

**PENGARUH PEMILIHAN JENIS *CUTTING TOOL* TERHADAP
KEKASARAN PERMUKAAN BENDA BERKONTUR PADA
PEMESINAN *MILLING 3-AXIS***

AGUNG SULISTYANTO

5315134455



Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana Pendidikan

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2018

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

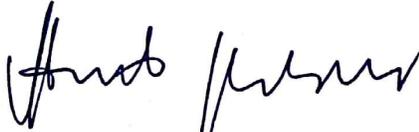
Skripsi dengan judul :

“Pengaruh Pemilihan Jenis *Cutting Tool* terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur pada Pemesinan *Milling 3-Axis*”

Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Disetujui dan diajukan dalam seminar skripsi.

Jakarta, 24 Januari 2018

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Agung Premono, MT.
NIP. 197705012001212002

Dosen Pembimbing II

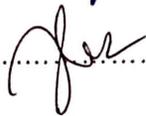


Himawan Hadi Sutrisno, ST., MT.
NIP. 198105052008121002

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : **Pengaruh Pemilihan Jenis *Cutting Tool* terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur pada Pemesinan *Milling 3-Axis*.**
Nama : **Agung Sulistyanto**
No. Registrasi : **5315134455**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

| NAMA DOSEN | TANDA TANGAN | TANGGAL |
|--|--|-----------------|
| <u>Dr. Eng. Agung Premono, MT.</u> NIP : 197705012001121002 (Dosen Pembimbing I) |  | 6 Februari 2018 |
| <u>Himawan Hadi Sutrisno, ST., MT.</u> NIP : 198105052008121002 (Dosen Pembimbing II) |  | 6 Februari 2018 |

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

| | | |
|---|--|-----------------|
| <u>Dr. Catur Setyawan K., MT.</u> NIP : 197102232006041001 (Ketua) |  | 6/2 2018 |
| <u>Ir. Yunita Sari, MT., M.Si.</u> NIP : 196806062005012001 (Sekretaris) |  | 9 Feb. 2018 |
| <u>Dr. Imam Basori, MT.</u> NIP : 197906072008121003 (Dosen Ahli) |  | 5 Februari 2018 |

Tanggal Lulus : 29 Januari 2018

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Universitas Negeri Jakarta



Ahmad Kholil, ST., MT.
NIP : 197908312005011001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Agung Sulistyanto
No. Registrasi : 5315134455
Tempat, tanggal lahir : Tangerang, 23 Mei 1995
Alamat : Jl. Bangka Barat 4 No. 66 RT02/RW07 Kelurahan Pela
Mampang Kecamatan Mampang Prapatan Jakarta Selatan

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi yang berjudul **“Pengaruh Pemilihan Jenis *Cutting Tool* terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur pada Pemesinan *Milling 3-Axis*”**
2. Karya tulis ilmiah ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing.
3. Karya tulis ilmiah ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis tercantum sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Jakarta , 24 Januari 2018

Yang Membuat Pernyataan



Agung Sulistyanto

NRM. 5315134455

ABSTRAK

Sulistyanto, Agung. “Pengaruh Pemilihan Jenis *Cutting Tool* terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur pada Pemesinan *Milling 3-Axis*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan benda berkontur menggunakan metode pemesinan milling 3-axis dengan parameter pembandingan berupa pemilihan jenis cutting tool.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pada penelitian ini pemesinan dilakukan di PT. Pirma Tasa sedangkan pengujian kekasaran permukaan dilakukan di Laboratorium Otomasi dan Manufaktur Universitas Indonesia, September – Desember 2017. Pada penelitian ini dihasilkan 9 sampel berupa benda berkontur cembung. Proses pertama yang dilakukan adalah pemodelan CAD. Setelah itu dilakukan proses CAM untuk menghasilkan G-Code. G-Code selanjutnya dieksekusi oleh mesin CNC untuk menghasilkan produk. Kemudian produk diuji untuk mengetahui nilai kekasaran permukaannya menggunakan alat uji kekasaran.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan terendah terdapat pada konfigurasi 1, yaitu pemilihan *cutting tool roughing* menggunakan *flat end mill* dan *finishing* menggunakan *ball end mill*, menghasilkan nilai kekasaran rata-rata (Ra) sebesar 0,3631 μm . Sementara nilai kekasaran permukaan tertinggi terdapat pada konfigurasi 3, yaitu pemilihan *cutting tool roughing* dan *finishing* menggunakan *bullnose end mill*, menghasilkan nilai kekasaran rata-rata (Ra) sebesar 0,7302 μm .

Kata Kunci : CAD/CAM, pemesinan CNC, *cutting tool*, kekasaran permukaan

ABSTRACT

Sulistyanto, Agung. "Influence of Cutting Tool Selection for Contoured Object Surface Roughness in 3-Axis Milling Machining". This study aims to determine the surface roughness value on contoured object using the method of 3-axis milling machining with cutting tool selection as comparison parameter.

The method used in this research is the experimental method. In this research, machining is done in PT. Pirma Tasa, while Roughness Test is conducted in the Otomation and Manufacture Laboratory University of Indonesia, September – December 2017. In the study, produced 9 samples that is convex contoured object. The first process is CAD modelling. After that is done CAM process to generate G-Code. G-Code furthermore executed by CNC machine to produce the product. After that, product is tested to determine its surface roughness value using surface roughness tester.

The results of this study showed that the lowest surface roughness value is in configuration 1, which is cutting tool selection roughing using flat end mill and finishing using ball end mill, obtain the roughness average value (Ra) is 0,3631 μm . While the highest surface roughness value is in configuration 3, which is cutting tool selection for roughing and finishing using bullnose end mill, obtain the roughness average value (Ra) is 0,7302 μm

Keywords: CAD/CAM, CNC machining, cutting tool, surface roughness

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa terpanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Pengaruh Pemilihan Jenis Cutting Tool terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur pada Pemesinan Milling 3-Axis”.

Begitu banyak pelajaran dan pengalaman baru yang diperoleh selama proses pengerjaan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Ahmad Kholil, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta dan Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.
2. Dr. Eng. Agung Premono, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberi bantuan dan tetap sabar membimbing penulis sampai akhir penyusunan skripsi ini.
3. Himawan Hadi Sutrisno S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah mengarahkan dan memberikan solusi kepada penulis dalam melakukan penelitian.
4. Pratomo Setyadi, S.T.,M.T., selaku Pembimbing Akademik.
5. Ibu Sully Sundari yang telah memberikan andil besar dalam tiap keberhasilan yang penulis raih sampai saat ini.
6. Bapak Mujiyanto dimanapun berada, semoga selalu diberikan kesehatan dan kesadaran untuk kembali pulang.

7. Rini Rachmawati dan Savira Nur Shabilla selaku saudara kandung penulis.
8. Grup Calon Insinyur: Aditian Gustamar, Bagus Setiawan, Indra Hermawan, Mattheus Victor, dan Ratri Saleha yang menemani penulis sejak semester 1 perkuliahan dan banyak mengajarkan penulis arti kesederhanaan.
9. Chazella Junidar yang selalu menemani dan membantu penulis sejak proses awal penulisan skripsi ini. Mudah-mudahan hubungan terus berlanjut.
10. Aryo Hartanto, Hans Leonardo teman seperjuangan selama skripsi dan M. Rizky Iskandar yang memberi saran dan arahan dalam penelitian ini.
11. Mas Taufik dan Mas Sigit selaku operator mesin CNC di PT. Pirma Tasa.
12. Mas Feri selaku laboran Lab. Otomasi dan Manufaktur Universitas Indonesia.
13. Batavia Team UNJ yang memberikan pengalaman hidup berharga kepada penulis sehingga meningkatkan kapasitas penulis sebagai mahasiswa.

Penulis sangat menyadari akan keterbatasan dari penulis sehingga skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran membangun sangat penulis harapkan. Harapan penulis adalah skripsi ini dapat menjadi sumbangan pemikiran yang bermanfaat.

Jakarta, 24 Januari 2018

Penulis

Agung Sulistyanto

NRM. 5315134455

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|----------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 4 |
| 1.3 Pembatasan Masalah | 5 |
| 1.4 Perumusan Masalah | 6 |
| 1.5 Tujuan Penelitian | 6 |
| 1.6 Kegunaan Penelitian | 7 |
| 1.7 Sistematika Penulisan | 8 |

BAB II LANDASAN TEORI

| | |
|---|----|
| 2.1 Proses Desain dan Pembuatan Benda | 10 |
| 2.2 Teori Pemesinan CNC | 13 |
| 2.2.1 Parameter Pemesinan CNC | 17 |
| 2.3 CAD | 26 |
| 2.4 CAM | 33 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 3.1 Waktu, Tempat dan Subjek Penelitian | 39 |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian | 40 |
| 3.3 Varian Model | 45 |
| 3.4 Prosedur Penelitian | 46 |
| 3.5 Uraian Diagram Alir Penelitian | 48 |
| 3.5.1 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian | 48 |
| 3.5.2 Pengumpulan Data | 48 |
| 3.5.3 Pengolahan Data | 48 |

BAB IV PEMBAHASAN

| | |
|---------------------|----|
| 4.1 CAD Model | 53 |
|---------------------|----|

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------|
| 4.2 | CAM..... | 55 |
| 4.2.1 | Pengaturan Titik Nol..... | 55 |
| 4.2.2 | Menentukan Strategi Pemesinan | 56 |
| 4.2.3 | Menentukan Batasan Pemesinan | 57 |
| 4.2.4 | Menentukan Parameter <i>Cutting Tool</i> | 59 |
| 4.2.5 | Menentukan Parameter Kecepatan | 60 |
| 4.2.6 | Menentukan Parameter Pemotongan | 64 |
| 4.2.7 | Menentukan <i>Linking</i> Parameter..... | 66 |
| 4.2.8 | Generate dan Simulasi Toolpath | 67 |
| 4.2.9 | Posting <i>G-Code</i> | 70 |
| 4.3 | Proses Pemesinan..... | 71 |
| 4.3.1 | <i>Setting</i> Titik Nol (X0,Y0,Z0)..... | 71 |
| 4.3.2 | Pemindahan <i>G-Code</i> ke Mesin CNC..... | 74 |
| 4.3.3 | Memanggil <i>File G-Code</i> | 76 |
| 4.3.4 | Eksekusi <i>G-Code</i> | 77 |
| 4.3.5 | Proses <i>Roughing</i> | 78 |
| 4.3.6 | Proses <i>Finishing</i> Kontur 2D..... | 78 |
| 4.3.7 | Proses <i>Finishing</i> Kontur 3D | 79 |
| 4.3.8 | Hasil Pemesinan | 80 |
| 4.4 | Pengujian Kekasaran | 80 |
| BAB V PENUTUP | | |
| 5.1 | Kesimpulan | 83 |
| 5.2 | Saran..... | 84 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 85 |
| LAMPIRAN | | 87 |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | | 96 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1 Desain <i>Impeller</i> | 2 |
| Gambar 1.3 Tipe-Tipe <i>End Mill</i> | 4 |
| Gambar 2.1 <i>Product Life Cycle</i> | 11 |
| Gambar 2.2 Perbedaan Pemesinan pada Permukaan Benda Berkontur dan Datar | 12 |
| Gambar 2.3 Benda Berkontur Cembung | 13 |
| Gambar 2.4 Benda Berkontur Cekung | 13 |
| Gambar 2.5 Diagram Alir Pemesinan CNC | 14 |
| Gambar 2.6 Ilustrasi Pemesinan CNC 3-Axis | 15 |
| Gambar 2.7 Ilustrasi Pemesinan CNC 5-Axis | 16 |
| Gambar 2.8a Posisi <i>Cutting Tool</i> saat Kontak dengan Benda Kerja Pemesinan 3-Axis | 17 |
| Gambar 2.8b Posisi <i>Cutting Tool</i> saat Kontak dengan Benda Kerja Pemesinan 5-Axis | 17 |
| Gambar 2.9 Contoh Geometri <i>End Mill</i> | 19 |
| Gambar 2.10 Jenis-Jenis <i>End Mill</i> | 20 |
| Gambar 2.11 Parameter dalam Pemesinan <i>Milling</i> | 22 |
| Gambar 2.12 <i>Plane Surface</i> | 28 |
| Gambar 2.13 <i>Ruled (Lofted) Surface</i> | 29 |
| Gambar 2.14 <i>Surface of Revolution</i> | 29 |
| Gambar 2.15 <i>Tabulated Cylinder</i> | 30 |
| Gambar 2.16 <i>Bezier Surface</i> | 30 |
| Gambar 2.17 <i>B-Spline Surface</i> | 31 |
| Gambar 2.18 <i>Fillet Surface</i> | 31 |
| Gambar 2.19 Model Primitif Solid | 33 |
| Gambar 2.20 Diagram Alir Proses CAM | 34 |
| Gambar 2.21 Parameter <i>Tool</i> | 35 |
| Gambar 2.22 Parameter Pemoangan | 35 |
| Gambar 2.23 <i>Linking</i> Parameter | 36 |
| Gambar 2.24 Simulasi <i>Toolpath</i> dengan <i>Stock</i> | 36 |
| Gambar 2.25a <i>Toolpath</i> | 37 |
| Gambar 2.25b <i>CL Point</i> | 37 |
| Gambar 2.25c <i>CL Data</i> | 37 |
| Gambar 3.1 Mesin CNC Kamioka VMC-1000..... | 40 |
| Gambar 3.2 Surfcom 2900SD3-12 | 41 |
| Gambar 3.3 <i>Flat End Mill</i> | 42 |
| Gambar 3.4 <i>Ball End Mill</i> | 43 |
| Gambar 3.5 <i>Bull Nose End Mill</i> | 43 |
| Gambar 3.6 Bagan Variasi Sampel..... | 46 |
| Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian | 47 |
| Gambar 3.8 Pengukuran Kekasaran Benda..... | 51 |
| Gambar 3.9 Profil Kekasaran Permukaan Berkontur | 52 |
| Gambar 4.1 <i>Sketch</i> dan <i>Extrude</i> | 53 |
| Gambar 4.2 <i>Sketch</i> , Kontur dan <i>Loft</i> | 54 |
| Gambar 4.3 Model 3D Benda Kerja | 54 |
| Gambar 4.4 Letak Benda Kerja terhadap Bidang XY | 55 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.5 Pemindahan Benda Kerja | 56 |
| Gambar 4.6 Ilustrasi <i>Toolpath Area Clearance</i> | 56 |
| Gambar 4.7 Ilustrasi <i>Toolpath 2D Contour</i> | 57 |
| Gambar 4.8 Ilustrasi <i>Toolpath Raster</i> | 57 |
| Gambar 4.9 Ilustrasi <i>Tool Containment</i> | 58 |
| Gambar 4.10 <i>Containment</i> | 58 |
| Gambar 4.11 Ukuran <i>Cutting Tool</i> | 59 |
| Gambar 4.12 <i>Toolpath Roughing</i> | 68 |
| Gambar 4.13 <i>Toolpath Finishing</i> Kontur 2D | 68 |
| Gambar 4.14 <i>Toolpath Finishing</i> Kontur 3D | 69 |
| Gambar 4.15 Simulasi <i>Toolpath</i> dengan <i>Stock</i> | 69 |
| Gambar 4.16 <i>Centerfix</i> | 71 |
| Gambar 4.17 Ilustrasi Pencarian Titik X0Y0 | 73 |
| Gambar 4.18 Proses Pencarian Titik X0Y0 | 73 |
| Gambar 4.19 Kordinat X0,Y0 pada G54 | 73 |
| Gambar 4.20 Input Kordinat Z0 ke G54 | 74 |
| Gambar 4.21 Memilih <i>File G-Code</i> | 75 |
| Gambar 4.22 Memindahkan <i>File G-Code</i> | 76 |
| Gambar 4.23 Mencari <i>File G-Code</i> | 76 |
| Gambar 4.24 Proses <i>Roughing</i> | 78 |
| Gambar 4.25 Hasil Proses <i>Roughing</i> | 78 |
| Gambar 4.26 Proses <i>Finishing</i> Kontur 2D | 78 |
| Gambar 4.27 Hasil <i>Finishing</i> Kontur 2D | 79 |
| Gambar 4.28 Proses <i>Finishing</i> Kontur 3D | 79 |
| Gambar 4.29 Hasil <i>Finishing</i> Kontur 3D | 79 |
| Gambar 4.30 Hasil Pemesinan | 80 |
| Gambar 4.31 Grafik Uji Kekasaran | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tingkatan Kelas Kekasaran Rata-Rata (Ra) | 26 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin CNC Kamioka VMC-1000 | 41 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi Surfcom 2900SD3-12 | 42 |
| Tabel 3.3 <i>Properties</i> dari Acetal..... | 44 |
| Tabel 3.4 Konfigurasi Pemilihan <i>Cutting Tool</i> | 45 |
| Tabel 4.1 Data Kondisi Pemakanan untuk Plastik | 61 |
| Tabel 4.2 Parameter Kecepatan <i>Roughing</i> | 63 |
| Tabel 4.3 Parameter Kecepatan <i>Finishing</i> Kontur 2D | 63 |
| Tabel 4.4 Parameter Kecepatan <i>Finishing</i> Kontur 3D | 63 |
| Tabel 4.5 Parameter Pemotongan <i>Roughing</i> | 65 |
| Tabel 4.6 Parameter Pemotongan <i>Finishing</i> Kontur 2D | 65 |
| Tabel 4.7 Parameter Pemotongan <i>Finishing</i> Kontur 3D | 65 |
| Tabel 4.8 <i>Linking</i> Parameter pada <i>Roughing</i> dan <i>Finishing</i> Kontur 3D | 67 |
| Tabel 4.9 <i>Linking</i> Parameter <i>Finishing</i> Kontur 2D | 67 |
| Tabel 4.10 Waktu Simulasi <i>Toolpath</i> | 70 |
| Tabel 4.11 Hasil Uji Kekasaran | 81 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. Hasil Uji Kekasaran Sampel 1..... | 87 |
| Lampiran 2. Hasil Uji Kekasaran Sampel 2..... | 88 |
| Lampiran 3. Hasil Uji Kekasaran Sampel 3..... | 89 |
| Lampiran 4. Hasil Uji Kekasaran Sampel 4..... | 90 |
| Lampiran 5. Hasil Uji Kekasaran Sampel 5..... | 91 |
| Lampiran 6. Hasil Uji Kekasaran Sampel 6..... | 92 |
| Lampiran 7. Hasil Uji Kekasaran Sampel 7..... | 93 |
| Lampiran 8. Hasil Uji Kekasaran Sampel 8..... | 94 |
| Lampiran 9. Hasil Uji Kekasaran Sampel 9..... | 95 |

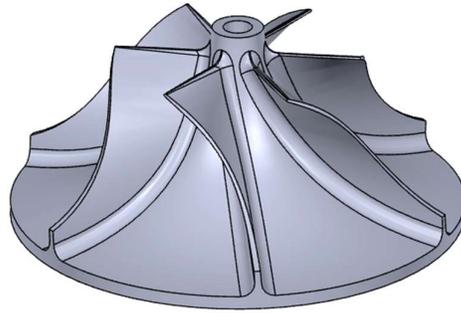
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

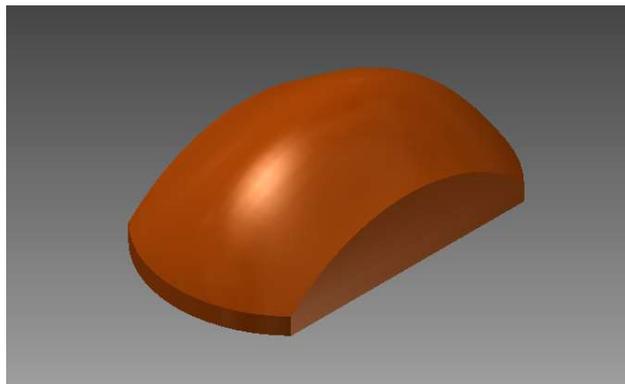
Sebuah produk dapat memiliki bentuk permukaan datar maupun kontur sesuai dengan desain, kegunaan serta nilai jual dari produk itu sendiri. Bentuk permukaan pada produk-produk tersebut sangat beragam. Teknologi pemesinan CNC dapat menghasilkan berbagai macam produk seperti *impeller*, komponen mesin dan *body* kendaraan, cetakan/*dies* suatu produk bahkan benda-benda kerajinan dan seni. Pada *mouse* misalnya, memiliki bentuk permukaan kontur untuk menyesuaikan *grip* pengguna agar nyaman digunakan.

Pada pemesinan CNC, produk berkontur umumnya dihasilkan menggunakan metode pemesinan *milling 5-axis* untuk mendapatkan kontak yang optimal antara *cutting tool* dengan benda kerja. Penggunaan metode *5-axis* sebenarnya juga dapat digunakan pada permukaan datar tergantung pada desainnya. Beberapa produk memiliki desain yang tidak dapat dijangkau dengan pemesinan *3-axis*, seperti pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Desain *Impeller* [1]

Untuk desain komponen seperti pada gambar di atas, metode pemesinan *5-axis* lebih cocok dan efisien untuk digunakan karena pemesinan *3-axis* tidak dapat menjangkau beberapa bagian dan beresiko terjadi *collision* (kegagalan pemesinan). Pada penelitian ini dibuat produk berkontur cembung menggunakan pemesinan *3-axis*. Alasan penggunaan metode pemesinan *3-axis* dikarenakan desain benda kerja yang masih dapat dijangkau dengan pemesinan *3-axis*. Gambar 1.2 adalah model 3D dari benda kerja yang akan dijadikan objek dalam penelitian ini.



Gambar 1.2 Benda Kerja Berkontur

Beberapa penelitian terdahulu menggunakan pemesinan *5-axis* untuk pembuatan produk berkontur. Suntoro [2] meneliti pengaruh perubahan sudut inklinasi terhadap kualitas hasil permukaan produk berkontur dan mendapatkan nilai kekasaran terendah sebesar $1,637 \mu\text{m}$ pada sudut inklinasi 10° . Adriano [3] meneliti pengaruh strategi *toolpath* terhadap kekasaran permukaan cetakan berbentuk kontur, didapatkan nilai kekasaran terendah sebesar $0,67 \mu\text{m}$ pada strategi *toolpath radial bottom-up* dengan *stepover* sebesar $0,81^\circ$. Kedua penelitian tersebut menggunakan metode pemesinan *5-axis*.

Sementara Shigang [4] menggunakan pemesinan *3-axis* untuk meneliti optimasi parameter pemesinan *cutting speed*, *feed rate*, *cutting depth* dan *cutting width* pada permukaan benda kompleks menggunakan algoritma genetika mendapatkan nilai kekasaran terendah $2,6 \mu\text{m}$. Pada penelitian ini, penelitian difokuskan pada parameter pemilihan *cutting tool* yang digunakan pada proses *roughing* dan *finishing* untuk menghasilkan permukaan berkontur. Konfigurasi pemilihan *cutting tool* yang dibandingkan adalah sebagai berikut.

1. *Roughing* dengan *Flat End Mill*, *Finishing* dengan *Ball End Mill*.
2. *Roughing* dengan *Flat End Mill*, *Finishing* dengan *Bullnose End Mill*.
3. *Roughing* dan *Finishing* dengan *Bullnose End Mill*.



Gambar 1.3 Jenis *Cutting Tool* [5]

Perbedaan jenis *cutting tool* yang digunakan dalam proses *roughing* dan *finishing* akan menghasilkan nilai kekasaran yang beragam. Dikarenakan kurvatur benda kerja berbeda dengan kurvatur mata pisau pada *cutting tool*, maka akan menghasilkan sisa material berupa lekukan (*cusp*) yang berbeda pada benda kerja. *Cusp* inilah yang mempengaruhi kekasaran permukaan benda. Semakin tinggi dan lebar sebuah *cusp* maka nilai kekasaran permukaan benda akan semakin besar. Berbagai parameter pemesinan seperti *stepover*, *stepdown*, *feed rate*, diameter *tool*, jenis *tool* dan lain-lain dapat mempengaruhi bentuk dan ukuran sebuah *cusp*.

1.2 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah dapat kita identifikasi dari judul penelitian ini, di antaranya :

1. Apakah ada perbedaan kekasaran permukaan yang dihasilkan pada permukaan benda berkontur dengan adanya perbedaan pemilihan *cutting tool*?
2. Bagaimana cara untuk menghasilkan permukaan benda berkontur dengan menggunakan mesin *3-axis*?
3. Bagaimana metode pemilihan *cutting tool* untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal pada proses pemesinan *3-axis*?
4. Bagaimana cara yang digunakan untuk menentukan kekasaran permukaan pada benda berkontur?

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah di atas, permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif.
2. Fokus penelitian ini adalah mencari tahu nilai kekasaran permukaan benda berkontur dengan membandingkan pemilihan *cutting tool* yang digunakan pada proses *roughing* dan *finishing*.
3. Proses CAM pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak Mastercam X5.
4. Proses pemesinan yang digunakan pada tiap spesimen adalah sama, yaitu *Roughing*, *Finishing* Kontur 2D dan *Finishing* Kontur 3D. Parameter pemesinan yang diinput menyesuaikan masing-masing

proses. Parameter yang membedakan hanya pada pemilihan jenis *cutting tool*.

5. Konfigurasi pemilihan jenis *cutting tool* yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Roughing* dengan *Flat End Mill* dan *Finishing* dengan *Ball End Mill*.
2. *Roughing* dengan *Flat End Mill* dan *Finishing* dengan *Bullnose End Mill*.
3. *Roughing* dan *Finishing* dengan *Bullnose End Mill*.

6. Metode pemesinan menggunakan pemesinan *milling CNC 3-axis*.

7. Parameter *surface finish* yang digunakan pada penelitian ini adalah *roughness average* (Ra).

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah maka didapat perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menghasilkan benda berkontur dengan menggunakan metode CAD/CAM dan pemesinan *3-axis*?
2. Bagaimana metode pemilihan *cutting tool* terhadap kualitas produk yang dihasilkan?

3. Apakah ada perbedaan kekasaran permukaan yang dihasilkan pada permukaan benda berkontur dengan adanya perbedaan pemilihan *cutting tool* pada proses pemesinan 3-axis?
4. Bagaimana cara yang digunakan untuk menentukan kekasaran permukaan pada benda berkontur?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui proses pembuatan benda berkontur menggunakan CAD/CAM dan pemesinan 3-axis.
2. Mengetahui bagaimana bentuk *cutting tool* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan benda berkontur.
3. Menganalisis perbedaan nilai kekasaran di antara ketiga konfigurasi *cutting tool* yang digunakan.

1.6 Kegunaan Penelitian

1. Kegunaan Teoritis
 - a. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan *output* yang bermanfaat dalam perkembangan pembelajaran mahasiswa di bidang manufaktur, khususnya CAD/CAM serta pemesinan CNC.
2. Kegunaan Praktis
 - a. Bagi peneliti, untuk pengembangan wawasan dan keahlian dalam bidang CAD/CAM dan pemesinan CNC serta sebagai syarat

kelulusan dalam menempuh pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin UNJ.

- b. Bagi Jurusan Teknik Mesin, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sumber pengetahuan dan motivasi untuk mahasiswa Jurusan Teknik Mesin UNJ untuk mengembangkan penelitian di bidang CAD/CAM dan pemesinan CNC.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan berguna untuk membuat pembahasan masalah dalam penulisan menjadi sistematis, terarah serta mudah dipahami oleh pembaca. Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan pembahasan secara garis besar tentang topik masalah yang diangkat pada penelitian ini. Pada bab ini terdapat latar belakang masalah, identifikasi masalah, pembatasan masalah, perumusan masalah, kegunaan penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisi teori-teori penunjang penelitian yang dikumpulkan dari berbagai macam referensi seperti jurnal, buku dan penelitian-penelitian terdahulu. Teori-teori tersebut digunakan dalam pengolahan data pada penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian membahas tentang cara, langkah-langkah ataupun prosedur yang digunakan untuk mendapatkan hasil penelitian. Data-data penunjang seperti tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian juga disertakan dalam bab ini. Lebih lanjut disertakan pula diagram alir penelitian beserta langkah-langkah dalam pemodelan benda kerja dan pembuatan *toolpath*.

BAB IV PEMBAHASAN

Merupakan pembahasan mengenai hasil pengolahan data pada penelitian. Dalam penelitian ini, data yang dihasilkan dari proses CAM dieksekusi melalui mesin CNC untuk didapat produk yang memiliki nilai kekasaran, yang selanjutnya diuji nilai kekasarannya menggunakan *roughness tester*.

BAB V PENUTUP

Merupakan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai topik CAD/CAM dan pemesinan CNC.

BAB II

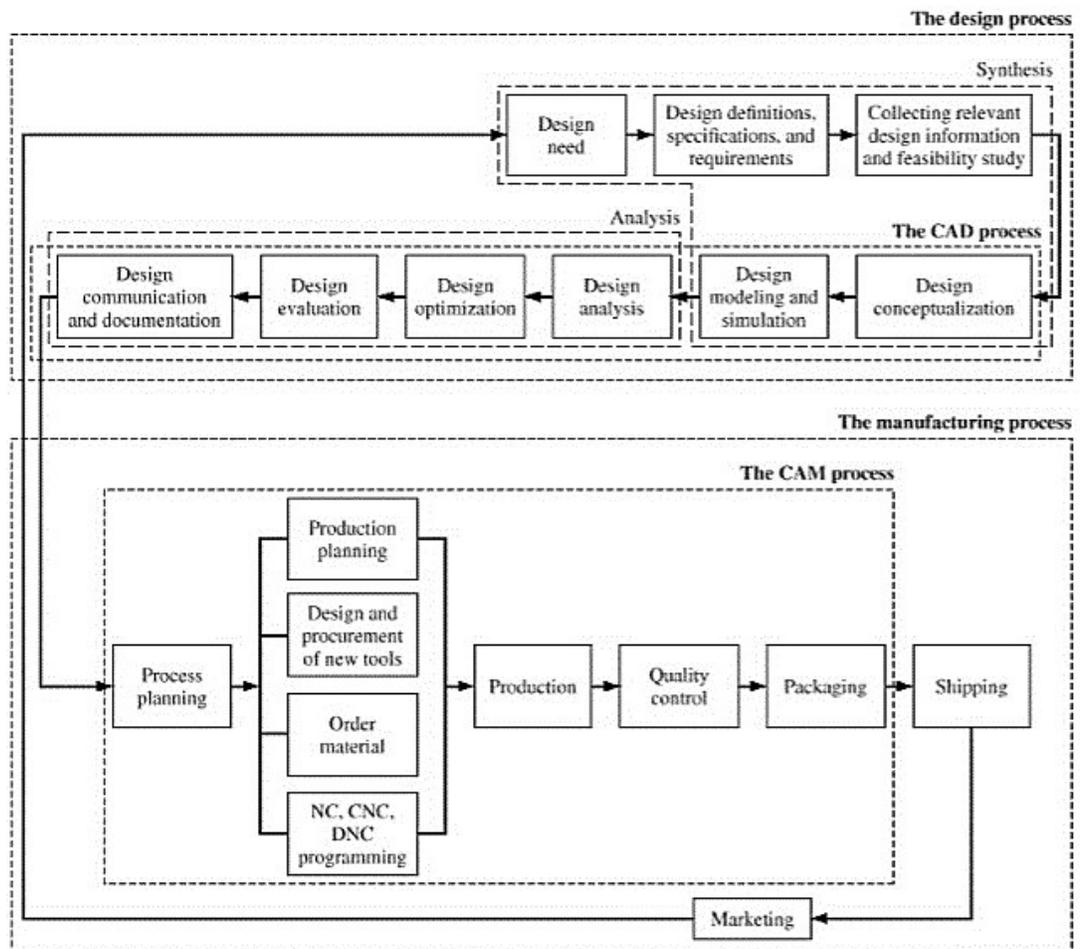
LANDASAN TEORI

2.1 Proses Desain dan Pembuatan Benda

Sebuah produk bermula dari kebutuhan pelanggan dan permintaan pasar. Produk melewati dua proses utama, yaitu proses desain dan proses manufaktur. Proses desain terbagi oleh dua subproses, yaitu sintesis dan analisis. Sintesis adalah tahap pembuatan desain, sementara analisis adalah tahap untuk mengoptimalkan desain. Dalam subproses sintesis ditentukan spesifikasi, fungsi dan kebutuhan produk. Setelahnya pemodelan dan simulasi desain dapat dilakukan menggunakan CAD. Subproses analisis bertujuan untuk menyesuaikan konsep desain ke dalam ilmu keteknikan (*engineering*) untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan performa dari produk yang diharapkan. Hasil dari subproses analisis adalah dokumentasi desain berupa gambar teknik atau cetak biru (*blueprint*).

Proses manufaktur bermula dari perencanaan proses dan berakhir pada produk yang sebenarnya. Perencanaan proses penting untuk mengidentifikasi bagaimana urutan proses yang paling efektif untuk memproduksi sebuah benda. Hasil dari tahap ini adalah rencana produksi, penyediaan alat, urutan material dan pemrograman mesin. Setelah tahap perencanaan proses selesai, berlanjut ke produksi.

Produk yang telah diproduksi selanjutnya diperiksa melalui beberapa tahap *quality control*. Produk yang lolos pemeriksaan selanjutnya dirakit, dikemas lalu dikirim untuk dipasarkan agar sampai kepada pelanggan.

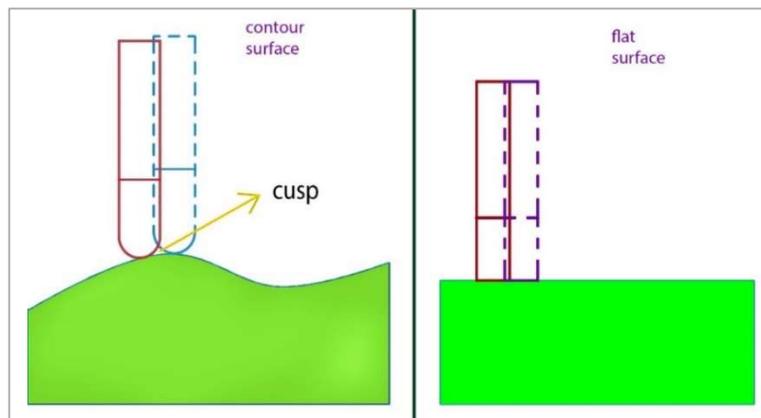


Gambar 2.1 Product Life Cycle [6]

Dalam penelitian ini produk yang dibuat adalah benda berkontur. Benda berkontur adalah benda yang memiliki bentuk permukaan lengkung baik cembung ataupun cekung dengan besar radius tertentu. Benda berkontur cembung disebut konveks, sedangkan benda berkontur cekung

disebut konkaf. Hasil pemesinan benda berkontur akan berbeda dengan benda datar. Benda dengan permukaan datar memiliki kesesuaian bentuk dengan *flat end mil*. Sedangkan bentuk kurvatur benda berkontur berbeda dengan kurvatur dan radius *cutting tool*.

Perbedaan inilah yang menghasilkan *cusp* pada permukaan benda. *Cusp* adalah sisa material benda kerja yang dapat membentuk area kasar pada permukaan benda kerja. Berbagai parameter seperti diameter *cutting tool*, bentuk *cutting tool*, *stepdown*, *stepover* dan lain-lain dapat mempengaruhi bentuk dan besarnya *cusp*. Oleh karena itu, hasil pemesinan benda berkontur memiliki nilai kekasaran yang relatif lebih besar dari benda datar.



Gambar 2.2 Perbedaan Pemesinan pada Permukaan Benda Berkontur dan Datar



Gambar 2.3 Benda Berkontur Cembung [7]



Gambar 2.4 Benda Berkontur Cekung [8]

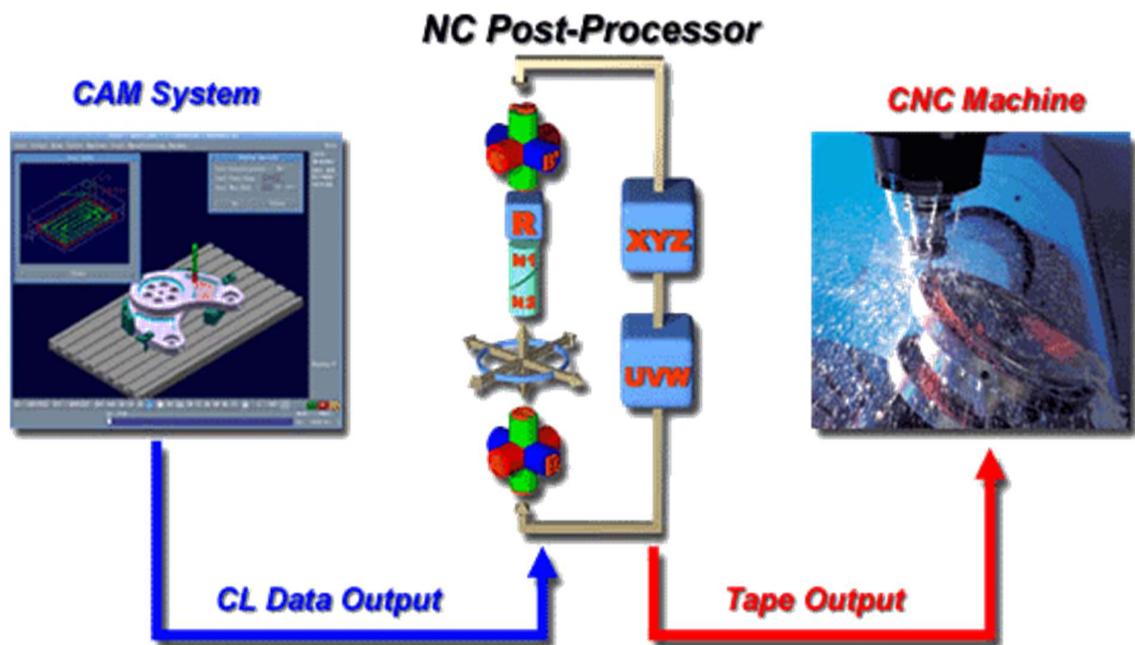
2.2 Teori Pemesinan CNC

Pemesinan CNC (*Computer Numerical Control*) adalah suatu proses manufaktur yang melibatkan penggunaan komputer untuk mengendalikan peralatan mesin. Pemesinan konvensional pada umumnya menggunakan *input* manual dari operator untuk menggerakkan peralatan mesin. Metode ini tentunya lebih banyak menghabiskan waktu dan tenaga.

Berbeda dengan pemesinan CNC yang menggunakan input dari program NC berupa *G-Code*. *G-Code* adalah kode numerik yang berisi perintah untuk mengatur pergerakan dan parameter-parameter pemesinan. Dengan menjalankan *G-Code*, mesin CNC dapat secara otomatis melakukan pergerakan pemotongan benda kerja sesuai program yang telah

dirancang. Untuk menghasilkan *G-Code*, terlebih dahulu perlu dilakukan proses CAM.

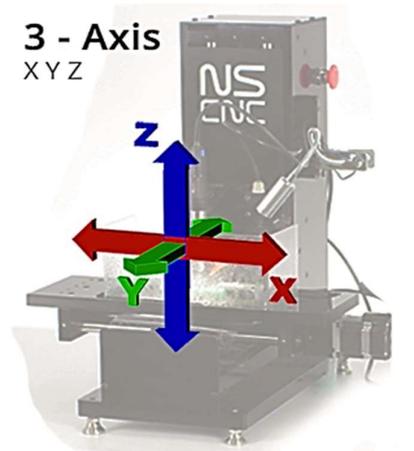
Proses CAM adalah perencanaan proses pemesinan dengan bantuan komputer. Hasil dari proses CAM adalah *toolpath* yang dapat dikonversi menjadi *G-Code* oleh post processor. Post processor menerjemahkan *CL Data* yang terdapat pada *toolpath* menjadi *G-Code*. Penjelasan lebih lanjut mengenai proses CAM dapat dilihat dalam subbab 2.4. Dari pemaparan ini dapat digambarkan diagram alir pemesinan CNC seperti berikut.:



Gambar 2.5 Diagram Alir Pemesinan CNC [9]

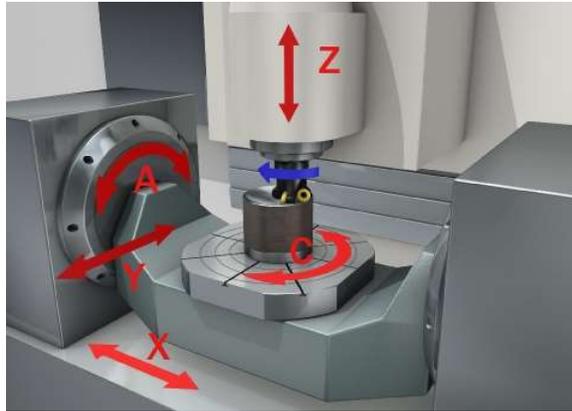
Metode pemesinan CNC yang umum digunakan untuk pembuatan benda berkontur adalah metode pemesinan *milling* CNC *3-axis* dan *5-axis*. Perbedaan mendasar pada kedua metode pemesinan ini adalah kemampuan mesin melakukan pergerakan secara bersamaan dari kombinasi *axis* yang

dimilikinya. Pemesinan *3-axis* dapat menghasilkan tiga pergerakan secara bersamaan dari kombinasi tiga *axis* linear X, Y, Z.



Gambar 2.6 Ilustrasi Pemesinan CNC 3-Axis [10]

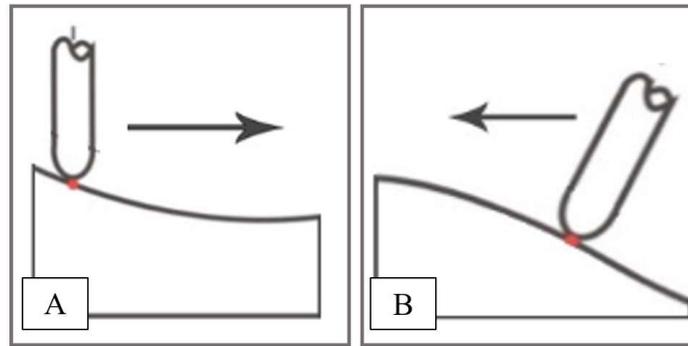
Sedangkan metode pemesinan CNC *5-axis* dapat melakukan lima pergerakan secara bersamaan yang dihasilkan dari kombinasi tiga *axis linear* dan dua *axis* rotasional. Dua *axis* rotasional ini berfungsi melakukan *tilting*, yaitu pergerakan memiringkan *table* atau *spindle* dengan sudut kemiringan tertentu terhadap *axis* rotasional. *Tilting* pada saat pergerakan pemakanan benda bertujuan untuk menjangkau bagian yang tidak dapat dihilangkan apabila menggunakan pemesinan *3-axis*. Dengan kemampuan melakukan *tilting*, tabrakan antara komponen pemesinan dapat dihindari.



Gambar 2.7 Ilustrasi Pemesinan CNC 5-Axis [11]

Selain itu, pemesinan *5-axis* memungkinkan penggunaan *cutting tool* yang lebih pendek karena program NC dapat diatur untuk menghindari *collision* (tabrakan antara komponen pemesinan) dengan melakukan tilting. Sehingga panjang total *cutting tool* tidak harus lebih besar dari total kedalaman pemakanan. Hal ini dapat meningkatkan kekakuan (*rigidity*) *cutting tool* saat melakukan pemakanan. Karena semakin panjang bagian *cutting tool* yang dialokasikan untuk melakukan pemakanan, semakin besar resiko *cutting tool* mengalami getaran saat melakukan pemakanan.

Posisi *cutting tool* saat melakukan kontak dengan benda kerja pada pemesinan *3-axis* dan *5-axis* berbeda. Pada pemesinan *3-axis*, kontak antara *cutting tool* dengan benda kerja terjadi pada posisi yang konstan dengan suatu *axis* (*normal to axis*) menyesuaikan besarnya kedalaman pemakanan. Pada pemesinan *5-axis*, *cutting tool* melakukan kontak dengan benda kerja menyesuaikan bentuk permukaan (*normal to surface*).



Gambar 2.8 Posisi *Cutting tool* saat Kontak dengan Benda Kerja pada
(a) Pemesinan 3-Axis, (b) Pemesinan 5-Axis

2.2.1 Parameter Pemesinan CNC

Parameter pemesinan dapat dibagi menjadi parameter bebas dan terikat. Parameter bebas adalah parameter yang harus dipenuhi nilainya tanpa terikat dengan parameter lain. Nilai dari parameter bebas dapat diubah-ubah sesuai dengan perhitungan maupun standar. Berikut adalah beberapa parameter bebas yang terdapat dalam pemesinan *milling* CNC :

1. Material, ukuran, bentuk dan jumlah *flute* pada *cutting tool*.
2. Material, ukuran dan spesifikasi benda kerja.
3. Kecepatan *spindle*, kecepatan pemakanan serta kecepatan naik dan turun *cutting tool*.
4. Kedalaman pemakanan.
5. *Coolant* yang digunakan.
6. Spesifikasi mesin dan holder yang digunakan.
7. *Software* CAM yang digunakan.

Apabila kegagalan pemesinan terjadi, parameter bebaslah yang harus ditinjau terlebih dahulu karena sifat dari parameter ini tidak terikat. Apabila nilai dari parameter bebas tidak sesuai dengan standar atau perhitungan, kegagalan pemesinan dapat terjadi.

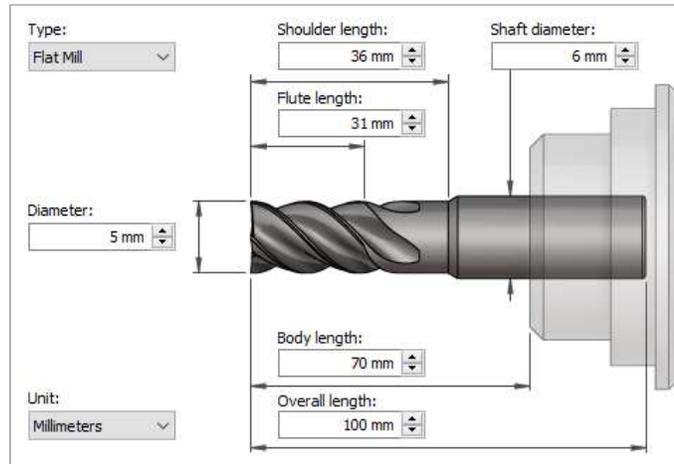
Sementara parameter terikat adalah parameter yang bergantung pada nilai dan perubahan yang terjadi pada parameter bebas. Berikut adalah beberapa parameter terikat yang terdapat dalam pemesinan *milling* CNC :

1. Beban pemesinan.
2. Laju keausan *cutting tool*.
3. Kualitas permukaan yang dihasilkan.
4. Waktu pemesinan.
5. Bentuk beram yang dihasilkan.

Beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Parameter *Cutting tool*

Salah satu parameter yang dapat mempengaruhi hasil pemesinan adalah *cutting tool*. Pada penelitian ini, jenis *cutting tool* yang digunakan adalah *end mill*. Sebuah *end mill* memiliki *shaft* dan *flute*. *Shaft* adalah batang *end mill* yang meneruskan gaya putar dari *holder*. Sementara *flute* adalah mata pisau berbentuk spiral yang berfungsi melakukan pemakanan benda kerja. Geometri dari sebuah *end mill* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Contoh Geometri *End Mill*

Jumlah *flute* pada *cutting tool* mempengaruhi hasil pemesinan. Dua *flute* memberikan ruang yang lebih besar untuk pembuangan beram. Tiga *flute* baik digunakan untuk proses pemesinan *slotting*. Empat *flute* atau lebih, semakin banyak jumlah *flute* maka semakin kecil besarnya beram yang terbentuk dan dapat meningkatkan kualitas permukaan dengan feed rate yang sama. [12]

Terdapat tiga jenis *end mill* yang digunakan pada penelitian ini.

1. *Flat End Mill*, mempunyai bentuk datar pada ujungnya. Digunakan pada proses *roughing* karena dapat memakan material lebih banyak dibanding jenis *cutting tool* lain.
2. *Ball End Mill*, memiliki ujung berbentuk setengah bola. Radius bola adalah setengah dari diameter *cutting tool*. *Ball end mill* dapat digunakan untuk melakukan pemakanan pada area berbentuk cekungan, *fillet* maupun kontur. Pada umumnya

digunakan pada proses *finishing* untuk menghasilkan kualitas permukaan yang baik.

3. *Bullnose End Mill (Corner Radius End Mill)*, memiliki bentuk ujung datar dengan radius pada tepi mata pisau. Besarnya radius pada mata pisau kurang dari setengah diameter *cutting tool*. Dapat digunakan pada proses *roughing* dan *finishing*.



Gambar 2.10 Jenis-Jenis *End Mill* [5]

Material yang digunakan pada *end mill* beragam, yaitu.

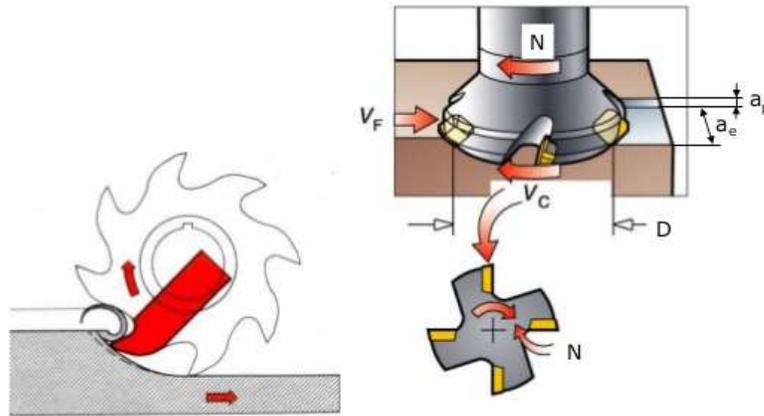
1. HSS (*High Speed Steel*) adalah baja tingkat terendah dalam pembuatan *cutting tool*, pada zaman dahulu sebagian besar *end mill* dibuat dari *High Speed Steel*. Biasanya murah, namun tidak dapat memberikan keuntungan dalam umur, kecepatan dan pemakanan seperti pada *Cobalt* dan *Carbide end mill*.
2. *Cobalt* adalah jenis *High Speed Steel* yang memiliki kandungan *Cobalt* 8% (M42). Material ini memiliki ketahanan yang sangat

baik terhadap abrasi (pengikisan) untuk meningkatkan umur *tool* yang lebih panjang dibanding HSS.

3. *Carbide*. material *tool* ini menggabungkan kekakuan material yang ditingkatkan dengan kemampuan untuk beroperasi pada SFPM (*Surface Feet per Minute*) yang lebih tinggi. *Tool carbide* sangat cocok untuk *workshop* yang mengoperasikan mesin *milling* dengan sedikit penggunaan *spindle*. Kekakuan sangat penting dalam menggunakan *tool carbide*. *End mill carbide* mungkin lebih mahal dari *end mill cobalt*, namun dapat digunakan pada kecepatan yang lebih besar 2,5 kali dari *end mill* HSS. [12]

2. Parameter Kecepatan dan Pemakanan

Terdapat persamaan untuk mencari nilai dari parameter-parameter seperti *cutting speed*, *spindle speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*. *Cutting speed* (V_c) adalah kecepatan tangensial pada *cutting tool*. *Spindle speed* (N) adalah kecepatan putar *spindle*. *Feed rate* (V_f) adalah kecepatan *cutting tool* terhadap *workpiece* atau sebaliknya. *Depth of cut* adalah kedalaman suatu *cutting tool* untuk melepas atau membuang material.



Gambar 2.11 Parameter dalam Pemesinan *Milling* [13]

Terdapat dua jenis *depth of cut*, *axial depth of cut* dan *radial depth of cut*. *Axial depth of cut* (A_e) atau yang biasa disebut *stepdown* adalah kedalaman pemakanan yang letaknya sejajar dengan *axis* dari *cutting tool* sedangkan *radial depth of cut* (A_p) atau yang biasa disebut *step over* adalah kedalaman pemakanan yang berada tegak lurus dari *axis cutting tool*. Berikut adalah persamaan-persamaan untuk mencari tahu nilai dari parameter-parameter di atas:

$$V_c = \pi \cdot D \cdot N \text{ (mm/min)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

V_c : *Cutting speed* (mm/min)

D : *Diameter cutting tool* (mm)

N : *Spindle speed* (rpm)

$$Fz = \frac{Vf}{Z \cdot N} \text{ (mm/tooth)} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Vf : *Feed rate* (mm/min)

Fz : *Feed per tooth* (mm/tooth)

Z : *Number of teeth*

N : *Spindle speed* (rpm)

Umumnya, katalog dari sebuah *cutting tool* menyajikan data parameter-parameter seperti *cutting speed*, *feed rate*, *spindle speed* dan *depth of cut* yang direkomendasikan tergantung pada spesifikasi *tool* seperti diameter, material, jumlah flute serta material benda kerja yang digunakan pada pemesinan. Dari data parameter pemesinan yang terdapat di katalog, kita dapat menggunakannya untuk menghitung nilai dari parameter-parameter lain.

Parameter lain yang dapat kita hitung berdasarkan nilai dari parameter-parameter di atas adalah *material removal rate* atau laju pemakanan material. *Material removal rate* merupakan besarnya volume dari material yang dibuang dalam satu satuan waktu.

$$Q = Ap \cdot Ae \cdot Vf \text{ (mm}^3\text{/min)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

Q : *Material removal rate* (mm³/min)

Ap : *Axial depth of cut* (mm)

A_e : *Radial depth of cut* (mm)

V_f : *Feed rate* (mm/min)

Waktu kerja dari suatu proses pemesinan secara teori dapat dihitung dengan cara membagi panjang lintasan dengan kecepatan, seperti pada persamaan 2.4 berikut ini.

$$T_c = \frac{L}{V_f} \text{ (min)} \quad (2.4)$$

Keterangan:

T_c : Waktu pemesinan (min)

L : Panjang lintasan pahat (mm)

V_f : *Feed rate* (mm/min)

Persamaan 2.4 menunjukkan waktu pemesinan pada saat *cutting tool* melakukan gerakan pemakanan benda kerja. Pada pergerakan *cutting tool* saat tidak melakukan pemakanan seperti pergerakan turun (*plunge*) dan angkat (*retract*) dapat digunakan pembagi berupa *plunge rate* atau *retract rate*.

3. Parameter *Surface Finish* [14]

Salah satu parameter terikat yang diteliti adalah hasil akhir permukaan (*surface finish*). Hasil akhir permukaan memiliki peranan penting dalam sebuah komponen, terutama pada komponen yang membutuhkan gaya gesek sekecil mungkin saat beroperasi, seperti pada bearing, kepala piston ataupun poros engkol. *Surface finish* dapat ditentukan

dalam beberapa parameter. Parameter-parameter yang paling umum digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Roughness Average* (Ra), adalah nilai kekasaran rata-rata pada suatu permukaan dalam jarak pengukuran tertentu. Ra dikenal secara universal dan merupakan parameter *roughness* internasional yang paling sering digunakan. Berikut persamaan untuk menghitung nilai Ra.

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (2.5)$$

Keterangan :

Ra : *Roughness average* Y: Ordinat dari kurva profil

L : Panjang sampling

2. *Root-mean-square* (rms), adalah akar pangkat dari Ra. *Root-mean-square* dilambangkan dengan Rq. Berikut persamaan untuk menghitung Rq.

$$Rq = \sqrt{\left[\frac{1}{L} \int_0^L (Y(x))^2 dx \right]} \quad (2.6)$$

Keterangan :

Rq : *Root-mean-square*

L : Panjang sampling

Y : Ordinat dari kurva profil

3. Tinggi kekasaran total (Ry atau Rmax), adalah jarak total antara dua garis sejajar dengan garis tengah yang menghubungkan titik

ekstrim teratas dan terbawah pada sebuah profil dalam jarak pengukuran tertentu.

Pada penelitian ini digunakan parameter nilai kekasaran rata-rata (*Roughness Average*) untuk mengidentifikasi hasil akhir permukaan. Nilai kekasaran Ra memiliki tingkatan yang dikelompokkan dalam berbagai kelas kekasaran. Tiap kelas kekasaran memiliki toleransi kekasaran dengan batas atas 50% dan batas bawah 25%. Tabel 2.1 memuat daftar kelas kekasaran beserta harga toleransinya.

Tabel 2.1 Tingkatan Kelas Kekasaran Rata-Rata (Ra) [15]

| Kelas Kekasaran | Harga C.L.A. (μm) | Harga Ra (μm) | Toleransi N +50% dan -25% | Panjang Sampel (mm) |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| N1 | 1 | 0,025 | 0,02-0,04 | 0,08 |
| N2 | 2 | 0,05 | 0,04-0,08 | |
| N3 | 3 | 0,1 | 0,08-0,15 | 0,25 |
| N4 | 8 | 0,2 | 0,15-0,3 | |
| N5 | 16 | 0,4 | 0,3-0,6 | |
| N6 | 32 | 0,8 | 0,6-1,2 | |
| N7 | 63 | 1,6 | 1,2-2,4 | 0,8 |
| N8 | 125 | 3,2 | 2,4-4,8 | |
| N9 | 250 | 6,3 | 4,8-9,6 | |
| N10 | 500 | 12,5 | 9,6-18,75 | 2,5 |
| N11 | 1000 | 25,0 | 18,75-37,5 | 8 |
| N12 | 2000 | 50,0 | 37,5-75,0 | |

2.3 CAD

CAD atau *computer aided design* adalah proses pembuatan desain berupa model dua dimensi atau tiga dimensi menggunakan bantuan komputer. Terdapat tiga jenis teknik pemodelan dalam CAD, yaitu:

1. **Wireframe** [6]

Pemodelan secara *wireframe* adalah pemodelan geometri yang paling sederhana untuk direpresentasikan secara matematis dalam komputer. Model *wireframe* berupa kurva atau garis yang terhubung pada titik-titik untuk membentuk sebuah geometri objek. Entitas *wireframe* dibagi menjadi dua, yaitu entitas analitik dan sintesis. Entitas analitik di antaranya adalah titik, garis, kurva, lingkaran, *fillet*, *chamfer* dan konis (elips, parabola dan *hyperbola*). Sementara entitas sintesis terdiri dari berbagai macam *spline* (*cubic spline*, *B-spline*, *beta-spline*, *v-spline*) dan *bezier curve*.

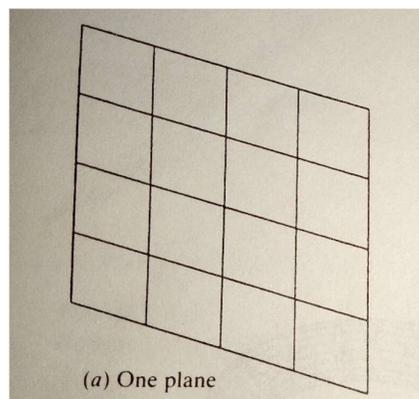
Keuntungan menggunakan model *wireframe* adalah kemudahan dalam pembuatannya. Oleh karena itu, pada proses CAD, model ini tidak menghabiskan banyak waktu dan *memory* komputer seperti pada pemodelan *surface* ataupun *solid*. Kelemahan menggunakan model *wireframe* yaitu seringnya terjadi ambigu dan sangat mengandalkan penafsiran manusia dalam merepresentasikan objek.

2. **Surface** [6]

Penggambaran dari objek yang kompleks seperti mobil, kapal dan badan pesawat tidak dapat dilakukan menggunakan pemodelan *wireframe*. Dibutuhkan teknik pemodelan *surface* untuk menggambarkan objek secara presisi dan akurat. Model *surface* dapat digunakan pada berbagai aplikasi ilmu keteknikan seperti perhitungan *mass properties*, pembuatan *mesh* pada metode elemen higgs dan pembuatan *toolpath* NC.

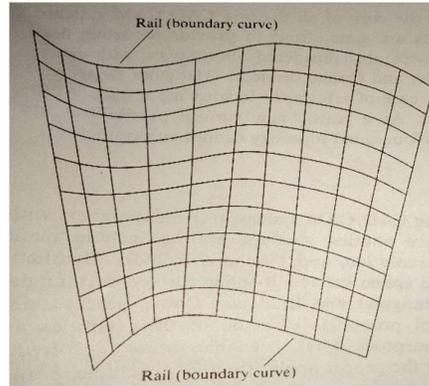
Model *surface* yang umum digunakan pada pemodelan terdiri dari berbagai jenis seperti berikut :

1. *Plane Surface*, adalah bentuk permukaan yang paling sederhana. Membutuhkan tiga titik dengan posisi berbeda (*non-coincident*) untuk membentuk sebuah bidang tak hingga. *Plane surface* dapat digunakan untuk membuat penampang melintang dengan memotong sebuah model permukaan dengannya, membuat bagian untuk perhitungan *mass property*, atau penerapan serupa yang dibutuhkan sebuah bidang.



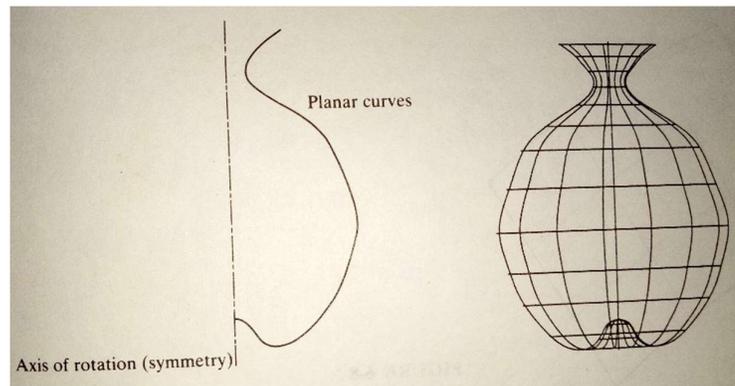
Gambar 2.12 *Plane Surface*

2. *Ruled (Lofted) Surface*, adalah permukaan linier. Permukaan ini menambahkan garis linier di antara dua garis pembatas kurva yang membatasi permukaan. Pembatas dapat berupa berbagai entitas *wireframe*. Entitas ini ideal untuk merepresentasikan permukaan yang tidak berliku atau berbelit.



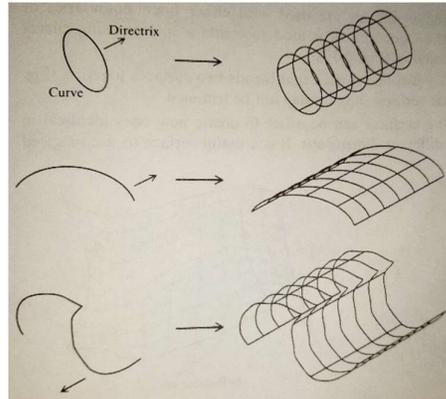
Gambar 2.13 Ruled (Lofted) Surface

3. *Surface of Revolution*, adalah permukaan pada sumbu simetris yang dibuat dengan memutar planar *wireframe* pada sumbu simetris dengan sudut tertentu.



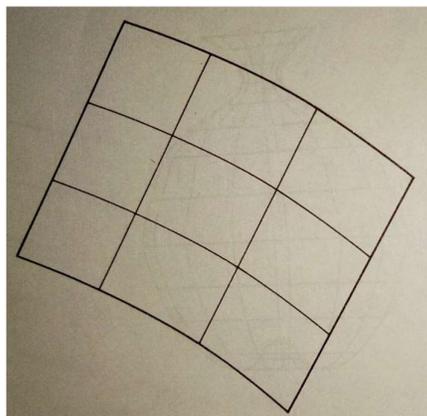
Gambar 2.14 Surface of Revolution

4. *Tabulated Cylinder*, permukaan ini dibuat dengan menyalin kurva planar sepanjang jarak tertentu pada arah yang ditentukan.



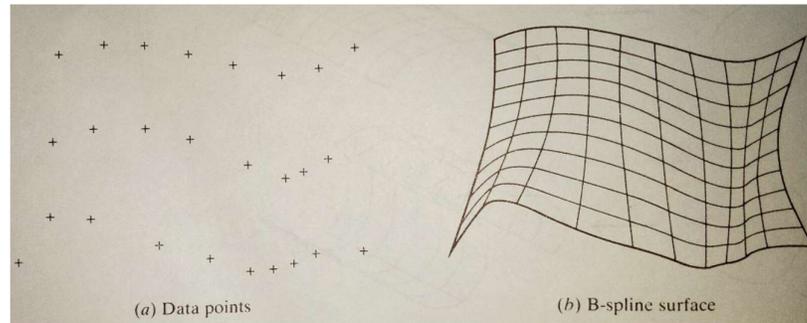
Gambar 2.15 Tabulated Cylinder

5. *Bezier Surface*, adalah jenis permukaan yang dapat memperkirakan input data yang diberikan. Permukaan ini berbeda dari permukaan-permukaan sebelumnya karena permukaan ini adalah buatan. Sama seperti kurva *Bezier* yang tidak melewati seluruh titik data yang diberikan. Permukaan ini umumnya memungkinkan, berliku-liku, dan berbelit. Permukaan *Bezier* hanya memungkinkan kontrol permukaan secara luas.



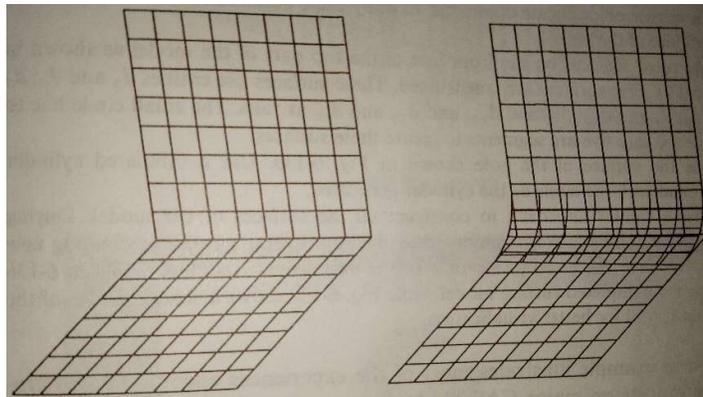
Gambar 2.16 Bezier Surface

6. *B-Spline Surface*, adalah permukaan yang dapat memperkirakan dan menambah input data yang diberikan. Permukaan ini adalah permukaan buatan. Permukaan ini pada umumnya sama seperti permukaan *bezier* hanya saja memiliki keuntungan yang memungkinkan kontrol permukaan lokal.



Gambar 2.17 *B-Spline Surface*

7. *Fillet Surface*, adalah *B-Spline surface* yang memadukan dua permukaan yang bersamaan. Dua permukaan asli mungkin dapat dipotong atau mungkin juga tidak.

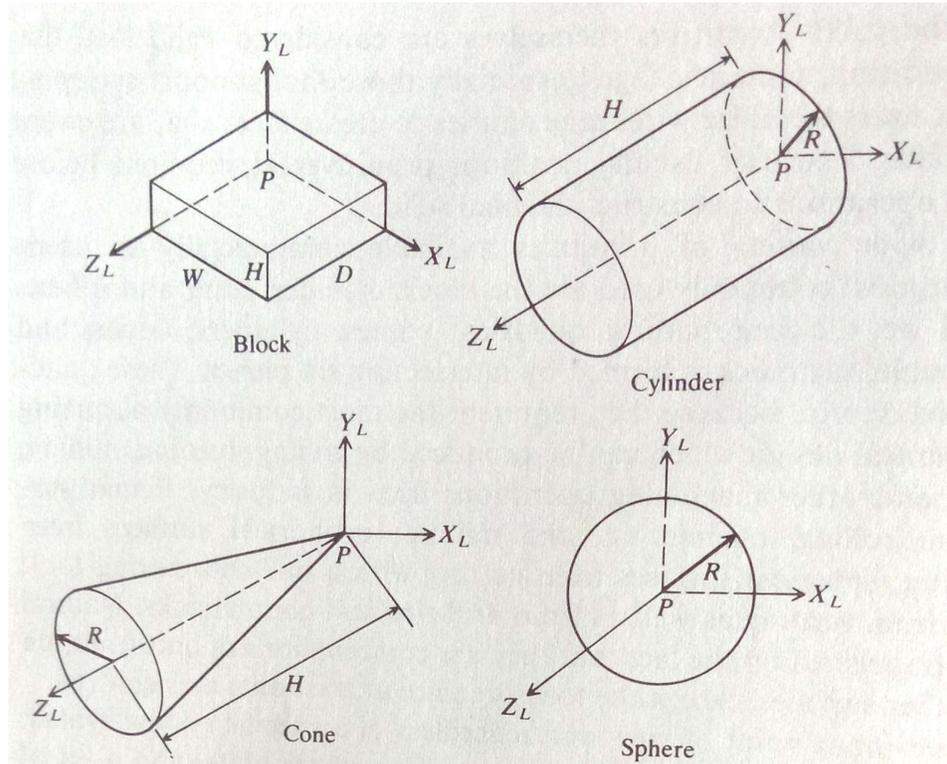


Gambar 2.18 *Fillet Surface*

3. *Solid* [6]

Pemodelan *solid* dapat digunakan untuk membentuk geometri model benda padat/*solid*. Model *solid* memiliki penggambaran yang lebih lengkap dibanding model permukaannya. Mendefinisikan objek dengan model *solid* adalah yang paling mudah di antara ketiga teknik pemodelan yang ada dikarenakan kelengkapan informasi yang terdapat dalam model *solid*. Terdapat empat model primitif yang sering digunakan yaitu blok, silinder, kerucut dan bola.

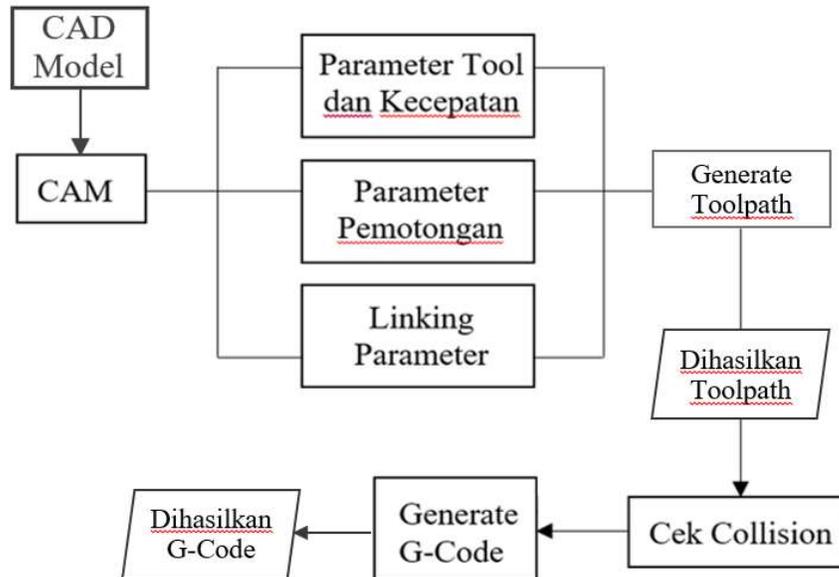
1. Blok. Sebuah kotak yang memiliki data geometri berupa panjang, lebar dan tinggi. X_L Y_L Z_L adalah sistem kordinat lokal seperti pada gambar 2.19. Titik P mendefinisikan titik awal dari sistem X_L , Y_L , Z_L . Tanda W, H dan D adalah posisi dari blok relatif terhadap sistem kordinat.
2. Silinder. Model primitif ini merupakan silinder lingkaran sempurna yang geometrinya didapat dari radius R dan panjang H. Panjang biasanya diambil dari arah sumbu Z_L . H dapat bernilai positif atau negatif.
3. Kerucut. Model ini adalah bentuk kerucut dengan lingkaran sempurna atau sebuah frustum dari lingkaran kerucut yang radius dasarnya R, radius atas (untuk kerucut terpotong), dan tinggi H didefinisikan oleh pengguna.
4. Bola. Model ini didefinisikan dari radius atau diameternya dan berpusat pada titik awal pada kordinat sistem lokalnya.



Gambar 2.19 Model Primitif Solid

2.4 CAM

CAM atau *computer aided manufacturing* adalah sebuah proses yang melibatkan penggunaan komputer untuk membuat program NC (*G-Code*). *G-Code* adalah sebuah program yang mengandung perintah untuk mengatur pergerakan dan berbagai parameter dalam pemesinan CNC. Dibutuhkan sebuah *software* CAM untuk menghasilkan *G-Code*. Penelitian ini menggunakan Mastercam X5 sebagai *software* CAM. Diagram berikut adalah alur kerja proses CAM hingga menghasilkan *G-Code* berdasarkan *software* Mastercam X5.

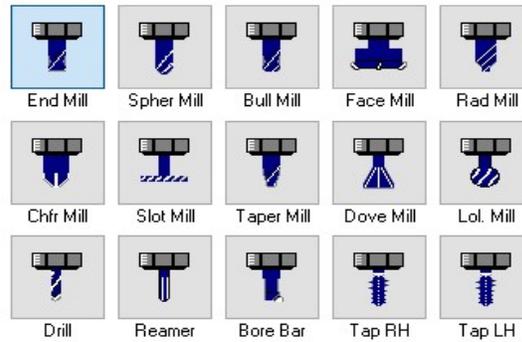


Gambar 2.20 Diagram Alir Proses CAM

Model benda kerja yang telah dihasilkan pada proses CAD di-*import* ke dalam *software* Mastercam untuk diolah menggunakan proses CAM. Proses CAM dimulai dengan meng-*input* berbagai parameter pemesinan seperti berikut :

1. Parameter *Tool* dan Kecepatan

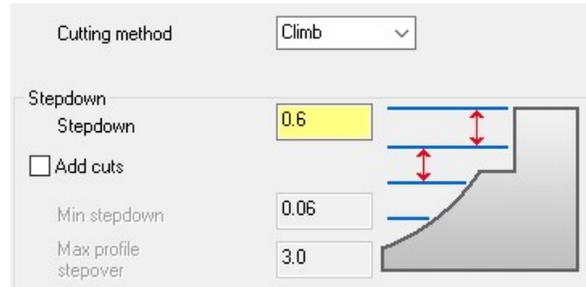
Pada parameter *tool* kita dapat mengatur jenis, ukuran dan material *cutting tool*. *Software* Mastercam memiliki berbagai data jenis *tool* yang dapat kita pilih untuk proses CAM. Pada parameter kecepatan kita dapat mengatur kecepatan *spindle* (*spindle speed*), kecepatan pemakanan (*feed rate*), kecepatan turun (*plunge rate*) dan kecepatan angkat (*retract rate*).



Gambar 2.21 Parameter Tool

2. Parameter Pemotongan

Pada parameter pemotongan kita dapat menentukan besarnya kedalaman pemakanan (*stepdown & stepover*), metode pemotongan, material sisa, dan parameter-parameter lain terkait dengan pergerakan *cutting tool* pada saat melakukan pemotongan benda kerja.

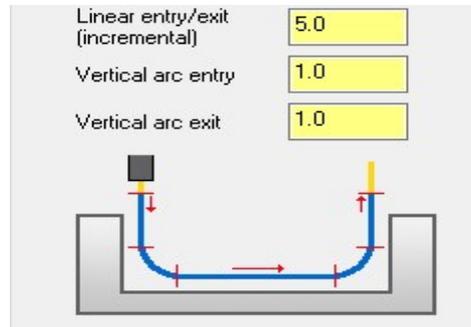


Gambar 2.22 Parameter Pemotongan

3. *Linking Parameters*

Linking parameter mengatur pergerakan *cutting tool* pada saat tidak melakukan gerak pemotongan. Pergerakan *cutting tool* saat masuk dan keluar area kerja, pergerakan *cutting tool* naik dan turun ke area kerja, jarak aman antara komponen mesin dengan benda kerja serta perpindahan *cutting*

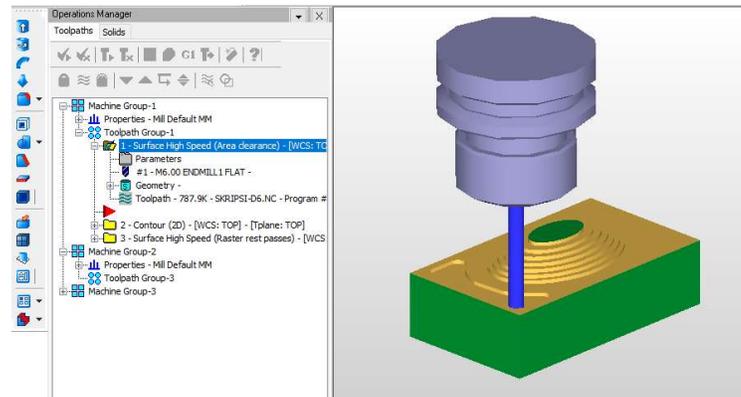
tool antar area kerja dapat diatur untuk menghasilkan gerak perpindahan yang efektif.



Gambar 2.23 Linking Parameter

Setelah parameter-parameter tersebut di-input, *software* akan melakukan perhitungan untuk menghasilkan *toolpath*. Proses ini disebut *generate toolpath*. Setelah itu dihasilkan *toolpath*. *Toolpath* selanjutnya disimulasikan untuk mengecek apakah terjadi *collision*.

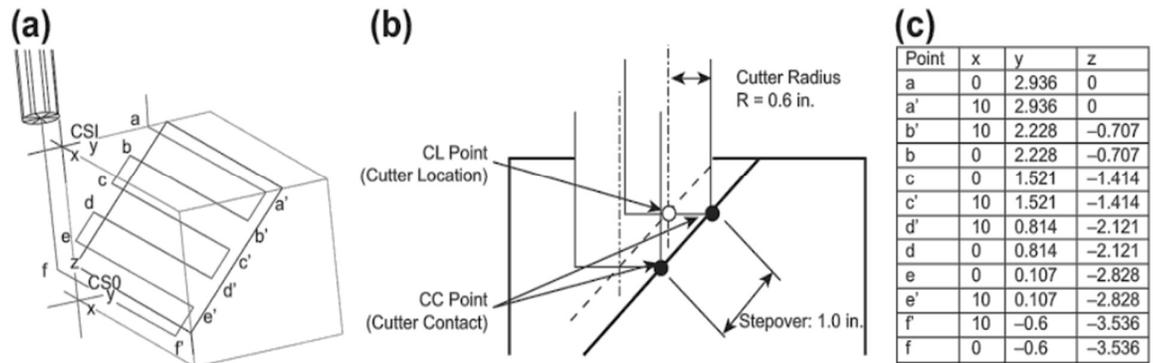
Collision dalam proses CAM adalah kegagalan pemesinan berupa benturan, tabrakan atau dapat berupa pergerakan yang tidak tepat antara komponen mesin dengan benda kerja yang dapat disebabkan oleh kesalahan pemrograman. Simulasi *toolpath* dapat dilakukan dengan mendefinisikan material awal (*stock*) untuk mengetahui letak *collision* pada benda kerja.



Gambar 2.24 Simulasi *Toolpath* dengan *Stock*

Apabila tidak terjadi *collision* pada *toolpath* yang dihasilkan, maka proses CAM dapat dilanjutkan ke pembuatan *G-Code*. Pembuatan *G-Code* menggunakan post processor, yaitu sebuah program yang dapat menerjemahkan *CL Data* menjadi *G-Code*. Dalam sebuah *toolpath* berisi informasi sebagai berikut :

1. *Cutter contact point (CC Point)*, adalah titik kontak antara *cutting tool* dengan benda kerja.
2. *Cutter location point (CL Point)*, adalah letak titik tengah ujung *cutting tool* dalam kordinat X,Y,Z.
3. *Cutter location data (CL Data)*, adalah data letak *CL Point* di tiap-tiap titik pergerakan dalam *toolpath*.



Gambar 2.25 (a) Toolpath, (b) CL Point & CC Point, (c) CL Data [16]

Dapat dilihat dalam gambar 2.25b bahwa *cutter location point (CL Point)* didefinisikan sebagai titik tengah ujung *cutting tool*. Titik ini merepresentasikan posisi *cutting tool* dalam kordinat X,Y,Z. Sementara *cutter contact point (CC Point)* merepresentasikan letak titik pada *cutting tool* yang melakukan kontak dengan benda kerja.

Pada gambar 2.25a terdapat titik di tiap perpindahan gerakan *cutting tool*. Perpindahan posisi *cutting tool* menyebabkan perubahan pada *CL Point* karena telah berada pada kordinat yang berbeda. Perubahan-perubahan kordinat pada *CL Point* ini dicatat dalam *CL Data* seperti pada gambar 2.25c. *CL Data* inilah yang dikonversi menjadi *G-Code*. *G-Code* yang dihasilkan dapat dipindahkan ke mesin CNC untuk dieksekusi.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu , Tempat , dan Subjek Penelitian

Penelitian “Pengaruh Pemilihan Jenis *Cutting tool* terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur pada Pemesinan *Milling 3-Axis*” ini dilaksanakan pada:

1. Waktu : 1 September – 31 Desember 2017
2. Tempat :
 - a. Gedung L Kampus A Universitas Negeri Jakarta

Jl. Rawamangun Muka, Rawamangun, Jakarta Timur, DKI Jakarta, 13220.
 - b. Pirma Tasa

Jl. Pekapuran Gang H. Damon Curug, Cimanggis, Depok, Jawa Barat.
 - c. Laboratorium Otomasi & Manufaktur Universitas Indonesia

Jl. Margonda Raya, Beji, Pondok Cina, Kota Depok, Jawa Barat 16424
3. Subjek Penelitian : Benda Berkontur Konveks/Cembung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. **Komputer**
2. **Perangkat Lunak :**
 - a. Microsoft Word
 - b. Autodesk Inventor
 - c. Mastercam X5
 - d. Cimco V6
3. **Mesin CNC Kamioka VMC-1000 [17]**

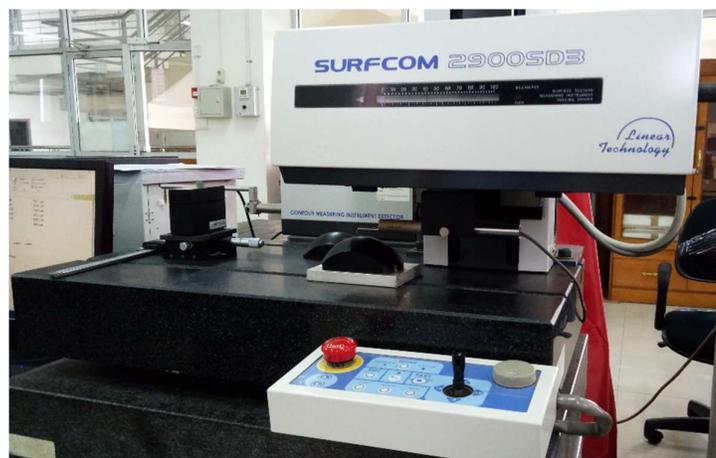


Gambar 3.1 Mesin CNC Kamioka VMC-1000

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin CNC Kamioka VMC-1000

| Parameter | Satuan | Nilai |
|---|--------|----------------------|
| Perpindahan | | |
| XYZ | mm | 1.000/500/530 |
| Meja | | |
| Dimensi | mm | 1.000×500 |
| Beban Maksimum | kg | 700 |
| Spindle | | |
| Kecepatan Maksimal | rpm | 10.000 |
| <i>Spindle Motor</i> | kW | M: 5,5/7,5 F: 7,5/11 |
| <i>Spindle Taper</i> | | BT40 |
| Kecepatan Makan (<i>Feed Rate</i>) | | |
| Rentang <i>Feed Rate</i> | mm/min | 1~10.000 |
| Laju Maksimal pada Sumbu X | mm/min | 30.000 |
| Laju Maksimal pada Sumbu Y | mm/min | 30.000 |
| Laju Maksimal pada Sumbu Z | mm/min | 24.000 |
| Pengganti <i>Tool</i> Otomatis | | |
| Kapasitas <i>Tool</i> | pcs | 24 |
| Diameter Maksimal <i>Tool</i> | mm | Ø80 |
| Panjang Maksimal <i>Tool</i> | mm | 300 |
| Berat Maksimal <i>Tool</i> | kg | 7 |

4. Alat Uji Kekasaran Surfcom 2900SD3-12



Gambar 3.2 Surfcom 2900SD3-12

Tabel 3.2 Spesifikasi Surfcom 2900SD3-12 [18]

| | | |
|---------------------|--|--|
| Panjang Pengukuran | Sumbu Z (Vertikal) | 50 mm |
| | Sumbu X (Horizontal) | 100 mm |
| Kecepatan | Kecepatan naik turun (Sumbu Z) | 10 mm/s |
| | Kecepatan Pengukuran (Sumbu X) | 0,03 mm/s to 20 mm/s |
| | Kecepatan Pergerakan (Sumbu X) | 60 mm/s max. |
| Metode Penginderaan | Sumbu X (horizontal) | Skala <i>Linear</i> |
| | Detektor Kekasaran | Induktansi Diferensial |
| | Detektor Kontur | <i>Laser Optical Diffraction Scale</i> |
| Detektor Kekasaran | Gaya Pengukuran <i>Stylus</i> | 0,75 mN (dapat diganti) |
| | Radius <i>Stylus</i> (Material <i>Stylus</i>) | 2 μ mR (kerucut berlian 60°) |
| Detektor Kontur | Gaya Pengukuran <i>Stylus</i> | 10-30 mN atau lebih kecil |
| | Radius <i>Stylus</i> (Material <i>Stylus</i>) | 25 μ mR (kerucut <i>carbide</i> 24°) |
| Lain-Lain | Panjang x Lebar x Tinggi | 1.250 x 800 x 1.480 (mm) |
| | Berat | 225 kg |
| | <i>Power Suply</i> | <i>Single Phase AC 100V</i> |

5. Flat End mill Ø6 mm Speed Tiger [19]



Gambar 3.3 Flat End mill

Diameter *Cutting tool* : 6 mmJumlah Mata Pisau (*Flute*) : 4Diameter *Shaft* : 6 mm

Panjang Pemotongan : 30 mm

Panjang Total : 75 mm

Material : *Carbide*

6. Ball End mill Ø6 mm R3 Speed Tiger [19]



Gambar 3.4 Ball End mill

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Diameter <i>Cutting tool</i> | : 6 mm |
| Radius <i>Cutting tool</i> | : 3 mm |
| Jumlah Mata Pisau (<i>Flute</i>) | : 4 |
| Diameter <i>Shaft</i> | : 6 mm |
| Panjang Pematangan | : 10 mm |
| Panjang Total | : 50 mm |
| Material | : Carbide |

7. Bull Nose End mill Ø6 mm R2 Speed Tiger [19]



Gambar 3.5 Bull Nose End mill

| | |
|------------------------------------|--------|
| Diameter <i>Cutting tool</i> | : 6 mm |
| Radius <i>Cutting tool</i> | : 2 mm |
| Jumlah Mata Pisau (<i>Flute</i>) | : 4 |

| | |
|-----------------------|------------------|
| Diameter <i>Shaft</i> | : 6 mm |
| Panjang Pemotongan | : 15 mm |
| Panjang Total | : 100 mm |
| Material | : <i>Carbide</i> |

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Acetal Copolymer. Acetal digunakan sebagai *raw material* atau *stock* pada proses pemesinan. *Acetal* adalah bahan termoplastik dengan nama kimia PolyOxy-Methylene yang mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi, tahan aus serta memiliki koefisien gesek yang rendah sebesar 0,35. Material ini tahan terhadap cairan basa, bensin, alkohol dan pelumas. Aplikasi dari acetal yaitu pada komponen seperti *bearing*, *fitting*, roda gigi dan lain-lain.

Acetal yang digunakan pada pemesinan ini berbentuk balok dengan panjang 92 mm, lebar 51 mm dan tinggi 48 mm. Tabel 3.3 memuat sifat fisik dan mekanik dari acetal.

Tabel 3.3 *Properties* dari Acetal [20]

| <i>Properties</i> | Nilai | Satuan |
|------------------------|----------|-------------------|
| Fisik | | |
| Massa Jenis | 1,41 | g/cm ³ |
| Penyerapan Air, 24 jam | 0,2 | % |
| Mekanik | | |
| Kekuatan Tarik | 9.500 | psi |
| Modulus Tarik | 400.000 | psi |
| Regangan | 30 | % |
| Kekuatan Lentur | 12.000 | psi |
| Modulus Lentur | 400.000 | psi |
| Kekerasan, Rockwell | M88/R120 | |

3.3 Varian Model

Pada penelitian ini terdapat tiga konfigurasi pemilihan jenis *cutting tool*. Pada pembuatan benda berkontur ini, pemakanan material menggunakan metode *end milling*. *Cutting tool* yang umum digunakan pada metode *end milling* adalah *flat end mill*, *ball end mill* dan *bullnose end mill*. Masing-masing *cutting tool* memiliki bentuk dan fungsinya masing-masing.

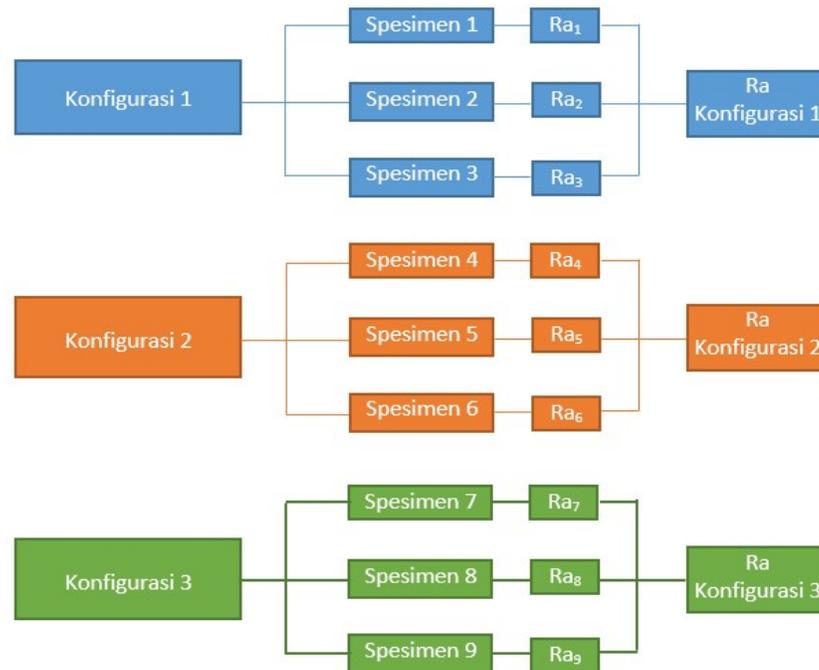
Oleh karena itu, dipilih ketiga jenis *cutting tool* tersebut, lalu dikombinasikan sehingga menghasilkan tiga konfigurasi/susunan *cutting tool* untuk proses *roughing* dan *finishing*. Tabel 3.4 memuat konfigurasi pemilihan *cutting tool* yang digunakan pada proses *roughing* dan *finishing*.

Tabel 3.4 Konfigurasi Pemilihan *Cutting tool*

| Konfigurasi | <i>Cutting tool</i> | Gambar |
|-------------|---|---|
| 1 | <i>Roughing : Flat End mill</i> <i>Finishing : Ball End mill</i> |  |
| 2 | <i>Roughing : Flat End mill</i> <i>Finishing : Bullnose End mill</i> |  |
| 3 | <i>Roughing : Bullnose End mill</i> <i>Finishing : Bullnose End mill</i> |  |

Dari ketiga konfigurasi tersebut dihasilkan tiga variasi sampel. Tiap variasi sampel memiliki tiga spesimen yang masing-masing memiliki nilai Ra berbeda-beda. Nilai Ra dari ketiga spesimen tersebut dijumlah dan

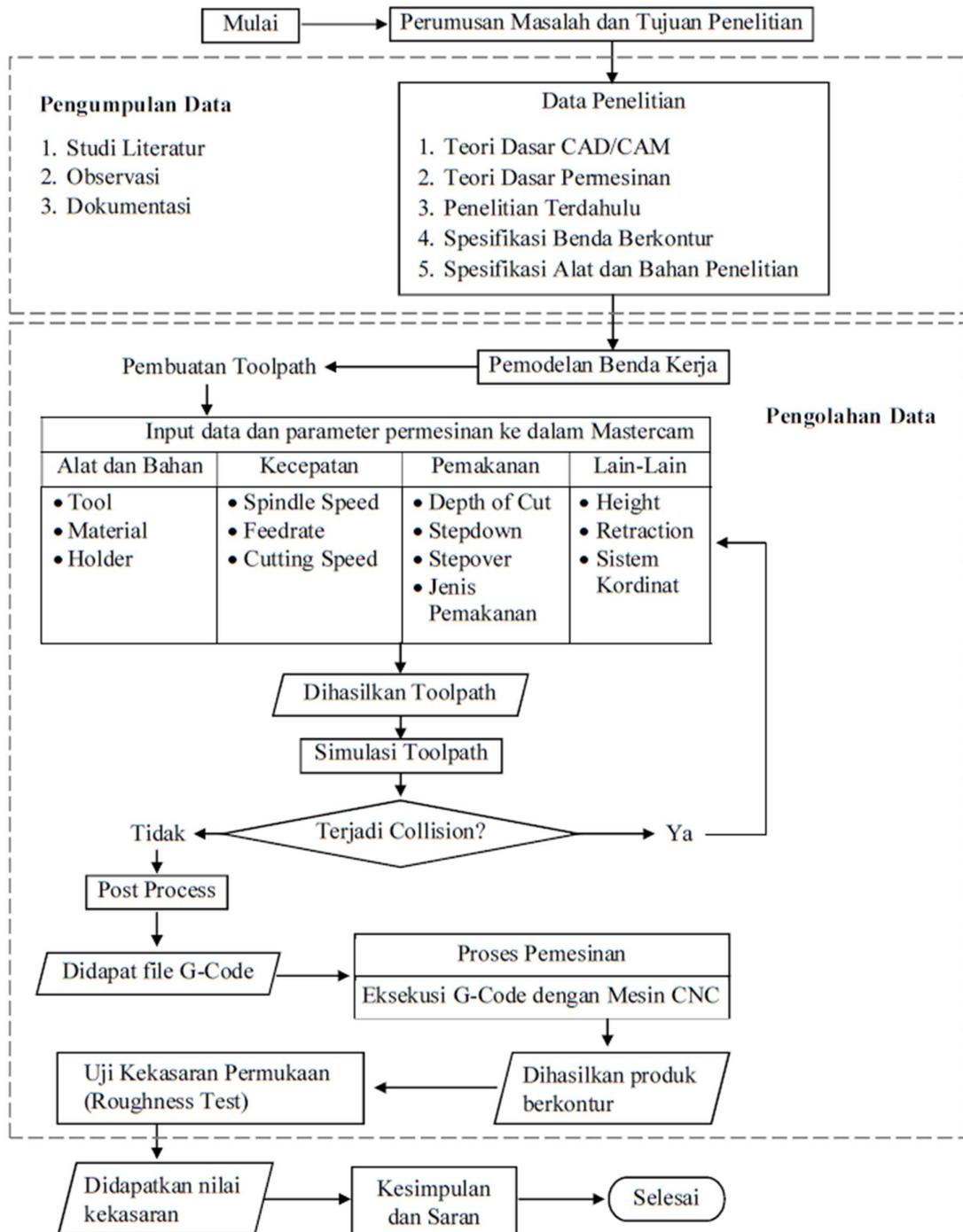
dibagi tiga untuk menghasilkan rata-rata nilai Ra pada suatu konfigurasi. Rata-rata nilai Ra ini akan merepresentasikan nilai Ra yang dihasilkan pada suatu konfigurasi pemilihan jenis *cutting tool*.



Gambar 3.6 Bagan Variasi Sampel

3.4 Prosedur Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, diperlukan langkah-langkah yang disusun secara sistematis baik dalam pengumpulan data maupun pengolahan data. Oleh karena itu, penulis menyusun diagram alir penelitian untuk menggambarkan bagaimana prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini. Diagram alir penelitian menjadi acuan penulis dalam melaksanakan langkah-langkah penelitian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.7 seperti berikut :



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Dokumentasi Penulis, 2017

3.5 Uraian Diagram Alir Penelitian

3.5.1 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Pada bagian ini dilakukan pembahasan mengenai masalah yang ditemukan oleh peneliti dalam proses pemesinan benda berkontur. Masalah yang ditemui adalah penggunaan pemesinan *3-axis* untuk membuat benda berkontur. Dengan melakukan pengumpulan data, diidentifikasi beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil pemesinan benda berkontur.

Selanjutnya, dicari tindakan solutif untuk mengetahui pengaruh dari parameter yang diamati terhadap hasil pemesinan benda berkontur. Dari perumusan masalah tersebut menghasilkan tujuan penelitian. Tujuan penelitian dipaparkan guna mengetahui kerangka berpikir penelitian dan solusi permasalahan yang tepat.

3.5.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mempermudah penulis dalam proses pengolahan data. Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan cara studi literatur, observasi dan dokumentasi. Dihasilkan data-data penunjang penelitian seperti teori dasar pemesinan, teori dasar CAD/CAM, spesifikasi alat dan bahan penelitian dan lain-lain.

3.5.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini terbagi menjadi empat proses utama yaitu pemodelan benda kerja, *computer aided manufacturing*, pemesinan CNC dan pengujian kekasaran. Keempat proses tersebut menghasilkan data yang dapat diolah lebih lanjut pada proses berikutnya.

1. **Pemodelan Benda Kerja**

Proses pemodelan benda menggunakan metode *computer aided design*, yaitu pemodelan suatu objek menggunakan bantuan komputer. Teknik pemodelan yang digunakan adalah *solid modelling* sehingga *output* yang dihasilkan adalah bentuk *solid*/tiga dimensi dari benda berkontur. Pemodelan benda menggunakan *software* Autodesk Inventor. Model tiga dimensi yang dihasilkan kemudian di-*import* ke dalam *software* Mastercam untuk dilakukan proses *computer aided manufacturing*.

2. **Computer aided manufacturing**

Proses CAM adalah perancangan proses pemesinan menggunakan bantuan komputer yang menghasilkan *output* berupa *G-Code*. *G-Code* adalah program yang berisi perintah-perintah untuk menggerakkan mesin CNC.

Rancangan proses pemesinan dalam penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap yaitu *Roughing*, *Finishing* Kontur 2D dan *Finishing* Kontur 3D. Masing-masing tahap memiliki nilai parameter pemesinan yang berbeda sesuai dengan fungsi dari proses itu sendiri. Namun proses pemesinan yang terjadi di tiap spesimen benda berkontur adalah sama.

Tahap dalam proses CAM dimulai dari setting titik nol pemesinan, menentukan batasan pemesinan, menentukan parameter pemesinan seperti parameter tool, kecepatan, pemakanan dan *linking* parameter lalu dihasilkan *toolpath*, kemudian *toolpath* dikonversi menjadi *G-Code* menggunakan *post processor*. Dihasilkanlah *G-Code*.

3. Pemesinan CNC

Proses pemesinan CNC menggunakan metode *milling 3-axis*. *G-Code* yang dihasilkan pada proses CAM dieksekusi menggunakan mesin CNC *3-axis*. Rancangan proses pemesinan pada proses CAM adalah sama dengan proses pemesinan aktual yang terjadi. Proses pemesinan CNC terdiri dari tiga tahap utama yaitu pemindahan *file G-Code* ke mesin, setting titik nol, pemanggilan *file G-Code* dan eksekusi *file G-Code*.

Dari proses pemesinan ini dihasilkan benda berkontur yang memiliki nilai kekasaran permukaan tertentu. Untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan suatu spesimen benda berkontur, diperlukan pengujian kekasaran permukaan yang dipaparkan dalam poin selanjutnya.

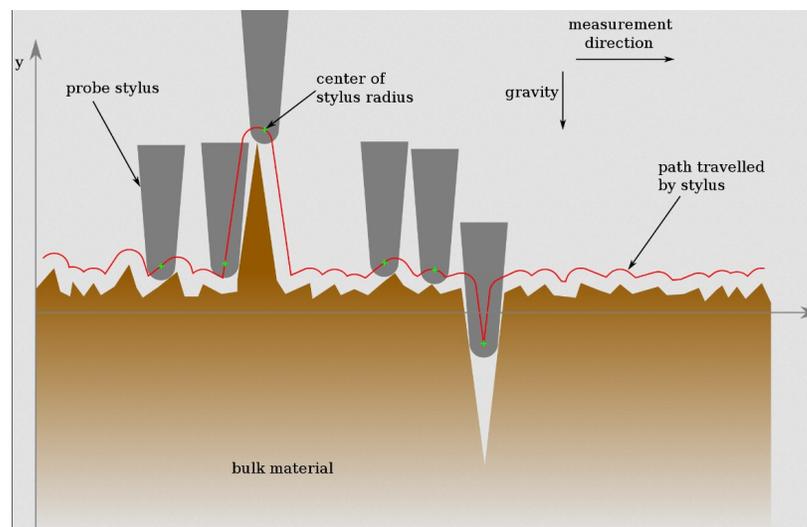
4. Pengujian Kekasaran

Permukaan benda apabila diperbesar dengan skala mikro memiliki profil berupa puncak dan lembah yang mempengaruhi nilai kekasarannya. Dalam pemesinan *milling*, profil ini dihasilkan oleh *cusps*, yaitu material sisa yang tidak dapat dihilangkan pada proses pemesinan. Besarnya ukuran *cusps* ini dipengaruhi oleh bentuk *cutting tool*, kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan.

Prinsip pengujian kekasaran adalah pengukuran tinggi dan kedalaman *cusps* pada permukaan benda terhadap garis normalnya. Detektor untuk mengukur tinggi dan kedalaman *cusps* adalah *stylus*. *Stylus* menyentuh permukaan benda, lalu digerakan horizontal sepanjang rentang pengukuran. Profil kekasaran benda memberikan sinyal fisik yang membuat

stylus bergerak naik turun sesuai tinggi puncak dan kedalaman lembah pada profil tersebut.

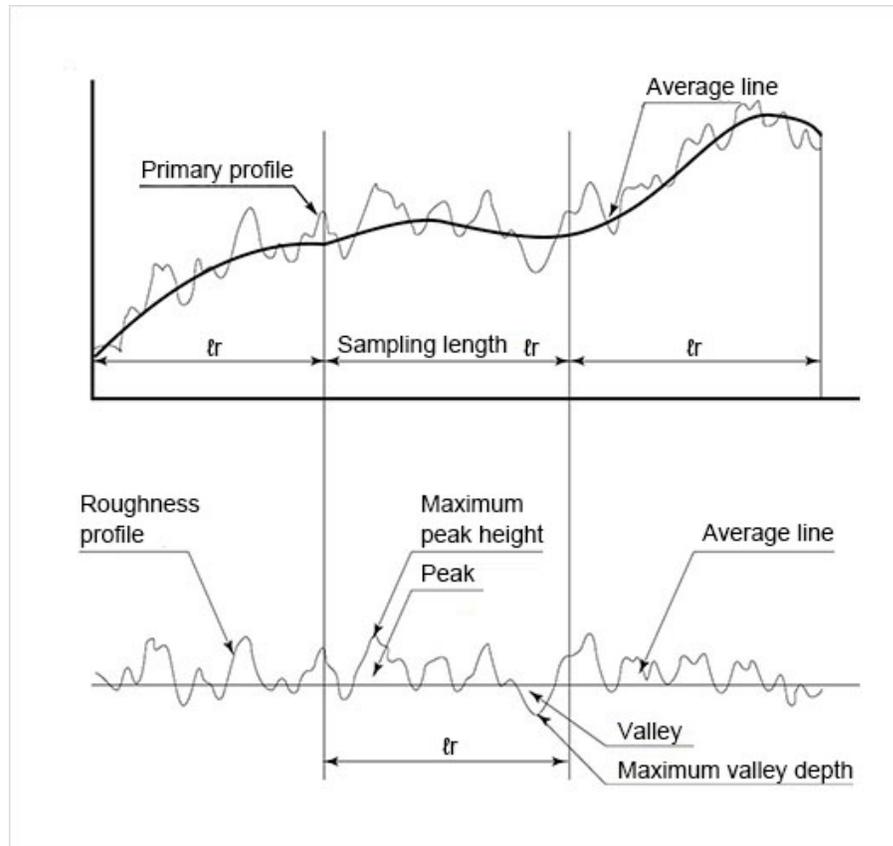
Pada gambar 3.8 lintasan yang terbentuk oleh *stylus* berbeda dengan profil kekasaran karena titik acuan berada pada titik tengah radius *stylus*. Selain itu, profil yang lebarnya lebih kecil dari diameter *stylus* tidak akan terukur secara akurat. Hanya profil yang memiliki lebar sama atau lebih dari diameter *stylus* yang dapat diukur secara akurat oleh *stylus*. Maka dari itu, semakin kecil diameter *stylus* semakin akurat profil kekasaran yang dapat diukur.



Gambar 3.8 Pengukuran Kekasaran Benda [22]

Dalam suatu rentang pengukuran, terdapat sejumlah *cusps* yang memiliki tinggi dan kedalaman berbeda-beda terhadap garis normalnya (*average line*). Data tinggi dan kedalaman *cusps* ini kemudian dijumlah lalu dibagi dengan banyaknya puncak dan lembah *cusps* yang terdapat dalam rentang pengukuran tersebut. Sehingga dihasilkan nilai rata-rata tinggi dan

kedalaman *cusps* terhadap garis normalnya. Nilai ini yang kemudian dijadikan sebagai nilai Ra (*Roughness Average*).



Gambar 3.9 Profil Kekasaran Permukaan Berkontur [23]

Pada permukaan berkontur, profil kekasaran memiliki kurvatur normal yang dapat dikonversi menjadi garis normal dengan menghitung jarak titik puncak dan kedalaman maksimal lembah terhadap kurvatur normal. Sehingga posisi puncak dan lembah dapat direpresentasikan dalam sebuah grafik yang memuat garis normal sebagai acuannya. Data hasil pengujian kekasaran pada penelitian juga menggunakan grafik yang memuat garis normal sebagai acuannya.

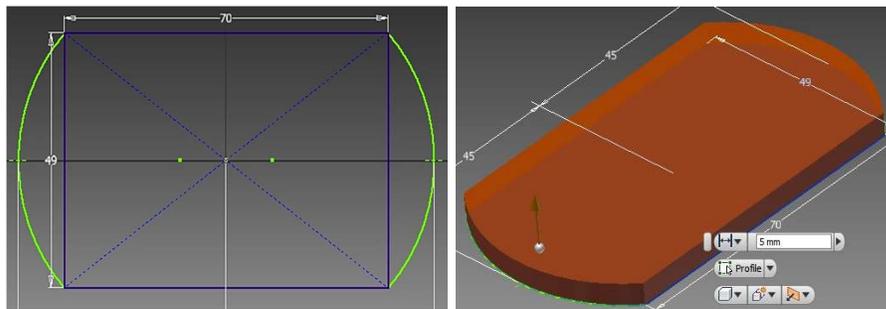
BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 CAD Model

Pemodelan benda kerja dilakukan menggunakan *software Autodesk Inventor*. Tahap awal pemodelan benda adalah dengan membuat *sketch*. *Sketch* untuk bagian dasar benda kerja dibuat pada bidang XY dengan bentuk dasar persegi panjang, ukuran panjang 70 mm lebar 49 mm.

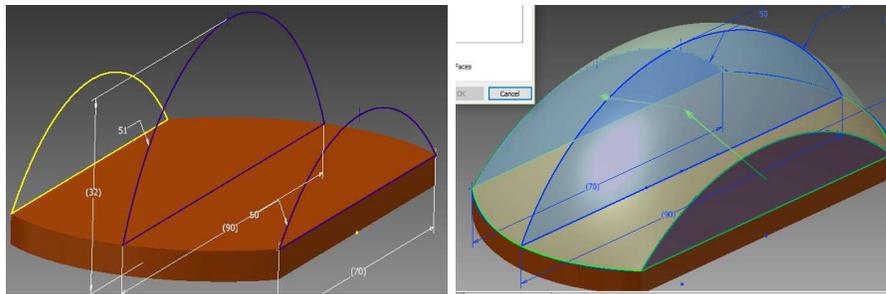
Selanjutnya dibuat busur (*arc*) dengan radius 35 mm pada kedua ujung persegi panjang. Sehingga panjang total persegi panjang menjadi 90 mm. Setelah *sketch* dibuat, dilakukan *extrude* dengan tinggi 5 mm. Gambar 4.1 menunjukkan geometri *sketch* bagian dasar dan hasil *extrude*.



Gambar 4.1 Sketch dan Extrude

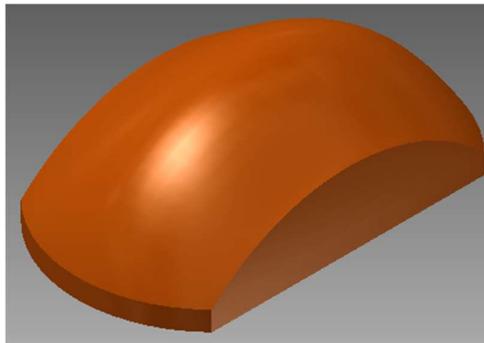
Selanjutnya adalah membuat *sketch* untuk kontur tiga dimensi. *Sketch* untuk kontur tiga dimensi dibuat dengan menggabungkan tiga buah *sketch* yang sejajar terhadap bidang XZ.

Ketiga *sketch* tersebut terdiri dari dua buah *sketch* samping yang berbentuk tembereng dengan ukuran panjang 70 mm dan radius kelengkungan 50 mm serta satu buah *sketch* tengah yang juga berbentuk tembereng dengan panjang 90 mm dan radius kelengkungan 51 mm. Penggabungan *sketch* dilakukan dengan metode *loft* sehingga menghasilkan profil padat (*solid profile*). Gambar 4.2 menjelaskan bagaimana tahap penggabungan *sketch* menggunakan metode *loft*.



Gambar 4.2 Sketch Kontur dan Loft

Model tiga dimensi dari benda kerja telah selesai. Penelitian dapat dilanjutkan ke proses *computer aided manufacturing* untuk mendapatkan program NC atau *G-Code*.



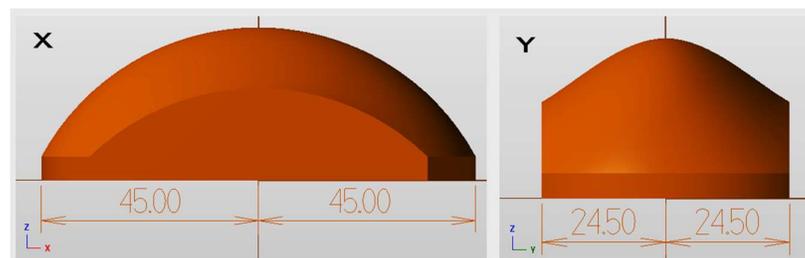
Gambar 4.3 Model 3D Benda Kerja

4.2 CAM

Pembuatan *toolpath* dan program NC dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *software* Mastercam X5. Pada penelitian ini terdapat tiga buah *toolpath* yang terdiri dari *toolpath roughing*, *toolpath finishing* kontur 2D dan *toolpath finishing* kontur 3D. Kontur 2D terletak di sisi depan, belakang dan kedua sisi samping benda kerja. Kontur 3D terletak pada permukaan atas benda kerja. Berikut ini adalah penjabaran dari langkah-langkah pembuatan *toolpath* dan *G-Code* pada Mastercam X5.

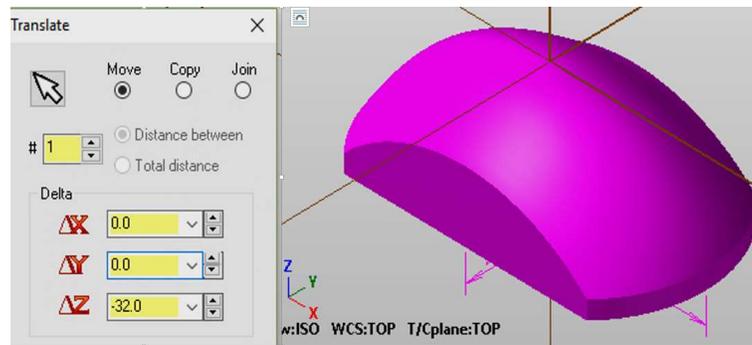
4.2.1 Pengaturan Titik Nol

Titik nol *software* mastercam diatur agar terletak di titik teratas benda kerja. Diketahui titik teratas benda kerja berada di tengah benda kerja terhadap bidang XY. Permukaan dasar benda kerja berhimpitan dengan bidang XY. Jarak antara kedua ujung benda kerja (pada sumbu X dan Y) terhadap titik nol *software* telah sama. Dengan kondisi seperti ini, yang perlu dilakukan adalah memindahkan benda kerja ke arah sumbu Z negatif sebesar tinggi total benda kerja. Diketahui tinggi total benda kerja adalah 32 mm.



Gambar 4.4 Letak Benda Kerja terhadap Bidang XY

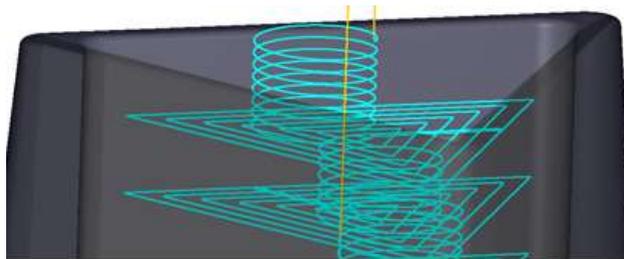
Pemindahan benda kerja dapat dilakukan dengan menu “*X-Form Translate*”. Masukan angka -32 di tab ΔZ untuk memindahkan benda kerja ke arah sumbu Z negatif sebesar tinggi total benda kerja. Benda kerja berpindah dengan titik teratas benda berada pada titik nol *software* mastercam. Titik nol pemesinan telah terdefinisi.



Gambar 4.5 Pemindahan Benda Kerja

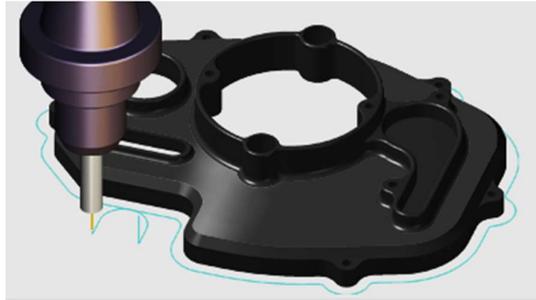
4.2.2 Menentukan Strategi Pemesinan

Strategi pemesinan untuk proses *roughing* adalah *Area clearance*, yaitu *roughing* dengan cara menghabiskan material pada area kerja untuk dihasilkan bentuk menyerupai desain yang diinginkan.



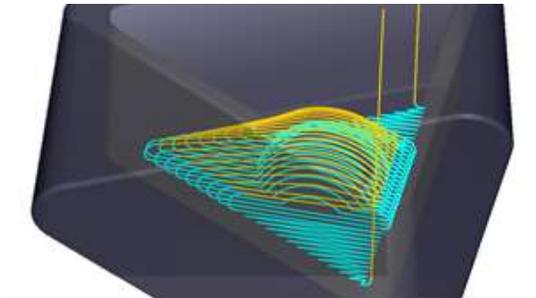
Gambar 4.6 Ilustrasi Toolpath Area clearance

Untuk proses *finishing* kontur 2D digunakan strategi pemesinan **2D Contour**, yaitu proses pemakanan material mengikuti jalur kontur dua dimensi seperti diilustrasikan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Ilustrasi *Toolpath 2D Contour*

Untuk proses *finishing* kontur 3D pada permukaan atas menggunakan strategi pemesinan **Raster**, yaitu proses *finishing* kontur dengan pemakanan secara bolak-balik.

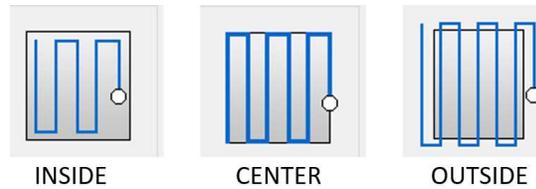


Gambar 4.8 Ilustrasi *Toolpath Raster*

4.2.3 Menentukan Batasan Pemesinan

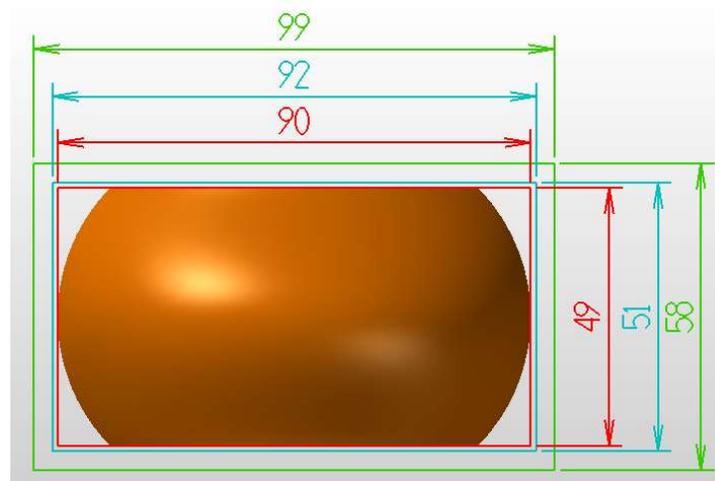
Containment atau batasan pemesinan adalah daerah tertutup yang membatasi ruang lingkup pergerakan *tool*. *Tool* tidak akan melakukan pergerakan di luar *containment*, kecuali pada jenis *tool containment outside*. Pada jenis *tool containment outside*, pergerakan *tool* dibatasi oleh besarnya

offset di luar *containment*. Gambar 4.9 menunjukkan jenis-jenis *containment* yang terdapat dalam *software* mastercam.



Gambar 4.9 Jenis Tool Containment

Pada proses *roughing* ini, *containment* berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 99 mm lebar 58 mm. Ukuran ini disesuaikan dengan panjang dan lebar terluar pada *stock* (material awal) serta diameter *tool* yang digunakan. Panjang dan lebar terluar *stock* masing-masing adalah 92 mm dan 51 mm. Diameter *tool* 6 mm.



Gambar 4.10 Containment

Kotak merah adalah ukuran panjang dan lebar desain benda kerja. Kotak biru adalah ukuran panjang dan lebar material awal. Kotak hijau adalah ukuran panjang dan lebar *containment*. *Tool containment* diatur

center, maka pada tiap sisi pada *stock* harus dilebihkan setengah dari diameter *tool*, yaitu 3 mm. sehingga daerah *containment* minimal adalah,

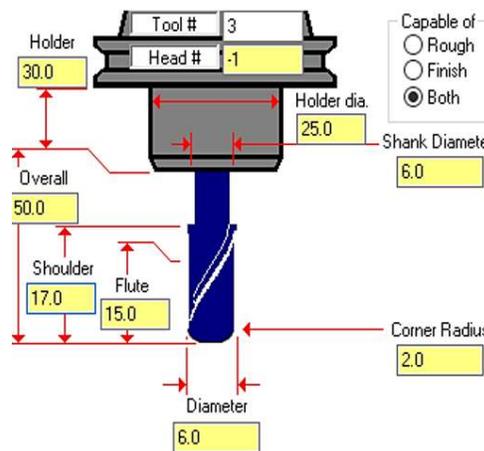
Panjang : $92 \text{ mm} + 3 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 98 \text{ mm}$.

Lebar : $51 \text{ mm} + 3 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 57 \text{ mm}$.

Namun untuk memberikan jarak aman pada saat *tool* masuk dan keluar dari area kerja, diberikan *offset* sebesar 0.5 mm di tiap sisi sehingga ukuran *containment* adalah $99 \times 58 \text{ mm}$.

4.2.4 Menentukan Parameter *Cutting tool*

Terdapat tiga jenis *cutting tool* yang digunakan pada penelitian ini. Gambar 4.11 menampilkan metode *input* ukuran *cutting tool* pada Mastercam X5.



Gambar 4.11 Ukuran *Cutting tool*

Adapun ukuran masing-masing *cutting tool* di-*input* dengan ukuran sebagai berikut.

1. ***Flat End mill***

| | | | |
|-------------------|---------|-----------------|---------|
| Diameter | : 6 mm | <i>Shoulder</i> | : 32 mm |
| <i>Shank Dia.</i> | : 6 mm | <i>Overall</i> | : 50 mm |
| <i>Flute</i> | : 30 mm | | |

2. ***Ball End mill***

| | | | |
|----------------------|--------|-----------------|---------|
| Diameter | : 6 mm | <i>Shoulder</i> | : 32 mm |
| <i>Shank Dia.</i> | : 6 mm | <i>Overall</i> | : 50 mm |
| <i>Corner radius</i> | : 3 mm | <i>Flute</i> | : 30 mm |

3. ***Bullnose End mill*** :

| | | | |
|----------------------|--------|-----------------|---------|
| Diameter | : 6 mm | <i>Shoulder</i> | : 12 mm |
| <i>Shank Dia.</i> | : 6 mm | <i>Overall</i> | : 30 mm |
| <i>Corner radius</i> | : 2 mm | <i>Flute</i> | : 10 mm |

4.2.5 Menentukan Parameter Kecepatan

Parameter kecepatan yang harus di-*input* dalam Mastercam terdiri dari *feed rate*, *spindle speed*, *plunge rate* dan *retract rate*. Untuk menentukan nilai dari parameter-parameter tersebut, terdapat data rekomendasi kondisi pemakanan (*cutting condition*) pada pemesinan untuk jenis plastik acetal. Berikut adalah data rekomendasi tersebut.

Tabel 4.1 Data Kondisi Pemakanan untuk Plastik [21]

| Operasi Pemesinan | | Milling | | |
|---------------------------------|----------------------|--|--------------|------------|
| | | α = Clearance Angle γ = Rake Angle V = Cutting Speed Pemakanan dapat mencapai 0,02 in/tooth. Untuk Sintimid, gunakan pemakanan senilai 0,01 in/tooth untuk roughing, dan 0,002 in/tooth untuk finishing | | |
| Nama Dagang | Material | α (°) | γ (°) | V (ft/min) |
| Tecanat | Polycarbonate | 10-20 | 5-15 | 950 |
| Tecaran | ABS | 5-10 | 0-10 | 950-1600 |
| Tecast Vekton | Cast Nylon 6 | 10-20 | 5-15 | 800-1600 |
| Tecason S | Polysulfone | 2-10 | 1-5 | 800-1600 |
| Tecaflon | PVDF | 5-15 | 5-15 | 800-1600 |
| Tecamid | Nylon 6/6 | 10-20 | 5-15 | 800-1600 |
| Tecaform | Acetal | 5-15 | 5-15 | 800-1600 |
| Tecapet | PET | 5-15 | 5-15 | 950 |
| Delrin | Acetal Homopolymer | 5-15 | 5-15 | 800-1600 |
| Noryl | PPO | 10-20 | 5-15 | 950 |
| Tecapeek | Polyetheretherketone | 5-15 | 5-15 | 550-750 |
| Ultem | Polyetherimide | 15 | 5 | 650-1300 |
| Sintimid | Polyimide | 5-20 | 5-15 | 300-800 |
| Reinforced Engineering Plastics | | 15-30 | 6-10 | 250-350 |

Berdasarkan data di atas, dapat diketahui nilai pemakanan untuk acetal dapat mencapai 0,02 in/tooth atau 0,5 mm/tooth. Sementara untuk *cutting speed* pada *acetal* berada pada rentang 800-1600 ft/min atau sebesar 243.840 – 487.680 mm/min. Dari nilai kedua parameter tersebut, dibatasi parameter untuk *roughing* dan *finishing* sebagai berikut.

Roughing

Feed (F_z) : 0,1 mm/tooth

Cutting Speed (V_c) : 100.000 mm/min

Finishing

Feed (F_z) : 0,0625 mm/tooth

Cutting Speed (V_c) : 115.000 mm/min

Sehingga dapat dihitung *feed rate* dan *spindle speed* seperti berikut.

Roughing

Spindle Speed (N)

Feed Rate (Fz)

$$V_c = \pi \cdot D \cdot N \text{ (mm/min)}$$

$$V_f = F_z \cdot z \cdot N \text{ (mm/tooth)}$$

$$N = \frac{V_c}{\pi \cdot D} \text{ (rpm)}$$

$$V_f = 0,1 \cdot 4 \cdot 5000 \text{ mm/min}$$

$$N = \frac{100.000}{3,14 \cdot 6} \text{ (rpm)}$$

$$V_f = 2000 \text{ mm/min}$$

$$N = 5.307,8 \text{ rpm (diambil } N = 5.000 \text{ rpm)}$$

Finishing

Spindle Speed (N)

Feed Rate (Fz)

$$V_c = \pi \cdot D \cdot N \text{ (mm/min)}$$

$$V_f = F_z \cdot z \cdot N \text{ (mm/tooth)}$$

$$N = \frac{V_c}{\pi \cdot D} \text{ (rpm)}$$

$$V_f = 0,0625 \cdot 4 \cdot 6000 \text{ (mm/min)}$$

$$N = \frac{115.000}{3,14 \cdot 6} \text{ (rpm)}$$

$$V_f = 1500 \text{ mm/min}$$

$$N = 6.104,03 \text{ rpm (diambil } N = 6.000 \text{ rpm)}$$

Untuk *plunge rate* diberi nilai 750 mm/min untukantisipasi menghindari kegagalan pemesinan akibat kecepatan turun yang terlalu besar. Sebaliknya pada *retract rate* diberi nilai cukup besar yaitu 2500 mm/min karena pada program telah diberi pergerakan *lead out*, sehingga *cutting tool* diangkat di daerah luar area kerja dan tidak akan membahayakan area kerja.

Tabel 4.2 s/d 4.4 memuat keempat parameter pemesinan pada masing-masing proses.

Tabel 4.2 Parameter Kecepatan *Roughing*

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|----------------------|-------------|
| 1 | <i>Feed Rate</i> | 2000 mm/min |
| 2 | <i>Spindle Speed</i> | 5000 rpm |
| 3 | <i>Plunge Rate</i> | 750 mm/min |
| 4 | <i>Retract Rate</i> | 2500 mm/min |

Tabel 4.3 Parameter Kecepatan *Finishing Kontur 2D*

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|----------------------|-------------|
| 1 | <i>Feed Rate</i> | 1500 mm/min |
| 2 | <i>Spindle Speed</i> | 6000 rpm |
| 3 | <i>Plunge Rate</i> | 750 mm/min |
| 4 | <i>Retract Rate</i> | 2500 mm/min |

Tabel 4.4 Parameter Kecepatan *Finishing Kontur 3D*

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|----------------------|-------------|
| 1 | <i>Feed Rate</i> | 1500 mm/min |
| 2 | <i>Spindle Speed</i> | 6000 rpm |
| 3 | <i>Plunge Rate</i> | 750 mm/min |
| 4 | <i>Retract Rate</i> | 2500 mm/min |

4.2.6 Menentukan Parameter Pemotongan

Parameter pemotongan dalam mastercam terdiri dari :

- A. ***Cutting method*** adalah metode pemakanan benda kerja. Terdapat dua metode seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, yaitu *climb* dan *conventional milling*.
- B. ***Stepdown*** adalah kedalaman pemakanan aksial atau dapat didefinisikan sebagai kedalaman pemakanan terhadap sumbu Z.
- C. ***Stepover*** adalah kedalaman pemakanan *radial* atau dapat didefinisikan sebagai kedalaman pemakanan terhadap sumbu X dan sumbu Y.
- D. ***Stock to leave*** adalah besarnya material sisa yang akan dihasilkan untuk dilakukan pemakanan pada proses pemesinan selanjutnya.
- E. ***Tool containment*** mendefinisikan pada bagian mana *cutting tool* melintasi batas pemesinan (*containment*). Apakah *cutting tool* melintasi *containment* pada sisi luar, dalam atau di tengah *cutting tool* tersebut.
- F. ***Steep/shallow*** adalah parameter yang menentukan kedalaman pemakanan.

Berikut adalah nilai parameter pemotongan dari masing-masing proses yang dimuat dalam tabel 4.5 s/d 4.7.

Tabel 4.5 Parameter Pemotongan *Roughing*

| No. | Parameter | Nilai |
|------------|-------------------------|--|
| 1 | <i>Cutting Method</i> | Climb |
| 2 | <i>Stepdown</i> | 1.5 mm (25% Diameter) |
| 3 | <i>Stepover</i> | 70% Diameter Min: 2.31 mm Max: 4.2 mm |
| 4 | <i>Stock to leave</i> | 0.3 mm |
| 5 | <i>Tool Containment</i> | Center |
| 6 | <i>Steep/shallow</i> | <i>Minimum Depth : 0 mm</i> <i>Maximum Depth : -33 mm</i> |

Tabel 4.6 Parameter Pemotongan *Finishing Kontur 2D*

| No. | Parameter | Nilai |
|------------|-------------------------|--|
| 1 | <i>Cutting Method</i> | Climb |
| 2 | <i>Stepdown</i> | 4 mm |
| 3 | <i>Stepover</i> | Rest Material |
| 4 | <i>Stock to leave</i> | - |
| 5 | <i>Tool Containment</i> | Center |
| 6 | <i>Steep/shallow</i> | <i>Minimum Depth : 0 mm</i> <i>Maximum Depth : -33 mm</i> |

Tabel 4.7 Parameter Pemotongan *Finishing Kontur 3D*

| No. | Parameter | Nilai |
|------------|-------------------------|--|
| 1 | <i>Cutting Method</i> | Climb Zig-zag |
| 2 | <i>Stepdown</i> | Rest Material |
| 3 | <i>Stepover</i> | 0,1 mm |
| 4 | <i>Stock to leave</i> | - |
| 5 | <i>Tool Containment</i> | Center |
| 6 | <i>Steep/shallow</i> | <i>Minimum Depth : 0 mm</i> <i>Maximum Depth : -28 mm</i> |

4.2.7 Menentukan *Linking Parameter*

Linking Parameter adalah parameter yang menentukan pergerakan *tool* saat tidak melakukan pemakanan seperti pada saat *tool* masuk dan keluar area kerja, *tool* turun untuk memulai pemakanan dan *tool* naik setelah melakukan pemakanan.

Berikut adalah *linking parameter* dalam Mastercam X5.

- A. ***Clearance Plane*** adalah ketinggian bidang aman pada pemesian. Bidang aman ini digunakan *cutting tool* untuk *stand by* sebelum dan sesudah melakukan pemesian.
- B. ***Retract*** mendefinisikan besarnya jarak pengangkatan *cutting tool*. Jarak pengangkatan dapat diatur full dan minimal.
- C. ***Part Clearance*** adalah jarak aman antara *tool* dan benda kerja pada saat *cutting tool* melakukan perpindahan antara area kerja satu dengan yang lain.
- D. ***Linear Entry/Exit*** adalah panjang pergerakan *linear tool* pada saat ingin masuk dan keluar area kerja.
- E. ***Vertical Arc Entry/Exit*** adalah radius kurva pada pergerakan *radial tool* pada saat ingin masuk dan keluar area kerja.

Untuk nilai *linking parameter* pada proses *roughing* dan *finishing* kontur 3D adalah sama. Nilai parameter-parameter tersebut dimuat dalam tabel 4.8.

Tabel 4.8 Linking Parameter pada Roughing dan Finishing Kontur 3D

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | <i>Clearance Plane</i> | 50 mm |
| 2 | <i>Retract</i> | <i>Minimum Vertical Retract</i> |
| 3 | <i>Part Clearance</i> | 10 mm |
| 4 | <i>Linear Entry/Exit</i> | 5 mm |
| 5 | <i>Vertical Arc Entry/Exit</i> | 1 mm |

Linking parameter pada proses *finishing* kontur 2D lebih banyak mengatur ketinggian dan jarak-jarak pada pemesinan. Parameter-parameter ini dimuat dalam tabel 4.9 berikut ini.

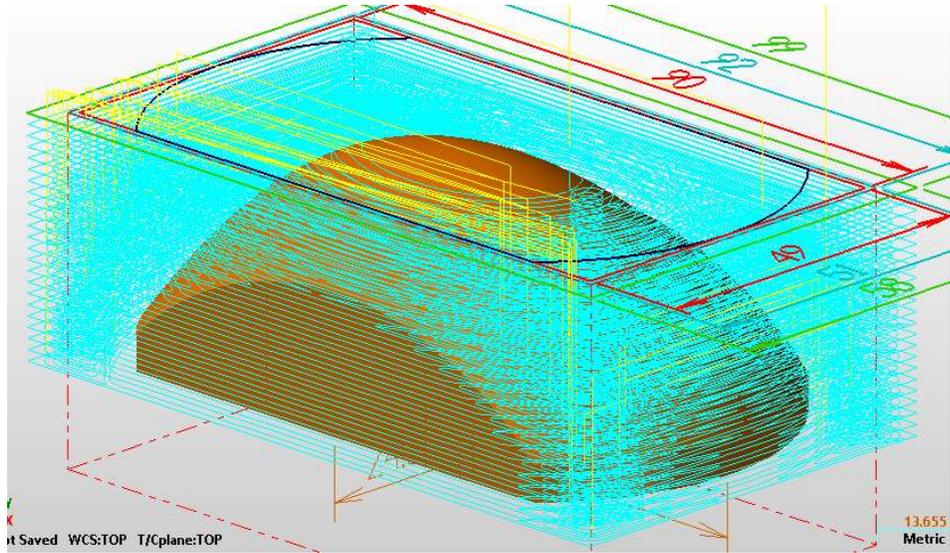
Tabel 4.9 Linking Parameter Finishing Kontur 2D

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|------------------------|---------------|
| 1 | <i>Clearance Plane</i> | 50 mm |
| 2 | <i>Retract</i> | 25 mm |
| 3 | <i>Feed Plane</i> | 0 mm |
| 4 | <i>Top of stock</i> | -12.707275 mm |
| 5 | <i>Depth</i> | -33 mm |

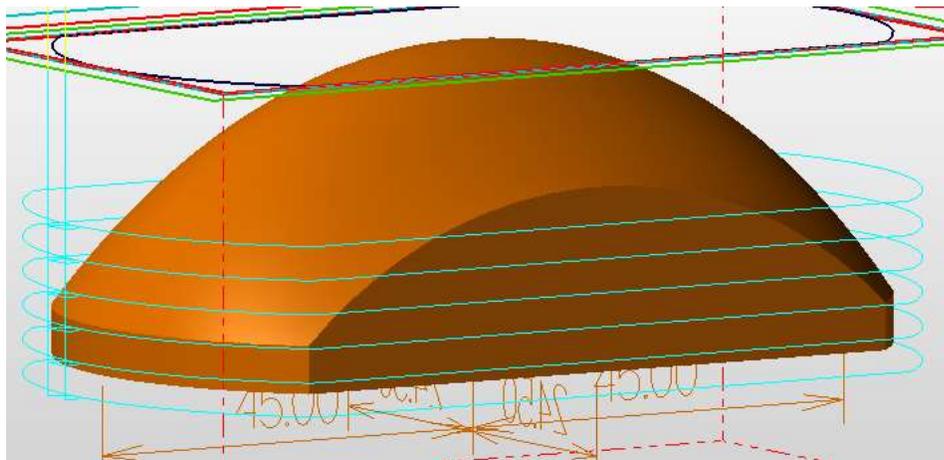
Setelah semua parameter di-*input*, penelitian dapat berlanjut ke proses *generate* dan *posting toolpath*.

4.2.8 Generate dan Simulasi Toolpath

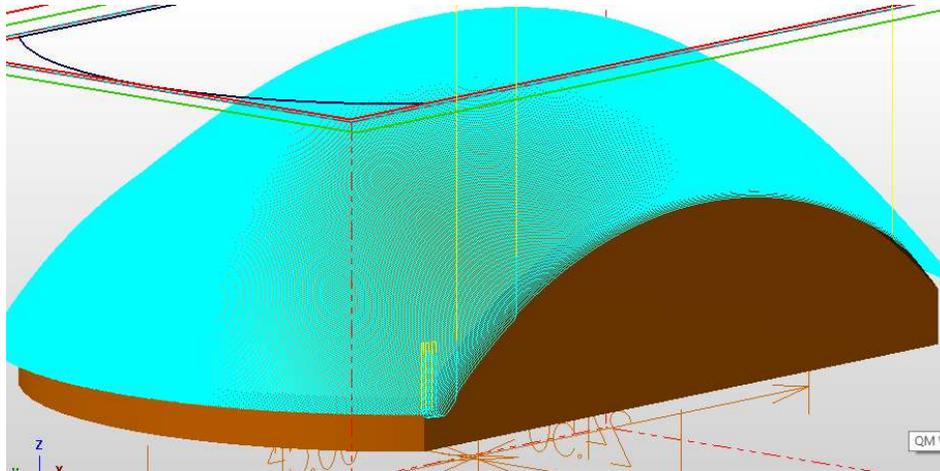
Generate Toolpath dapat dilakukan dengan klik tombol “*generate*” pada *software* Mastercam. Setelah itu akan terlihat lintasan-lintasan yang terbentuk di sekitar benda kerja menandakan *toolpath* berhasil dibuat. Untuk mendapatkan data lebih lanjut seputar waktu pemesinan atau apakah terjadi *collision*, dilakukan simulasi *toolpath*. Gambar-gambar berikut menunjukkan *toolpath* yang terbentuk dan data simulasi *toolpath*.



Gambar 4.12 *Toolpath Roughing*

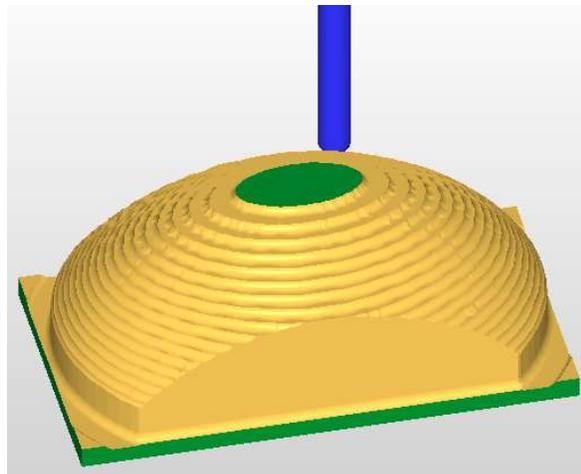


Gambar 4.13 *Toolpath Finishing Kontur 2D*



Gambar 4.14 *Toolpath Finishing Kontur 3D*

Toolpath ditandai dengan lintasan-lintasan berwarna biru pastel. Pada *finishing* kontur 3D, *toolpath* yang dihasilkan sangat rapat sehingga perlu dilakukan *zoom* untuk melihatnya lebih detail. Selanjutnya dapat dilakukan simulasi *toolpath* menggunakan *stock* (material awal) untuk mengecek apakah terjadi *collision*. Semua *toolpath* yang dihasilkan pada penelitian ini *zero collision* artinya tidak terjadi *collision* sama sekali.



Gambar 4.15 Simulasi *Toolpath* dengan *Stock*

Waktu pemesinan pada simulasi *toolpath* di tiap konfigurasi pemilihan *cutting tool* dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Waktu Simulasi *Toolpath*

| No. | Konfigurasi Pemilihan <i>Cutting tool</i> | Waktu Simulasi | Waktu Pemesinan Sebenarnya |
|-----|---|-------------------|----------------------------|
| 1. | <i>Roughing : Flat</i> <i>Finishing : Ball</i> | 58 menit 53 detik | 1 jam 31 menit 46 detik |
| 2. | <i>Roughing : Flat</i> <i>Finishing : Bullnose</i> | 59 menit 24 detik | 1 jam 32 menit 38 detik |
| 3. | <i>Roughing : Bullnose</i> <i>Finishing : Bullnose</i> | 59 menit 58 detik | 1 jam 33 menit 17 detik |

4.2.9 *Posting G-Code*

Tidak ada *collision* yang terjadi pada *toolpath* ini, artinya *toolpath* aman untuk dijalankan pada pemesinan sesungguhnya. Maka dari itu, *toolpath* yang telah dihasilkan diubah menjadi *G-Code*. Proses konversi *toolpath* menjadi *G-Code* disebut *post process*. Program yang menerjemahkan *toolpath* menjadi *G-Code* adalah *post processor*.

Proses konversi *toolpath* menjadi *G-Code* pada Mastercam adalah dengan klik menu “G1” lalu pilih *post processor*. Digunakan *post processor* “Kamioka” yang terdapat pada komputer PT. Pirma Tasa. Selanjutnya klik OK kemudian *G-Code* akan ditampilkan pada *editor* CIMCO V6. Proses *posting G-Code* selesai dan dapat dilanjutkan ke proses pemesinan CNC.

4.3 Proses Pemesinan

Proses pemesinan CNC dilakukan oleh operator mesin CNC pada PT. Pirma Tasa menggunakan mesin Kamioka VMC1000 dengan kontrol Mitsubishi M70. Diproduksi sembilan buah benda kerja sehingga dalam sebuah konfigurasi pemilihan *cutting tool*, terdapat tiga buah sampel untuk diuji nilai kekasarannya. Berikut adalah tahap-tahap pemesinan CNC yang dilakukan pada PT. Pirma Tasa.

4.3.1 *Setting* Titik Nol (X0,Y0,Z0)

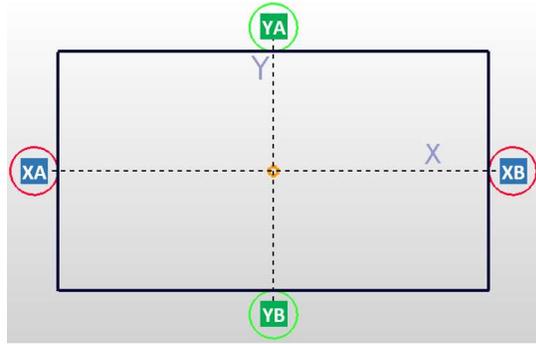
Untuk mencari titik nol pada bidang XY dapat menggunakan *centerfix*. *Centerfix* terdiri dari dua bagian, bagian atas dan bawah. Kedua bagian tersebut memiliki batang dan silinder pipih. Bagian bawah *centerfix* bersifat sensitif akan pergeseran sehingga bagian ini lah yang akan menjadi detektor apakah *centerfix* telah menyentuh benda kerja.



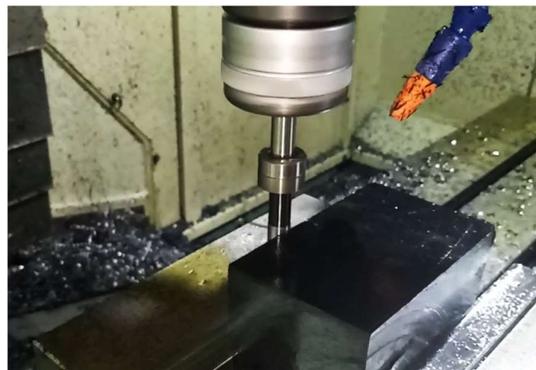
Gambar 4.16 *Centerfix*

Berikut adalah langkah-langkah mencari titik X0,Y0 menggunakan *centerfix* :

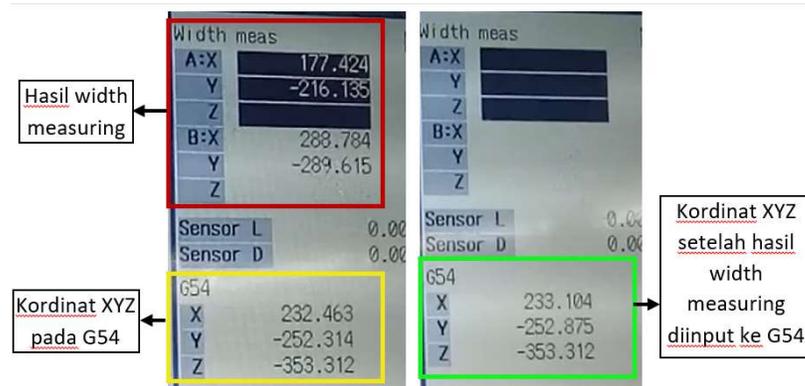
1. Pasang *centerfix* ke holder.
2. Pasang *centerfix* dan holder ke *spindle* mesin.
3. Berikan putaran mesin sehingga *centerfix* berputar.
4. Pencarian titik X_0, Y_0 ini menggunakan metode *width measuring*, yang artinya adalah pembagian jarak kordinat antara dua titik pada sebuah sumbu.
5. Asumsikan kita sedang mengukur titik tengah sumbu X.
6. Arahkan *centerfix* ke salah satu sisi benda kerja pada sumbu X sampai silinder pipih pada bagian bawah *center fix* mengalami pergeseran atau bergoyang, yang artinya *centerfix* telah menyentuh benda kerja.
7. *Input* kordinat pada saat *centerfix* menyentuh salah satu sisi benda kerja di sumbu X. Mesin otomatis mendefinisikannya sebagai X_A
8. Setelah itu angkat *spindle* lalu arahkan ke sisi lain dalam sumbu X. Arahkan *spindle* sampai *center fix* menyentuh benda kerja.
9. Kemudian *input* kordinat pada saat *centerfix* menyentuh sisi lain benda kerja pada sumbu X. Mesin mendefinisikannya sebagai X_B .
10. Mesin akan dengan sendirinya membagi dua, jarak antara kordinat X_A dengan X_B sehingga didapat kordinat titik tengah sumbu X.
11. Lakukan proses ini pada pencarian titik tengah sumbu Y.
12. Kordinat X_A, X_B, Y_A dan Y_B dapat disimpan di G54-G56.



Gambar 4.17 Ilustrasi Pencarian titik X0,Y0



Gambar 4.18 Proses Pencarian titik X0,Y0



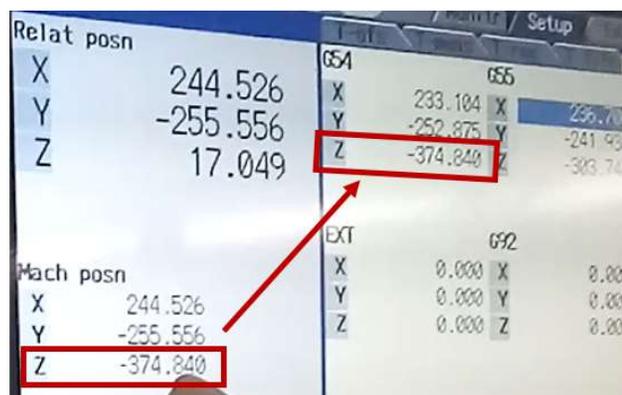
Gambar 4.19 Kordinat X0,Y0 pada G54

Untuk mencari titik nol sumbu Z atau Z0 pada pemesinan ini sedikit berbeda dan tidak memerlukan *centerfix*. Karena Z0 berada di titik teratas

benda kerja dan material awal berbentuk balok dengan permukaan atas rata.

Maka tahap untuk mencari titik Z0 adalah sebagai berikut :

1. Pastikan *end mill* yang ingin digunakan telah terpasang pada holder dan *spindle*.
2. Arahkan *spindle* ke permukaan atas benda kerja sampai *end mill* menyentuh permukaan tersebut.
3. Asumsikan kita menyimpan kordinat di G54.
4. Pada *controller* mesin, buka kordinat G54, pilih sumbu Z. Lalu tekan *input*.
5. Kordinat sumbu Z pada G54 otomatis digantikan dengan kordinat sumbu Z yang kita *input*.
6. Kordinat G54 dapat kita gunakan sebagai kordinat X0,Y0,Z0 pada pemesinan benda berkontur ini.



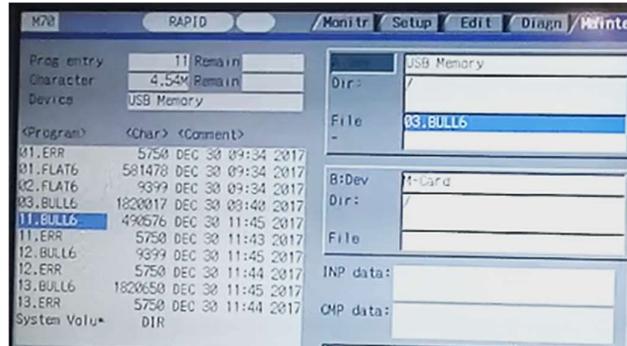
Gambar 4.20 Input Kordinat Z0 ke G54

4.3.2 Pemindahan G-Code ke Mesin CNC

Ada dua cara memindahkan *G-Code* ke mesin CNC yaitu dengan menggunakan kabel *transmitter* dan *USB Flash Disk*. Untuk penggunaan

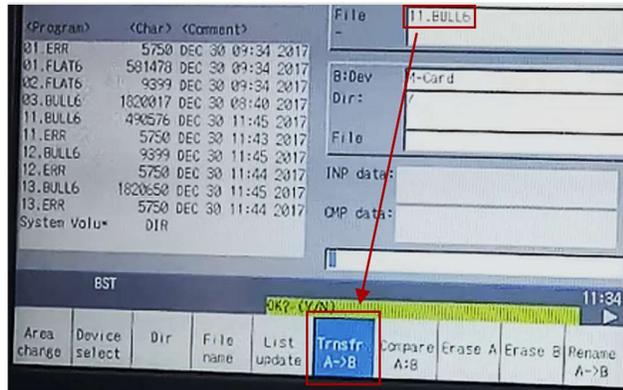
kabel *transmitter*, *G-Code* dapat langsung dipindahkan lewat komputer pengguna melalui *software editor* CAM. Namun untuk penggunaan *USB Flash Disk*, pemindahan program harus melalui *controller* mesin CNC. Berikut adalah langkah-langkah memindahkan *G-Code* melalui *controller* mesin.

1. Pasang Flash Disk ke *Controller*.
2. Tekan tombol ***Maintenance***.
3. Pada tampilan layar, pilih “*List Update*” – “*File Name*” – “*From List*”.
4. Pilih nama *file G-Code* yang ingin dipindahkan. Nama *file* yang ingin dipindahkan adalah “**11.BULL6**”. Setelah itu, klik tombol ***INPUT***.



Gambar 4.21 Memilih File G-Code

5. Muncul beberapa opsi di layar. Pilih opsi **Trnsfr A->B** lalu tekan tombol ***INPUT***. Dalam hal ini **A** adalah ***USB Memory*** (*USB Flash Disk*) dan **B** adalah ***Memory Card*** mesin CNC.



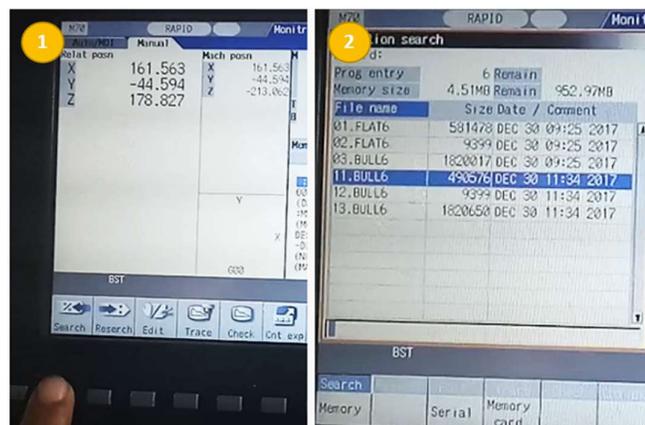
Gambar 4.22 Memindahkan *File G-Code*

6. *File G-Code* telah dipindahkan ke *memory card* mesin CNC.

4.3.3 Memanggil *File G-Code*

Setelah *file G-Code* telah dipindahkan ke *memory card* mesin CNC, kita perlu memanggil *file* tersebut untuk dieksekusi. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Tekan tombol “**MONITOR**”.
2. Pada tampilan layar, pilih “*Search*” – “*Memory Card*”. Lalu pilih nama *file* yang ingin dieksekusi. Kemudian tekan tombol “**INPUT**”.



Gambar 4.23 Mencari *File G-Code*

3. Tekan tombol "**Reset**" untuk menutup program yang sebelumnya dijalankan oleh mesin. Lalu tekan "**INPUT**" untuk memasukan program baru yang telah kita pilih.
4. Selesai.

4.3.4 Eksekusi *G-Code*

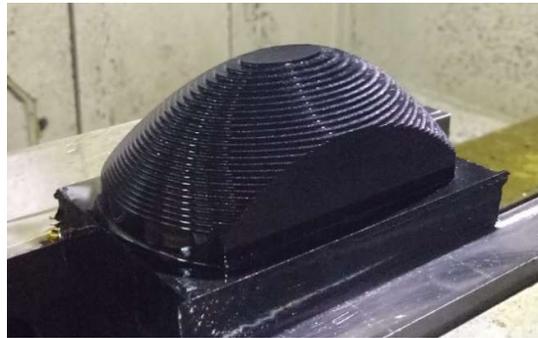
Titik nol telah di-*setting*, *file G-Code* telah dipindahkan ke *memory card* mesin dan juga telah dipanggil ke monitor. Selanjutnya kita dapat melakukan eksekusi *G-Code*. Eksekusi *G-Code* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Ubah **Mode selection** menjadi **Auto**. Pada mode **Auto**, mesin bekerja berdasarkan *input* dari *G-Code*.
2. Untuk keamanan, turunkan *Feed Rate* dan mainkan pada rentang 0 – 50%. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi kesalahan program yang dapat mengakibatkan tabrakan antara komponen atau failure.
3. Tekan tombol **CYCLE START** untuk memulai proses pemesinan.
4. Jika *end mill* telah mendekati benda kerja dan telah yakin bahwa tidak ada kesalahan program yang terjadi, naikan *Feed Rate* menjadi 100%.

4.3.5 Proses *Roughing*



Gambar 4.24 Proses *Roughing*



Gambar 4.25 Hasil Proses *Roughing*

4.3.6 Proses *Finishing* Kontur 2D



Gambar 4.26 Proses *Finishing* Kontur 2D



Gambar 4.27 Hasil *Finishing* Kontur 2D

4.3.7 Proses *Finishing* Kontur 3D



Gambar 4.28 Proses *Finishing* Kontur 3D



Gambar 4.29 Hasil *Finishing* Kontur 3D

4.3.8 Hasil Pemesinan



Gambar 4.30 Hasil Pemesinan

4.4 Pengujian Kekasaran

Uji kekasaran permukaan kontur dilakukan di Laboratorium Otomasi dan Manufaktur Universitas Indonesia menggunakan alat uji kekasaran dan kontur merek Surfcom 2900SD3. Detektor alat uji kekasaran berupa *stylus* dengan radius 2 μm . Rentang pengukuran yang digunakan sebesar 10 mm.

Prinsip pengujian kekasaran seperti yang telah dijelaskan pada Bab III yaitu *stylus* menyentuh benda kerja dan bergerak horizontal sepanjang rentang pengukuran. *Stylus* akan mendeteksi tinggi dan kedalaman *cusps* sehingga *stylus* bergerak naik turun mengikuti besarnya tinggi puncak dan kedalaman lembah pada profil permukaan benda. Sinyal yang dihasilkan berupa fisik.

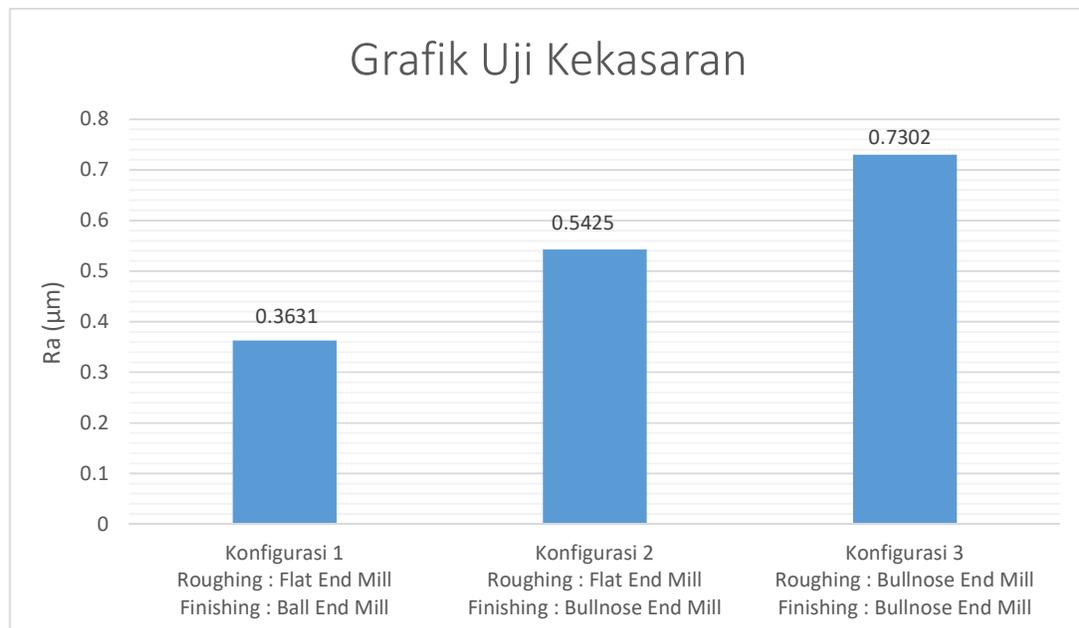
Kemudian untuk menentukan nilai kekasaran menggunakan nilai rata-rata jarak antara puncak dan lembah *cusps* terhadap kurvatur normalnya. Dalam suatu rentang pengukuran terdapat banyak *cusps* yang memiliki tinggi puncak dan kedalaman lembah. Jarak antara tinggi puncak dan

kedalaman lembah terhadap kurvatur normalnya dijumlahkan lalu dibagi dengan banyaknya puncak dan lembah dalam suatu rentang pengukuran tersebut. Dihasilkanlah nilai Ra. Berikut adalah hasil uji kekasaran.

Tabel 4.11 Hasil Uji Kekasaran

| Konfigurasi | Pemilihan <i>Cutting tool</i> | Nilai Ra (μm) | | | Rata-Rata Nilai Ra (μm) |
|-------------|---|----------------------------|----------|----------|--------------------------------------|
| | | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 | |
| 1. | <i>Roughing : Flat</i> <i>Finishing : Ball</i> | 0,3372 | 0,4107 | 0,3415 | 0,3631 |
| 2. | <i>Roughing : Flat</i> <i>Finishing : Bullnose</i> | 0,4916 | 0,5502 | 0,5856 | 0,5425 |
| 3. | <i>Roughing : Bullnose</i> <i>Finishing : Bullnose</i> | 0,7857 | 0,6411 | 0,7637 | 0,7302 |

Data dari tabel diolah menjadi grafik uji kekasaran seperti berikut.



Gambar 4.31 Grafik Uji Kekasaran

Hasil uji kekasaran menunjukkan bahwa pemilihan jenis *cutting tool* pada konfigurasi 1, yaitu *roughing* menggunakan *flat end mill* dan *finishing* menggunakan *ball end mill* memberikan nilai kekasaran rata-rata yang paling rendah di antara pemilihan *cutting tool* lainnya, yaitu sebesar 0,3631 μm . Nilai kekasaran ini masuk dalam kelas N5.

Nilai kekasaran pada jenis pemilihan *cutting tool* di konfigurasi 2, yaitu *roughing* menggunakan *flat end mill* dan *finishing* menggunakan *bullnose end mill* adalah sebesar 0,5425 μm juga masuk pada kelas N5.

Sementara nilai kekasaran paling tinggi dihasilkan oleh konfigurasi 3, yaitu pemilihan *cutting tool roughing* dan *finishing* menggunakan *bullnose end mill*. Nilai kekasaran yang dihasilkan sebesar 0,7302 μm . Nilai kekasaran ini masuk dalam kelas N6.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan masalah dan hasil penelitian, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pembuatan benda berkontur dimulai dengan pemodelan tiga dimensi benda melalui proses CAD (*Computer Aided Design*). Selanjutnya, pada proses CAM (*Computer Aided Manufacturing*), dilakukan pengaturan beberapa parameter pemesinan untuk menghasilkan *toolpath*. *Toolpath* yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi *G-Code* menggunakan *post processor*. *G-Code* kemudian dieksekusi menggunakan mesin CNC. Mesin CNC memproduksi benda berdasarkan perintah yang terdapat pada *G-Code*. Benda berkontur dihasilkan.
2. Bentuk *cutting tool* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan benda berkontur. Pemilihan bentuk *cutting tool* pada konfigurasi 1, yaitu *roughing* menggunakan *flat end mill* dan *finishing* menggunakan *ball end mill*, menghasilkan nilai kekasaran sebesar 0,3631 μm . Nilai tersebut adalah yang terendah di antara ketiga konfigurasi lainnya. Sementara nilai kekasaran tertinggi dihasilkan pada

konfigurasi 3 dengan bentuk *cutting tool* untuk proses *roughing* dan *finishing* menggunakan *bullnose end mill*.

3. Terdapat perbedaan nilai kekasaran rata-rata (Ra) pada ketiga jenis pemilihan *cutting tool*. Perbedaan terendah terdapat pada konfigurasi 1 dengan 2, yaitu sebesar 0,1794 μm . sementara perbedaan terbesar ada pada konfigurasi 1 dengan 3 sebesar 0,3671 μm .

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Parameter lain seperti *feed rate*, *spindle speed*, *depth of cut* dan lain-lain dapat dilibatkan untuk menghasilkan variasi nilai kekasaran yang lebih beragam sehingga dapat diketahui konfigurasi terbaik dari parameter-parameter pemesinan yang diteliti.
2. Perlu dilakukan perbandingan hasil kekasaran permukaan dengan proses pemesinan *5-axis*, sehingga terlihat besarnya perbedaan nilai kekasaran antara yang menggunakan pemesinan *3-axis* dengan pemesinan *5-axis*.

DAFTAR PUSTAKA

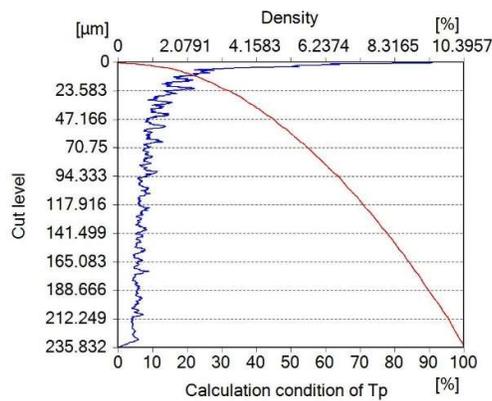
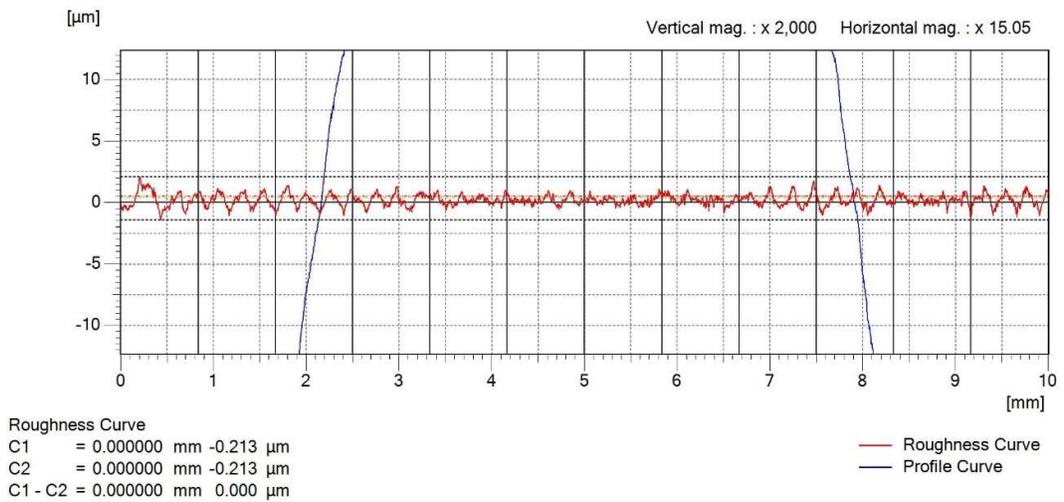
- [1] <https://grabcad.com/library/> Diunduh 12 Desember 2017 pukul 19.20.
- [2] Suntoro. 2008. Pengaruh Pengaturan Laju Pemakanan Terhadap Perubahan Sudut Inklinasi pada Proses Pemesinan Multi-Axis terhadap Kualitas Permukaan Hasil Pemesinan Produk Berkontur. [skripsi]. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [3] Souza, A. F., Machado, A., Beckert, S. F., Diniz, A. E. (2014). Evaluating the roughness according to the toolpath strategy when milling free form surfaces for mold application. 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, 14:188-193.
- [4] Wang, S., Li, J., Gao, X. (2017). Optimization of cutting parameter for complex surface NC machining based on genetic algorithm. Boletín Técnico Vol. 55, 12:86-92.
- [5] <http://buytoolsonline.com/> Diunduh 15 Agustus 2017 pukul 06.10.
- [6] Zeid, I. (1991). *CAD/CAM Theory and Practice*. Singapura: McGraw Hill, Inc.
- [7] <https://www.logitech.com/>. Diunduh 23 Desember 2017 pukul 08.55.
- [8] <https://www.touhofmodern.com/>. Diunduh 28 Desember 2017 pukul 10.30.
- [9] <http://icam.com/> Diunduh 8 September 2017 pukul 09.50.
- [10] <http://nscnc.com/custom-machines/> Diunduh 19 Januari 2017 pukul 08.15.
- [11] sandvik.coromant.com/. Diakses 14 September 2017 pukul 14.20.
- [12] <http://www.endmill.com/>. Diakses 21 September 2017 pukul 11.40.
- [13] <http://mondragon.edu/>. Diakses 23 Oktober 2017 pukul 01.50.
- [14] Lou, M. F., Chen, J. C., Li, C. M. (1998). Surface roughness prediction technique for CNC end-milling. Journal of Industrial Technology, 1:2-6.
- [15] Munadi, S. (1988). *Dasar Dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.

- [16] Chang, K. H. (2016). *Computer-aided Engineering Design*. Amerika Serikat: Elsevier.
- [17] <http://kamioka.com.tw/>. Diakses 28 Desember 2017 pukul 19.30.
- [18] <https://www.accretech.jp/>. Diakses 30 Desember 2017 pukul 21.45.
- [19] <https://www.speedtiger.com.tw/>. Diunduh 25 Desember 2017 pukul 11.35.
- [20] <http://www.wshampshire.com/pdf/>. Diakses 10 Januari 2018 pukul 13.30.
- [21] <http://plasticsintl.com/>. Diakses 15 September 2017 pukul 23.05
- [22] <https://www.doitpoms.ac.uk/>. Diakses 3 Februari 2018 pukul 06.29
- [23] <https://www.keyence.com/>. Diakses 3 Februari 2018 pukul 17.20

LAMPIRAN

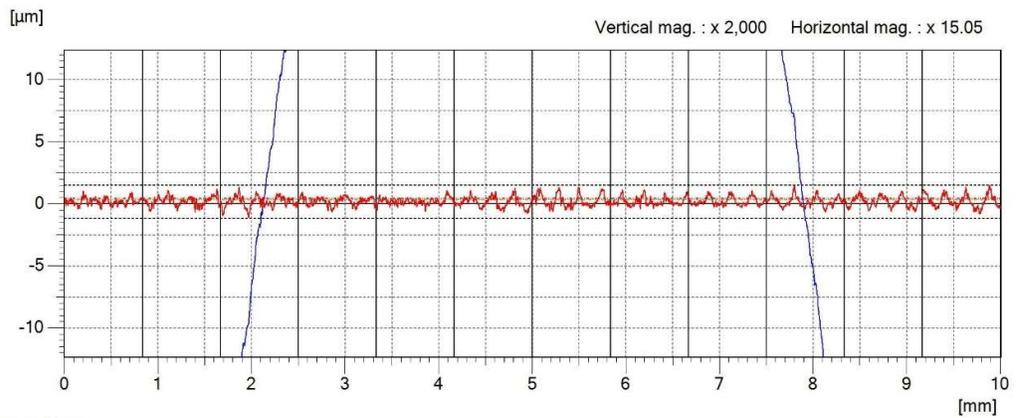
Hasil Pengujian Kekasaran

Spesimen 1 : Roughing Flat End Mill & Finishing Ball End Mill



| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 235.8323 µm |
| Ra | 0.4107 µm |
| Ramax | 0.6482 µm |
| Ramin | 0.2686 µm |
| Rasd | 0.1084 µm |
| Ra+sd | 0.5191 µm |
| Ra-sd | 0.3023 µm |
| Ra(1) | 0.6482 µm |
| Ra(2) | 0.4647 µm |
| Ra(3) | 0.4978 µm |
| Ra(4) | 0.4322 µm |
| Ra(5) | 0.2991 µm |
| Ra(6) | 0.2761 µm |
| Ra(7) | 0.2686 µm |
| Ra(8) | 0.3382 µm |
| Ra(9) | 0.4425 µm |
| Ra(10) | 0.4471 µm |
| Ra(11) | 0.3194 µm |
| Ra(12) | 0.4941 µm |
| Rq | 0.5085 µm |

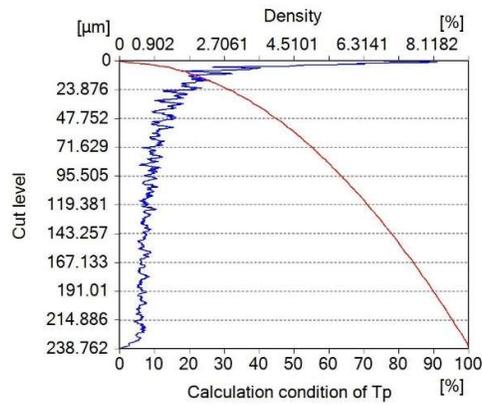
Spesimen 2 : Roughing Flat End Mill & Finishing Ball End Mill



Roughness Curve

C1 = 0.000000 mm 0.341 µm
 C2 = 0.000000 mm 0.341 µm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 µm

— Roughness Curve
 — Profile Curve

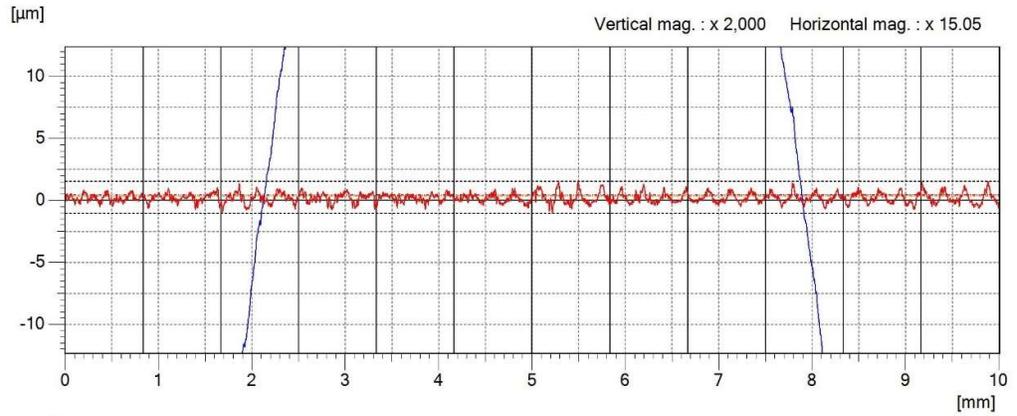


| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 238.7619 µm |
| Ra | 0.3372 µm |
| Ramax | 0.4368 µm |
| Ramin | 0.2513 µm |
| Rasd | 0.0567 µm |
| Ra+sd | 0.3939 µm |
| Ra-sd | 0.2806 µm |
| Ra(1) | 0.2618 µm |
| Ra(2) | 0.3495 µm |
| Ra(3) | 0.3748 µm |
| Ra(4) | 0.3382 µm |
| Ra(5) | 0.2513 µm |
| Ra(6) | 0.3575 µm |
| Ra(7) | 0.4014 µm |
| Ra(8) | 0.2701 µm |
| Ra(9) | 0.2794 µm |
| Ra(10) | 0.3509 µm |
| Ra(11) | 0.3750 µm |
| Ra(12) | 0.4368 µm |
| Rq | 0.4292 µm |

Profile Curve (Evaluation Length)

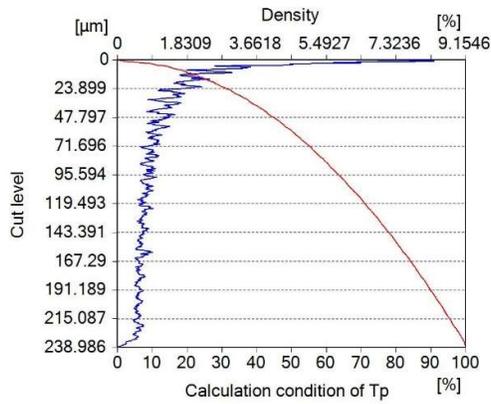
P-P = 238.762 µm
 C1 = 0.000 µm 6.8276 %
 C2 = 0.000 µm 6.8276 %
 C1 - C2 = 0.000 µm 0 %

Spesimen 3 : Roughing Flat End Mill & Finishing Ball End Mill



Roughness Curve
 C1 = 0.000000 mm 0.418 μm
 C2 = 0.000000 mm 0.418 μm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 μm

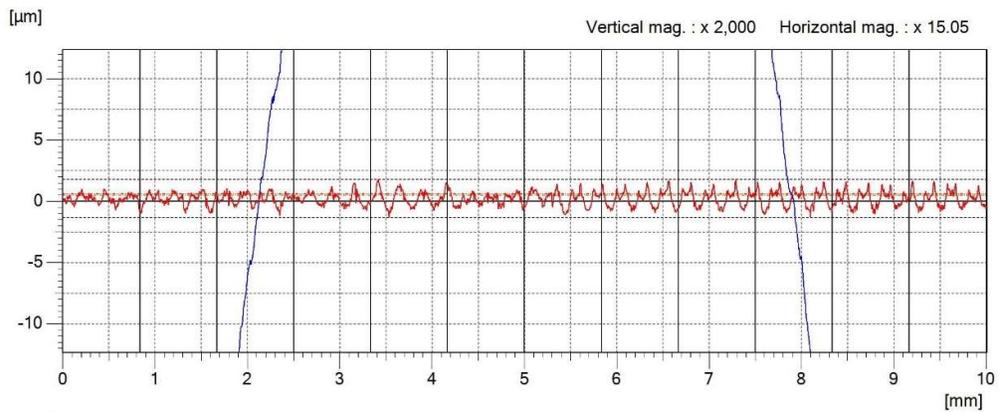
— Roughness Curve
 — Profile Curve



Profile Curve (Evaluation Length)
 P-P = 238.986 μm
 C1 = 0.000 μm 6.8437 %
 C2 = 0.000 μm 6.8437 %
 C1 - C2 = 0.000 μm 0 %

| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 238.9858 μm |
| Ra | 0.3415 μm |
| Ramax | 0.4521 μm |
| Ramin | 0.2716 μm |
| Rasd | 0.0584 μm |
| Ra+sd | 0.3999 μm |
| Ra-sd | 0.2831 μm |
| Ra(1) | 0.2729 μm |
| Ra(2) | 0.3185 μm |
| Ra(3) | 0.3809 μm |
| Ra(4) | 0.3810 μm |
| Ra(5) | 0.2821 μm |
| Ra(6) | 0.2716 μm |
| Ra(7) | 0.4521 μm |
| Ra(8) | 0.3144 μm |
| Ra(9) | 0.2855 μm |
| Ra(10) | 0.3460 μm |
| Ra(11) | 0.3647 μm |
| Ra(12) | 0.4281 μm |
| Rq | 0.4313 μm |

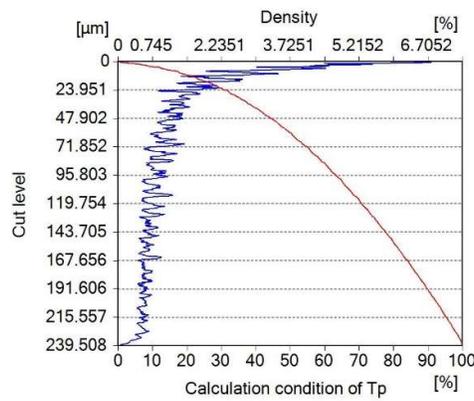
Spesimen 4 : Roughing Flat End Mill & Finishing Bull End Mill



Roughness Curve

C1 = 0.000000 mm 0.207 μm
 C2 = 0.000000 mm 0.207 μm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 μm

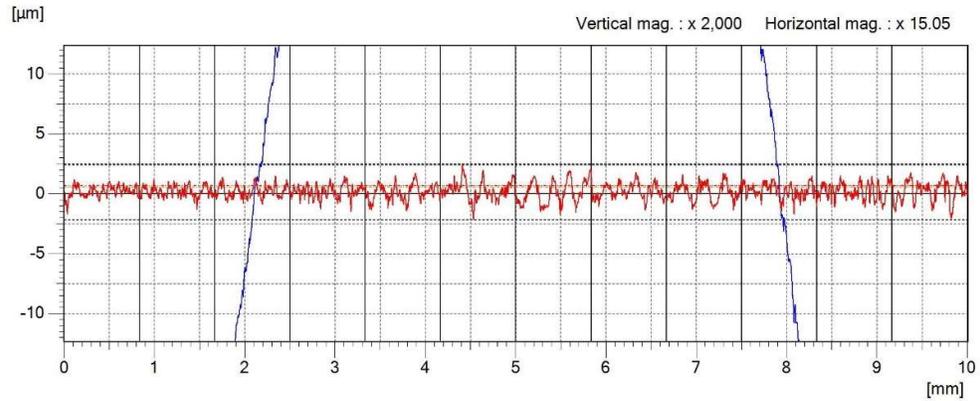
— Roughness Curve
 — Profile Curve



Profile Curve (Evaluation Length)
 P-P = 239.508 μm
 C1 = 0.000 μm 6.4033 %
 C2 = 0.000 μm 6.4033 %
 C1 - C2 = 0.000 μm 0 %

| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 239.5081 μm |
| Ra | 0.4916 μm |
| Ramax | 0.6477 μm |
| Ramin | 0.3220 μm |
| Rasd | 0.0943 μm |
| Ra+sd | 0.5860 μm |
| Ra-sd | 0.3973 μm |
| Ra(1) | 0.3220 μm |
| Ra(2) | 0.4430 μm |
| Ra(3) | 0.4092 μm |
| Ra(4) | 0.4005 μm |
| Ra(5) | 0.5630 μm |
| Ra(6) | 0.3755 μm |
| Ra(7) | 0.5547 μm |
| Ra(8) | 0.5762 μm |
| Ra(9) | 0.5561 μm |
| Ra(10) | 0.6477 μm |
| Ra(11) | 0.5283 μm |
| Ra(12) | 0.5233 μm |
| Rq | 0.5843 μm |

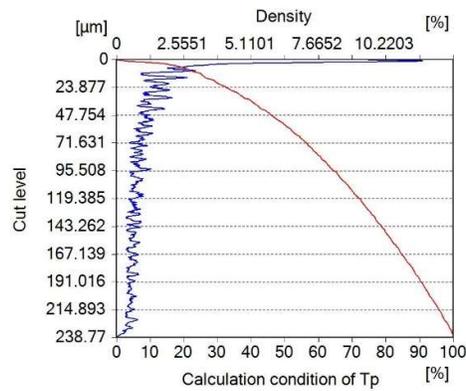
Spesimen 5 : Roughing Flat End Mill & Finishing Bull End Mill



Roughness Curve

C1 = 0.000000 mm 0.242 μm
 C2 = 0.000000 mm 0.242 μm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 μm

— Roughness Curve
 — Profile Curve

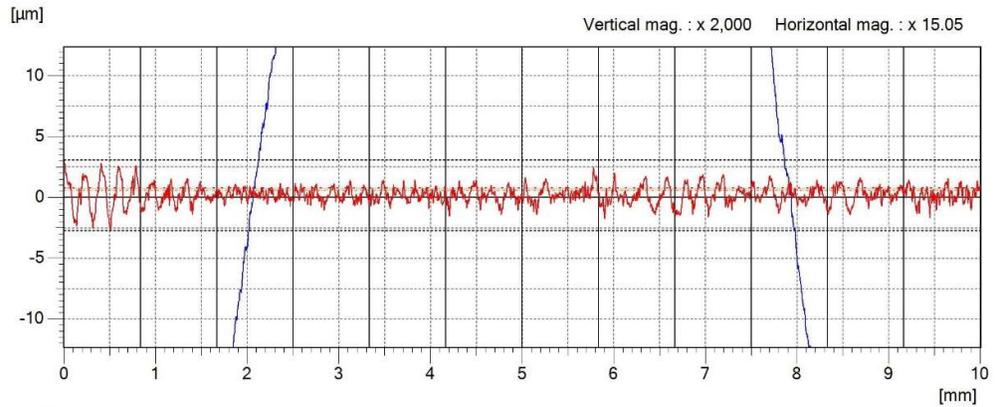


Profile Curve (Evaluation Length)

P-P = 238.770 μm
 C1 = 0.000 μm 9.5406 %
 C2 = 0.000 μm 9.5406 %
 C1 - C2 = 0.000 μm 0 %

| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 238.7698 μm |
| Ra | 0.5502 μm |
| Ramax | 0.8274 μm |
| Ramin | 0.3883 μm |
| Rasd | 0.1282 μm |
| Ra+sd | 0.6784 μm |
| Ra-sd | 0.4220 μm |
| Ra(1) | 0.3893 μm |
| Ra(2) | 0.3883 μm |
| Ra(3) | 0.4407 μm |
| Ra(4) | 0.4539 μm |
| Ra(5) | 0.5191 μm |
| Ra(6) | 0.6068 μm |
| Ra(7) | 0.8274 μm |
| Ra(8) | 0.5110 μm |
| Ra(9) | 0.6232 μm |
| Ra(10) | 0.5292 μm |
| Ra(11) | 0.5766 μm |
| Ra(12) | 0.7367 μm |
| Rq | 0.6767 μm |

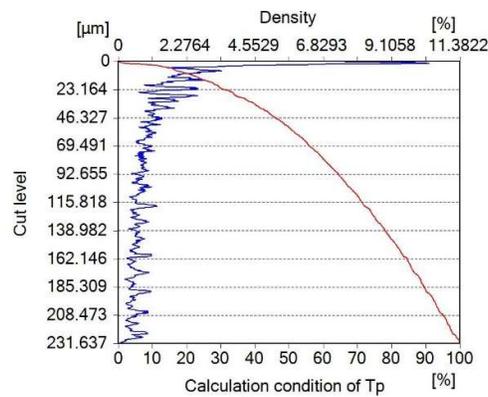
Spesimen 6 : Roughing Flat End Mill & Finishing Bull End Mill



Roughness Curve

C1 = 0.000000 mm 2.918 μm
 C2 = 0.000000 mm 2.918 μm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 μm

— Roughness Curve
 — Profile Curve

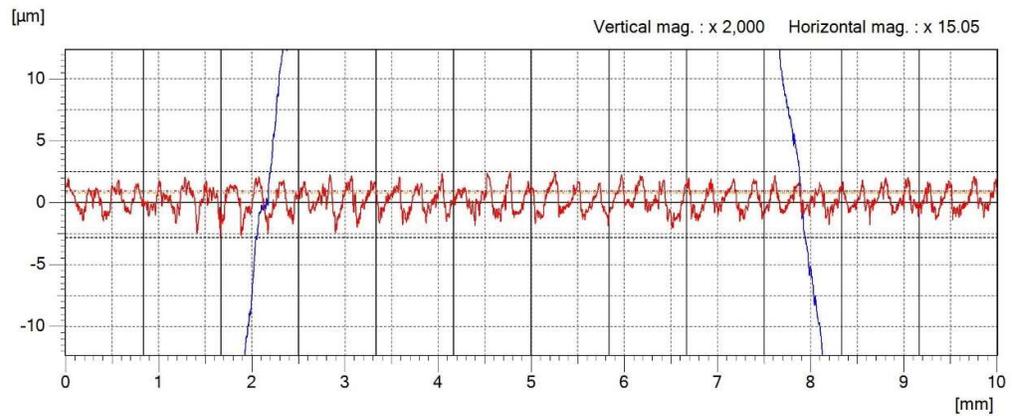


Profile Curve (Evaluation Length)

P-P = 231.637 μm
 C1 = 0.000 μm 7.5412 %
 C2 = 0.000 μm 7.5412 %
 C1 - C2 = 0.000 μm 0 %

| | |
|--------|------------------------|
| Rmax | 231.6365 μm |
| Ra | 0.5856 μm |
| Ramax | 1.2821 μm |
| Ramin | 0.3681 μm |
| Rasd | 0.2289 μm |
| Ra+sd | 0.8144 μm |
| Ra-sd | 0.3567 μm |
| Ra(1) | 1.2821 μm |
| Ra(2) | 0.5438 μm |
| Ra(3) | 0.3681 μm |
| Ra(4) | 0.4214 μm |
| Ra(5) | 0.4035 μm |
| Ra(6) | 0.4789 μm |
| Ra(7) | 0.5359 μm |
| Ra(8) | 0.6263 μm |
| Ra(9) | 0.6983 μm |
| Ra(10) | 0.5269 μm |
| Ra(11) | 0.6040 μm |
| Ra(12) | 0.5376 μm |
| Rq | 0.7208 μm |

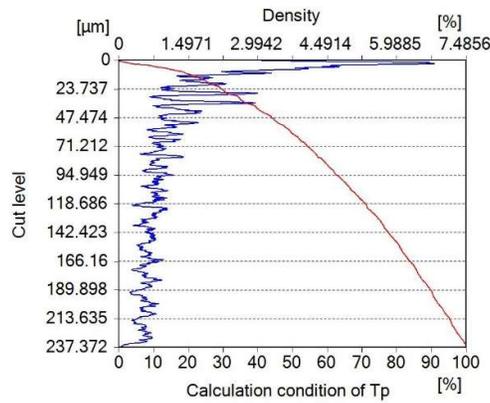
Spesimen 7 : Roughing Bull End Mill & Finishing Bull End Mill



Roughness Curve

C1 = 0.000000 mm 1.349 µm
 C2 = 0.000000 mm 1.349 µm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 µm

— Roughness Curve
 — Profile Curve

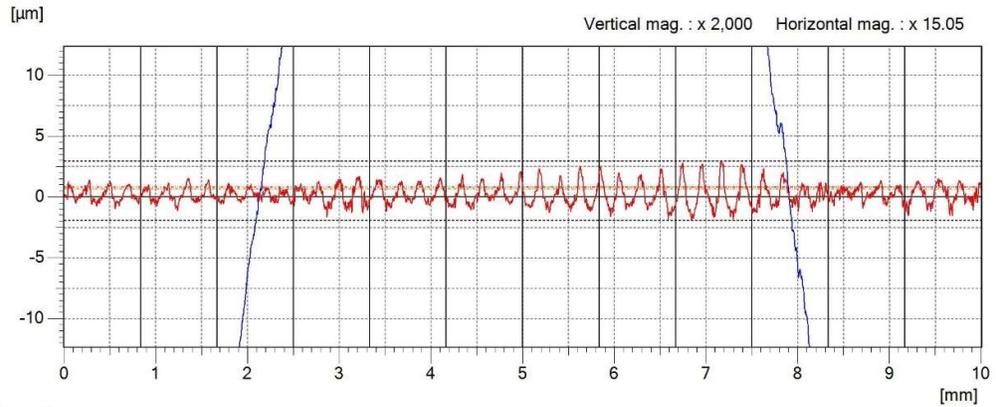


| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 237.3719 µm |
| Ra | 0.7857 µm |
| Ramax | 0.9953 µm |
| Ramin | 0.6194 µm |
| Rasd | 0.0951 µm |
| Ra+sd | 0.8808 µm |
| Ra-sd | 0.6906 µm |
| Ra(1) | 0.7635 µm |
| Ra(2) | 0.7425 µm |
| Ra(3) | 0.9953 µm |
| Ra(4) | 0.8781 µm |
| Ra(5) | 0.7676 µm |
| Ra(6) | 0.8031 µm |
| Ra(7) | 0.8483 µm |
| Ra(8) | 0.8157 µm |
| Ra(9) | 0.8173 µm |
| Ra(10) | 0.6697 µm |
| Ra(11) | 0.6194 µm |
| Ra(12) | 0.7073 µm |
| Rq | 0.9465 µm |

Profile Curve (Evaluation Length)

P-P = 237.372 µm
 C1 = 0.000 µm 3.0666 %
 C2 = 0.000 µm 3.0666 %
 C1 - C2 = 0.000 µm 0 %

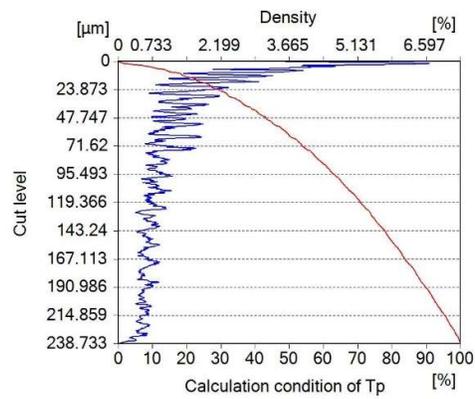
Spesimen 8 : Roughing Bull End Mill & Finishing Bull End Mill



Roughness Curve

C1 = 0.000000 mm 0.078 μm
 C2 = 0.000000 mm 0.078 μm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 μm

— Roughness Curve
 — Profile Curve

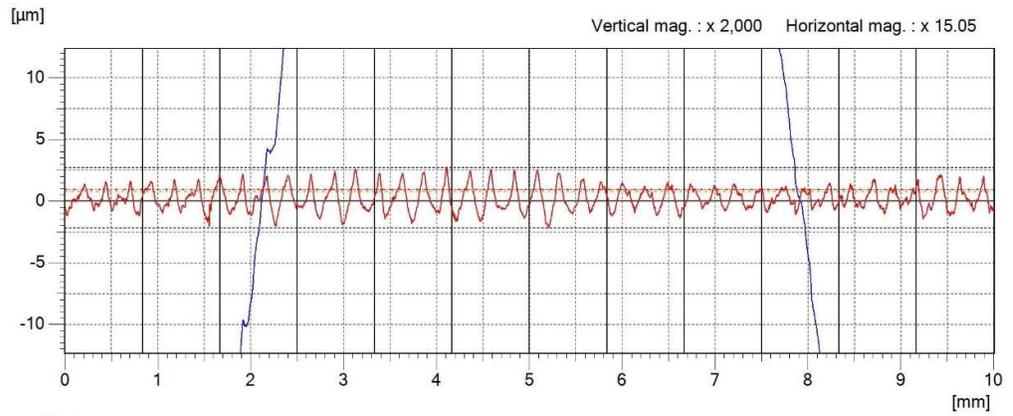


Profile Curve (Evaluation Length)

P-P = 238.733 μm
 C1 = 0.000 μm 3.5777 %
 C2 = 0.000 μm 3.5777 %
 C1 - C2 = 0.000 μm 0 %

| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 238.7327 μm |
| Ra | 0.6411 μm |
| Ramax | 1.1341 μm |
| Ramin | 0.3729 μm |
| Rasd | 0.2044 μm |
| Ra+sd | 0.8455 μm |
| Ra-sd | 0.4367 μm |
| Ra(1) | 0.4415 μm |
| Ra(2) | 0.4547 μm |
| Ra(3) | 0.3729 μm |
| Ra(4) | 0.6753 μm |
| Ra(5) | 0.5840 μm |
| Ra(6) | 0.6020 μm |
| Ra(7) | 0.7374 μm |
| Ra(8) | 0.8782 μm |
| Ra(9) | 1.1341 μm |
| Ra(10) | 0.7042 μm |
| Ra(11) | 0.4509 μm |
| Ra(12) | 0.6578 μm |
| Rq | 0.7856 μm |

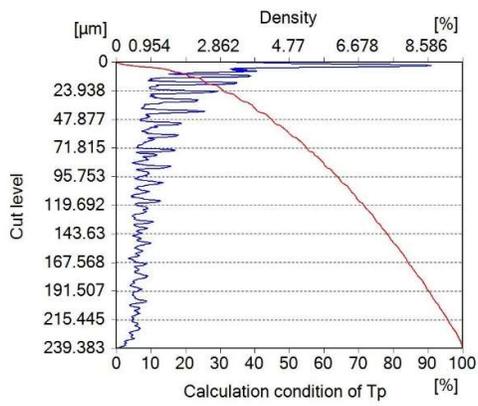
Spesimen 9 : Roughing Bull End Mill & Finishing Bull End Mill



Roughness Curve

C1 = 0.000000 mm -0.387 µm
 C2 = 0.000000 mm -0.387 µm
 C1 - C2 = 0.000000 mm 0.000 µm

— Roughness Curve
 — Profile Curve



Profile Curve (Evaluation Length)

P-P = 239.383 µm
 C1 = 0.000 µm 3.2981 %
 C2 = 0.000 µm 3.2981 %
 C1 - C2 = 0.000 µm 0 %

| | |
|--------|-------------|
| Rmax | 239.3832 µm |
| Ra | 0.7637 µm |
| Ramax | 1.0158 µm |
| Ramin | 0.5325 µm |
| Rasd | 0.1725 µm |
| Ra+sd | 0.9362 µm |
| Ra-sd | 0.5912 µm |
| Ra(1) | 0.5325 µm |
| Ra(2) | 0.7671 µm |
| Ra(3) | 0.8799 µm |
| Ra(4) | 0.8733 µm |
| Ra(5) | 1.0158 µm |
| Ra(6) | 0.9704 µm |
| Ra(7) | 0.9540 µm |
| Ra(8) | 0.7066 µm |
| Ra(9) | 0.5757 µm |
| Ra(10) | 0.5390 µm |
| Ra(11) | 0.5508 µm |
| Ra(12) | 0.7996 µm |
| Rq | 0.9168 µm |



AGUNG SULISTYANTO lahir pada 23 Mei 1995 di Tangerang, Anak kedua dari pasangan Bapak Mujiyanto dan Ibu Sully Sundari. Bertempat tinggal di Jl. Bangka Barat 4 No. 66 RT02/RW07 Kelurahan Pela Mampang Kecamatan Mampang Prapatan, Jakarta Selatan. Latar belakang edukasi penulis tercatat sejak sekolah di TK Muma

Mampang pada tahun 1999-2000. Penulis melanjutkan studi di SDN PELA MAMPANG 14 PAGI pada tahun 2000-2006. Lalu, penulis melanjutkan studinya di SMPN 41 Jakarta pada tahun 2007-2010. Kemudian studi berlanjut di SMAN 60 Jakarta pada tahun 2010-2013 jurusan IPA. Pada tingkat ini penulis aktif dalam olahraga bulu tangkis.

Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi ke jenjang pendidikan tinggi di Universitas Negeri Jakarta jurusan Teknik Mesin. Pada jenjang ini penulis aktif di beberapa organisasi kampus seperti Unit Kegiatan Olahraga pada tahun 2014-2015 dan Batavia Team UNJ pada tahun 2015-2017. Dalam keorganisasian di Batavia Team UNJ penulis meraih prestasi dalam bidang pengembangan mobil hemat energi di tingkat nasional dengan juara dua pada ajang Kontes Mobil Hemat Energi 2016. Penulis juga pernah menjadi salah satu perwakilan Indonesia dalam ajang Shell Eco-Marathon Asia 2017. Ketertarikan dalam bidang manufaktur membawa penulis untuk membahas skripsi dengan judul **“Pengaruh Pemilihan Jenis Cutting Tool terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur pada Pemesinan Milling 3-Axis”**.