at optimum cutting speed condition = 100480 mm / min, optimal feed rate condition = 1200 mm / min, optimal depth of cut condition = 1.5 mm, and machining tolerance condition = 0.09 mm. The time of the machining process produced in these conditions is 265.73 minutes. Whereas for cutter ball nose Ø30 mm is at optimum cutting speed condition = 103620 mm / min, optimal feed rate condition = 1280 mm / min, optimal depth of cut condition = 1.5 mm, and machining tolerance condition = 0.09 mm. The time of the machining process produced in these conditions is 265.51 minutes. From the results of this research, it can be recommended that to produce a short machining process time is done by optimizing the cutting speed parameters, feed rate, depth of cut, and machining tolerance. Development of more complex optimization of machining parameter with response variables such as surface quality on CNC milling machining process, so that the recommendation of optimal parameter selection is more accurate.

Keywords : machining parameter, process time, CNC milling programming.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Salah satu kunci keberhasilan negara-negara industri maju dalam membangun kekuatan ekonominya adalah kemampuan industrinya dalam membuat produk manufaktur secara efisien. Dengan perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat dan semakin tingginya kompetisi antara produsen produk-produk manufaktur, kebutuhan akan kualitas produk yang tinggi (*high quality product*) yang dihasilkan dengan kecepatan produksi yang tinggi (*high speed manufacturing*) dengan efisiensi biaya produksi yang tinggi (*low cost production*) menjadi suatu prasyarat. Kesemuanya itu membutuhkan sistem pendukung proses manufaktur yang handal. Salah satu pendukung tersebut adalah sistem CAD/CAM.

CAD/CAM memiliki dua bagian yakni desain gambar CAD (*Computer Aided Design*) dan desain gambar CAM (*Computer Aided Machine*). Desain gambar CAD berisikan tentang desain produk meliputi ukuran dan bentuk geometri sedangkan desain gambar CAM adalah berupa desain tentang proses pemakanan, *toolpath*, *setup* mesin dan hal-hal lainnya yang berkaitan dengan proses atau cara agar dihasilkan produk yang sesuai dengan gambar pada proses CAD. Desain yang dihasilkan oleh *software* CAD/CAM ini nantinya akan diubah menjadi bahasa pemrograman (*NC code*).

Dalam praktiknya ternyata didapatkan bahwa waktu proses dari desain yang dibuat di CAD/CAM belumlah optimal. Waktu proses merupakan suatu hal yang penting karena berhubungan linier dengan biaya dan kuantitas produksi. Berbagai pengembangan sistem operasi *Computer Numerically Controlled* (CNC) telah dilakukan sejak dekade tahun 80-an.

Pengembangan CAD/CAM menjadikan pilihan utama berkaitan dengan minimalisasi waktu proses. Pinar dan Gullu (2005) mengemukakan bahwa untuk meminimalisasi waktu proses dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu meminimalisasi *toolpath parameters* dan mengoptimalkan *cutting parameters*. Studi tentang *toolpath parameters* dapat diuraikan menjadi

beberapa parameter yang mempengaruhi waktu proses permesinan, diantaranya kedalaman pemotongan (*depth of cut*) dan jarak penarikan *cutter* (*retract*). Sedangkan studi tentang *cutting parameters* dapat diuraikan meliputi kecepatan pemotongan (*cutting speed*), laju pemakanan (*feed rate*), dan kedalaman pemakanan (*depth of cut*).

PT. Mekar Armada Jaya Magelang merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang *Autobody Manufacturing*, *Dies/Tool Manufacturing* dan *Pressed Part Component* dengan hasil produk berupa *Big Bus* (*Lux & Standard*), *Mini Bus*, Angkutan Kota, Ambulan, *Box*, *Heavy Duty*, *Carrier*, *Dies/Tool*, *Precision Jigs*, dan *Checking Fixture* (C/F). Untuk produk *Pressed Part Component* telah mendapatkan kepercayaan dari ATPM dalam pembuatan komponen mobil diantaranya PT. Astra Daihatsu Motor (ADM), PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN), PT. Honda Prospect Motor (HPM), PT. Suzuki Indomobil Indonesia, PT. Mitsubishi Kramayuda *Motors and Manufacturing* (MKM), PT. Nissan Motor Indonesia. Dengan adanya persaingan antara mitra agen tunggal pemegang merk, PT. Mekar Armada Jaya selalu berusaha untuk melakukan kegiatan pengendalian waktu, pengendalian mutu, pengendalian biaya, pengendalian mesin, dan pengendalian tenaga kerja serta kebijakan perusahaan dalam pembuatan *tooling/dies*. Kegiatan tersebut dilakukan agar perusahaan mendapatkan kepercayaan dari ATPM untuk mempertahankan dan memperluas pangsa pasar yang dimiliki oleh perusahaan.

Dalam pembuatan *dies*, PT. MAJ telah memanfaatkan teknologi CAD & CAM mulai dari proses desain sampai pada proses permesinan menggunakan mesin CNC *milling*. Adapun *software* yang digunakan meliputi AutoCAD 2013 untuk proses *CAD drawing* dan CATIA V5R20 untuk proses CAM. CATIA V5R20 ialah salah satu *software* CAD/CAM yang tergolong populer dalam dunia pendidikan keteknikan maupun dunia praktis, khususnya bagi sekolah-sekolah teknik dan perguruan tinggi, serta industri pengguna teknologi CNC yang memerlukan keakuratan proses manufakturnya. Melalui fitur-fitur strategis yang terdapat pada CATIA V5R20 seorang *programmer*

dapat melakukan variasi parameter permesinan untuk menghasilkan waktu proses yang optimal pada pemrograman CNC *milling*.

Proses produksi *dies* di PT. Mekar Armada Jaya (PT. MAJ) dituntut untuk selalu memenuhi permintaan *customer* dengan bentuk desain *die* apapun dengan biaya yang murah dan waktu produksi yang minimum.

Proses *manufacturing* yang selama ini berjalan sudah baik, tetapi untuk meningkatkan pelayanan dan untuk menurunkan biaya *manufacturing die* maka perlu dilakukan peningkatan efisiensi waktu. Langkah tersebut difokuskan pada optimasi parameter permesinan proses *machining* karena waktu yang dihasilkan pada proses *machining* terlalu lama dan memungkinkan untuk dilakukan efisiensi.

Permasalahan pada *machining dies* ADM dengan *part* nomor 57448-49_OP20, 1 set *dies* yang terdiri dari *lower*, *upper*, dan *pad* menghasilkan total waktu proses *machining* menggunakan program CNC adalah 29 jam, 53 menit, 38 detik. Sedangkan pada *Die Cost Planning* (DCP), waktu yang dibutuhkan untuk proses *machining* menggunakan program CNC adalah 25 jam. Dari data di atas dapat diketahui bahwa proses *machining dies* 57448-49_OP20 terjadi kelebihan waktu proses 4 jam, 53 menit, 38 detik. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu diadakan penelitian sehingga nantinya dapat melakukan variasi parameter permesinan untuk menghasilkan waktu proses yang optimal pada pemrograman CNC *milling* agar dapat meningkatkan efisiensi waktu pada *machining* program, sehingga dapat menurunkan biaya operasional.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka masalah penelitian ini adalah parameter permesinan manakah yang menghasilkan waktu proses optimal pada pemrograman CNC *milling*?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian yang akan dicapai adalah menentukan parameter permesinan yang menghasilkan waktu proses optimal pada pemrograman CNC *milling*.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan apabila tujuan penelitian tercapai adalah:

1. Meminimalkan waktu pada proses *machining dies*.
2. Meminimalkan biaya operasional pada proyek pembuatan *dies*.
3. Memberikan rekomendasi kepada desainer dalam memprogram mesin CNC *milling* tentang desain parameter permesinan dengan optimal.
4. Membantu mahasiswa dalam memahami prinsip pemrograman mesin CNC *milling* secara umum.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Yang Relevan

1. Penelitian yang dilakukan oleh Edi Anto (2013), yang berjudul **Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC Turning** menyatakan bahwa Permasalahan yang diungkap dalam penelitian ini adalah tentang Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman *CNC Turning*. Tujuan dalam penelitian ini yaitu: Mengetahui pengaruh *cutting speed*, *feed rate*, *dept of cut*, dan *retract* terhadap waktu proses pada pemrograman *CNC turning* dan mengetahui parameter pemesinan yang menghasilkan waktu proses optimal pada pemrograman *CNC turning*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen faktorial, dimana *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan *retract* merupakan variabel bebas dari waktu proses pemesinan sebagai variabel responnya. Masing-masing variabel bebas mempunyai dua level faktor yaitu level *low* dan level *high*. Pengukuran waktu proses pemesinan didapatkan dari hasil simulasi *software MasterCAM X lathe* melalui fasilitas *sheet up*. Hasil yang di dapat dalam simulasi meliputi waktu proses pemesinan atau *operation time*, panjang langkah pemakanan atau *feed cut length*, dan panjang langkah tanpa pemakanan atau *rapid trverse length*. Data hasil eksperimen kemudian dilakukan analisis statistik ANOVA untuk melihat adanya pengaruh dan prosentase kontribusi dari masing-masing parameter terhadap waktu proses pemesinannya. Berdasarkan analisis statistik ANOVA diketahui bahwa ada pengaruh yang signifikan dari semua parameter terhadap waktu proses pemesinan *CNC turning*, dimana semakin besar nilai *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut* akan semakin singkat waktu proses pemesinannya, sedangkan semakin kecil nilai *retract* akan semakin singkat waktu proses pemesinannya. Kedalaman pemotongan atau *depth of cut* memiliki kontribusi yang terbesar dengan nilai 71.78%. Laju pemakan atau *feed rate* memiliki kontribusi terbesar kedua dengan nilai 23.88%. Jarak penarikan pahat atau *retract*

memiliki kontribusi terbesar ketiga dengan nilai 2%. Kecepatan potong atau *cutting speed* memiliki kontribusi terendah dengan nilai 0.79%. Parameter yang menghasilkan waktu proses pemesinan optimal pada pemrograman *CNC turning* adalah pada kondisi *cutting speed* optimal = 160 m/min, kondisi *feed rate* optimal = 0.8 mm/rev, kondisi *depth of cut* optimal = 1 mm, dan kondisi *retract* minimal = 1mm. Waktu proses pemesinan yang dihasilkan pada kondisi tersebut adalah 7.57 menit. Dari hasil penelitian ini, dapat direkomendasikan bahwa untuk menghasilkan waktu proses pemesinan yang singkat dilakukan dengan mengoptimalkan parameter *cutting speed*, *feed rate*, *dept of cut*, dan *retract*. Pengembangan optimasi parameter pemesinan yang lebih kompleks dengan variabel respon seperti kualitas permukaan pada proses pemesinan *CNC turning*, sehingga rekomendasi pemilihan parameter yang optimal lebih akurat.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Bambang Sugiantoro dkk., (2014), yang berjudul **Optimasi Parameter Proses Milling Terhadap Kualitas Hasil Permesinan Aluminium Dengan Metode Taguchi** menyatakan bahwa Perkembangan teknologi pendinginan proses permesinan terbaru yang dikembangkan adalah penggunaan bahan alami sebagai fluida pengganti dromus atau pendingin berbasis minyak. Jenis fluida alami yang diterapkan pada penelitian ini adalah penggunaan udara, minyak alami dan nitrogen. Kondisi optimum dapat dicapai jika waktu yang dibutuhkan membuat komponen seminimal mungkin untuk mencapai kapasitas produksi yang tinggi dan berkualitas. Salah satu parameter yang berpengaruh terhadap optimasi adalah suhu fluida pendingin. Untuk meningkatkan gradien suhu yang tinggi digunakan alat penukar kalor yang didesain untuk menyerap panas fluida untuk menghasilkan suhu fluida dibawah 10oC. Metode sebaran dan penentuan level menggunakan metode taguchi. Penentuan parameter dan level didasarkan pada rekomendasi pahat dan spesifikasi mesin milling. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium AC4B dan pahat HSS *Superhard End Milling* 5 mm. Dari hasil pengujian proses permesinan pada material aluminium dengan variasi pendingin didapatkan untuk kondisi permesinan

menghasilkan kekasaran permukaan paling halus pada *spindle speed* 1500 rpm, *feed rate* 98 mm/min, *depth of cut* 1 mm, dan *cutting condition* udara dingin. Kondisi permesinan yang menghasilkan temperatur pahat paling rendah pada *spindle speed* 565 rpm, *feed rate* 132 mm/min, *depth of cut* 0.75 mm, dan *cutting condition* udara dingin. Kondisi permesinan yang membutuhkan daya permesinan paling kecil pada *spindle speed* 565 rpm, *feed rate* 98 mm/min, *depth of cut* 0,5 mm, dan *cutting condition* neat oil. Semakin rendah *feed rate* akan menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin halus, berbanding lurus dengan suhu pendinginan. Pendinginan dengan udara dingin menjadi faktor dominan pada optimasi permesinan *milling*.

3. Penelitian yang dilakukan oleh Fonsa Careca dan Rusnaldy (2014), yang berjudul **Optimasi Parameter Proses Bubut Pada Baja St 60 Dengan Menggunakan Metode Taguchi** menyatakan bahwa Sampai saat ini, media pendingin yang dipakai pada proses pemesinan masih mengandung zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan operator dan tidak ramah lingkungan. Oleh sebab itu diperlukan media pendingin alternatif yang aman, ramah lingkungan, dan efisien dalam penggunaannya. Beberapa solusi yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan *cooled air jet cooling* dan pendingin nitrogen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek penggunaan *cooled air jet cooling*, nitrogen, dan dromus pada proses permesinan dan mengoptimisasi parameter-parameter sehingga diperoleh temperatur pahat, kekasaran permukaan, dan daya permesinan yang minimum. Proses pemesinan yang digunakan adalah proses bubut dengan material St 60. Metode penelitian yang digunakan adalah secara eksperimental. Posisi penyemprotan *overhead* dan tekanan penyemprotan yaitu 3 bar untuk pendinginan *cooled air jet cooling* dan nitrogen. Berdasarkan hal tersebut, hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperoleh nilai kekasaran permukaan, suhu pahat, dan daya permesinan yang bagus dengan parameter pembubutan optimum hasil dari analisa percobaan metode Taguchi. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa kondisi permesinan yang optimal untuk menghasilkan

kekasaran permukaan paling halus pada *spindle speed* 1400 rpm, *feed rate* 0.125 mm/rev, *depth of cut* 1 mm, dan *cutting condition* dromus. Kondisi permesinan yang optimal untuk menghasilkan temperatur pahat paling rendah pada spindle speed 580 rpm, feed rate 0.113 mm/rev, depth of cut 0.25 mm, dan cutting condition nitrogen. Sedangkan kondisi permesinan yang membutuhkan daya permesinan paling kecil pada spindle speed 580 rpm, feed rate 0.136 mm/rev, depth of cut 0.25 mm, dan cutting condition dromus.

Tabel 2.1. Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

No	Peneliti	Judul	Tahun	Parameter Permesinan	Software	Metode
1	Edi Anto	Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC <i>Turning</i>	2013	<i>cutting speed, feed rate, depth of cut, dan retract</i>	MasterCAM X <i>lathe</i>	ANOVA
2	Bambang Sugiantoro dkk	Optimasi Parameter Proses <i>Milling</i> Terhadap Kualitas Hasil Permesinan Aluminium Dengan Metode Taguchi	2014	<i>spindle speed, feed rate, depth of cut dan cutting condition</i>	-	Taguchi
3	Fonsa Careca, Rusnaldy	Optimasi Parameter Proses Bubut Pada Baja St 60 Dengan Menggunakan Metode Taguchi	2014	<i>spindle speed, feed rate, depth of cut, dan cutting condition dromus</i>	-	Taguchi
4	Penulis	Optimasi Parameter Pemesinan Pada Pemrograman CNC <i>Milling</i> Terhadap Waktu Proses	2018	<i>cutting speed, feed rate, depth of cut, machining tolerance</i>	CATIA V5 R20	Taguchi

B. Optimasi

Sugioko (2013 : 113) mengatakan bahwa “Optimasi adalah suatu disiplin ilmu dalam matematika yang fokus untuk mendapatkan nilai minimum atau maksimum secara sistematis dari suatu fungsi, peluang maupun pencarian nilai lainnya dalam berbagai kasus”. Dalam penelitian ini optimasi dilakukan pada parameter permesinan dengan tujuan untuk mendapat waktu proses yang optimal pada pemrograman *CNC milling*.

C. Parameter Permesinan

Parameter proses permesinan *milling* adalah, dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan perhitungan perhitungan dalam proses pemotongan/penyayatan permesinan *milling* diantaranya, kecepatan potong (V_c), kecepatan putaran mesin (rpm), kecepatan pemakanan (V_f) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*). Pada proses permesinan dengan menggunakan mesin *milling* terdapat beberapa parameter pemotongan, antara lain:

1. Kecepatan Putaran Spindel (*Spindle Speed*)

“Kecepatan putaran spindel (*spindle speed*) ditentukan berdasarkan kecepatan potong” (Rahdiyanta, 2010 : 8). Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang dipertimbangkan antara lain jenis bahan yang akan dikerjakan, jenis pahat, diameter pisau, dan hasil kehalusan permukaan yang diinginkan. “Kecepatan potong (V_c) adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik dalam satuan meter pada selubung pisau dalam waktu satu menit” (Widarto, 2008 : 196). Adapun rumus kecepatan potong untuk mesin *milling* sama dengan rumus kecepatan potong untuk mesin bubut yang dijelaskan di bawah.

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ (m/min)} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

V_c	=	<i>cutting speed</i> (m/min)
d	=	diameter (mm)
n	=	<i>spindle speed</i> (rpm)
π	=	3,14

Dari rumus tersebut dapat dicari kecepatan putaran spindel (n) yang digunakan adalah:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots (2)$$

Sebelum menentukan proses pekerjaan permesinan, maka kita harus tahu jenis bahan yang akan dikerjakan serta jenis pahat yang akan digunakan. Setelah mengetahui jenis bahan dan jenis pahat yang akan digunakan maka langkah selanjutnya adalah mencari kecepatan potong. Kecepatan potong dari beberapa penelitian untuk beberapa jenis bahan telah distandarkan dalam tabel. Beberapa jenis bahan terbagi dalam beberapa golongan logam dan non logam yang menggunakan jenis pahat tertentu. Berikut adalah tabel kecepatan potong yang dianjurkan pada proses pemesinan *milling* dalam memotong material dengan menggunakan beberapa jenis bahan dan jenis pahat untuk memotong.

2. Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Selain istilah kecepatan potong, terdapat juga istilah kecepatan pemakanan (*feed rate*). Sumbodo (2008 : 304) berpendapat bahwa “yang dimaksud dengan kecepatan pemakanan adalah jarak tempuh gerak maju benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau *feed* permenit”. Hal ini menyatakan bahwa kecepatan pemakanan berbeda dengan kecepatan potong. Kecepatan potong disimbolkan dengan V_c lebih menekankan kepada istilah kecepatan potong yang diijinkan atau distandarkan yang sudah ditetapkan dalam tabel untuk masing-masing jenis bahan. Kecepatan potong yang diijinkan (V_c) digunakan untuk menentukan rpm atau kecepatan putaran mesin. Sedangkan hantaran atau *feed rate* (V_f) lebih menekankan pada pengertian kecepatan laju pemakanan meja *milling* pada saat melakukan proses penyayatan benda kerja.

Pada mesin *milling*, kecepatan pemakanan dinyatakan dalam satuan millimeter permenit di mana dalam pemakaiannya perlu disesuaikan dengan jumlah mata potong pisau yang digunakan. Kecepatan pemakanan tiap mata potong pisau untuk setiap jenis pisau dan setiap jenis bahan sudah dibakukan tinggal dipilih mana yang sesuai dengan kebutuhan. Dengan demikian rumus kecepatan pemakanan (*feed rate*) adalah:

$$V_f = n \times f_z \times z_n \text{ (mm/min)} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

V_f	=	<i>feed rate</i> (mm/menit)
n	=	kecepatan putaran spindel (rpm)
f_z	=	<i>feed per gigi</i> (mm)
z_n	=	jumlah mata pisau

Pemakanan per gigi (f_z) diukur dalam mm/tooth adalah nilai proses pemiligan untuk menghitung *table feed*. Jika *cutter milling* mempunyai banyak mata potong nilai f_z dibutuhkan untuk menjamin setiap mata *cutter* berada dalam kondisi aman. Nilai *feed per tooth* dihitung berdasarkan ketebalan *chips* yang direkomendasikan. Penentuan harga *feeding* harus dihitung dengan rumus mencari *feeding* dan disesuaikan dengan besar pahat serta jumlah mata pahat yang akan digunakan. Berikut adalah tabel gerak makan pergigi yang disarankan pada proses permesinan *milling* menggunakan pahat HSS.

3. Kedalaman Pemakanan (*Depth Of Cut*)

Tebal pemakanan dapat disebut juga dengan kedalaman potong. Menurut Rahdiyanta (2010 : 8) “kedalaman potong ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir”. Tebal pemakanan dapat dipilih berdasarkan bahan benda kerja, pisau yang digunakan, mesin, sistem pengecaman, dan kecepatan potong.

$$a = L_o - L_i \text{ (mm)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

a	=	kedalaman pemakanan (mm)
L_o	=	ukuran atau panjang awal (mm)
L_i	=	ukuran atau panjang akhir (mm)

Pisau yang digunakan untuk proses *finishing* sebaiknya dipilih pisau yang ukuran giginya relatif kecil, dengan kecepatan potong dipilih yang maksimal dari kecepatan potong yang diijinkan untuk pasangan pisau dan benda kerja yang dikerjakan. Untuk jenis pisau dapat dipilih pada *catalog end mill*. Sedangkan untuk kedalaman potong digunakan yang paling minimal agar permukaan yang didapatkan lebih halus.

Untuk kedalaman potong yang digunakan pada proses *milling* bervariasi. Variasi kedalaman potong pada proses *finishing* biasanya dirancang sebanyak lima yaitu 0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm; 0,8 mm dan 1 mm (Abbas et al., 2013). Dari kelima variasi tersebut kedalaman pemakanan yang sering digunakan untuk mendapatkan kekasaran yang paling minimal pada proses *milling* adalah 0,2 mm.

Tabel 2.2. Kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan untuk beberapa jenis bahan.

Material	<i>Dept of Cut</i> (mm)	<i>Speed</i> (m/min)	<i>Feed</i> (mm/tooth)
<i>Low Carbon Steel</i>	-7.0	180 - 300	0.10 - 0.30
<i>High Carbon Steel</i>	-7.0	130 - 280	0.10 - 0.30
<i>Alloy Steel</i>	-7.0	120 - 250	0.10 - 0.30
<i>Tool Steel</i>	-7.0	80 - 200	0.10 - 0.25
<i>Stainless 300 Series</i>	-4.2	80 - 170	0.08 - 0.18
<i>Stainless 400 Series</i>	-4.2	100 - 210	0.10 - 0.26
<i>Gray Cast Iron</i>	-7.0	150 - 400	0.10 - 0.30
<i>Nodular Cast Iron</i>	-7.0	100 - 250	0.10 - 0.30

Sumber : TAEGUTEC KATALOG *MILLING* PT. Mekar Armada Jaya

4. Toleransi

Toleransi adalah suatu penyimpangan ukuran yang diperbolehkan atau diijinkan. Karena penyimpangan ini, benda yang dibuat dengan memakai toleransi masih dapat dipasang atau diasembling. Bagian-bagian atau peralatan dari suatu mesin dibuat oleh operator atau pekerja dalam suatu perusahaan sudah barang tentu dikerjakan dengan ukuran-ukuran yang bertoleransi. Kadang-kadang seorang pekerja hanya mengerjakan bagian mesin yang tertentu saja. Sedangkan pekerja yang lain mengerjakan bagian yang lainnya.

Jika kita akan membuat produk/benda kerja, baik dalam jumlah yang banyak maupun sedikit, terlebih dahulu kita harus menggambarannya dalam bentuk gambar kerja. Untuk mencapai ukuran yang tepat, sesuai dengan yang tercantum dalam gambar, tidaklah mudah karena banyak faktor yang mempengaruhinya, misalnya :

- a. faktor alat (alat potong)
- b. faktor mesin (presisi tidaknya mesin yang digunakan)
- c. faktor alat ukur
- d. faktor temperatur dan faktor lainnya yang dapat mempengaruhi ketepatan ukuran dari benda kerja tersebut.

Selama penyimpangan tersebut dalam kategori memenuhi syarat, maka produk yang menyimpang dari ukuran dasarnya tersebut dapat diterima. sebaliknya jika penyimpangan ukuran di luar kategori memenuhi syarat, maka produk tersebut tidak dapat diterima, karena ukurannya terlalu besar atau terlalu kecil dari ukuran yang diminta.

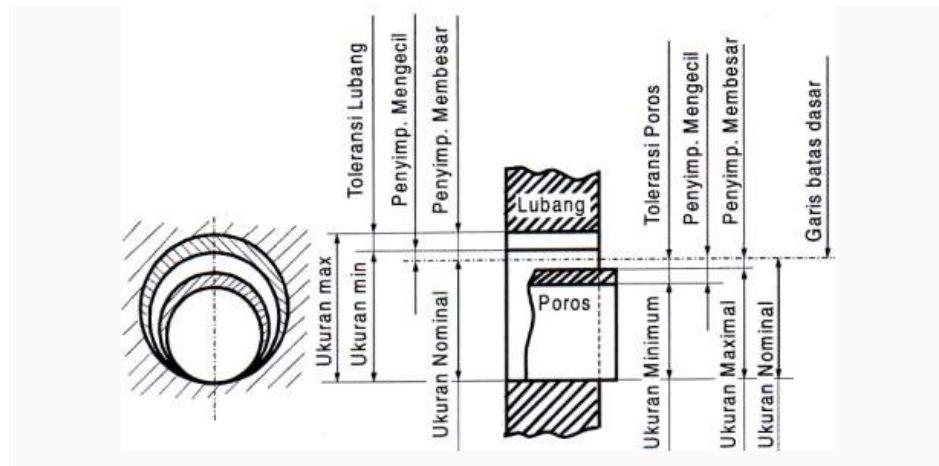
Sebagaimana batasan kategori “memenuhi syarat” kita harus memberikan dua batasan ukuran yang diperbolehkan yaitu :

- a. Batasan ukuran maksimum yang diperbolehkan.
- b. Batasan ukuran minimum yang diperbolehkan/diizinkan.

Job atau gambar kerja yang dibuat harus dicantumkan toleransinya. hal ini untuk memudahkan operator dalam menentukan batasan ukuran minimum dan ukuran maksimum yang diijinkan. poros yang dipasang pada bantalannya (dalam keadaan fungsi longgar), dan blok silinder yang dipasang pada blok mesin dengan jalan dipress (kaku), maka toleransinya berbeda.

Pada umumnya toleransi yang harus diberikan/dicantumkan pada gambar kerja ada dua macam :

- a. Toleransi untuk poros, yang meliputi benda-benda padat bulat, segiempat, dan bentuk-bentuk prisma lainnya.
- b. Toleransi untuk lubang, yang meliputi lubang bulat (bor), lubang pada bantalan, alat pasak, rongga-rongga pada blok mesin, celah antara dua bidang (alur pasak), dan semacamnya.



Gambar 2.1. Definisi Mengenai Toleransi

Keterangan gambar :

1. Ukuran Nominal (uk.nom)

Ukuran nominal yaitu ukuran benda yang dibulatkan sampai dengan ukuran mm dan merupakan ukuran patokan yang dijadikan batas-batas ukuran yang diizinkan. ukuran nominal adalah ukuran yang tertulis pada gambar kerja.

2. Ukuran Minimum (uk.min.)

Ukuran minimum adalah ukuran terkecil yang diizinkan, baik untuk poros maupun untuk lubang.

3. Ukuran Maksimum (uk.maks.)

Ukuran maksimum adalah ukuran terbesar yang diizinkan, baik untuk poros maupun untuk lubang.

4. Penyimpangan Membesar

Penyimpangan membesar yaitu perbedaan ukuran antara ukuran nominal dan ukuran maksimumnya yang diizinkan (baik untuk poros maupun untuk lubang)

5. Penyimpangan Mengecil

Penyimpangan mengecil yaitu perbedaan ukuran antara ukuran nominal dan ukuran minimum yang diizinkan (baik untuk poros maupun untuk lubang)

6. Toleransi Umum

Untuk gambar-gambar dengan ukuran tanpa persyaratan ketelitian khusus, atau ukuran tanpa keterangan dan kita dapat memberikan

catatan secara umum, nilai-nilai penyimpangan yang diizinkan disebut toleransi umum. Sesuai dengan ISO 2768, ukuran-ukuran tanpa keterangan terikat oleh toleransi umum.

D. Proses Permesinan

Proses permesinan *milling* adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar (Rochim, 1993). Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses permesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pisau, dan penyayatannya disebut mesin *milling*.

Proses permesinan *milling* sering digunakan dalam pembuatan cetakan (*mould*), untuk pekerjaan perataan permukaan, pembentukan roda gigi, pembentukan pola permukaan, dan pekerjaan bor. Pada proses permesinan *milling* terdapat beberapa parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan komponen diantaranya adalah kecepatan pemotongan atau kecepatan putaran spindel, kedalaman pemakanan, geometri pahat, kecepatan pemakanan dan penggunaan cairan pendingin. Proses terbentuknya geram telah diteliti untuk menemukan bentuk yang mendekati ideal, berapa kecepatan (*speed*), gerak makan (*feed*) dan parameter yang lain, yang di masa yang lalu diperoleh dengan perkiraan oleh para ahli dan operator proses permesinan.

E. CNC Milling

1. Pengertian CNC Milling

Mesin CNC *milling* adalah mesin *milling* yang pergerakan meja mesin (sumbu X dan Y), serta *spindel* (sumbu Z atau rumah *cutter*) dikendalikan oleh suatu program (Sujanayogi, 2010 : 25). Program tersebut berisi langkah-langkah perintah yang harus dijalankan oleh mesin CNC. Program bisa dibuat langsung pada mesin CNC (huruf per huruf atau angka per angka) yang hasil programnya disebut dengan program NC (*Numerical Control*). Kelemahan pembuatan program NC langsung pada mesin adalah

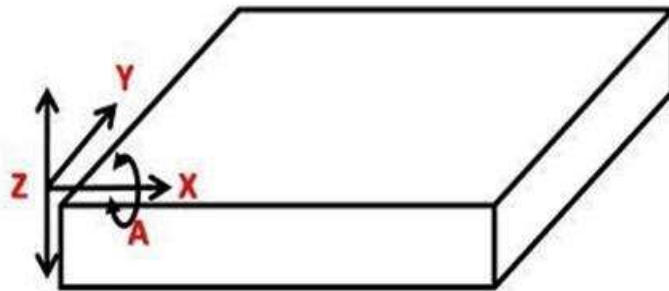
waktu yang dibutuhkan sangat lama dan mesin tidak bisa digunakan saat pembuatan program NC berlangsung.

Mesin CNC *milling* dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan akan berjalan secara otomatis sesuai perintah dengan program yang diberikan. Oleh karena itu, dengan program yang sama mesin ini dapat diperintahkan untuk mengulangi proses pelaksanaan program secara terus-menerus (Joko Darmanto, 2007 : 15).

Secara garis besar mesin CNC *milling* dapat digolongkan menjadi dua, yaitu mesin CNC milling TU (*Training Unit*) dan mesin CNC milling PU (*Production Unit*). Keduanya mempunyai prinsip kerja yang sama, namun berbeda dalam penggunaannya. Mesin CNC *milling* TU digunakan untuk mengerjakan pekerjaan ringan dan tidak terlalu rumit, sedangkan mesin CNC *milling* PU digunakan untuk mengerjakan pekerjaan masal karena mesin ini dilengkapi dengan aksesoris yang lebih kompleks seperti *chuck* otomatis dan *toolpost* otomatis.

2. Prinsip Kerja Mesin CNC Milling

Mesin CNC *milling* menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat kartesius (arah jarum jam). Sistem persumbuan pada mesin CNC sudah diatur berdasarkan standar ISO, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2. Sistem Persumbuan pada Mesin CNC Milling

(Sumber : Widarto, 2008 : 196)

Prinsip kerja mesin CNC *milling* adalah dengan gerak utama berputar dilakukan oleh alat potong atau *cutter*, sedangkan gerak makannya dilakukan oleh benda kerja yang terpasang pada meja kerja. Arah gerakan persumbuan mesin CNC *milling* di antaranya sumbu X untuk arah

memanjang meja, sumbu Y untuk arah melintang meja, dan sumbu Z untuk arah tegak atau vertikal spindle.

3. Bagian-Bagian Utama Mesin CNC *Milling*

a. Motor Utama

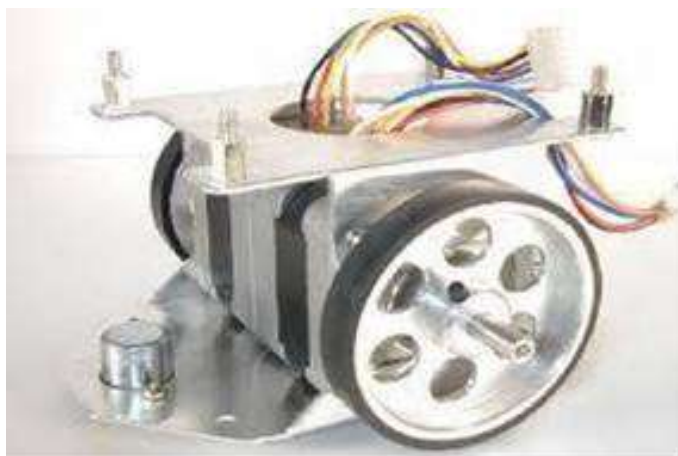
Motor utama adalah motor penggerak rumah alat potong yang berfungsi memutar alat potong (*cutting tool*). Motor ini menggunakan jenis arus searah (DC) dengan kecepatan yang dapat berubah-ubah. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk motor utama pada CNC *milling*.



Gambar 2.3. Motor Utama CNC *Milling*

b. Motor Step

Motor step adalah motor penggerak eretan, yaitu gerak persumbuan jalannya mesin. Mesin 3 *axis* mempunyai tiga fungsi gerakan kerja, yaitu posisi horisontal (sumbu X), melintang (sumbu Y), dan vertikal (sumbu Z). Bentuk step motor dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4. Motor Step

c. Meja Mesin

Meja mesin CNC *milling* bisa bergerak dalam dua sumbu yaitu sumbu X dan sumbu Y. Pada masing-masing sumbunya dilengkapi dengan motor penggerak, *ball screw plus bearing* dan *guide way slider* untuk akurasi pergerakannya. Gambar 2.5 menunjukkan gambar meja mesin CNC *milling*.



Gambar 2.5. Meja Mesin

d. Rumah Alat Potong (*Spindle*)

Rumah alat potong digunakan untuk menjepit pemegang alat potong (*tool holder*) pada saat proses pengerjaan benda kerja. Pada mesin CNC *milling* hanya memungkinkan menjepit satu alat potong. Bentuk spindel mesin CNC *milling* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Spindle*

e. Ragum

Ragum pada mesin CNC *milling* digunakan untuk menjepit benda kerja. Biasanya ragum dilengkapi dengan *stopper* yang fungsinya untuk batas pegangan benda kerja. Gambar 2.7 menunjukkan bentuk ragum pada mesin CNC *milling*.



Gambar 2.7. Ragum

f. *Coolant Hose*

Setiap mesin pasti dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk *cutter* dan benda kerja. Pendingin yang paling umum digunakan yaitu *coolant* dan udara bertekanan melalui selang yang dipasang pada blok *spindle*. Bentuk *coolant hose* dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8. *Coolant Hose*

g. Bagian Pengendali (*Controll*)

Bagian pengendali merupakan panel kontrol mesin CNC *milling* yang dilengkapi dengan monitor. Panel kontrol adalah kumpulan tombol-tombol panel yang terdapat pada bagian depan mesin dan berfungsi

untuk memberikan perintah-perintah khusus pada mesin, seperti memutar spindel, menggerakkan meja, mengubah *setting parameter*, dan lain-lain. Bagian pengendali mesin CNC *milling* ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9. Bagian Pengendali (*Controll*)

F. Waktu Proses

Waktu untuk menghasilkan produk atau waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan (memotong bagian tertentu produk) dengan cara tertentu (menggunakan suatu jenis pahat) adalah merupakan variabel yang penting dalam rangka penentuan kondisi pemesinan optimum. Untuk jumlah produk yang cukup besar maka secara kasar dapat ditentukan waktu pemesinan rata-rata untuk mengerjakan satu produk, yaitu dengan cara membagi seluruh waktu yang digunakan dengan jumlah produk yang dihasilkan. Akan tetapi, cara ini tidak baik untuk dilaksanakan karena tidak memberikan informasi yang jelas mengenai komponen waktu (bagian waktu total) yang berkaitan dengan setiap langkah pengerjaan. Sesuai dengan tujuan optimisasi maka diinginkan pembagian waktu menurut komponennya sehingga dapat diketahui komponen waktu yang mana yang mungkin dapat diperkecil (Taufiq Rochim, 1993).

G. Efisiensi

Pengertian efisiensi dapat dilihat dari berbagai sudut pandang yang berbeda. Efisiensi dapat didefinisikan sebagai rasio antara *output* dengan *input* (Kost & Rosenweig, 1979). Ada tiga faktor yang menyebabkan efisiensi, yaitu apabila dengan *input* yang sama menghasilkan *output* yang

lebih besar, *input* lebih kecil menghasilkan *output* yang sama, dan *input* besar menghasilkan *output* yang lebih besar.

Ditinjau dari teori ekonomi, ada dua pengertian efisiensi, yaitu efisiensi ekonomi dan efisiensi teknis. Efisiensi ekonomis mempunyai sudut pandang makro yang mempunyai jangkauan lebih luas dibandingkan dengan efisiensi teknis yang bersudut pandang mikro. Pengukuran efisiensi teknis cenderung terbatas pada hubungan teknis dan operasional dalam proses konversi *input* menjadi *output*. Akibatnya, usaha untuk meningkatkan efisiensi teknis hanya memerlukan kebijakan mikro yang bersifat internal, yaitu dengan pengendalian dan alokasi sumberdaya yang optimal. Dalam efisiensi ekonomis, harga tidak dapat dianggap *given*, karena harga dapat dipengaruhi oleh kebijakan makro.

Efisiensi *machining* program pada *dies* yaitu *machining* program yang tidak melebihi waktu yang ditentukan oleh *Dies Cost Planning* (DCP) dan hasil dari *machining* program pada saat di aplikasikan ke mesin *milling 3 axis*. *Machining* program dapat berjalan dengan optimal sehingga proses *machining dies* tidak melebihi *dies cost planning*.

H. CATIA V5R20

CATIA (*Computer Aided Three Dimensional Interactive Application*) adalah *software multi-platform*, CAD yang berfungsi dalam melakukan desain, CAE yang berfungsi dalam melakukan rekayasa desain dan CAM yang berfungsi untuk proses manufaktur.



Gambar 2.10. Fitur-fitur CATIA

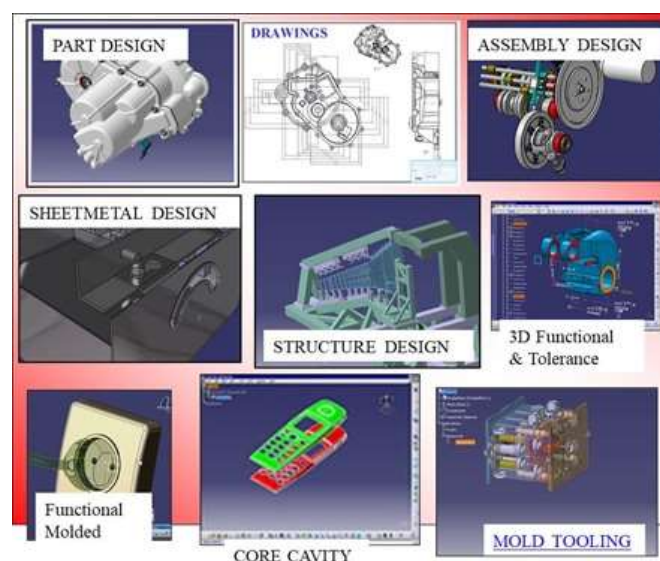
Awal perkembangan CATIA pada tahun 1967-1981 oleh *Dessault Aviation* dengan tujuan sebagai berikut :

1. Pengembangan *master software* geometri
2. Pengembangan bentuk luar dari pesawat terbang
3. Pengembangan *design* dari bentuk ke proses manufaktur (Bentuk dasar dalam 3D, komponen dalam bentuk *drafting* 2D)

Kemudian berkembang menjadi *Dessault System* pada tahun 1985 - 1995 dengan bisnis utamanya adalah pengembangan CATIA untuk gambar 2D dan 3D dengan bergabung dengan IBM. Pada tahun 1995 perkembangan bisnis penjualan CATIA sangat pesat sehingga dapat mengakuisisi beberapa *software* lainnya seperti : *Solidwork*, *Deneb (Delmia)* dan *CNEXT*. Perkembangan tersebut dikarenakan *software* CATIA sangat *compatible* dengan kegiatan *Engineering Design* yang menyertakan beberapa Fitur, diantaranya adalah :

1. Pengembangan Produk

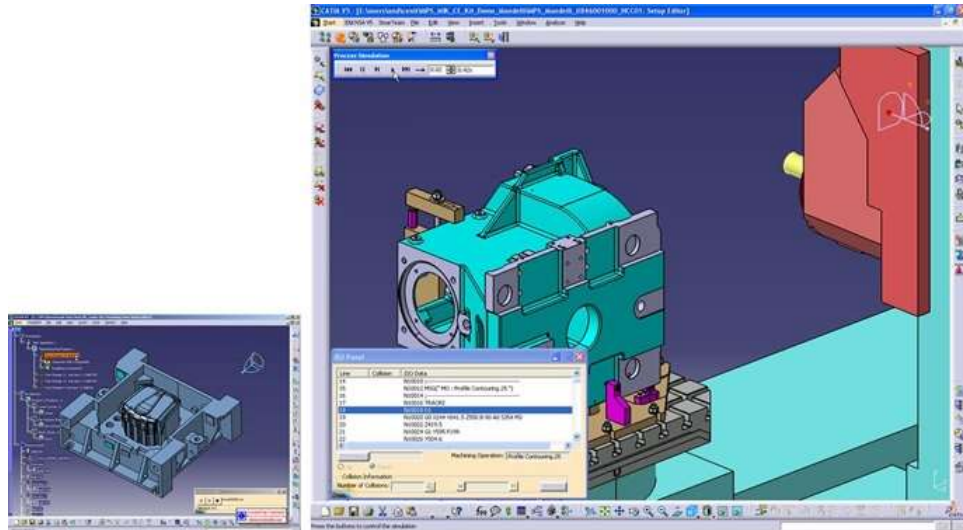
Di dalam pengembangan produk ini ada beberapa fungsi, diantaranya adalah : *Hybrid Modeling*, *Top-Down & Bottom-Up Assemblies*, *Design Integrated & Associative Drawing*, *Fabrication of Part*, *Molded Product Creation*, *Mold Tooling Design*, *Jig & Fixture*, *3D Functional & Tolerance*, *Structure Design*, *Composites Design*, *Mechanical Shape Design*.



Gambar 2.11. Fitur dalam Pengembangan Produk CATIA

2. Pengembangan Kualitas Produk

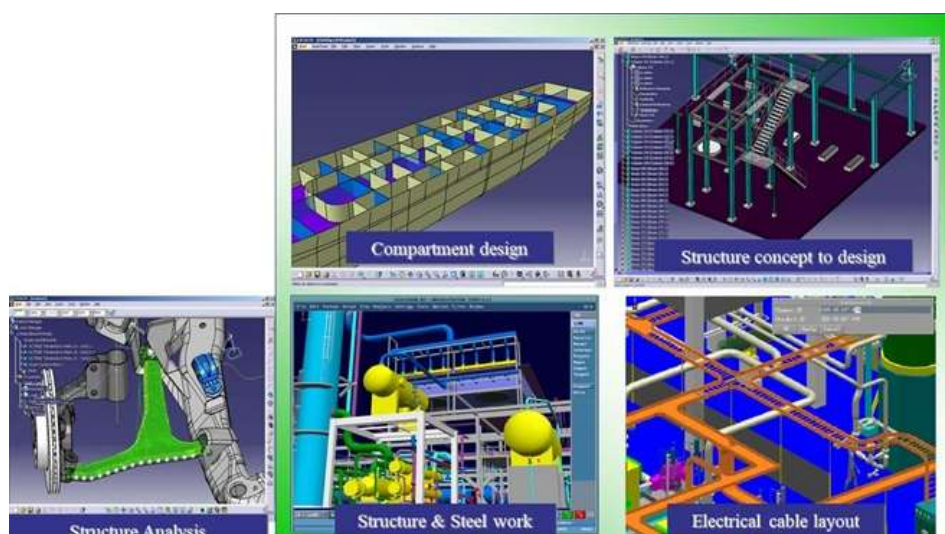
Dimana didalamnya terdapat beberapa fungsi, diantaranya adalah : *Lathe and prismatic Machining, Surface Machining, Multi Surface Machining, Advanced Multi Axis & Pocket Machining, NC Machining, Machine Tools Builder, Composites Manufacture Preparation*



Gambar 2.12. Fitur dalam Pengembangan Produk CATIA

3. Proses *Manufacturing*

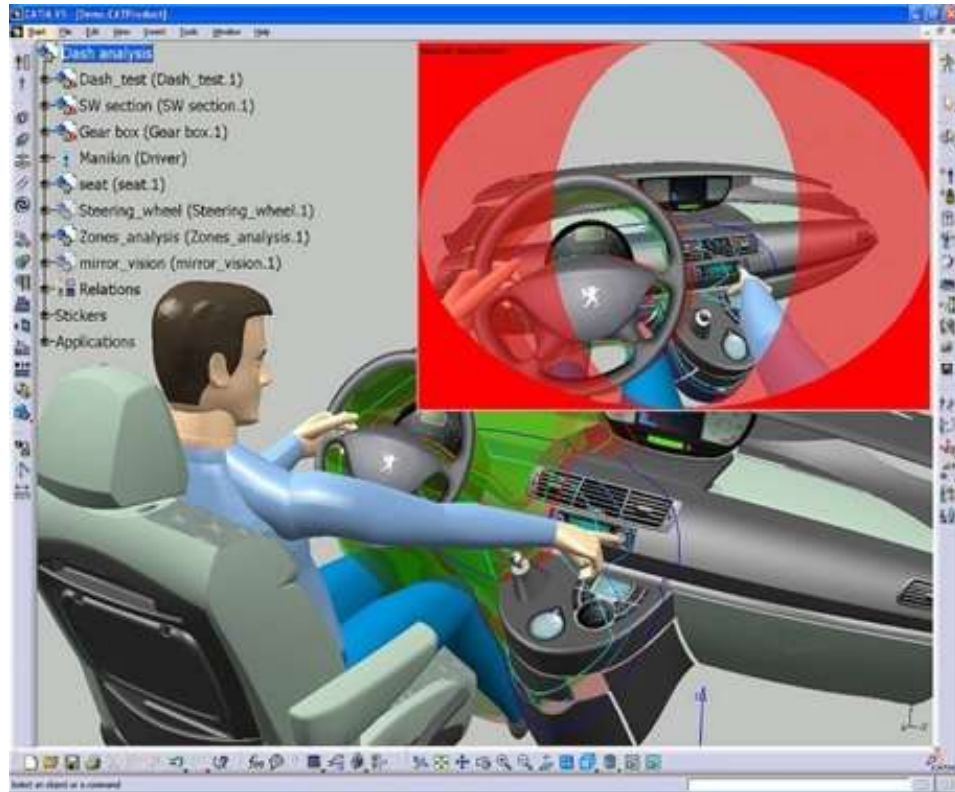
Di proses *manufacturing* ada beberapa fitur untuk memecahkan masalah, diantaranya : *3D Layout and Annotation, Accomodation Layout Design, Electrical Cable Layout, Structure Concept to Design, Structure & Steel Work Layout.*



Gambar 2.13. Fitur dalam Proses *Manufacturing*

7. Analisis Ergonomika

Pada fitur ini merupakan unggulan dari program CAD di CATIA. dimana *competitor* lainnya yg berbarbasis CAD tidak mempunyai fitur ini. Fitur ergonomika digunakan untuk mengetahui kenyamanan operator dari *design* yang kita akan buat.



Gambar 2.14. Fitur Analisis Ergonomi

Kelebihan CATIA V5 adalah mampu mengkombinasikan antara desain *solid*, *wire-frame*, *sketch*, modul dalam satu jendela *windows* yang disebut dengan *hybrid* desain. CATIA V5 juga sangat memanjakan pengguna *windows*, karena *software* ini dikembangkan dengan cara penggunaan sama dengan *windows environment* seperti untuk melakukan perintah *cut*, *copy*, *paste*, *drag and drop* dan lain sebagainya.

I. Pahat/Cutter

Pahat dibuat menurut desain tertentu dan akan dipasangkan pada mesin perkakas dengan orientasi tertentu. Orientasi/posisi pahat disebut posisi paling lazim (*Most Natural Position*) atau posisi nol (*Zero Position*).

Pahat berfungsi untuk membantu proses pemesinan. Untuk mengenal bentuk dan geometrinya, pahat harus diamati secara sistematis dengan dibedakan atas tiga hal pokok yaitu : elemen, bidang aktif, dan mata potong pahat, sehingga secara lebih rinci bagian-bagiannya dapat didefinisikan. Dengan mengetahui definisinya maka berbagai jenis pahat yang digunakan dalam proses pemesinan dapat dikenal dengan lebih baik.

Jenis pahat yang digunakan pada proses machining adalah sebagai berikut:

1. *End mill*

End mill adalah *cutter frais/milling* yang berfungsi untuk memotong bahan di satu sisi, serta di ujungnya. *End mill* terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur/*flute*. *Cutter* ini paling umum digunakan di milling vertikal.



Gambar 2.15. *End Mill*

2. *Ball nose*

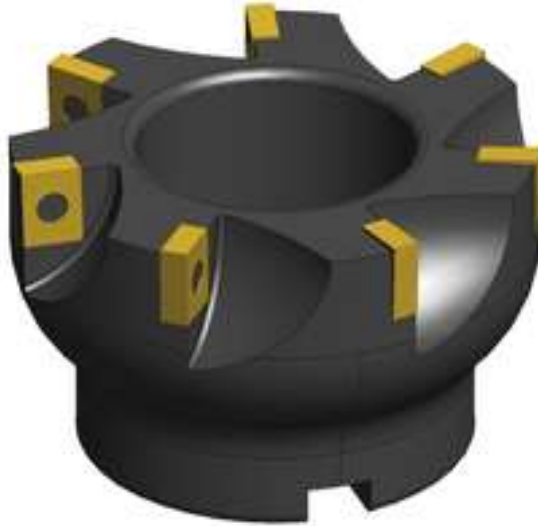
Ball nose adalah *cutter* yang berfungsi untuk membentuk *countour* atau bentuk 3 dimensi.



Gambar 2.16. *Ball Nose*

3. *Face mill*

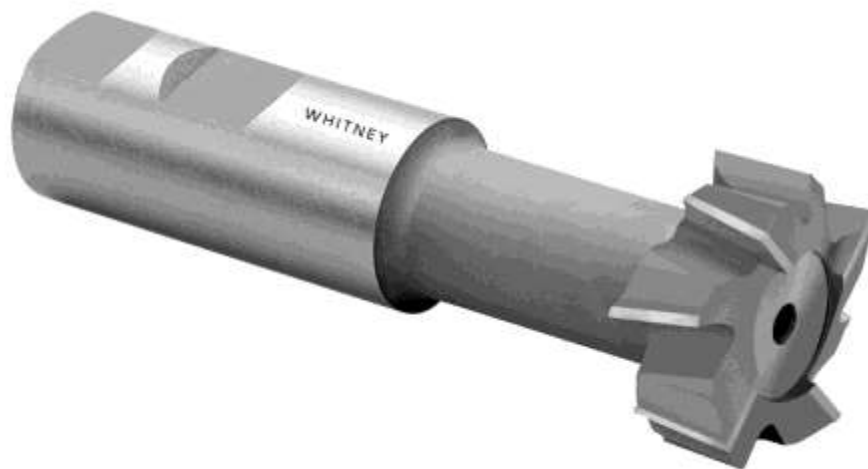
Face Mill terdiri dari beberapa sisi potong yang dirancang untuk menahan *tips karbida*. *Tips* yang tidak dirancang untuk *resharpened*/diasah kembali dan dipilih dari berbagai jenis yang dapat diganti ketika *tips* tumpul.



Gambar 2.17. *Face Mill*

4. *T-slot Cutter*

T-slot Cutter digunakan untuk membuat alur berbentuk T. memiliki sisi potong di bagian yang melingkar, dengan sudut helix yang saling berlawanan. *T-slot Cutter* ada 2 jenis, yaitu *T-slot* dengan *shank* rata dan *T-slot* dengan *shank* berulir.



Gambar 2.18. *T-Slot Cutter*

5. *Helical cutter*

Helical cutter digunakan untuk membentuk profile. Memiliki sisi potong di bagian yang melingkar, dengan sudut *helix* yang searah.



Gambar 2.19. *Helical Cutter*

J. Landasan Teori

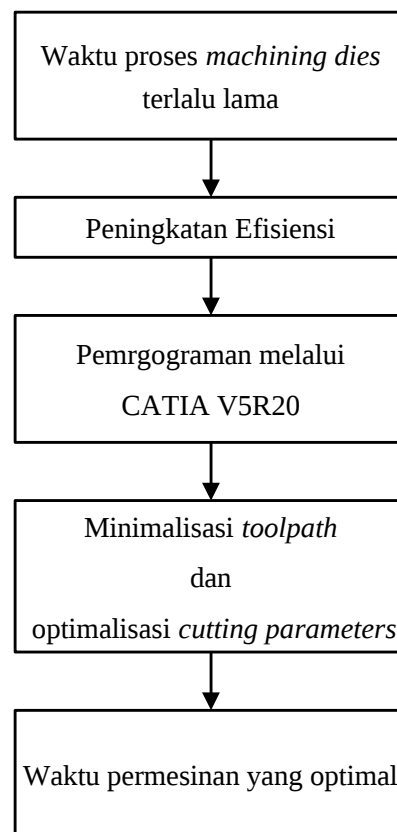
Proses *manufacturing* yang selama ini berjalan sudah baik, tetapi untuk meningkatkan pelayanan dan untuk menurunkan biaya *manufacturing die* maka perlu dilakukan peningkatan efisiensi waktu. Langkah tersebut difokuskan pada optimasi parameter permesinan proses *machining* karena waktu yang dihasilkan pada proses *machining* terlalu lama dan mengungkinkan untuk dilakukan efisiensi.

Sehubung dengan hal tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan melakukan variasi parameter permesinan untuk menghasilkan waktu proses yang optimal agar dapat meningkatkan efisiensi waktu pada *machining* program, sehingga dapat menurunkan biaya operasional.

CATIA V5R20 ialah salah satu *software* CAD/CAM yang mempunyai fungsi untuk mengambar benda (CAD) dan membuatnya menjadi suatu program NC (CAM). *Software* ini memiliki fasilitas komputer grafis yang memungkinkan penggunaanya untuk melakukan berbagai bentuk simulasi proses permesinan (*machining*) pada CNC *milling*.

Melalui fitur-fitur strategis yang terdapat pada CATIA V5R20 seorang *programmer* dapat meminimalisasi gerakan pahat (*toolpath*) dan mengoptimalkan parameter pemotongan untuk meminimalisasi waktu proses permesinan pada mesin CNC *milling* sehingga diperoleh waktu permesinan yang optimal.

Berdasarkan uraian tersebut, maka kerangka penelitian ini adalah sebagai berikut:

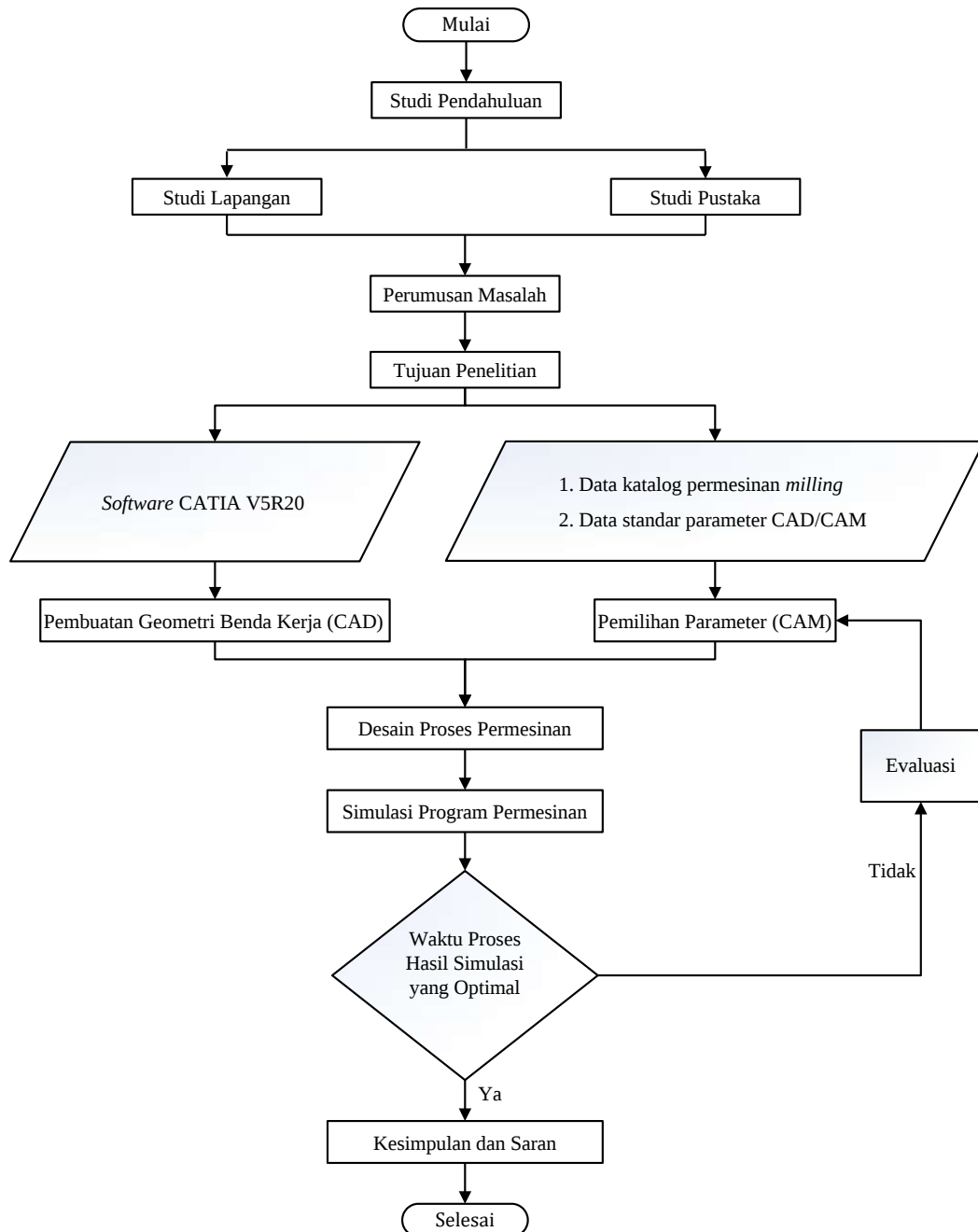


Gambar 2.20. Kerangka Konsep Penelitian

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini, membahas secara sistematis tentang tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan. Tahapan-tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1. Flow Chart Penelitian

Jalannya penelitian pada Gambar 3.1, diuraikan sebagai berikut:

A. Studi Pendahuluan

a. Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental terhadap optimasi parameter permesinan CNC *Milling* di Departemen *Tooling*, PT. Mekar Armada Jaya Magelang. Desain eksperimen adalah evaluasi secara serentak dua atau lebih faktor atau parameter terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata hasil atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Untuk mengetahui pengaruh faktor atau parameter terhadap rata-rata hasil secara efektif, selanjutnya dianalisis untuk menentukan faktor mana yang berpengaruh serta mengetahui hasil maksimal yang dapat diperoleh.

Eksperimen faktorial adalah salah satu metode yang banyak dipakai dalam eksperimen yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan, sehingga bisa menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode ini digunakan untuk memberikan formulasi *lay out* pengujian, mengetahui kondisi optimal dari parameter permesinan, dan mengetahui pengaruh performansi dari parameter permesinan terhadap kekasaran permukaan. Eksperimen faktorial mempunyai keunggulan yaitu dapat melihat seluruh kombinasi yang ada (Sembiring, 2003: 200).

b. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2017 di PT. Mekar Armada Jaya pada Departemen *Tooling*.

B. Studi Lapangan

Tahap studi lapangan difokuskan pada pemahaman kondisi permasalahan yang ada pada waktu proses machining CNC *Milling* dengan melakukan observasi secara langsung di Departement *Tooling* PT. Mekar Armada Jaya Magelang.

C. Studi Pustaka

Studi pustaka dalam penelitian ini mempelajari literatur yang bersumber dari buku, jurnal dan skripsi tentang optimasi parameter permesinan untuk memperoleh teori-teori yang dapat mendukung penelitian yang dilakukan.

D. Perumusan Masalah

Setelah dilakukan pengamatan di PT. Mekar Armada Jaya, maka ditetapkan perumusan masalah yaitu parameter permesinan manakah yang menghasilkan waktu proses optimal pada pemrograman CNC *milling*?

E. Tujuan Penelitian

Pada tahap ini ditetapkan tujuan penelitian berdasar pada perumusan masalah yaitu untuk mengetahui parameter permesinan yang menghasilkan waktu proses optimal pada pemrograman CNC *milling*.

F. Pengumpulan Data

Pengumpulan data terdiri dari jenis data penelitian dan metode pengumpulan data. Hal tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Jenis data penelitian

Jenis data penelitian menggunakan data sekunder yang akan dijelaskan sebagai berikut:

a. Data katalog permesinan *milling*

Data yang berisikan tabel kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan *cutter* untuk beberapa jenis bahan yang digunakan di PT. Mekar Armada Jaya.

b. Data standar parameter

Data yang berisikan standar yang digunakan oleh *programmer* di bagian CAD CAM CAE untuk mendesain parameter permesinan CNC *Milling* di PT. Mekar Armada Jaya.

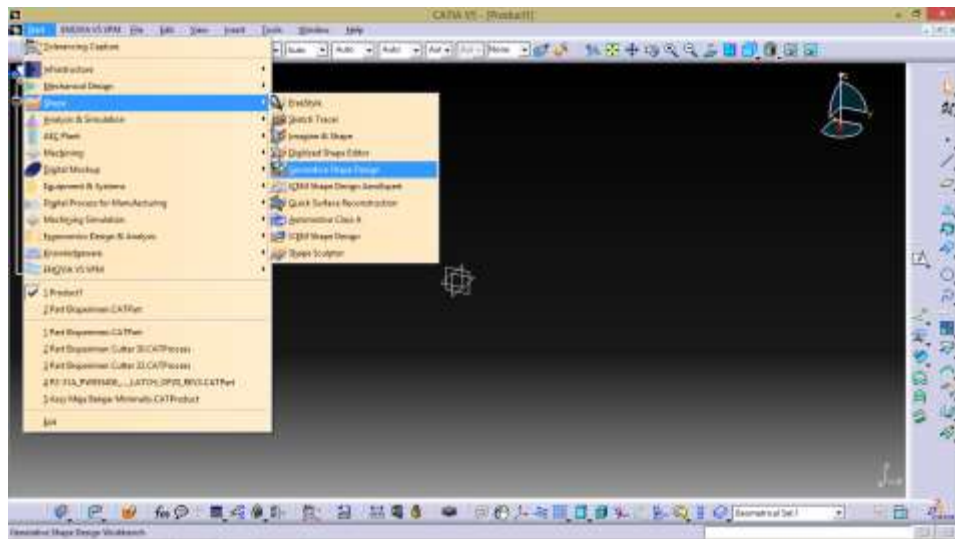
2. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode observasi atau pengamatan. Pengamatan akan dilakukan pada Departemen *Tooling* di PT. Mekar Armada Jaya, bertujuan untuk pengumpulan data yang berkaitan dengan optimasi parameter permesinan.

G. Pembuatan Geometri Benda Kerja (CAD)

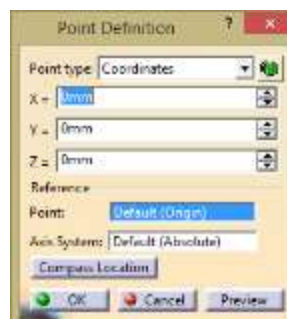
Pengerjaan desain benda kerja menggunakan *software* CATIA V5R20 dengan bentuk dan dimensi yang telah ditentukan. Desain gambar kerja tersebut digunakan sebagai pedoman pemrograman CNC *milling*. Berikut adalah langkah-langkah desain benda kerja yang akan digunakan untuk penelitian.

1. Langkah pertama adalah dengan membuka CATIA V5R20, pilih menu *Start* → *Shape* → *Generative Shape Design*.



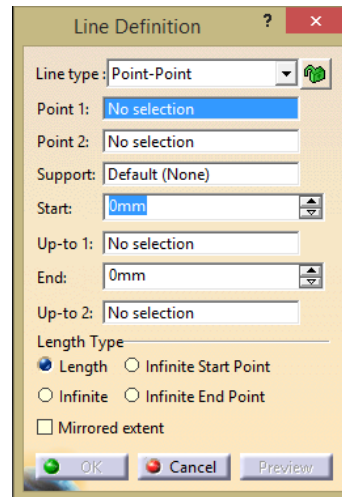
Gambar 3.2. *Preview Generative Shape Design*

2. Sebelum pembuatan *part*, langkah awal yang dilakukan adalah dengan membuat *center* terlebih dahulu.
3. Klik  *Point* dan masukkan nilai *point* di koordinat $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$ pada *form* isian *point*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. berikut.



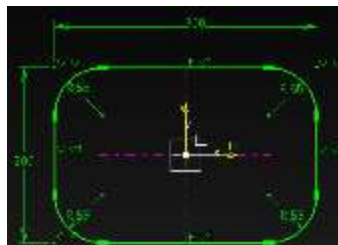
Gambar 3.3. *Preview Point Definition*

4. Selanjutnya buat garis untuk *center part*, dengan klik  *Line* kemudian masukkan nilai *line type (point direction)*, *point (point.1)*, *direction (X Axis)* dan klik ok jika semuanya sudah lengkap. Dapat dilihat pada Gambar 3.4. berikut.



Gambar 3.4. *Preview Line Definition*

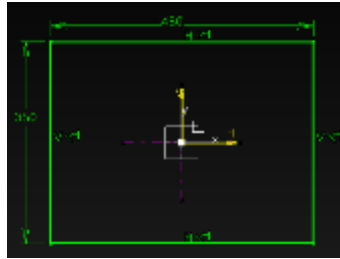
5. Lakukan perintah kedua dan ketiga untuk membuat garis sumbu Y Axis dan Z Axis.
6. Untuk memudahkan pencarian data, ubahlah *Geometrical Set* pada *three process*. Caranya klik kanan *Geometrical Set.1* → *Properties* → pilih *Feature Properties* dan ganti pada *Feature Name* dengan nama *center*.
7. Kemudian buat *Geometrical Set* dengan perintah *Insert* → *Geometrical Set*.
8. Ganti nama *Geometrical Set.1* menjadi *Part Eskperimen*.
9. Klik  *Sketcher* dan buat *Sketch.1* pada *plane XY*, lihat pada Gambar 3.5.



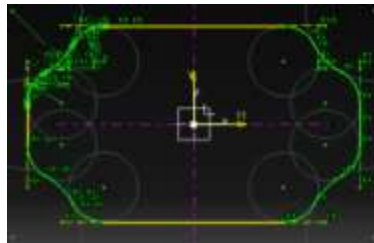
Gambar 3.5. *Skecth.1*

10. Keluar dari menu *Sketcher*.
11. Lakukan  *Extrude* pada hasil *Skecth.1* dengan *direction Z Axis*, nilai *limit 1 = 20 mm* dan *limit 2 = 50 mm*.

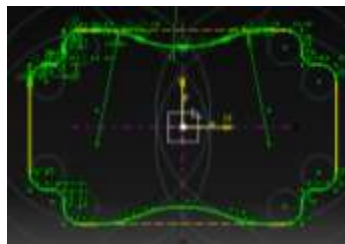
12. Masuk ke *Sketcher* dan buat *Sketch.2* sampai *Sketch.5* pada plane *xy*.



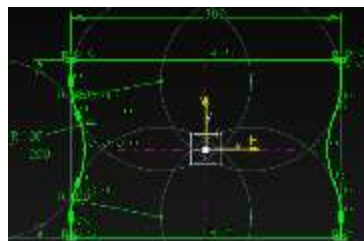
Gambar 3.6. *Skecth.2*



Gambar 3.7. *Skecth.3*



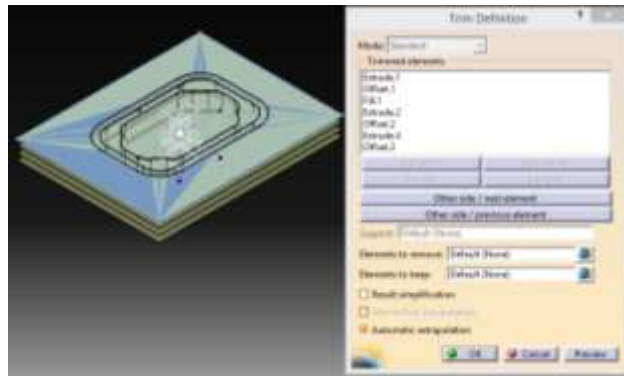
Gambar 3.8. *Skecth.4*



Gambar 3.9. *Skecth.5*

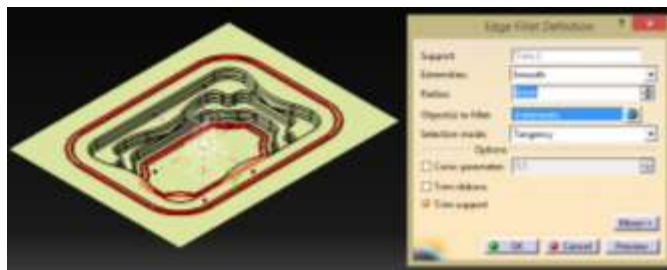
13. Lakukan  *Fill* pada hasil *Skecth.2* dan *Extrude sketch.3* sampai *Sketch.5* dengan *direction Z Axis*, nilai *limit 1* = 20 mm dan *limit 2* = 50 mm.
14.  *Offset Fill.1* kearah (Z+) dengan nilai 15 mm, kearah (Z-) dengan nilai 15 mm dan 30 mm.

15. Kemudian lakukan  *Trim*, lihat pada Gambar 3.10.



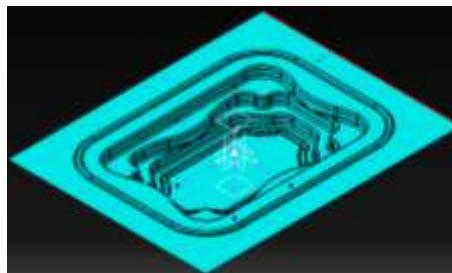
Gambar 3.10. *Preview Trim Definition*

16. Untuk mendapatkan hasil komponen yang bagus, tiap sisi yang masih *runting* dalam *part* dilakukan *fillet*. *Fillet* disesuaikan dengan desain. Hasil *part* yang sudah di *fillet* dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Edge Fillet Definition*

17. Tampilan akhir desain CAD dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12. *Part Eksperimen*

H. Pemilihan Parameter (CAM)

Pemilihan parameter permesinan harus disesuaikan karakteristik bahan dan alat potong. Bahan dalam pengujian (*raw material*) diasumsikan menggunakan *Gray Cast Iron* (FC 300) yang sering digunakan untuk material *casting* di PT. Mekar Armada Jaya. *Cutter* dalam penelitian ini menggunakan *cutter ballnose* diameter 32 mm dan diameter 30 mm.

I. Desain Proses Permesinan

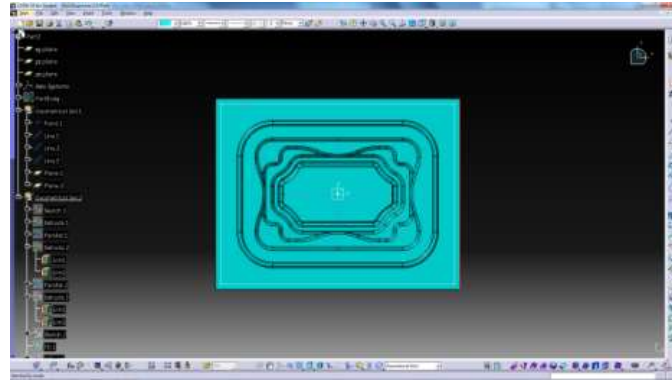
Desain proses permesinan menggunakan Metode Taguchi dengan pola *Orthogonal Array* L9. Metode Taguchi adalah desain eksperimen yang mengevaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor atau parameter terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata hasil atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu diamati dan dikumpulkan untuk selanjutnya dianalisis untuk menentukan faktor mana yang berpengaruh dan mengetahui hasil maksimal yang dapat diperoleh. Dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber seminimal mungkin.

Desain eksperimen ini menggunakan tiga level untuk setiap faktor, dengan mengasumsikan setiap level mewakili kondisi *low*, *medium* dan *high*. Faktor yang akan diteliti meliputi *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut* dan *machining tolerance*. Nilai setiap faktor didasarkan pada rekomendasi bahan, alat potong, dan penggunaan di lapangan.

J. Simulasi Program Permesinan

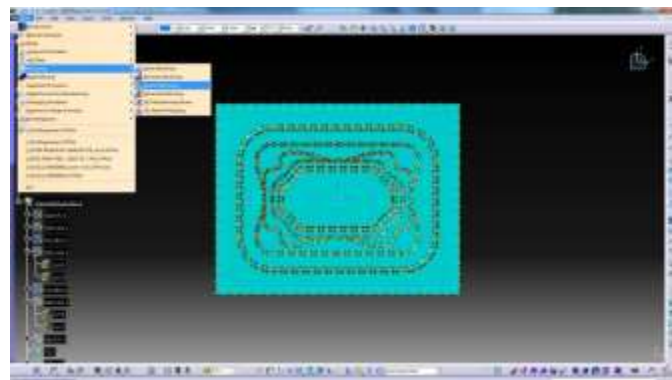
Simulasi program permesinan menggunakan *software* CATIA V5R20 yang nantinya akan diketahui waktu pengerjaanya. Sebelum melakukan proses simulasi program, langkah awal yang harus dilakukan adalah pembuatan program yang selanjutnya akan dilakukan simulasi. Berikut adalah langkah-langkah pembuatan program menggunakan *software* CATIA V5R20.

1. Buka CATIA V5R20, pilih menu Start → Shape → Generative Shape Design.
2. Ambil file *part* yang akan dikerjakan, dalam bentuk format .CATPart
3. Setelah kita buka file tersebut maka akan muncul seperti pada Gambar 3.13.



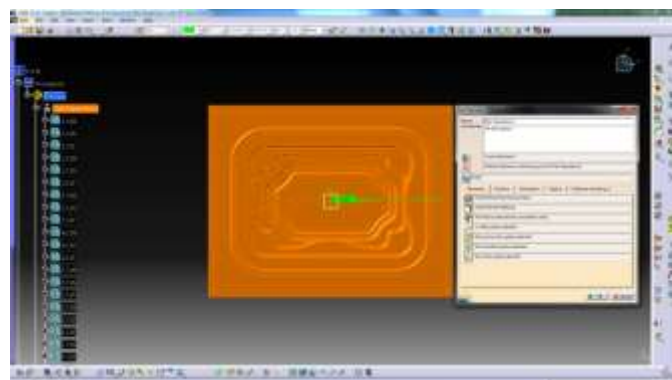
Gambar 3.13. *Preview Part Eksperimen Dalam Bentuk .CATPart*

4. Selain pembuatan *surface* untuk *machining*, *programmer* juga harus membuat *limit* atau batasan-batasan pergerakan *cutter*. Pembuatan *limit* harus disesuaikan dengan kebutuhan pemakanan *cutter* terhadap *surface* dan memperhatikan pergerakan *cutter*.
5. Setelah semua persiapan selesai, langkah berikutnya adalah pembuatan program NC yang akan disimulasikan.
6. Pilih menu *Start* → *Machining* → *Surface Machining*.



Gambar 3.14. *Preview Surface Machining*

7. Setelah itu akan muncul CATProcess, klik *Part Operation*.



Gambar 3.15. *Preview Part Operation*

8. Klik  *3-axis Machine.1* untuk menentukan *Tools Catalog* dan *Post Processor* yang akan digunakan.
9. Klik  *Default reference machining axis for Part Operation.1* untuk menentukan *axis* program.
10. Klik  *Design part for simulation* untuk menentukan *part* yang akan digunakan untuk proses simulasi.
11. Klik  *Stock* untuk menentukan estimasi bahan atau material.
12. Klik  *Safety plane* untuk menentukan jarak tertinggi pergerakan *cutter*, kemudian Klik OK.
13. Pilih *Part Operation*, kemudian klik  *Manufacturing Program*, setelah itu pilih jenis program  *ZLevel* untuk jenis program yang pertama dan pilih  *Sweeping* untuk jenis program yang kedua.

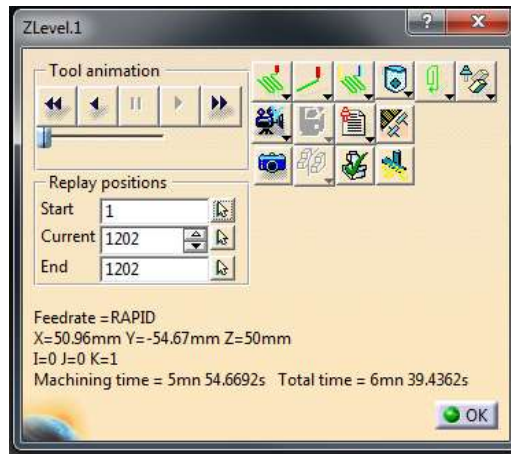


Gambar 3.16. *Preview ZLevel Program*

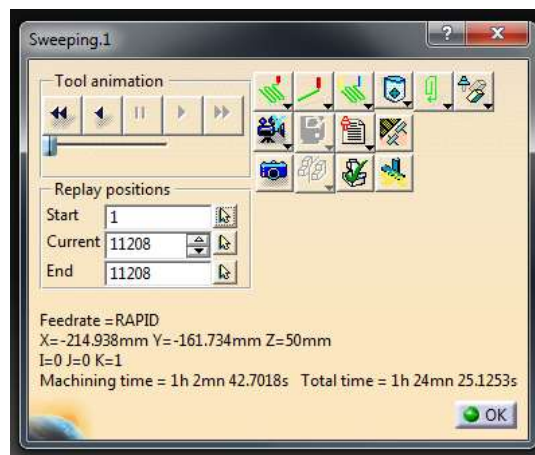


Gambar 3.17. *Preview Sweeping Program*

14. Setelah muncul tampilan masing-masing jenis program, kemudian masukan parameter-parameter yang meliputi *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan *machining tolerance* sesuai dengan yang telah ditentukan, kemudian pilih *cutter* yang digunakan.
15. Setelah semua parameter dimasukan, kemudian klik  *Tool Path Replay*, akan muncul *operation time*.



Gambar 3.18. *Preview Operation Time ZLevel*



Gambar 3.19. *Preview Operation Time Sweeping*

16. Ulangi sampai 9 kali percobaan untuk setiap *cutter*, dan setiap 1 kali percobaan mewakili 3 proses *machining* yaitu proses *roughing*, *semifinish*, dan *finishing*.
17. Jika data waktu proses permesinan sudah muncul kemudian dianalisis dan disimpulkan untuk menentukan waktu proses permesinan yang paling optimal.

K. Waktu Proses Hasil Simulasi yang Optimal

Waktu proses hasil simulasi yang dihasilkan dari *software* CATIA V5R20 kemudian diolah untuk mendapatkan hubungan antara pengaruh dari tiap-tiap parameter terhadap waktu pemrograman yang dihasilkan dan optimasi waktu dari masing-masing parameter, sehingga waktu yang optimal dari pengujian tersebut merupakan kesimpulan yang dapat diambil.

L. Kesimpulan dan Saran

Tahapan ini adalah akhir dari semua tahapan yang ada dalam penelitian, pada tahapan ini disimpulkan hasil dari penelitian yang dilakukan, serta pemberian saran terhadap industri yang menjadi objek penelitian.

BAB IV

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data dan analisa percobaan dengan mengacu pada perumusan masalah, maka penelitian ini dapat disimpulkan bahwa parameter yang menghasilkan waktu proses permesinan optimal pada pemrograman CNC *milling* untuk *cutter ball nose* Ø32 mm adalah pada kondisi *cutting speed* optimal = 100480 mm/min, kondisi *feed rate* optimal = 1200 mm/min, kondisi *depth of cut* optimal = 1.5 mm, dan kondisi *machining tolerance* = 0.09 mm. Waktu proses permesinan yang dihasilkan pada kondisi tersebut adalah 265.73 menit. Sedangkan untuk *cutter ball nose* Ø30 mm adalah pada kondisi *cutting speed* optimal = 103620 mm/min, kondisi *feed rate* optimal = 1280 mm/min, kondisi *depth of cut* optimal = 1.5 mm, dan kondisi *machining tolerance* = 0.09 mm. Waktu proses permesinan yang dihasilkan pada kondisi tersebut adalah 265.51 menit.

B. Saran

1. Untuk menghasilkan waktu proses permesinan optimal pada mesin CNC *milling* dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan nilai *cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan *machining tolerance*.
2. Dapat dikukan pengembangan mengenai optimasi parameter permesinan dengan variabel respon yang berbeda seperi kualitas permukaan pada proses permesinan CNC *milling*, sehingga rekomendasi pemilihan parameter yang optimal lebih akurat.
3. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan dengan optimasi menggunakan tambahan variabel respon seperti kualitas produk.
4. Penelitian ini dapat dilakukan pengembangan dengan melakukan perbandingan dengan menggunakan *software* CAD/CAM yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H., et al. 2013. *Pengaruh parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan Milling Terhadap Getaran dan Tingkat Kekasaran Permukaan (Surface Roughness)*. Proceeding SNTTM XII & Lomba Rancang Bangun Mesin Universitas Lampung.
- Anto, E., 2013. *Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC Turning*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Darmanto, J., 2007. *Modul Berkerja Dengan Mesin Bubut*. Surakarta : Yudistira.
- Kost, Fremont. E, and Rosenwig, James. E., 1979, *Organization and Management; A System and Contingency Approach* McGraw-Hill Inc, United states.
- Nugroho, T., U., 2012. *Pengaruh Kecepatan Pemakanan Dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan Cutter End Mill HSS Hasil Pemesinan CNC Milling Pada Baja ST 40*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Pinar, A., M., & Gullu, A., 2005. *Time Minimization of CNC Part Programs in a Vertical Machining Center in Terms of Tool Path and Cutting Parameter Criteria*. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*. Vol. 29: 75-88.
- Rahdiyanta, D., 2010. *Buku 3 Proses Frais (Milling)*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rochim, T., 1993. *Teori & teknologi proses permesinan*, Higher Education Development Support Project, ITB, Jakarta.
- Rochim, T., 1993. *Proses Pemesinan ; Teori dan Teknologi*, Laboratorium Teknik Produksi, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITB.
- Sembiring, R., K., 2003. *Analisis Regresi Edisi Kedua*. Bandung : ITB.
- Sugioko, A., 2013. "Perbandingan Algoritma Bee Colony dengan Algoritma Bee Colony Tabu List dalam Penjadwalan Flow Shop". *Jurnal Metris*. 14: 113 – 120.
- Sukardi, 2004. *Metodologi Penelitian*, PT. Bumi Aksara, Jakarta.
- Sujanayogi. 2010. *Mesin CNC*. Bandung: Fakultas Teknologi Industri ITB.

- Sujanayogi. (2010, Maret 5). *CAM Computer Aided Manufacturing (Trueemill dalam Surfcam)*.umbodo, W., et al. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Suwito, L., (2015). *Laporan Kerja Praktik Bidang Manufaktur di Departemen Tooling (Sub Manufakturing) Divisi Stamping & Tools PT. Mekar Armada Jaya*. Magelang : Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang.
- Widarto, 2008, *Teknik Pemesinan Jilid 1*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Yudhyadi, I. G. N. K., Rachmanto, T., & Dedy Ramadan, A., 2016, Optimasi Parameter Permesinan Pada Pemrograman CNC *Milling* Terhadap Waktu Proses Dengan Berbasis CAD/CAM. Universitas Mataram. Mataram.