



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN METODE PERANCANGAN *TOOL PATH*  
BERBASIS CITRA 2D UNTUK PROSES PEMESINAN  
TEKSTUR PERMUKAAN PART MIKRO**

**SKRIPSI**

**ACHMAD HANDRYANTO**

**0806329716**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN METODE PERANCANGAN *TOOL PATH*  
BERBASIS CITRA 2D UNTUK PROSES PEMESINAN  
TEKSTUR PERMUKAAN PART MIKRO**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ACHMAD HANDRYANTO**

**0806329716**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Achmad Handryanto**

**NPM : 0806329716**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 2 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Achmad Handryanto

NPM : 0806329716

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Disertasi : Pengembangan Metode Perancangan *Tool Path* Berbasis Citra 2D untuk Proses Pemesinan Tekstur Permukaan Part Mikro

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto M. Eng.

()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Tresna Priyana Soemardi M.Si., S.E.

()

Penguji : Dr. Ario Sunar Baskoro S.T., M.T., M.Eng.

()

Penguji : Jos Istiyanto S.T., M.T., Ph.D.

()

Penguji : Yudan Whulanza S.T., M.Sc., Ph.D.

()

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Rinaldo K Halim dan Yanita Wijayatri, serta kedua adik, Rian Hariwinanto dan Rininta Triaswinanti yang selalu jadi motivasi penulis, atas dukungan spiritual, moral dan materiil yang diberikan tanpa hentinya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, selaku dosen pembimbing akademis yang dengan sabar membimbing penulis dari awal masuk ke Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
4. Para penguji sidang Tugas Akhir, Prof. Dr. Ir. Tresna Priyana Soemardi M.Si., S.E., Dr. Ario Sunar Baskoro S.T., M.T., M.Eng., Jos Istiyanto S.T., M.T., Ph.D., Yudan Whulanza S.T., M.Sc., Ph.D., yang telah memberikan masukan bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu Dede Zariatn, mahasiswa S3 yang membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Riandhika Yudi H, sahabat serta rekan satu tema tugas akhir yang berjuang bersama sampai penulisan skripsi ini rampung.
7. Saripudin, atas bantuan dalam pengembangan program untuk pemesinan.
8. Bayu Mulya, Derris Surya, Adnan Afif Alaudin, dan Ferdian Harjono, serta teman-teman satu perjuangan dan satu pembimbing tugas akhir atas bantuan dan semangat yang diberikan.

9. Teguh Santoso, senior di Laboratorium Manufaktur atas semua bantuan dan ilmu yang telah dibagi.
10. Para sahabat, Ardyan Humala Gumanti, Arya Yuwana, Priza Karunia, Guswendar Rinovianto, Irvan Nurtanio, Fikri Nur Nafi, Bagus Reka Susilo, Indiono Indarto, Hadid Fadillah, Ario Wibawa Satria, dan semua pihak yang telah membantu dalam bentuk doa yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.
11. Teman – teman jurusan Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, khususnya angkatan 2008 yang telah bersama – sama mengukir kisah perjalanan hidup di FT UI.
12. Fajar Rahmiyanti, yang menjadi penyemangat dan motivasi bagi penulis, sehingga penulis dapat serta mampu menyelesaikan Tugas Akhir dan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

Achmad Handryanto

**HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang beretanda tangan di bawah ini:

Nama : Achmad Handryanto

NPM : 0806329716

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Pengembangan Metode Perancangan *Tool Path* Berbasis Citra 2D untuk Proses Pemesinan Tekstur Permukaan Part Mikro”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2012

Yang menyatakan,



Achmad Handryanto

## ABSTRAK

Nama : Achmad Handryanto  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Pengembangan Metode Perancangan *Tool Path* Berbasis Citra 2D untuk Proses Pemesinan Tekstur Permukaan Part Mikro

*Micro-milling* adalah pemesinan milling dalam skala mikro, dimana terdapat beberapa kesulitan dalam konversi dari skala makro ke skala mikro. Produk berskala mikro belakangan menjadi kebutuhan di bidang kesehatan, energi, manufaktur, bahkan pertahanan. Pada umumnya untuk pemesinan pada *micro-milling* digunakan mata pahat dengan diameter kurang dari 600  $\mu\text{m}$  sampai dengan 100  $\mu\text{m}$ . Penelitian yang dilakukan adalah pembuatan tekstur permukaan (*micro-texture*) produk mikro berbasis dari citra 2D. Proses dilakukan dengan melakukan rekayasa terhadap suatu citra dimana nilai intensitas warna menjadi nilai level ketinggian. Pada perancangan *tool path*, dilakukan proses *gouging avoidance* untuk menghindari terjadinya over cut pada saat pemesinan. Nilai intensitas tersebut yang dijadikan kumpulan CL-Point yang selanjutnya akan dikonversi menjadi NC-File untuk dilakukan pemesinan. Pemesinan menggunakan benda kerja berbahan material aluminium A1100 dengan ukuran 3 x 3 x 3 mm. Dengan tingkat kekerasan 28 HRC, ini menjadi pertimbangan dalam penentuan kedalaman pemakanan (*Depth of Cut*) dan kecepatan pemakanan (*Feed rate*). Sebagai masukan data yang menjadi CL-File digunakan citra berukuran resolusi 150 x 127 piksel dan 300 x 254 piksel. Dengan metode rekayasa citra telah dapat dihasilkan 2 *micro-texture* part berbeda dengan menggunakan metode ini.

Kata kunci : *Micro-milling*, *micro-texture*, *gouging avoidance*, rekayasa citra.



## ABSTRACT

Name : Achmad Handryanto  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Method Development of Tool Path Generation Based on 2D Image for Surface Micro-texture Machining

Nowadays, micro products become more demanding in several aspects such as health, energy, manufacturing, even military. One of ways to produce micro products is by using micro-milling process. Micro-milling is machining in micro scale. In general, micro-milling uses cutting tool with diameter less than 600  $\mu\text{m}$ . In some micro products, texturing of the part surface maybe needed. This research conducted the manufacture of micro-texture of micro part based on 2D image. The color intensity values of 2D image were converted or mapped into the contour of the texture of micro product in Cartesian domain. Then, toolpaths are generated based on the contour values with gouging avoidance. The CL-point of generated toolpaths were then post processed into NC-point also known as NC-file. The workpieces used for this micro-texturing are using Aluminium A1100 material size of 3 x 3 x 3 mm dimension. The hardness of this material is 28 HRC, which is for determine the dept of cut and feed rate. The toolpaths generated on different size of image resolution 150 x 127 pixels and 300 x 254 pixels. Two different workpieces were successfully produced using the above developed method.

Key words : Micro product, micro-milling, micro-texture, image processing, gouging avoidance.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metode Penulisan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 <i>MICRO-MILLING</i> DAN PEMESINAN MIKRO TEKSTUR BERBASIS <i>2D IMAGE PROCESSING</i>.....</b>	<b>6</b>
2.1 <i>Micro-milling</i> .....	6
2.2 <i>Micro-texture</i> .....	12
2.3 <i>Image Processing</i> .....	15

<b>BAB 3 PERANCANGAN <i>TOOL PATH</i>.....</b>	<b>16</b>
3.1 Proses Pengolahan Citra dari 2D menjadi 3D.....	16
3.2 Perancangan <i>Tool Path</i> .....	17
3.2.1 Proses <i>Gouging Avoidance</i> .....	17
3.2.2 Pengaturan <i>Depth of Cut</i> .....	21
<b>BAB 4 PROSES PEMESINAN.....</b>	<b>26</b>
4.1 Citra 2D.....	26
4.2 Perencanaan <i>Tool Path</i> .....	27
4.2.1 Deteksi <i>gouging avoidance</i> .....	27
4.2.2 <i>Cutting Strategi</i> .....	28
4.2.3 Pergerakan <i>Non-cutting</i> .....	28
4.2.4 Kedalaman Pemakanan.....	29
4.2.5 <i>CL-File</i> dan <i>Post Process</i> .....	29
4.3 Parameter Pemesinan.....	29
4.3 Pemesinan.....	32
<b>BAB 5 ANALISIS HASIL PEMESINAN.....</b>	<b>34</b>
4.1 Hasil Pemesinan.....	34
4.2 Analisis <i>Tool Path</i> .....	34
4.3 Analisis <i>Tool Path</i> dengan <i>Diameter Cutting Tool</i> Berbeda.....	39
4.4 Analisis <i>Tool Path</i> dengan Resolusi <i>Image</i> Berbeda.....	40
4.5 Analisis Hasil Pemesinan.....	41
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>46</b>
6.1 Kesimpulan.....	46
6.2 Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>48</b>

## LAMPIRAN

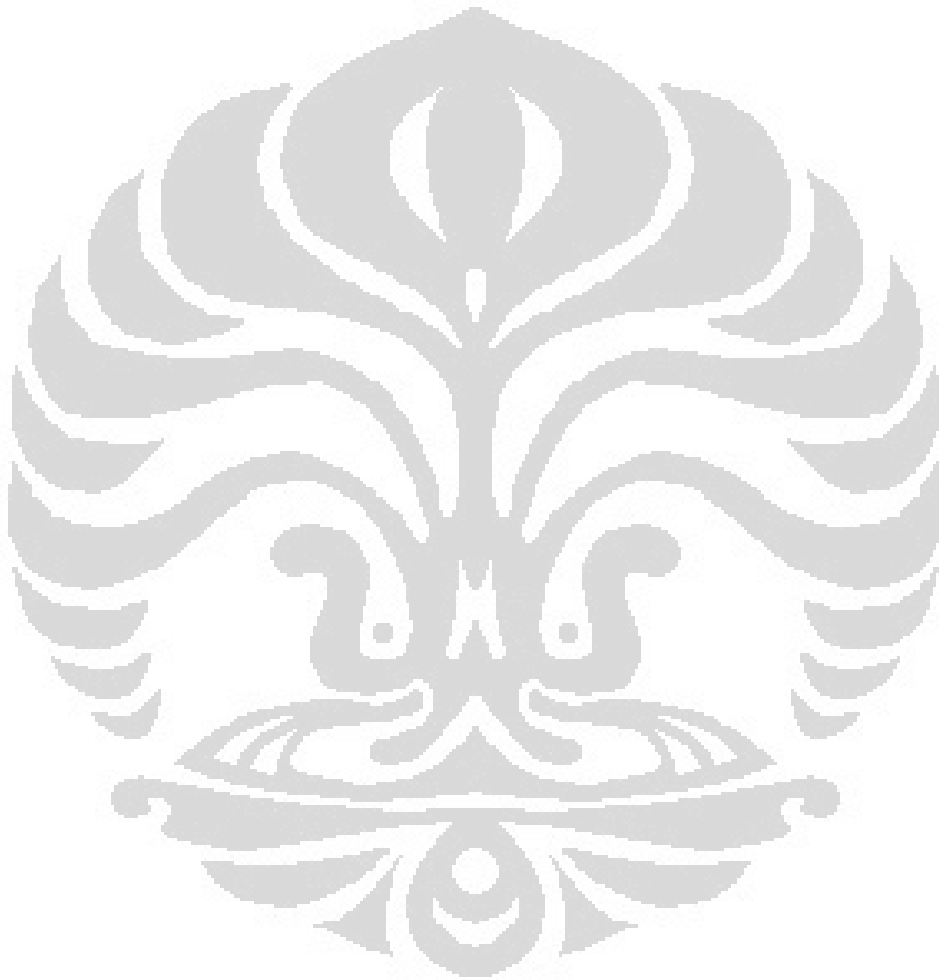
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasikasi <i>Milling</i> .....	6
Gambar 2.2 Metode Pemesinan <i>Milling</i> .....	7
Gambar 2.3 Jenis Proses <i>Milling</i> .....	8
Gambar 2.4 Jenis-jenis Mesin <i>Milling</i> 3 Axis.....	9
Gambar 2.5 Jenis-jenis Mesin <i>Milling</i> 5 Axis.....	9
Gambar 2.6 Perbandingan hasil mikro part dengan koin.....	10
Gambar 2.7 Part mikro pada alat elektronik.....	10
Gambar 2.8 Tiga komponen kecepatan dalam pemesinan <i>milling</i> .....	11
Gambar 2.9 <i>Feed per tooth</i> .....	12
Gambar 2.10 <i>Depth of Cut</i> .....	12
Gambar 2.11 Langkah pembuatan <i>micro-texture</i> .....	13
Gambar 2.12 Contoh tekstur mikro.....	13
Gambar 2.13 Pembuatan <i>tool path micro-texture</i> pada part berukuran mikro.....	14
Gambar 2.14 Ilustrasi proses pemesinan pada <i>micro texture</i> .....	14
Gambar 2.15 Skema <i>Image Proses</i> .....	15
Gambar 2.16 Proses pembentukan Z-level menggunakan fungsi <i>mesh</i> Matlab.....	15
Gambar 3.1 <i>Original Image (Garter Stitch Pattern)</i> .....	16
Gambar 3.2 <i>Z-level Conversion</i> .....	16
Gambar 3.3 Pola Rantai setelah dikonversi ke <i>Z-level</i> masih dipertahankan.....	17
Gambar 3.4 Skema <i>Gouging Avoidance</i> .....	18
Gambar 3.5 <i>Bucketting</i> .....	19
Gambar 3.6 Matlab program <i>gouging avoidance</i> .....	19
Gambar 3.7 Hasil <i>Gouging Avoidance</i> .....	20
Gambar 3.8 Hasil <i>gouging avoidance process</i> .....	20
Gambar 3.9 Perbandingan <i>gouging avoidance</i> pada <i>path</i> 50, 51, dan 52.....	21
Gambar 3.10 Step pertama dengan akumulasi kedalaman 0.06 mm.....	22
Gambar 3.11 Step kedua dengan akumulasi kedalaman 0.12 mm.....	22
Gambar 3.12 Step ketiga dengan akumulasi kedalaman 0.18 mm.....	23
Gambar 3.13 Step keempat dengan akumulasi kedalaman 0.236 mm.....	23
Gambar 3.14 Hasil <i>finishing</i> dari pemesinan dengan kedalaman total 0.24 mm.....	25

Gambar 4.1 Pola a ( <i>Garter Stitch</i> resolusi 254x300 pixel).....	26
Gambar 4.2 Pola b ( <i>Garter Stich</i> resolusi 127x150 pixel).....	26
Gambar 4.3 Pola c (PolaTekstur Logo UI, Mesin, Android, NVIDIA 150x150 pixel) .....	27
Gambar 4.4 Pergerakan Zig .....	28
Gambar 4.5 Pergerakan <i>non-cutting</i> .....	28
Gambar 4.6 <i>CL-file</i> dan hasil dari <i>post process</i> .....	29
Gambar 4.7 Skema <i>Cutting Tool</i> .....	30
Gambar 4.8 Skematik pemesinan.....	33
Gambar 5.1 Perbandingan ukuran.....	34
Gambar 5.2 Titik puncak bukit dibandingkan dengan gambar 2D .....	35
Gambar 5.3 Titik lembah dibandingkan dengan gambar 2D .....	36
Gambar 5.4 Perbandingan <i>tool path</i> yang terbentuk.....	37
Gambar 5.5 Skema pengangkatan <i>cutting tool</i> pada proses <i>Gouging Avoidance</i> ..	38
Gambar 5.6 Perbandingan <i>tool path</i> dengan <i>cutting tool</i> berbeda diameter .....	39
Gambar 5.7 Perbandingan <i>tool path</i> 2 resolusi berbeda .....	40
Gambar 5.8 Perbandingan <i>path</i> ke-5 pada image berbeda resolusi .....	41
Gambar 5.9 Foto mikroskop hasil pemesinan.....	41
Gambar 5.10 Perbandingan hasil pemesinan .....	42
Gambar 5.11 Pandangan atas hasil pemesinan untuk citra beresolusi 150 x 127 ..	42
Gambar 5.12 Pandangan <i>isometric</i> hasil pemesinan untuk citra beresolusi 150 x 127.....	42
Gambar 5.13 Pandangan atas hasil pemesinan untuk citra beresolusi 300 x 254 ..	43
Gambar 5.14 Pandangan <i>isometric</i> hasil pemesinan untuk citra beresolusi 300 x 254.....	43
Gambar 5.15 Struktur permukaan hasil pemesinan untuk citra beresolusi 150 x 127.....	44
Gambar 5.16 Struktur permukaan hasil pemesinan untuk citra beresolusi 300 x 254.....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Metode Pemesinan <i>Milling</i> .....	7
Tabel 3.1 Penggunaan <i>Depth of Cut</i> untuk proses <i>roughing</i> .....	21
Tabel 3.2 Penggunaan <i>Depth of Cut</i> untuk proses <i>finishing</i> .....	24
Tabel 4.1 Penggunaan <i>Depth of Cut</i> untuk <i>side milling</i> .....	30
Tabel 4.2 Penggunaan <i>Depth of Cut</i> untuk proses <i>finishing</i> .....	31
Tabel 5.1 <i>Mechanical Properties</i> Aluminium (A1100).....	45



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan produk berukuran mikro semakin tinggi. Produk berskala mikro belakangan menjadi kebutuhan di bidang kesehatan, energi, manufaktur, bahkan pertahanan. Dengan tingginya kebutuhan akan produk berukuran mikro, semakin banyak penelitian mengenai cara pembuatan produk berskala mikro. Banyak cara yang sudah dilakukan bergantung terhadap fungsi dari produk yang dibuat.

*Micro-milling* adalah pemesinan milling dalam skala mikro, dimana terdapat beberapa kesulitan dalam konversi dari skala makro ke skala mikro. Perubahan skala geometri memberi dampak perubahan ukuran ke seluruh parameter pemotongan dan hasil pemesinan. Untuk meminimalkan efek yang negatif, dilakukan banyak penelitian mengenai *micro-milling*. Pada umumnya untuk pemesinan pada *micro-milling* digunakan mata pahat dengan diameter kurang dari 600  $\mu\text{m}$  sampai dengan 100  $\mu\text{m}$ . Dimana proses pemesinan digerakkan oleh motor step yang dikontrol oleh *NC-File* yang telah deprogram ke dalam motor step.

Salah satu komponen terpenting dalam pemesinan produk micro adalah tekstur permukaan. Dimana ukuran produk berskala mikro, hal ini menjadi penting karena pola dari produk yang dibuat terangkum dalam tekstur permukaan. Ada beberapa cara dalam pembuatan tekstur permukaan pada produk berskala mikro, salah satunya dengan dengan *Computer Graphic*.

Pada penelitian Yoshikazu Kobayashi dan Kenji Shirai<sup>[1]</sup>, pembuatan tekstur permukaan menggunakan metode *Computer Graphic* karena diharapkan hasilnya bisa lebih baik bila dibandingkan dengan CAM. Mereka membuat dengan metode pembagian dari bentuk tekststur yang dibangun per bagian, kemudian dibangun *CL file* untuk pemesinan.

Alasan tekstur permukaan pada produk berskala mikro adalah karena pengaruhnya terhadap desain dan fungsi produk tersebut. Suatu produk memiliki suatu fungsi dan salah satu poin terpenting adalah pergerakan dari

produk tersebut. Dengan memperhitungkan struktur dari tekstur permukaan, nilai koefisien kekasaran dari suatu produk dapat diatur. Begitu pula pada produk berskala mikro, tekstur permukaan sangat berpengaruh terhadap fungsi serta desain produk.

Penelitian yang dilakukan adalah pembuatan tekstur permukaan produk mikro berbasis dari *Image Processing*. Proses dilakukan dengan melakukan rekayasa terhadap suatu gambar dimana nilai intensitas warna menjadi nilai level ketinggian. Diharapkan dengan ini, hasil tekstur permukaan menjadi lebih baik karena menggunakan gambar dari permukaan sehingga dalam pemesinan bisa mendekati apa yang telah didesain.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan paparan di atas maka permasalahan yang dapat diambil yaitu :

- a. Bagaimanakah hasil akhir pemesinan micro-milling yang didapat dari *image processing*.
- b. Parameter apa saja yang memberi pengaruh terhadap hasil pemesinan.
- c. Analisis terhadap proses pemesinan dari *micro-texturing*.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mencari tahu parameter yang mempengaruhi dalam proses pemesinan *micro-milling*. Lebih khusus lagi parameter untuk membuat struktur mikro yang berbasis dari *image processing*.

## 1.4. BATASAN MASALAH

Penelitian ini dibatasi hanya untuk mengetahui hasil *image processing* sebagai *NC-File* untuk pemesinan *micro-milling*, dari pembuatan Z-level hingga didapat tool path. Kemudian dilanjutkan perhitungan parameter kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan secara horizontal dan vertikal, kecepatan putaran *spindle*.



### 1.5. Metode Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisan, yaitu:

#### 1. Konsultasi dengan dosen pembimbing disertai dengan studi literatur

Konsultasi dengan dosen pembimbing merupakan suatu media untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi tersebut dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

Sebagai bahan penunjang dalam hal penulisan, penulisan tugas akhir ini berdasarkan pada literatur-literatur yang mendukung dan mempunyai relevansi serta korelasi dengan permasalahan yang ada. Pengumpulan bahan referensi penunjang yang dapat membantu penulis dapat melalui jurnal, paper, buku-buku, *e-mail*, *e-book*, dan *e-news*.

#### 2. Merakit alat *micro-machining* di laboratorium

Membuat alat *micro-machining* sesuai dengan rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing serta mengenai bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian tersebut.

Penelitian ini akan dilakukan bertahap dari membuat desain permukaan dari *image*, melakukan *image processing* dengan bantuan software Matlab. Pembuatan *tool path* yang dilanjutkan dengan konversi ke *NC-File*. Selanjutnya dilakukan proses pemesinan

#### 3. Pembuatan Desain *Tool Path*

Desain *tool path* didapat dari konversi gambar 2D yang nilai intensitas warnanya diubah menjadi *Z-level*. Proses dari gambar 2D sampai didapat desain *tool path* memiliki beberapa langkah kerja.

Pada pembuatan desain *tool path* dimulai dari pembentukan *Z-level*, lalu dilakukan proses penghalusan alur (*smoothing program*),

kemudian dibuat agar *tool path* tidak mengalami *gouging* atau *interference* yang hasil keluarannya adalah *tool path* yang siap untuk dilakukan pemesinan.

#### 4. Proses Pemesinan

Hasil *CL-File* dari *tool path* diubah dari file berekstensi “txt” menjadi “prg” sebagai *CL-File*. Selanjutnya file ini siap ditransfer ke mesin *micro-milling*. Proses ini disebut *post processing*.

Selanjutnya, file yang telah diunduh ke mesin akan dieksekusi. Kecepatan pemotongan serta kedalaman pemotongan diatur agar mendapatkan hasil terbaik.

#### 5. Analisis hasil pemesinan

Analisis dengan membandingkan hasil pemesinan dengan desain dari *image processing*. Dibandingkan juga dengan ukuran resolusi gambar yang digunakan, adakah perbedaan yang tampak satu sama lain. Kemudian membuat analisis dari beberapa parameter yang mempengaruhi hasil dari pemesinan.

Kekasaran permukaan juga menjadi salah satu tolok ukur dalam analisis, khususnya pada tekstur permukaan mikro part

### 1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

**BAB I** : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

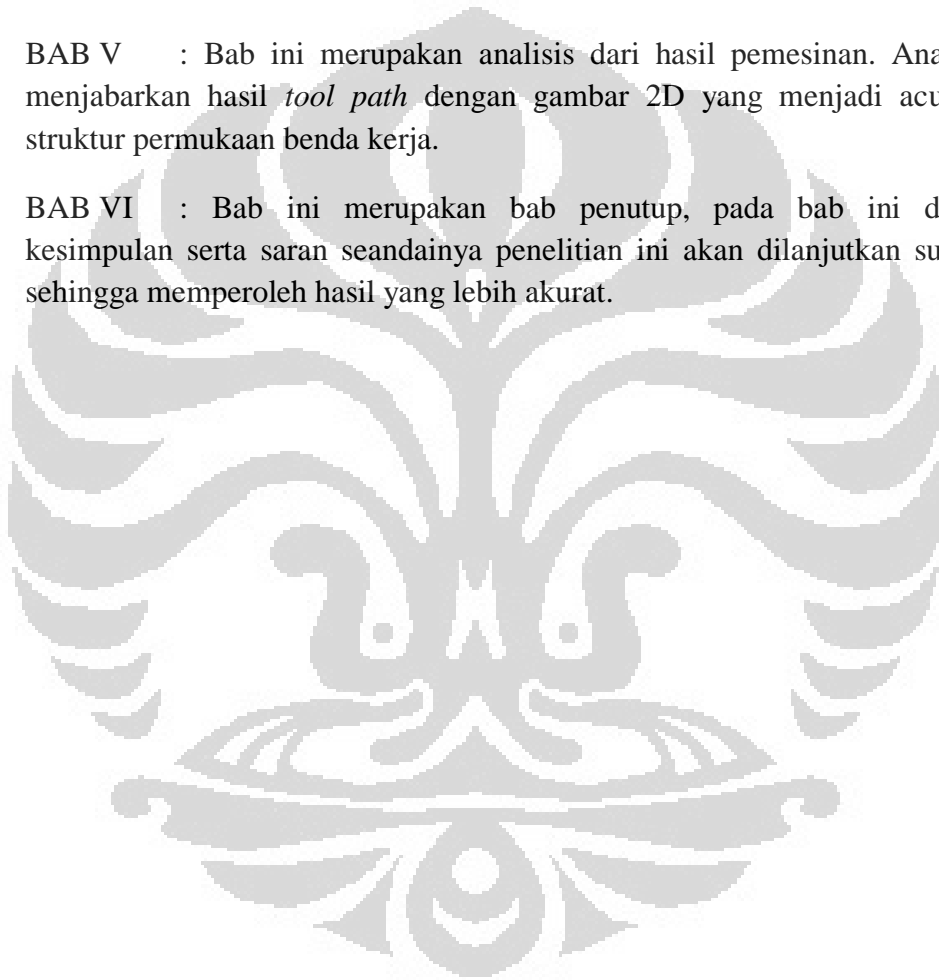
**BAB II** : Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori yang berhubungan dan digunakan dalam menyelesaikan masalah yang dibahas.

BAB III : Bab ini menjelaskan mengenai rancangan pembuatan tool path dari gambar 2D hingga menjadi *NC-File*. Parameter yang digunakan dalam menentukan desain tool path, strategi pemilihan *cut pattern*, serta *post processing*.

BAB IV : Bab ini menjelaskan mengenai proses pemesinan *micro-milling*. Spesifikasi mesin serta parameter yang menjadi kunci dalam pemesinan. Terstruktur mulai dari proses *roughing* hingga *finishing*.

BAB V : Bab ini merupakan analisis dari hasil pemesinan. Analisis ini menjabarkan hasil *tool path* dengan gambar 2D yang menjadi acuan bagi struktur permukaan benda kerja.

BAB VI : Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

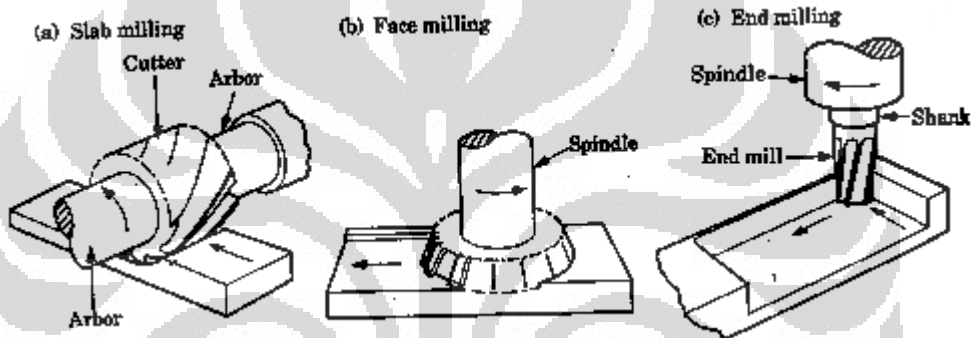


## BAB 2

### *MICRO-MILLING DAN PEMESINAN MIKRO TEKSTUR BERBASIS 2D IMAGE PROCESSING*

#### 2.1. *Micro-milling*

*Milling* merupakan suatu jenis metode manufaktur yang dilakukan dengan tujuan untuk membentuk suatu desain pada suatu permukaan benda kerja. Klasifikasi *milling* ada beberapa yaitu,



Gambar 2.1 Klasikasi *Milling* [2]

- *Peripheral/Slab Milling*

*Slab milling* adalah proses *milling* dimana permukaan benda kerja dipotong oleh bagian sisi mata pahat. Sumbu dari putar dari mata pahat dalam posisi parallel dengan permukaan benda kerja yang akan dilakukan proses pemesinan.

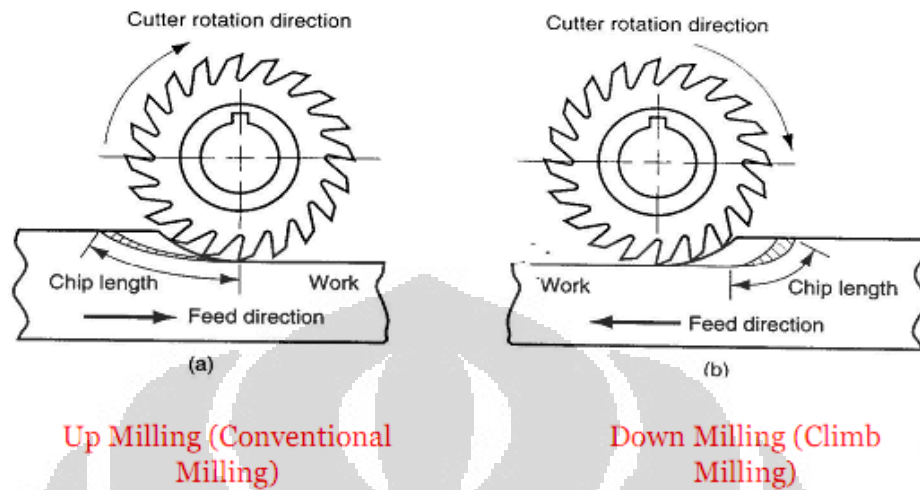
- *Face Milling*

Pada *face milling*, sumbu rotasi mata pahat dipasang tegak lurus dengan permukaan benda kerja. Hasil pemesinan benda kerja didapat dari hasil potong dari bagian sisi dan permukaan mata pahat.

- *End Milling*

Sama halnya dengan *face milling*, pada *end milling* sumbu rotasi mata pahat dipasang tegak lurus dengan permukaan benda kerja. Biasa dipakai untuk pemesinan bagian sudut dari benda kerja.

Proses *milling* juga dibedakan menurut metode pemesinannya. Ada 2 metode pemesinan pada proses *milling* yaitu,



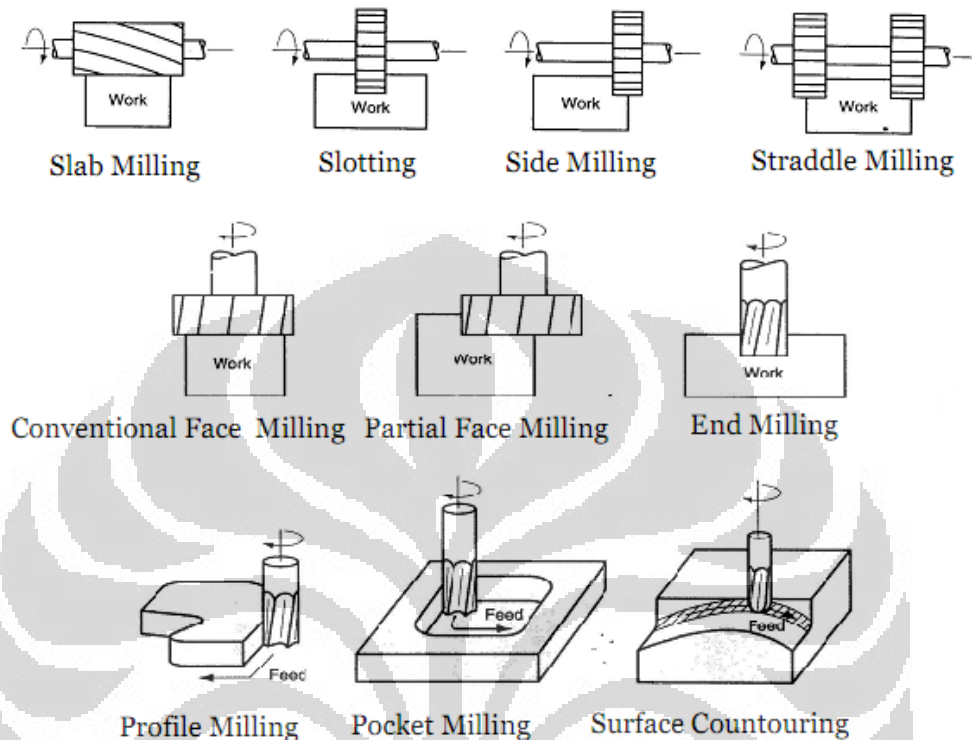
**Gambar 2.2 Metode Pemesinan *Milling***[3]

- *Up milling* biasa disebut konvensional *milling*, dimana arah dari rotasi mata pahat berlawanan dengan arah pemakanan benda kerja.
- *Down milling* disebut juga *climb milling*, dimana arah dari rotasi mata pahat searah dengan arah pemakanan benda kerja.

**Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Metode Pemesinan *Milling***

Up Milling		Down Milling	
	<i>Kelebihan:</i>		<i>Kelebihan:</i>
1	Kerja gigi tidak dipengaruhi oleh karakteristik permukaan benda kerja	1	Gerak potongnya menimbulkan gaya yang menahan benda kerja untuk tetap berada di
2	Kontaminasi/serpihan-serpihan kecil pada permukaan benda kerja tidak mempengaruhi		
3	Proses pemotongannya lembut sehingga gigi pemotong tetap tajam	1	<i>Kekurangan:</i> Pada saat gigi memotong benda kerja, terjadi resultan gaya impact yang besar sehingga peralatan dalam operasi ini harus di set up dengan kuat.
	<i>Kekurangan:</i>		
1	Ada kecenderungan peralatan gemeretak (karena longgar)		Tidak cocok untuk permesinan benda kerja dengan permukaan yang kasar (banyak serpihan / scale), seperti logam yang di kerjakan dengan hot working, ditempa (forging), ataupun dicor (casting). Karena serpihan-serpihan tersebut bersifat abrasif, sehingga menyebabkan pemakaian yang berlebihan, merusak gigi pemotong sehingga mempersingkat usia alat
2	Ada juga kecenderungan benda kerja terangkat ke atas, sehingga pengontrolan terhadap penjepit sangat penting	2	

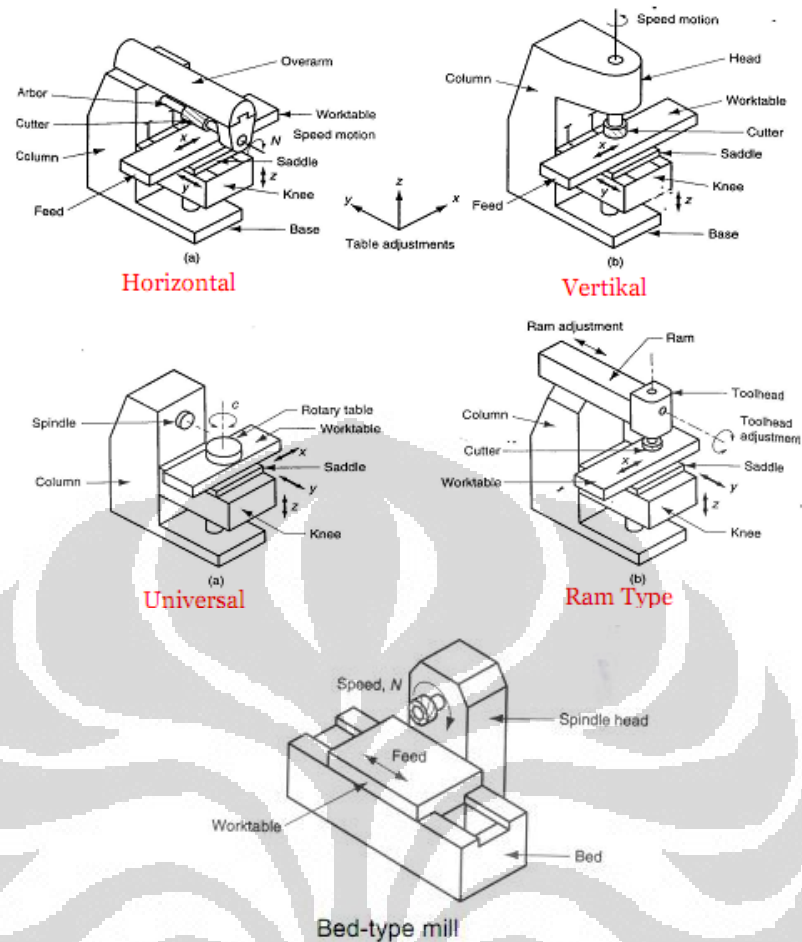
Masih ada beberapa jenis proses milling yang digunakan dalam pemesinan. Berikut instrumentasi jenis proses milling.



Gambar 2.3 Jenis Proses *Milling* [3]

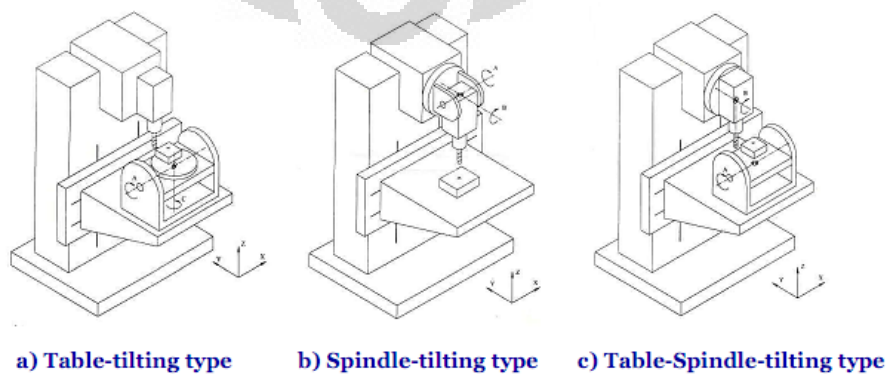
Mesin *milling* memiliki beberapa tipe. Ada mesin *milling* yang mengakomodasi untuk pemesinan 3 *axis*, yaitu *axis* X, Y, dan Z. Mesin-mesin tersebut digerakkan oleh motor, untuk pergerakan ada yang masih menggunakan manual dan ada yang telah diakomodasi dengan CNC. Pemesinan pada mesin 3 *axis* terbatas dalam pengerjaan benda kerja, tidak bisa melakukan proses pemesinan yang membutuhkan perubahan sudut.

Pada mesin 3 *axis* terdapat jenis *knee and column machine*. Tipe mesin horizontal dan vertikal. Terdapat juga tipe mesin universal dan RAM. Di luar jenis *knee and column machine* terdapat tipe



Gambar 24 Jenis-jenis Mesin *Milling* 3 Axis [3]

Selain mesin 3 *axis*, mesin 5 *axis* hadir untuk mengakomodasi pemesinan yang lebih rumit. Mesin 5 *axis* dilengkapi axis rotasi, dimana mesin 5 *axis* mampu untuk melakukan proses pemesinan terhadap desain yang memiliki perubahan sudut. Hasil dari mesin 5 *axis* dianggap lebih halus (*smooth*) dibandingkan dengan mesin 3 *axis*.



Gambar 2.5 Jenis-jenis Mesin *Milling* 5 Axis [3]

Inti dari *micro-milling* sama dengan proses pemesinan pada *milling* konvensional. Namun parameter saat pemesinan harus menjadi perhatian karena pemesinan pada produk berskala mikro lebih krusial dan rentan mengalami kegagalan, pada benda kerja maupun pada *tools*.

Saat ini sudah banyak bentuk yang dapat dibuat dengan skala mikro dengan berbagai tujuan pembuatan. Contohnya pada bidang kesehatan sebagai alat pelebaran pembuluh darah jantung (*implan cardiovascular*).



Gambar 2.6 Perbandingan hasil mikro part dengan koin [5]

Pada bidang elektronik *micro-mold* pada beberapa bentuk *casing* komponen elektronik dan berbagai jenis *micro heat exchanger*.



Gambar 2.7 Part mikro pada alat elektronik [5]

Parameter-parameter pemesinan yang mempengaruhi hasil konversi skala dari ukuran makro ke mikro yang dilakukan saat operasi *micromilling* adalah sebagai berikut:

- a. *Cutting speed*, *spindle speed* dan *feed rate*

*Cutting speed* atau biasa disebut *surface speed* atau *speed* saja adalah kecepatan di arah *tangential* perputaran dari *cutting tool*.



Didefinisikan sebagai kecepatan material bergerak terlepas melewati *cutting edge* dari mata pahat.

*Spindle speed* merupakan kecepatan putar *spindle* dari mata pahat, dalam satuan RPM (*revolution per minute*). Bentuk dari *tooth* milik mata pahat memerlukan gerakan rotasi agar pemakanan/pemesinan dapat berjalan.

*Feed rate* merupakan kecepatan pemakanan mata pahat terhadap *workpiece*. Arah komponen *feed rate* adalah menuju ke benda kerja, sehingga terjadi pemakanan/pemesinan benda kerja dan terdapat pelepasan material/geram.

Ketiga komponen kecepatan ini secara langsung dan tidak langsung memiliki keterkaitan, dan sangat berpengaruh terhadap proses pemesinan sehingga perlu pemahaman yang baik tentang ketiganya. Dari gambar dapat dilihat keterangan arah dari ketiga komponen kecepatan ini; panah yang melingkar searah *spindle* merupakan *spindle speed*, arah panah *tangensial* menunjukkan *cutting speed*, dan arah panah yang *linear* menuju *workpiece* merupakan *feed rate*.

$$CS = spindle\ speed \times \pi \times diameter\ tool\ (mm/min)$$

$$Feed\ rate = Spindle\ speed \times Z \times f_z\ (mm/min)$$

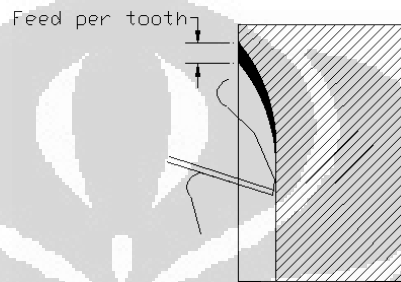


**Gambar 2.8 Tiga komponen kecepatan dalam pemesinan milling**

Kecepatan potong maksimal tergantung pada 2 hal. Pertama, bahan dari benda kerja. Semakin tinggi tahanan dari benda kerja makin rendah kecepatan potongnya. Kedua, bahan *cutting tool*, *cutting tool* dari karbid memungkinkan kecepatan potong lebih tinggi daripada *cutting tool* berbahan HSS.

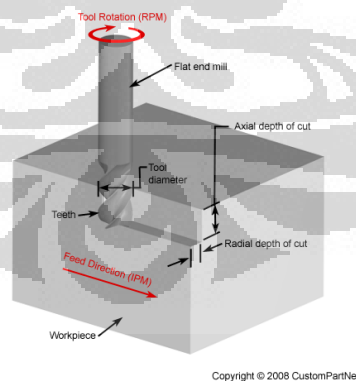
- b. *Feed per tooth, chip load, depth per cut, dan width per cut.*

*Feed per tooth* ( $f_z$ ) didefinisikan sebagai ketebalan *chip* yang akan dimakan ketika pertama kali *cutting edge* menyentuh/memakan benda kerja. Sedangkan *chip load* merupakan ketebalan dari *chip* yang terlepas/termakan, dan nilainya bervariasi dari nol sampai sama dengan nilai *feed per tooth*. *Chip* yang terlepas atau termakan seringkali berbentuk seperti sabit, oleh karena itu nilai dari *chip load* yang bervariasi/berubah-ubah sepanjang busur dari sabit tersebut tidak bisa disamakan dengan nilai *feed per tooth*.



**Gambar 2.9 Feed per tooth [5]**

*Depth of cut* atau seringkali disebut *axial depth per cut* merupakan nilai kedalaman makan mata pahat (didefinisikan sebagai seberapa dalam mata pahat melakukan pemesinan terhadap benda kerja). Nilainya biasanya konstan untuk satu operasi karena parameter ini sangat tergantung dari material benda kerja dan material mata pahat

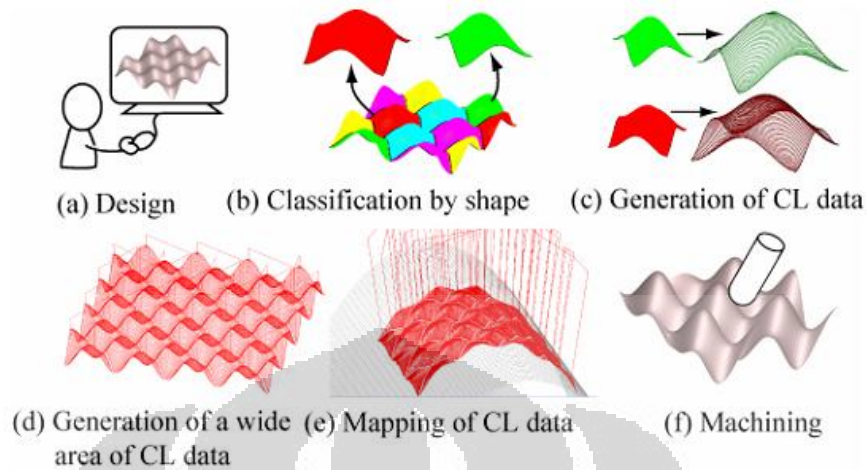


**Gambar 2.10 Depth of Cut [6]**

## 2.2. *Micro-texture*

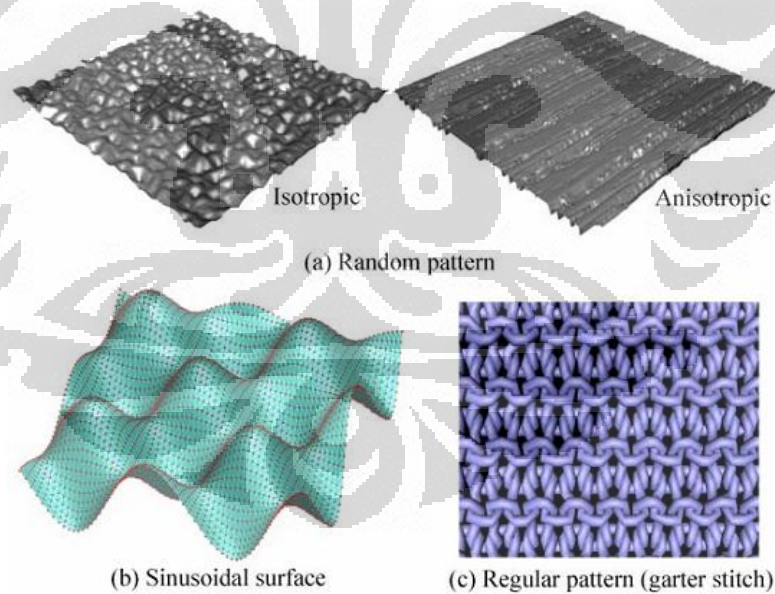
*Micro-texture* merupakan pengerjaan permukaan dari benda kerja untuk merubah sifat atau bentuk dari permukaan part tersebut. Tujuan mengubah bentuk permukaan suatu part ada beberapa, contohnya untuk mengurangi friksi aliran fluida di sekitar part tersebut atau untuk mendapatkan suatu bentuk

permukaan yang sulit didapatkan apabila dilakukan dengan cara manufaktur yang lain.



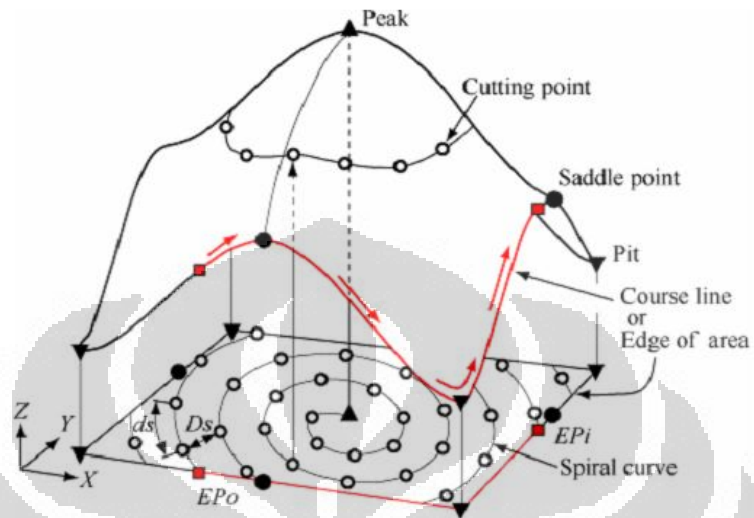
**Gambar 2.11 Langkah pembuatan *micro-texture* [1]**

Struktur permukaan pada benda kerja berskala mikro bermacam-macam. Untuk menjadi acuan, struktur permukaan berpola selalu dibangun oleh peneliti. Tekstur berulang dipakai untuk menilai hasil permukaan pada part berskala mikro dengan rentang  $100\ \mu\text{m} - 600\ \mu\text{m}$ .

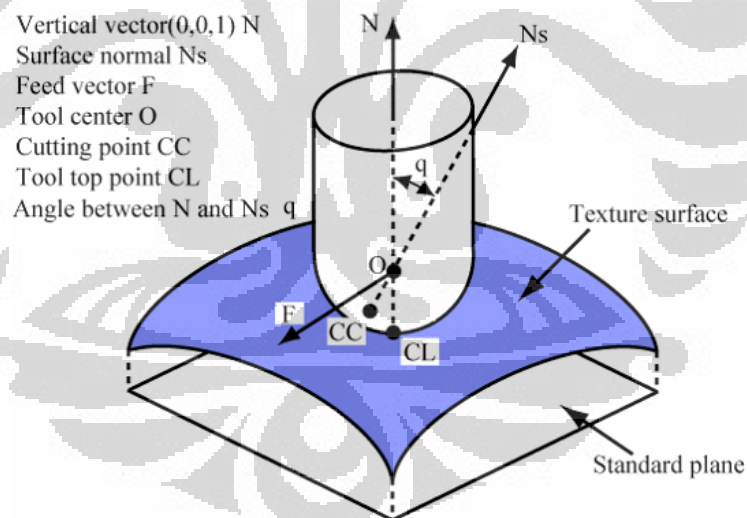


**Gambar 2.12 Contoh tekstur mikro [1]**

Struktur permukaan mikro membutuhkan desain pemesinan yang lebih terstruktur. Pada pembangunan model untuk pemesinan pengenalan pada bentuk permukaan sangat penting. Hal ini berpengaruh pada pembuatan *tool path* dari tekstur mikro.

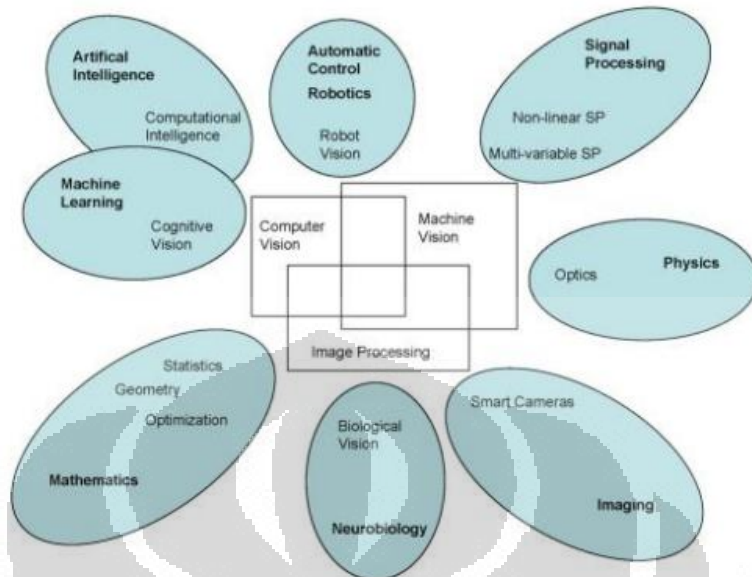


Gambar 2.13 Pembuatan *tool path micro-texture* pada part berukuran mikro [1]



Gambar 2.14 Ilustrasi proses pemesinan pada *micro texture* [1]

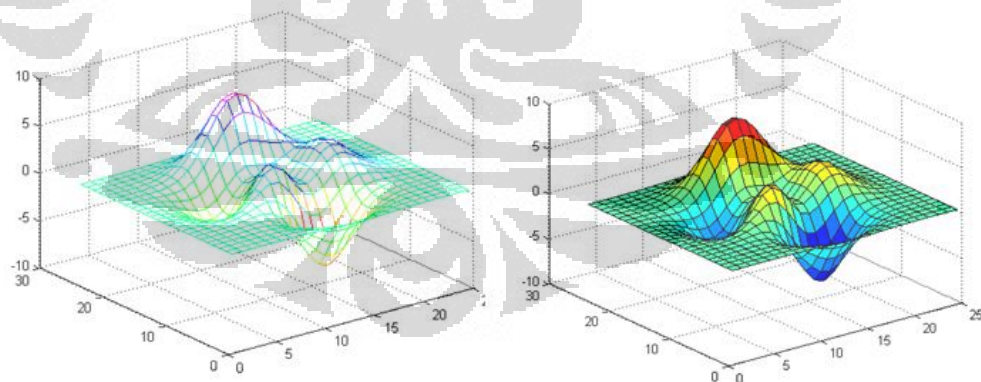
### 2.3. *Image Processing*



Gambar 2.15 Skema *Image Proses* [3]

*Image process* dilakukan untuk memberikan hasil pemesinan yang lebih baik. Dengan membuat permukaan yang lebih *smooth* akan membuat hasil pemesinan mendekati pola dari gambar.

*Image process* juga diperlukan membangun bentuk geometri dari gambar yang tadinya 2D menjadi 3D. Pembangunan *Z-level* menjadi penting karena awal dari pembuatan *tool path* untuk pemesinan.



Gambar 2.16 Proses pembentukan *Z-level* menggunakan fungsi *mesh* Matlab [7]

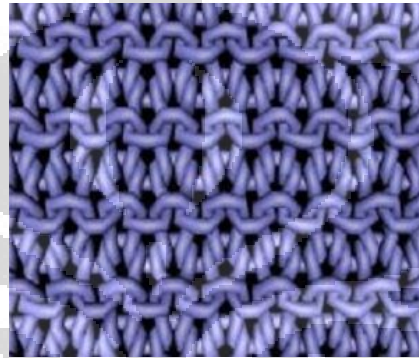


## BAB 3

### PERANCANGAN *TOOL PATH*

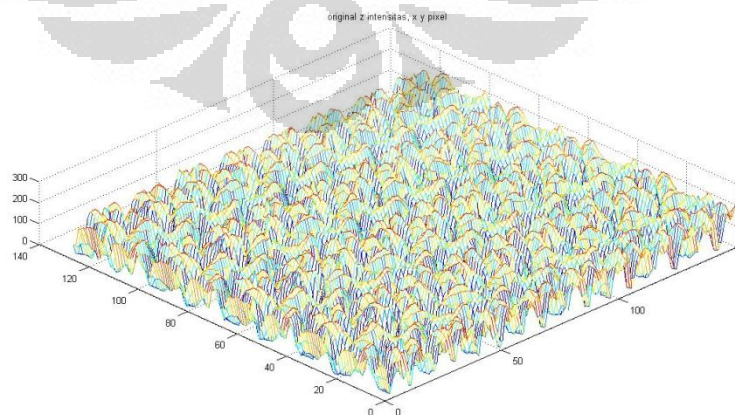
#### 3.1. Proses Pengolahan Citra dari 2D menjadi 3D

*Image* yang digunakan untuk contoh adalah *image* rantai, karena memiliki pola berulang sehingga diharapkan dapat mewakili tekstur dari permukaan.



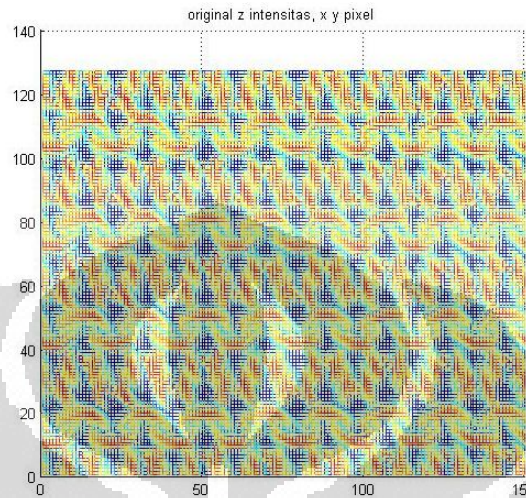
Gambar 3.1 Original Image (*Garter Stitch Pattern*) [1]

Kemudian dengan menggunakan program matlab, di konversi untuk mendapat *Z-level*. *Image* yang digunakan berukuran 127 x 150 pixel. Artinya *Image* ini terdapat 127 baris searah sumbu-X dan 150 baris searah sumbu-Y. Dimana masing-masing baris dan kolom memiliki nilai pixel sendiri. Nilai piksel yang terdapat dalam setiap baris dan kolom inilah yang dikonversi menjadi *Z-level*.



Gambar 3.2 *Z-level Conversion*

Setelah didapat *Z-level*, langkah selanjutnya adalah membuat *tool path*. Disini harus dipastikan agar tidak terjadi perubahan struktur dari *Image*. Diharapkan *tool path* dari permukaan tekstur masih membawa bentuk *image* rantai.



**Gambar 3.3 Pola Rantai setelah dikonversi ke *Z-level* masih dipertahankan**

## 3.2. Perancangan *Tool Path*

### 3.2.1. Proses *Gouging Avoidance*

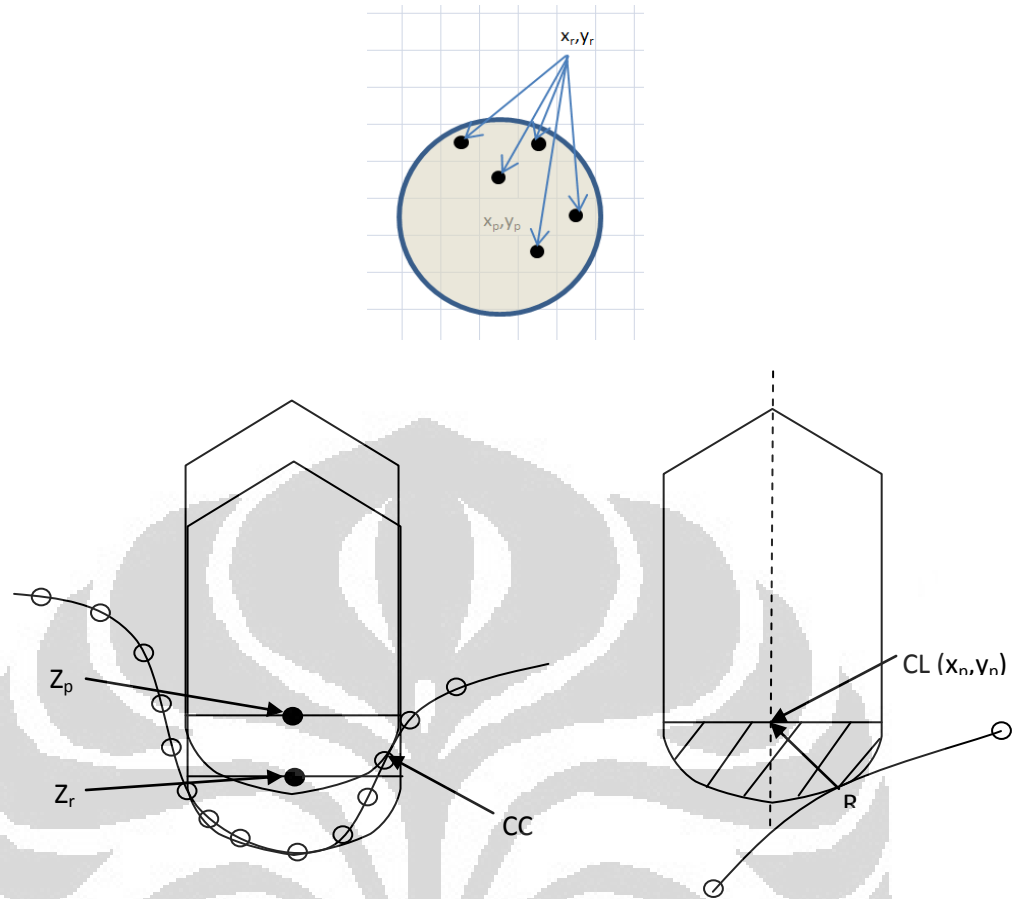
Setelah dilakukan *image processing*, langkah selanjutnya adalah membuat *tool path*. Pada pembuatan *tool path* diperlukan suatu aksi agar tidak terjadi *gouging* atau *interference*. *Gouging* adalah kondisi dimana terjadi pemotongan berlebih saat proses pemesinan. Hal ini dapat dihindari dengan melakukan proses *gouging avoidance* terhadap desain *tool path*.

Dengan memperhitungkan diameter *cutting tool* yang digunakan dan resolusi dari mesin, proses *gouging avoidance* akan mendapat hasil yang baik.

Deteksi *gouging* dilakukan berdasarkan perhitungan jarak *vertex* atau titik-titik ketinggian dengan posisi pusat mata pahat *milling*, bertujuan untuk menghindari *overcut* dari permesinan terhadap citra input tekstur yang digunakan. Dengan menggunakan persamaan jarak sederhana sebagai berikut :

$$z_p = z_r + (R^2 - (x_p - x_r)^2 - (y_p - y_r)^2)^{1/2}$$

[J S Hwang, Interference-free tool-path generation in the NC machining of parametric compound surfaces]



Gambar 3.4 Skema *Gouging Avoidance*

Dimana:

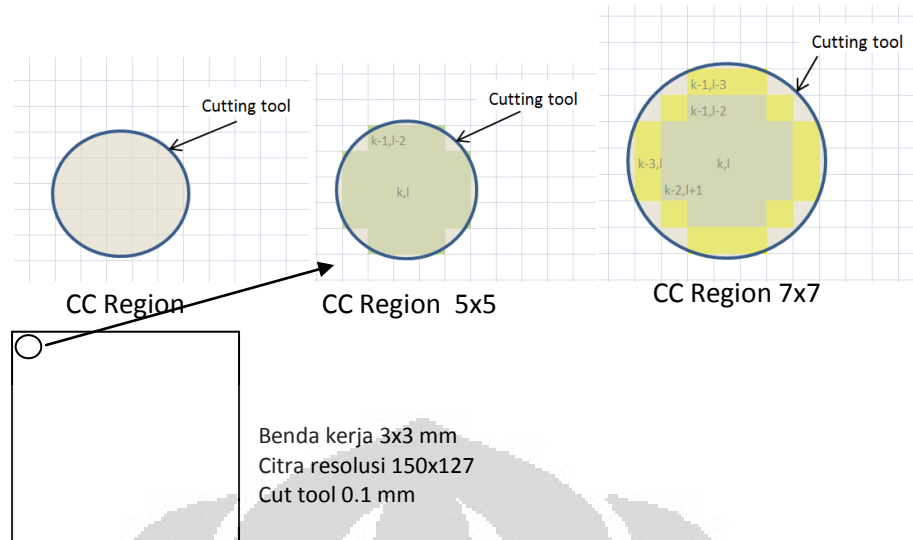
$x_p$  dan  $y_p$  = koordinat lokasi mata pahat *milling*

$x_r, y_r, z_r$  = koordinat titik-titik yang tercakup pada luas mata pahat *milling*

$R$  = *radius* mata pahat *milling*

$z_p$  = posisi ketinggian mata pahat *milling* yang sudah bebas *gouging*





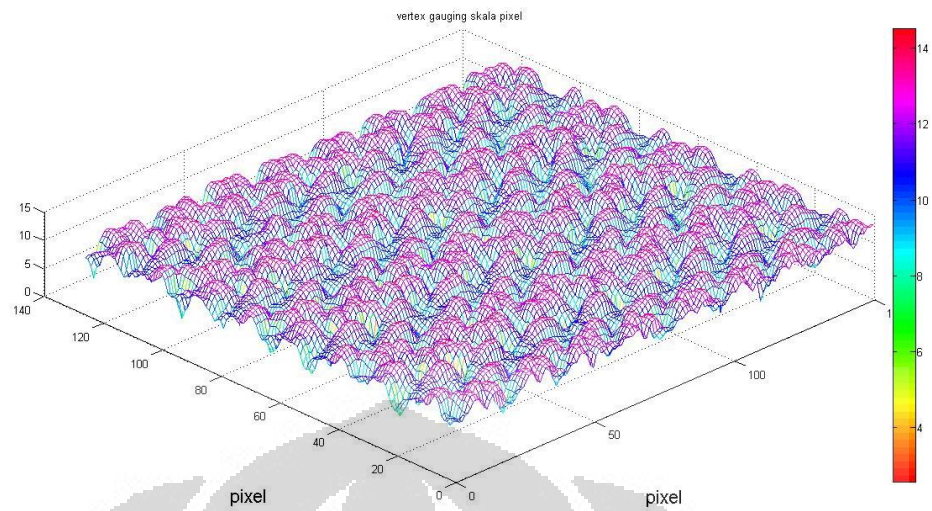
**Gambar 3.5 Bucketting**

```

Editor - D:\Don't Disturb\TA, Riset, Skripsi dkk\Texture\matlab\Final\formatGOLA.m*
This file uses Cell Mode. For information, see the rapid code iteration video, the publishing video, or help.
55     %fungsi gauging detection
56 -     if cc <= 5 && cc > 3
57 -         for k=((jarak/2)+1):x+(jarak/2)
58 -             for l=((jarak/2)+1):y+(jarak/2)
59 -                 zp=[0,kenaikan(k-2,l-1,Zbaruns(k-2,l-1),radius,k,l),kenaikan(
60 -                     kenaikan(k-1,l-2,Zbaruns(k-1,l-2),radius,k,l),kenaikan(k-
61 -                     kenaikan(k,l-2,Zbaruns(k,l-2),radius,k,l),kenaikan(k,l-1,
62 -                     kenaikan(k+1,l-2,Zbaruns(k+1,l-2),radius,k,l),kenaikan(k+
63 -                     0,kenaikan(k+2,l-1,Zbaruns(k+2,l-1),radius,k,l),kenaikan(
64 -                     zpmax=abs(max(max(zp)));
65 -                     Zpath(k-(jarak/2),l-(jarak/2))=zpmax;
66 -             end
67 -         end
  
```

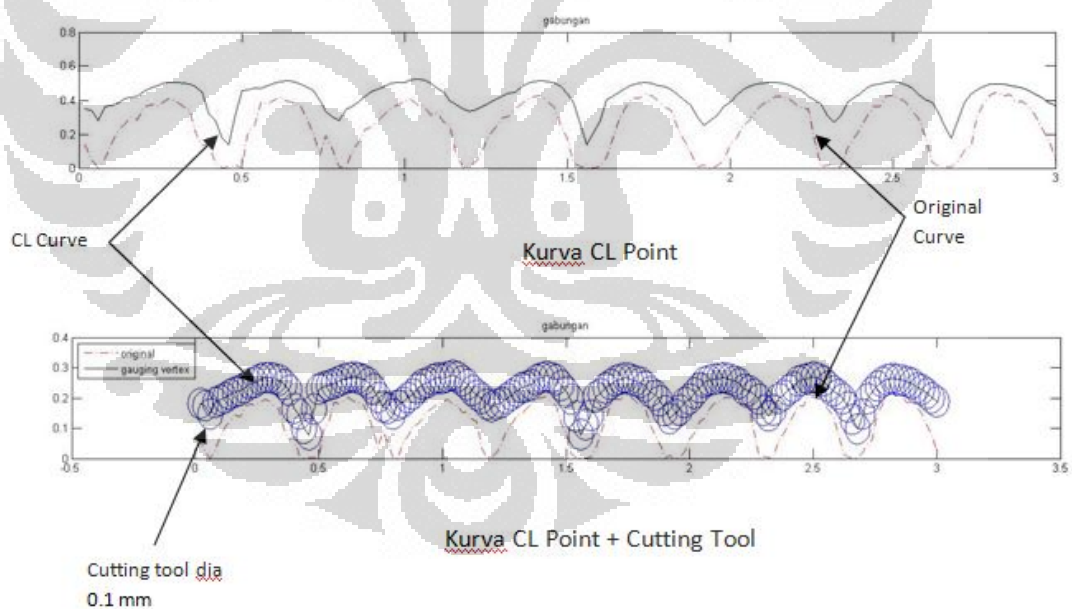
**Gambar 3.6 Matlab program gauging avoidance**

Dengan menggunakan barisan program di atas akan didapat *tool path* dari permukaan yang telah mengalami *image processing*.

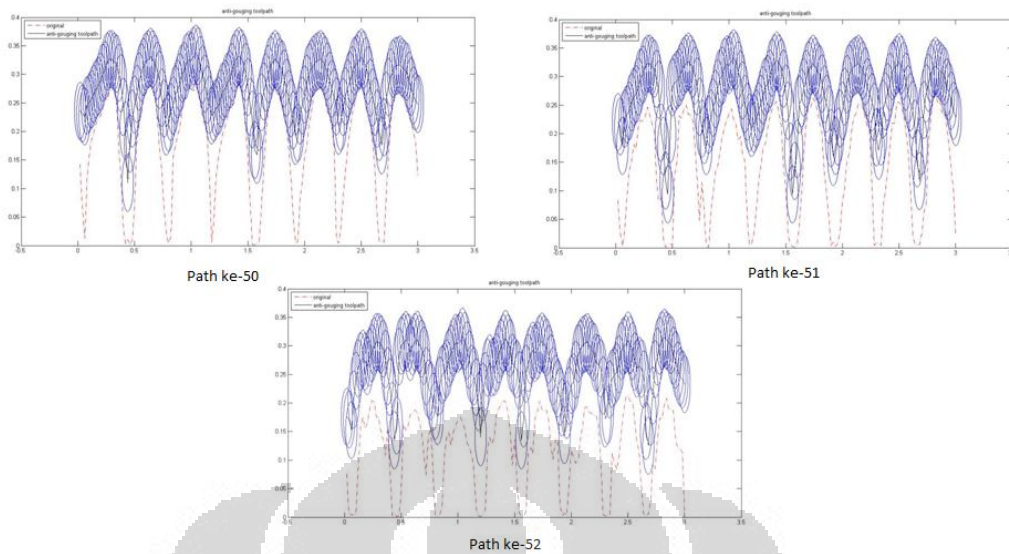


**Gambar 3.7 Hasil *Gouging Avoidance***

Dari hasil tersebut telah dapat diunduh ke mesin untuk dilakukan pemesinan. Dapat terlihat bahwa *cutting tool* terangkat untuk menghindari *gouging*.



**Gambar 3.8 Hasil *gouging avoidance process***



Gambar 3.9 Perbandingan gouging avoidance pada path 50, 51, dan 52

Hasil proses gouging avoidance berbeda kenaikannya pada setiap path karena dipengaruhi secara luas. Maksud dipengaruhi secara luas adalah dipengaruhi oleh kurva searah sumbu-X dan kurva searah sumbu-Y.

### 3.2.2. Pengaturan Depth of Cut

Pengaturan Depth of Cut sangat bergantung pada kemampuan dari cutting tool dalam hal ini materialnya. Dan bergantung pada material benda kerja. Diperhitungkan pula kecepatan spindle dan kecepatan pemakanan yang akan digunakan.

Tabel 3.1 Penggunaan Depth of Cut untuk proses roughing [10]

SMG	Coeffit	a <sub>p</sub> x D <sub>c</sub>	R <sub>a</sub> x D <sub>c</sub>	v <sub>c</sub> (m/min)	Copy milling roughing D <sub>c</sub> (mm)																
					0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2				
1-2	M/EA	0,60	0,05	400 (350-450)	n (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
					v <sub>f</sub> (mm/min)	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095		
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
3-4	M/EA	0,60	-0,05	400 (350-450)	n (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
					v <sub>f</sub> (mm/min)	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095			
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
5-8	M/EA	0,60	0,05	400 (350-450)	n (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
					v <sub>f</sub> (mm/min)	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095			
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
7	M/A 4S-5S HRC	0,45	0,05	320 (300-340)	n (rev/min)	1018590	679060	509300	339530	254650	203720	169770	127320	101860	84880	67910	56950	50930			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
					v <sub>f</sub> (mm/min)	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075			
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040			
7	M/A 56-62 HRC	0,30	0,05	130 (110-150)	n (rev/min)	413800	275870	206900	137630	103450	82760	68970	51730	41380	34480	27590	22900	20690			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,009	0,011	0,014	0,018	0,022	0,027	0,032	0,036			
					v <sub>f</sub> (mm/min)	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490			
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,013	0,016	0,019	0,024	0,029	0,032			
7	M/A 62-65 HRC	0,25	0,05	100 (80-120)	n (rev/min)	318310	212210	159150	106100	79580	63660	53050	39790	31830	26530	21220	17690	15920			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,013	0,016	0,019	0,024	0,029				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,009	0,011	0,014	0,017	0,021	0,025				
7	M/A >65HR c	0,20	0,03	50 (40-80)	n (rev/min)	445630	297090	222820	148540	111410	89130	74270	55700	44560	37140	29710	24760	22280			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036			
					v <sub>f</sub> (mm/min)	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
8-9	E/MA	0,60	0,03	140 (120-160)	n (rev/min)	445630	297090	222820	148540	111410	89130	74270	55700	44560	37140	29710	24760	22280			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
10-11	E/MA	0,60	0,03	140 (120-160)	n (rev/min)	445630	297090	222820	148540	111410	89130	74270	55700	44560	37140	29710	24760	22280			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
16	E/MA	0,75	0,10	500 (450-550)	n (rev/min)	159150	106100	79570	53050	39780	31830	26520	19840	15910	13260	10610	8840	7950			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
17	E/MA	0,75	0,10	500 (450-550)	n (rev/min)	159150	106100	79570	53050	39780	31830	26520	19840	15910	13260	10610	8840	7950			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
18	E/MA	0,75	0,10	450 (400-500)	n (rev/min)	143230	95490	71620	47740	35810	28640	23870	17950	14320	11930	9540	7980	7160			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,003	0,004	0,005	0,008	0,010	0,013	0,015	0,020	0,025	0,030	0,036	0,045				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,003	0,004	0,005	0,008	0,010	0,013	0,015	0,020	0,025	0,030	0,036	0,045				
22	E/MA	0,60	0,03	200 (180-220)	n (rev/min)	636620	424410	318310	212210	159150	127320	106100	79580	63660	53050	42440	35370	31830			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,009	0,012	0,015	0,018	0,023	0,027				
Graphite	A	0,50	0,50	400 (350-450)	n (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660			
					f <sub>x</sub> (mm)	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,009	0,012	0,015	0,018	0,023	0,027				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820				
					a <sub>p</sub> (mm)	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,009	0,012	0,015	0,018	0,023	0,027				

Berdasarkan tabel, Aluminium

$$N = 1,591,550 \text{ rpm}$$

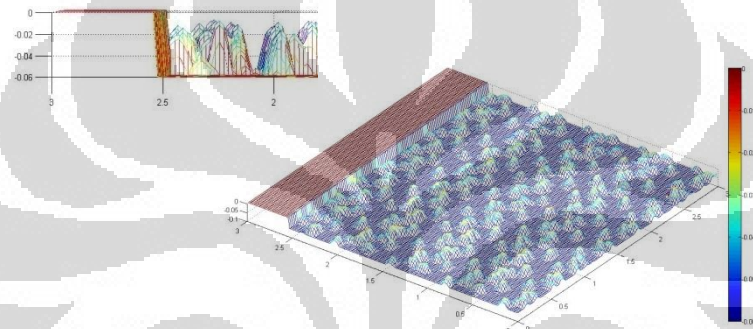
$$F_z = 0.002 \text{ mm}$$

$$V_f = 6365 \text{ mm/min}$$

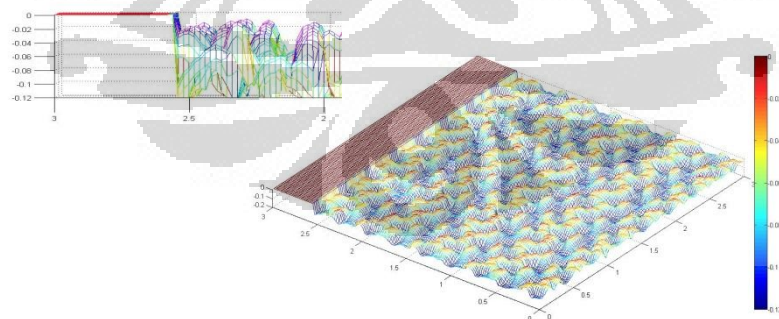
$$A_p \text{ (Depth of Cut Axial)} = 0.075 \text{ mm}$$

$$A_e \text{ (Depth of Cut Radial)} = 0.01 \text{ mm}$$

Untuk penggunaan benda kerja material aluminium, dengan proses pemesinan *side milling* digunakan *Depth of Cut* sebesar 0.06 mm. Jadi didesain untuk 3 kali step pemakanan dengan kedalaman 0.06 mm, 1 kali sedalam 0.536 dan sekali proses *finishing*.

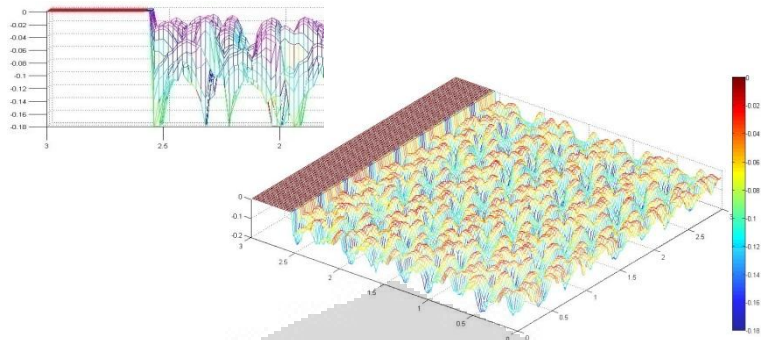


**Gambar 3.10 Step pertama dengan akumulasi kedalaman 0.06 mm**

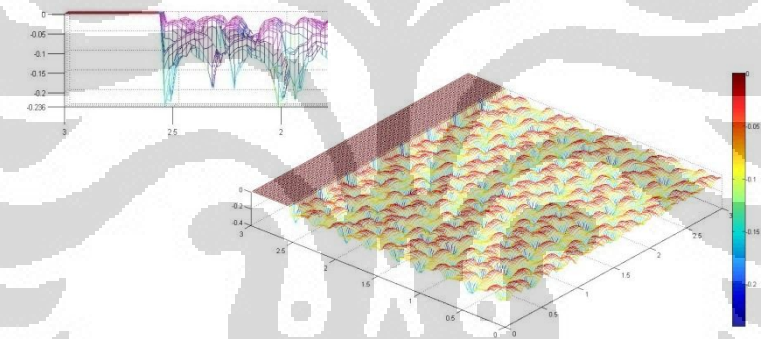


**Gambar 3.11 Step kedua dengan akumulasi kedalaman 0.12 mm**






**Gambar 3.12 Step ketiga dengan akumulasi kedalaman 0.18 mm**



**Gambar 3.13 Step keempat dengan akumulasi kedalaman 0.236 mm**

Pada langkah selanjutnya dilakukan *finishing*. Parameter yang digunakan berbeda dengan step yang sebelumnya.

Tabel 3.2 Penggunaan *Depth of Cut* untuk proses *finishing* [10]

JM915/JM925						Copy milling finishing D <sub>c</sub> (mm)																
SMG	Coolant	a <sub>p</sub> x D <sub>c</sub>	a <sub>e</sub> x D <sub>c</sub>	V <sub>c</sub> (m/min)		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2				
1-2	M/E/A	0,03	0,02	500 (450-550)	n (rev/min)	1591550	1061030	795770	530520	397890	318310	265260	198940	159150	132630	106100	88420	75950				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550
3-4	M/E/A	0,03	0,02	500 (450-550)	n (rev/min)	1591550	1061030	795770	530520	397890	318310	265260	198940	159150	132630	106100	88420	75950				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550
5-6	M/E/A	0,03	0,02	500 (450-550)	n (rev/min)	1591550	1061030	795770	530520	397890	318310	265260	198940	159150	132630	106100	88420	75950				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550
7	M/A 48-56 HRc	0,02	0,02	370 (350-390)	n (rev/min)	1177750	785160	588870	392580	294440	235550	196290	147220	117770	98150	78520	65430	56880				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065
7	M/A 56-62 HRc	0,02	0,02	160 (140-180)	n (rev/min)	509300	338530	254650	189770	127320	101860	84880	63660	50930	42440	33950	25430	21220	19100			
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,004	0,006	0,008	0,011	0,014	0,017	0,022	0,028	0,034	0,042	0,050	0,058				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850
7	M/A 62-65 HRc	0,02	0,02	120 (100-140)	n (rev/min)	381970	254650	190990	127320	95490	76390	63660	47750	38200	31830	23460	21220	19100				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,004	0,005	0,008	0,010	0,013	0,016	0,021	0,026	0,031	0,039	0,047	0,052				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985
7	M/A >65HR c	0,01	0,01	65 (55-75)	n (rev/min)	206900	137930	103450	68970	51730	41380	34480	25860	20690	17240	13790	11490	10330				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,002	0,004	0,005	0,007	0,010	0,012	0,014	0,019	0,024	0,029	0,036	0,043	0,048				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995
8-9	E/M/A	0,02	0,02	185 (165-205)	n (rev/min)	588870	392580	294440	196290	147220	117770	98150	73610	58890	49070	39260	32720	29440				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	
10-11	E/M/A	0,02	0,02	185 (165-205)	n (rev/min)	588870	392580	294440	196290	147220	117770	98150	73610	58890	49070	39260	32720	29440				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	
16	E/M/A	0,04	0,03	600 (550-650)	n (rev/min)	1909860	1273240	954930	636620	477460	381970	318310	238730	180990	159150	127320	106100	95490				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460
17	E/M/A	0,04	0,03	600 (550-650)	n (rev/min)	1909860	1273240	954930	636620	477460	381970	318310	238730	180990	159150	127320	106100	95490				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460
18	E/M/A	0,04	0,03	550 (500-600)	n (rev/min)	1750700	1167140	875350	583570	437680	350140	291780	218840	175070	145890	116710	97260	87540				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	732110	498080	368060	244040	183030	146420	122020	91510	73210	61010	48810	40670	36810				
22	E/M/A	0,03	0,02	230 (210-250)	n (rev/min)	1909860	1273240	954930	636620	477460	381970	318310	238730	180990	159150	127320	106100	95490				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,060				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395
Graphite	A	0,02	0,02	600 (550-650)	n (rev/min)	1909860	1273240	954930	636620	477460	381970	318310	238730	180990	159150	127320	106100	95490				
					f <sub>z</sub> (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,042				
					v <sub>f</sub> (mm/min)	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640

Berdasarkan tabel, Aluminium

N = 1,909,860 rpm

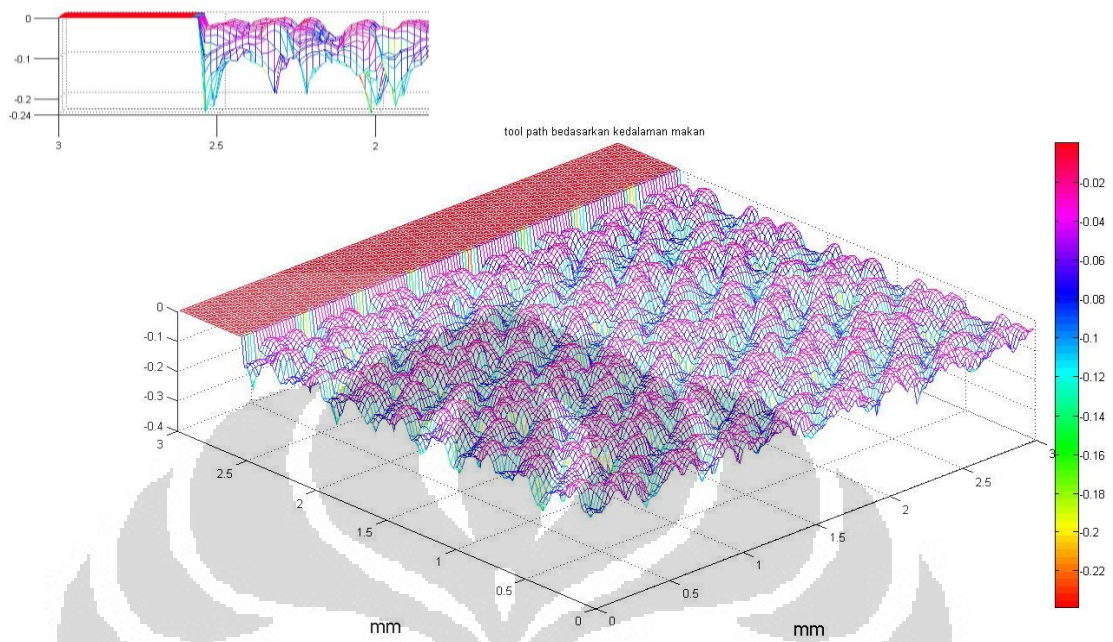
F<sub>z</sub> = 0.003 mm

V<sub>f</sub> = 11460 mm/min

A<sub>p</sub> (*Depth of Cut Axial*) = 0.004 mm

A<sub>e</sub> (*Depth of Cut Radial*) = 0.003 mm

Dengan menggunakan tabel di atas kedalaman pemakanan saat *finishing* adalah 0.004 mm. Angka ini didapat dengan memperhitungkan kecepatan pemakanan, putaran spindle dan bahan material benda kerja.



**Gambar 3.14 Hasil *finishing* dari pemesinan dengan kedalaman total 0.24 mm**

Gambar 3.10 hingga 3.14 bukan hasil surface saat dilakukan pemesinan, namun adalah hasil *mapping CL-file* dari *cutting tool*. Nilai dari *CL point* ini yang nantinya akan didownload ke mesin sehingga proses pemesinan dapat berjalan

## BAB 4

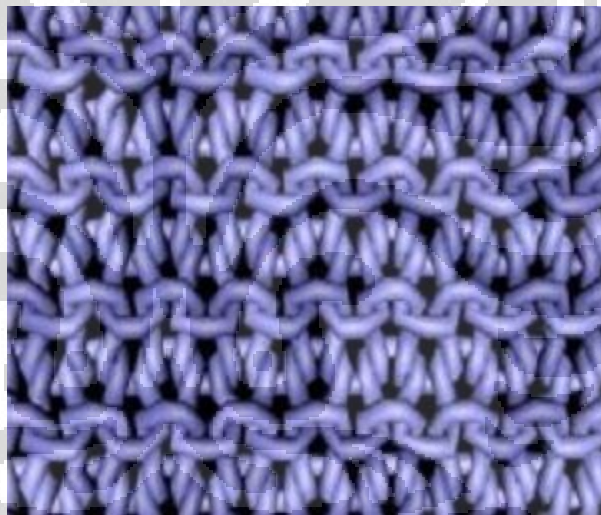
### PROSES PEMESINAN

Dalam penelitian ini telah dilakukan beberapa kali pemessinan untuk tekstur permukaan mikro part, dengan tujuan mencaaritahu keefektifan penggunaan metode olah citra 2D dalam pemessinan tekstur permukaan mikro part.

Pemessinan dilakukan 2 kali untuk menghasilkan 2 spesimen dengan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

#### 4.1 Citra 2D

Citra 2D yang digunakan adalah citra dengan pola sebagai berikut:



**Gambar 4.1 Pola a (Garter Stich resolusi 254x300 pixel) [1]**



**Gambar 4.2 Pola b (Garter Stich resolusi 127x150 pixel) [1]**





**Gambar 4.3 Pola c (PolaTekstur Logo UI, Mesin, Android, NVIDIA 150x150 pixel)**

Pola a dan b digunakan untuk mengetahui efek kerapatan data ketinggian terhadap pemesinan actual dengan material benda kerja aluminium. Pola c digunakan untuk memperlihatkan kemampuan proses micro-milling untuk menghasilkan tekstur permukaan mikro dengan model pola yang tidak berulang namun lebih menyerupai embos. Ketiga pola citra tidak melalui proses *smoothing*.

## 4.2 Perencanaan *Toolpath*

Perencanaan *toolpath* dilakukan dengan *software* matlab seperti yang sudah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya. Perancangan *toolpath* dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter berikut:

### 4.2.1 Deteksi *gouging avoidance*

Deteksi *gouging* dilakukan berdasarkan perhitungan jarak *vertex* atau titik-titik ketinggian dengan posisi pusat mata pahat milling, bertujuan untuk menghindari *overcut* dari pemesinan terhadap citra input tekstur yang digunakan. Dengan menggunakan persamaan jarak sederhana sebagai berikut :

$$z_p = z_r + (R^2 - (x_p - x_r)^2 - (y_p - y_r)^2)^2$$

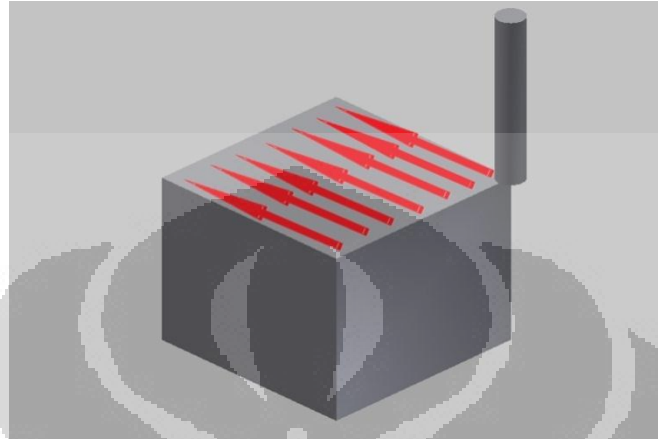
[J S Hwang, Interference-free tool-path generation in the NC machining of parametric compound surfaces]

Dimana:

- $x_p$  dan  $y_p$  = koordinat lokasi mata pahat *milling*
- $x_r, y_r, z_r$  = koordinat titik-titik yang tercakup pada luas mata pahat *milling*
- $R$  = *radius* mata pahat *milling*
- $z_p$  = posisi ketinggian mata pahat *milling* yang sudah bebas *gouging*

### 4.2.2 *Cutting Strategi*

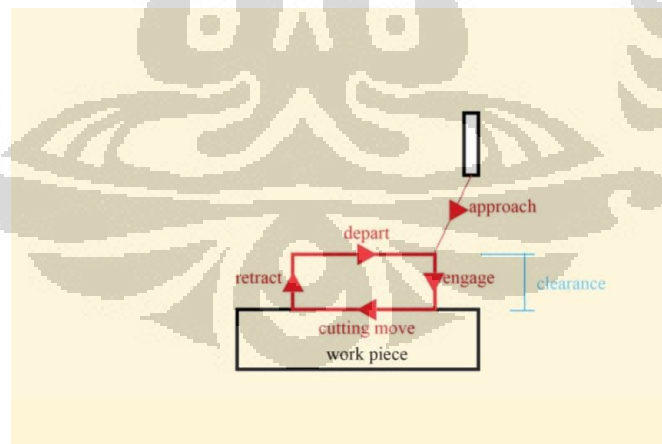
*Cutting strategi* yang digunakan adalah gerakan Zig, yang bertujuan untuk menghindari kesalahan pergerakan pada ukuran mikro. Pergerakan zig lebih mudah diatur.



Gambar 4.4 Pergerakan Zig

### 4.2.3. Pergerakan *Non-cutting*

Pergerakan *non-cutting* mencakup pergerakan *approach*, *engage*, *retract* dan *depart*. *Clearance* diberi nilai konstan sebesar 0.5 mm.



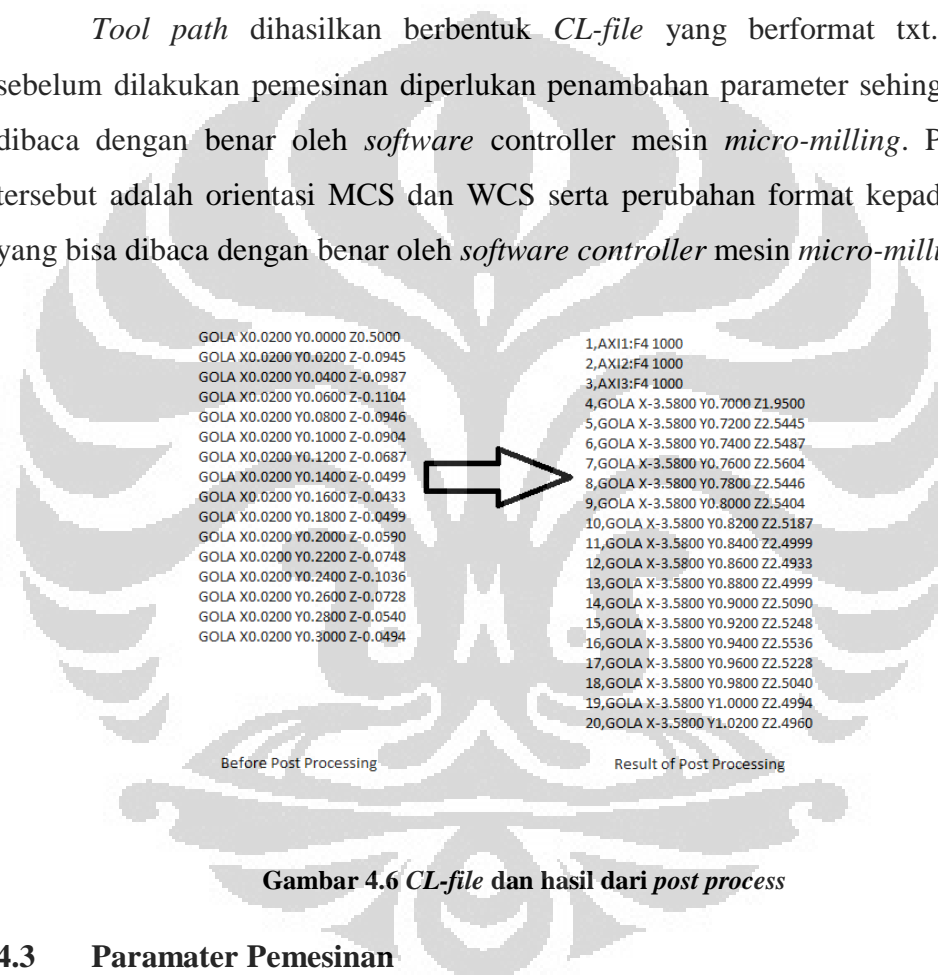
Gambar 4.5 Pergerakan *non-cutting*

#### 4.2.4 Kedalaman pemakanan

Kedalaman pemakanan ditentukan berdasarkan parameter yang yang diberikan oleh *Seco Tools, inc.* sebagai produsen mata pahat yang dipakai. Untuk kedalaman tekstur sebesar 0.24 mm dibutuhkan pemakanan 4 kali dengan tiap pemakannya memiliki kedalaman pemakanan sebesar 0.06 mm.

#### 4.2.5 CL-file dan Post Process

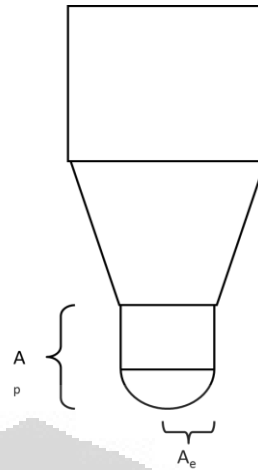
*Tool path* dihasilkan berbentuk *CL-file* yang berformat txt. Namun sebelum dilakukan pemesinan diperlukan penambahan parameter sehingga dapat dibaca dengan benar oleh *software* controller mesin *micro-milling*. Parameter tersebut adalah orientasi MCS dan WCS serta perubahan format kepada format yang bisa dibaca dengan benar oleh *software controller* mesin *micro-milling*.



Gambar 4.6 CL-file dan hasil dari post process

### 4.3 Paramater Pemesinan

Pengaturan *Depth of Cut* sangat bergantung pada kemampuan dari *cutting tool* dalam hal ini materialnya. Dan bergantung pada material benda kerja. Diperhitungkan pula kecepatan *spindle* dan kecepatan pemakanan yang akan digunakan.



Gambar 4.7 Skema Cutting Tool

Tabel 4.1 Penggunaan Depth of Cut untuk side milling

JMS15/JM925		Coolant	$f_p \times D_c$	$a_p \times D_c$	$v_c$ (m/min)	Icon	Copy milling roughing $D_c$ (mm)												
SMG							0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2
1-2	M/E/A	0,60	0,05	400 (350-450)	$n$ (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095
3-4	M/E/A	0,60	0,05	400 (350-450)	$n$ (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095
5-8	M/E/A	0,60	0,05	400 (350-450)	$n$ (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095	5095
T	M/A	0,45	0,05	320 (300-340)	$n$ (rev/min)	1018590	679060	509300	339630	254650	203720	169770	127320	101860	84880	67910	56560	50930	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075	4075
T	M/A	0,30	0,05	130 (110-150)	$n$ (rev/min)	413800	275370	206900	137490	103450	82760	69790	51730	41380	34480	27530	22890	20690	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,005	0,007	0,009	0,011	0,014	0,018	0,022	0,027	0,032	0,036	
					$v_f$ (mm/min)	1490	1490	1490	1460	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490	1490
7	M/A	0,25	0,05	100 (80-120)	$n$ (rev/min)	318310	212210	159150	106100	73560	63660	53050	39790	31830	26530	21220	17680	15920	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,013	0,016	0,019	0,024	0,029	0,032	
					$v_f$ (mm/min)	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	
7	M/A	>65HRc	0,20	0,03	50 (40-60)	$n$ (rev/min)	159150	106100	79580	53050	39790	31830	26530	19890	15920	12380	10610	8940	7960
						$f_z$ (mm)	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,011	0,014	0,017	0,021	0,025	0,028
						$v_f$ (mm/min)	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445
9-9	E/MA	0,60	0,03	140 (120-160)	$n$ (rev/min)	445630	297090	228220	148540	111410	89130	74270	55700	44560	37140	29710	24760	22820	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	
10-11	E/MA	0,60	0,03	140 (120-160)	$n$ (rev/min)	445630	297090	228220	148540	111410	89130	74270	55700	44560	37140	29710	24760	22820	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	1785	
16	E/MA	0,75	0,10	500 (450-550)	$n$ (rev/min)	159150	106100	79570	53050	39790	31830	26520	19890	15910	13260	10610	8940	7960	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	
17	E/MA	0,75	0,10	500 (450-550)	$n$ (rev/min)	159150	106100	79570	53050	39790	31830	26520	19890	15910	13260	10610	8940	7960	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	6365	
18	E/MA	0,75	0,10	450 (400-500)	$n$ (rev/min)	143290	95490	71620	47740	35810	28640	23730	17800	14320	11930	9540	7960	7160	
					$f_z$ (mm)	0,003	0,004	0,005	0,008	0,010	0,013	0,015	0,020	0,025	0,030	0,036	0,045	0,050	
					$v_f$ (mm/min)	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	7160	
22	E/MA	0,60	0,03	200 (180-220)	$n$ (rev/min)	636620	424410	318310	212210	159150	127320	106100	79580	63660	53050	42440	35370	31830	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	
					$v_f$ (mm/min)	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545
Graphite	A	0,50	0,50	400 (350-450)	$n$ (rev/min)	1273240	848830	636620	424410	318310	254650	212210	159150	127320	106100	84880	70740	63660	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,023	0,027	0,030		
					$v_f$ (mm/min)	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820

Berdasarkan tabel, Aluminium

$$N = 1,591,550 \text{ rpm}$$

$$F_z = 0,002 \text{ mm}$$

$$V_f = 6365 \text{ mm/min}$$

$$A_p \text{ (Depth of Cut Axial)} = 0,075 \text{ mm}$$

$$A_c \text{ (Depth of Cut Radial)} = 0,01 \text{ mm}$$

Berdasarkan pengukuran dengan menggunakan *Tacometer*, didapat kecepatan putaran *spindle* mesin = 70,000 – 80,000 rpm.

$$\text{Perbandingan RPM} = \frac{70000}{1591550} = 0.0439$$

$$\text{Feed rate yang didapat} = \frac{0.0439 \times 6365}{60} = 4.66 \text{ mm/s}$$

Pada pemesinan dipakai ,

- Feedrate = **1 mm/s**
- $A_p$  (*Depth of Cut Axial*) = **0.06 mm**
- $A_e$  (*Depth of Cut Radial*) = **0.02 mm**

Pada langkah selanjutnya dilakukan *finishing*. Parameter yang digunakan berbeda dengan step yang sebelumnya.

Tabel 4.2 Penggunaan *Depth of Cut* untuk proses *finishing*

JM915/JM925		Copy milling finishing $D_c$ (mm)																			
SMG	Coolant	$a_p \times D_c$	$a_e \times D_c$	$v_c$ (m/min)		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2			
1-2	M/E/A	0,03	0,02	500 (450-550)	$n$ (rev/min)	1591550	1061030	795770	530520	397890	318310	265260	198940	159150	132630	106100	88420	75950	65000		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550
3-4	M/E/A	0,03	0,02	500 (450-550)	$n$ (rev/min)	1591550	1061030	795770	530520	397890	318310	265260	198940	159150	132630	106100	88420	75950	65000		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550
5-6	M/E/A	0,03	0,02	500 (450-550)	$n$ (rev/min)	1591550	1061030	795770	530520	397890	318310	265260	198940	159150	132630	106100	88420	75950	65000		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550	9550
7	M/A	0,02	0,02	370 (350-390)	$n$ (rev/min)	1177150	795160	588670	392580	294440	235550	196290	147220	117770	98150	78520	63430	51840	42500	35000	
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065	7065
7	M/A	0,02	0,02	160 (140-180)	$n$ (rev/min)	509300	339530	254650	169770	127320	101860	84880	63660	50930	42440	33950	28290	25490	22990	20490	
					$f_z$ (mm)	0,003	0,004	0,006	0,008	0,011	0,014	0,017	0,022	0,028	0,034	0,042	0,050	0,058	0,066	0,074	0,082
					$v_f$ (mm/min)	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850
7	M/A	0,02	0,02	120 (100-140)	$n$ (rev/min)	381970	254650	190990	127320	95490	76390	63660	47750	38200	31830	25460	21220	19100	17000	15000	
					$f_z$ (mm)	0,003	0,004	0,005	0,008	0,010	0,013	0,016	0,021	0,026	0,031	0,039	0,047	0,055	0,063	0,071	0,079
					$v_f$ (mm/min)	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985
7	M/A	0,01	0,01	65 (55-75)	$n$ (rev/min)	206800	137930	103450	68970	51730	41390	34480	25860	20690	17240	13790	11490	10090	8900	7900	
					$f_z$ (mm)	0,002	0,004	0,005	0,007	0,010	0,012	0,014	0,019	0,024	0,029	0,036	0,043	0,050	0,057	0,064	0,071
					$v_f$ (mm/min)	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995
8-9	E/M/A	0,02	0,02	185 (165-205)	$n$ (rev/min)	588870	392580	294440	196290	147220	117770	98150	78520	58890	49070	39260	32720	29440	26620		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535
10-11	E/M/A	0,02	0,02	185 (165-205)	$n$ (rev/min)	588870	392580	294440	196290	147220	117770	98150	78520	58890	49070	39260	32720	29440	26620		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535	3535
16	E/M/A	0,04	0,03	600 (550-650)	$n$ (rev/min)	1909860	1273240	954930	636620	477460	381970	318310	238730	190990	159150	127320	106100	88420	75950		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460
17	E/M/A	0,04	0,03	600 (550-650)	$n$ (rev/min)	1909860	1273240	954930	636620	477460	381970	318310	238730	190990	159150	127320	106100	88420	75950		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460	11460
18	E/M/A	0,04	0,03	550 (500-600)	$n$ (rev/min)	1750700	1167140	875350	583570	437680	350140	291780	218840	175070	145990	116710	97260	83540	72000		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505	10505
22	E/M/A	0,03	0,02	230 (210-250)	$n$ (rev/min)	732110	488060	366060	244040	183030	146420	122020	91510	73210	61010	48810	40670	35610	31100		
					$f_z$ (mm)	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,024	0,030	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
					$v_f$ (mm/min)	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395	4395
Graphite	A	0,02	0,02	600 (550-650)	$n$ (rev/min)	1909860	1273240	954930	636620	477460	381970	318310	238730	190990	159150	127320	106100	88420	75950		
					$f_z$ (mm)	0,002	0,003	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,043	0,050	0,057	0,064
					$v_f$ (mm/min)	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640	7640



Berdasarkan tabel, Aluminium

$$N = 1,909,860 \text{ rpm}$$

$$F_z = 0.003 \text{ mm}$$

$$V_f = 11460 \text{ mm/min}$$

$$A_p \text{ (Depth of Cut Axial)} = 0.004 \text{ mm}$$

$$A_e \text{ (Depth of Cut Radial)} = 0.003 \text{ mm}$$

Berdasarkan pengukuran dengan menggunakan *Tacometer*, didapat kecepatan putaran *spindle* mesin = 70,000 – 80,000 rpm.

$$\text{Perbandingan RPM} = \frac{70000}{1909860} = 0.0366$$

$$\text{Feed rate yang didapat} = \frac{0.0366 \times 11460}{60} = 7 \text{ mm/s}$$

Pada pemesinan dipakai ,

$$\text{Feedrate} = \underline{\underline{1 \text{ mm/s}}}$$

$$A_p \text{ (Depth of Cut Axial)} = \underline{\underline{0.004 \text{ mm}}}$$

$$A_e \text{ (Depth of Cut Radial)} = \underline{\underline{0.02 \text{ mm}}}$$

#### 4.4 Pemesinan

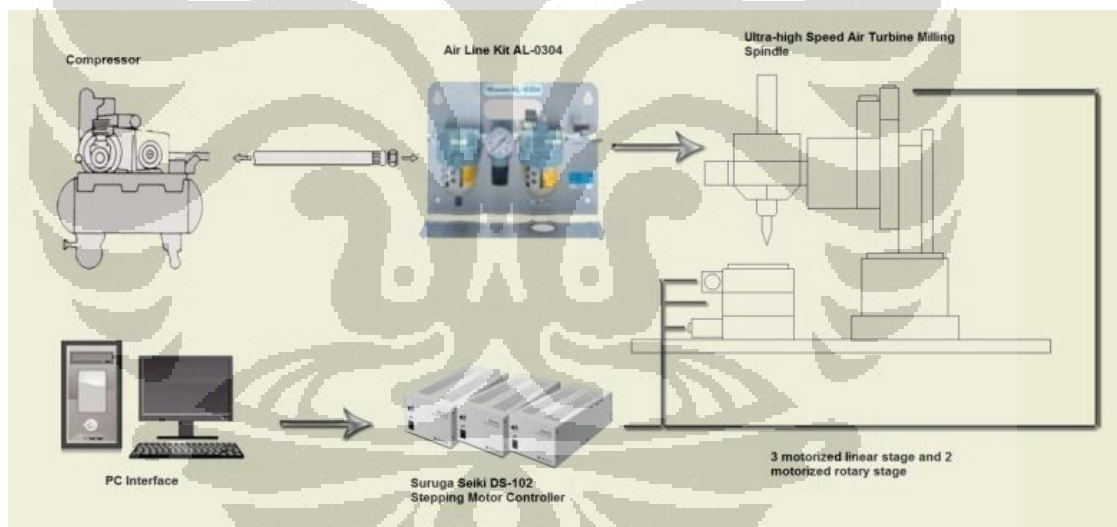
Mesin *micro-milling* berbasis kepada mesin berpresisi ultra yang harus dikondisikan pada keadaan yang tangguh dan pada temperatur lingkungan tertentu. Bagian utama mesin *micro-milling* terdiri dari *spindle*, *stages*, *frame* dan *controller*. Bagian tersebut memiliki spesifikasi tertentu untuk memenuhi kebutuhan machining skala mikro, contohnya panjang lintasan, resolusi, akurasi.

Mesin *micro-milling* yang digunakan untuk penelitian ini memiliki kemampuan pergerakan 5 axis yang terdiri dari 3 *motorized linear stage* (Suruga Seiki KYC06020-G for XY axis dan KS302-30 for Z axis) dan 2 *motorized rotary stage* (Suruga Seiki KS402-75 dan KRW06360), akan tetapi pada penelitian mengenai *micro-texturing* ini yang digunakan hanyalah pergerakan 3 axis *linier*. Sebuah *spindle milling* turbin udara kecepatan tinggi (NSK HTS1501S-M2040) yang ditenagai oleh kompresor dengan rentang tekanan 0.4~0.5 MPa digunakan untuk memperoleh torsi dan kecepatan putaran *spindle* yang sesuai. Melalui pengukuran dengan *tachometer*, dengan rentang tekanan 0.4~0.5 MPa didapat putaran *spindle* sebesar 70000-80000 rpm. Tiga buah *stepping motor controller*

(Suruga Seiki *stepping motor controller* DS102) digunakan untuk mengatur pergerakan mesin *micro-milling*. Mesin *micro-milling* diletakkan pada permukaan meja anti getaran (Crown Windley 61864/1) untuk mencegah adanya interferensi getaran pada mesin saat melakukan *machining*.

Mata *milling* berukuran mikro yang digunakan adalah Jabro Mini JM915 *solid carbide end mill – ball nose*. *Carbide end mills – ball nose* dilapisi oleh lapisan MEGA-T (MEGA-T adalah lapisan eksklusif yang disediakan oleh *Seco Tools, Inc*). *Work piece* yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari aluminium AA1100 Aluminium yang memiliki dimensi 3x3x3 mm. Ketinggian pemasangan mata *milling* dibuat konstan karena untuk satu specimen digunakan hanya satu mata *milling* dengan diameter 100  $\mu\text{m}$ .

Sebuah *microscope* beresolusi tinggi (*zoom* 35x~150x) dengan resolusi mencapai 1280x1024 pixel digunakan untuk memonitor proses *machining* dan membantu dalam penentuan titik origin pada *machine coordinate system*(MCS).



**Gambar 4.8** Skematik pemesinan

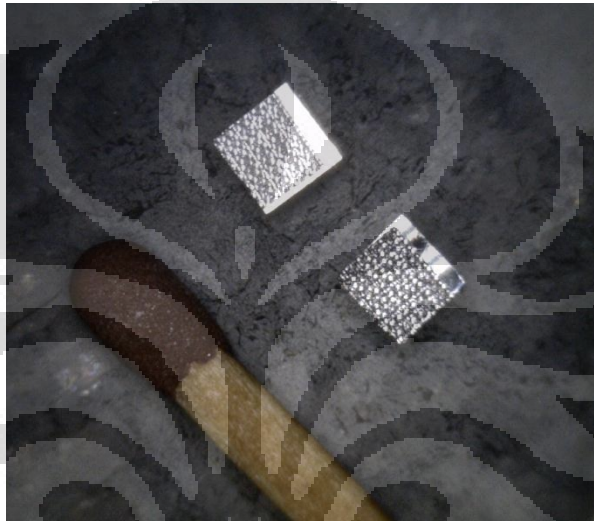
Setelah didapatkan hasil *post process* berupa text berformat prg, masukkan data tersebut kedalam software kontroler mesin *micro-milling* yang kemudian akan menjalankan mesin *micro-milling* sesuai dengan koordinat yang sudah direncanakan.

## BAB 5

### ANALISIS HASIL PEMESINAN

#### 5.1. Hasil Pemesinan

Pada pemesinan yang menggunakan gambar *garter stitch* dengan material aluminium berukuran 3 x 3 x 3 mm didapat hasil yang mendekati dari *image process*.



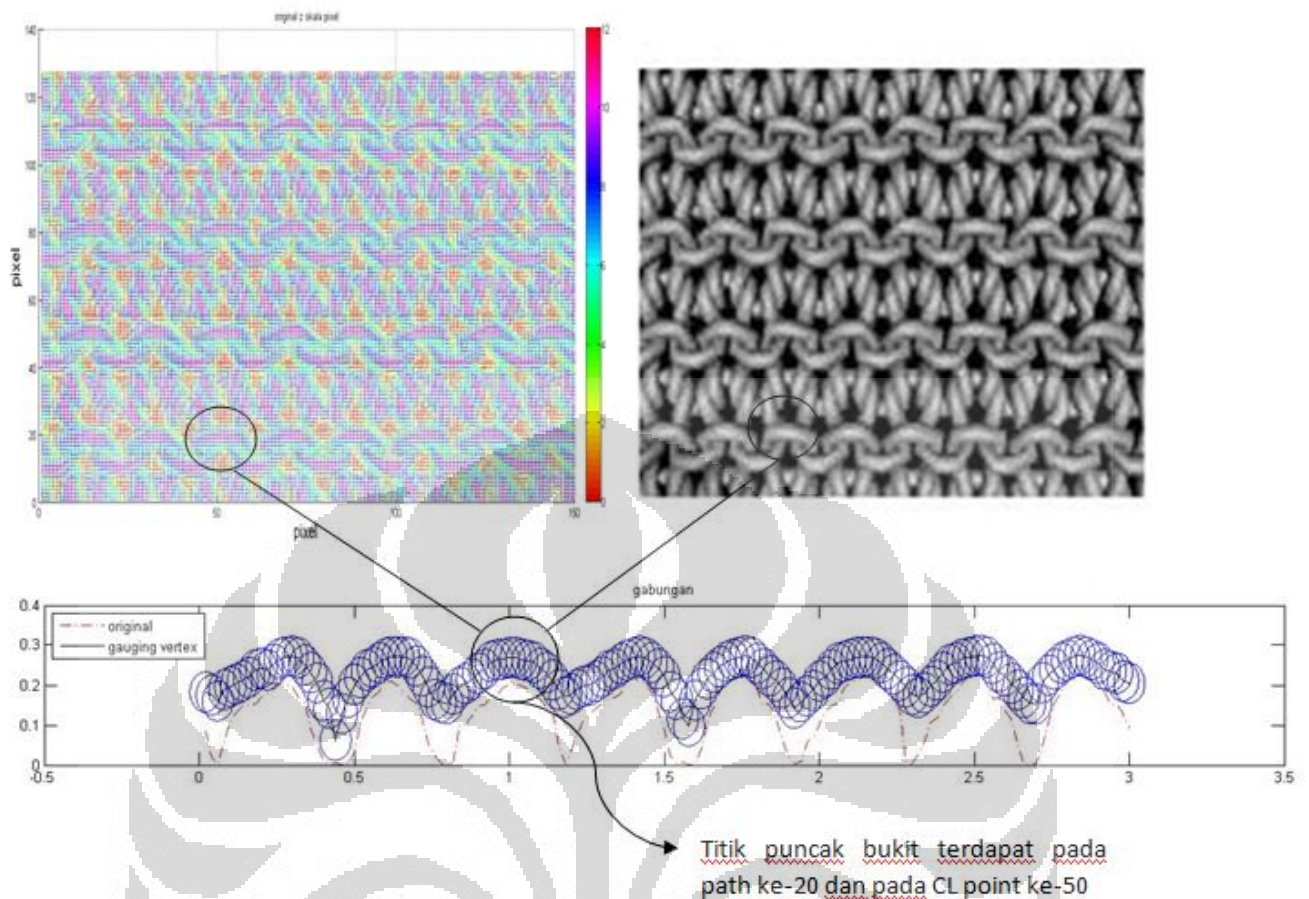
Gambar 5.1 Perbandingan ukuran

Hasil dari pemesinan dipengaruhi oleh beberapa parameter, parameter tersebut yang menjadi acuan dalam membuat kesimpulan.

#### 5.2. Analisis *Tool Path*

*Tool path* yang dibangun dibandingkan dengan gambar 2D yang menjadi acuan untuk membuat pola permukaan benda kerja. Perbedaan intensitas warna yang menjadi perbedaan level ketinggian, dibandingkan dengan hasil *tool path* yang dirancang.

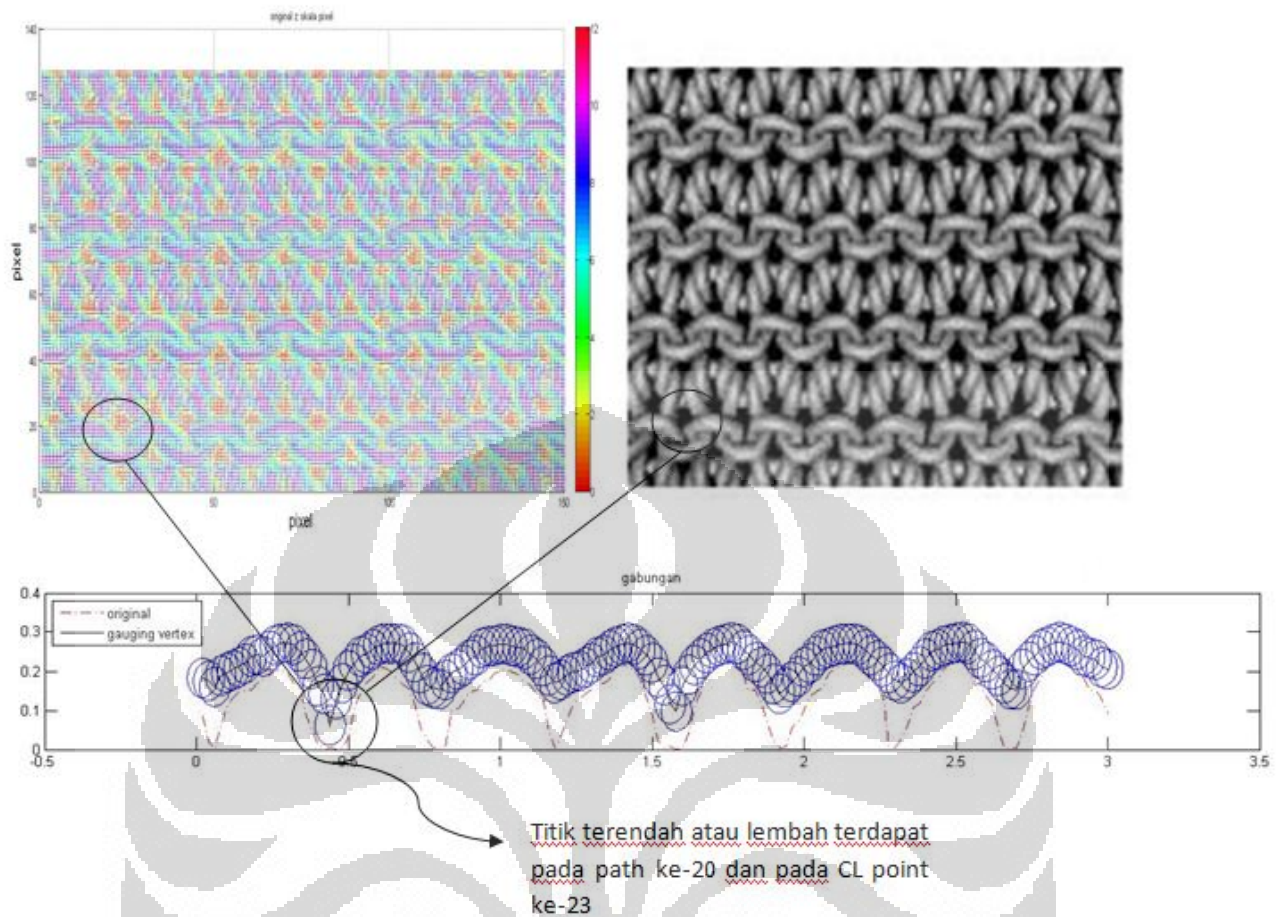




**Gambar 5.2 Titik puncak bukit dibandingkan dengan gambar 2D**

Pada *CL point* ke-50 dan *path* ke-20 terbentuk bukit, dimana didapat dari nilai intensitas warna pada gambar. Pada bagian gambar yang lebih terang, *tool path* membentuk ketinggian yang lebih tinggi dari sekitarnya.

Dari gambar 5.2 terpampang jelas bagian dari gambar 2D yang lebih terang membentuk bukit saat menjadi *tool path* karena nilai intensitas warna yang lebih tinggi.

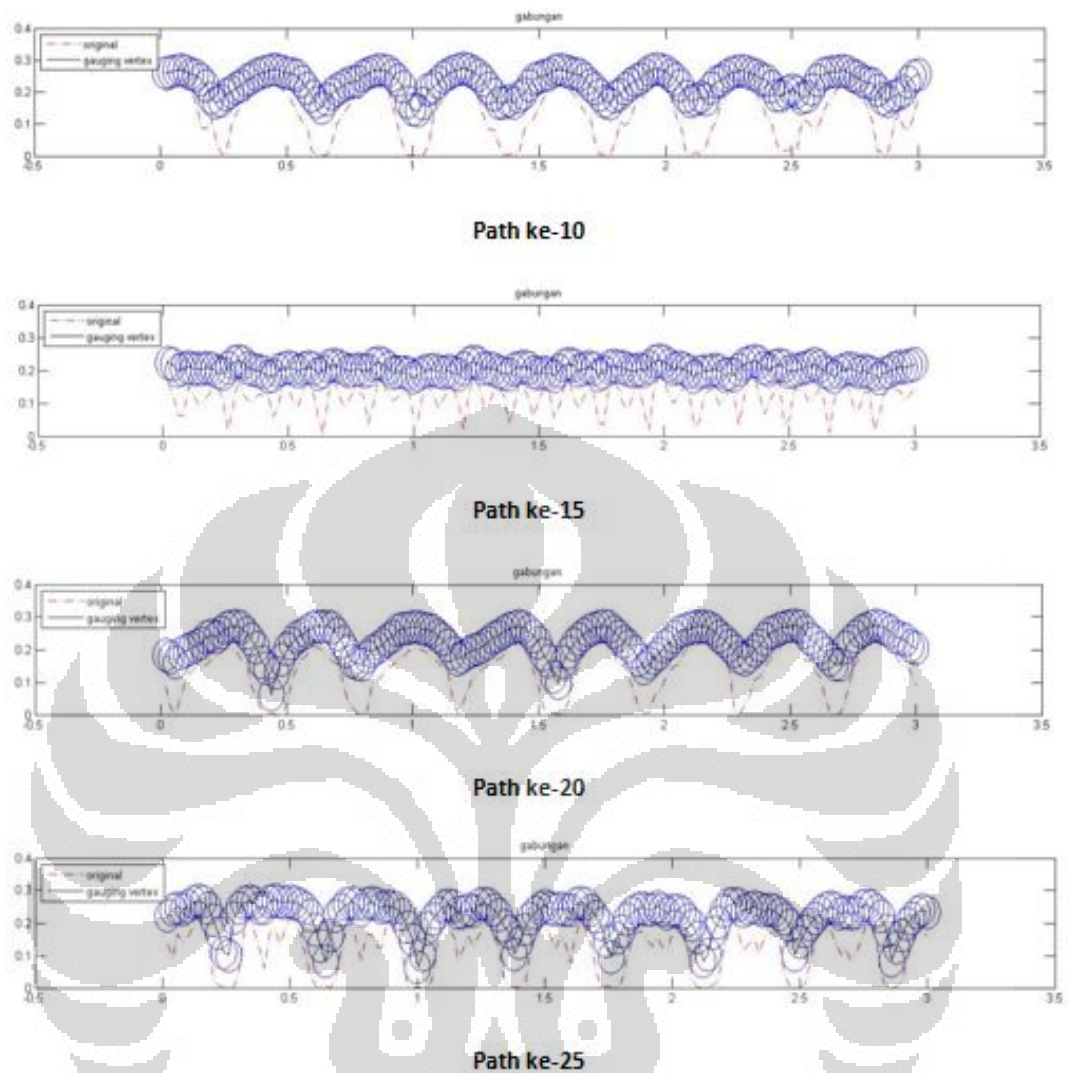


**Gambar 5.3 Titik lembah dibandingkan dengan gambar 2D**

Pada *CL point* ke-50 dan *path* ke-20 terbentuk lembah, dimana didapat dari nilai intensitas warna pada gambar. Pada bagian gambar yang lebih gelap, *tool path* membentuk ketinggian yang lebih rendah dari sekitarnya.

Dari gambar 5.3 terpampang jelas bagian dari gambar 2D yang lebih gelap membentuk lembah saat menjadi *tool path* karena nilai intensitas warna yang lebih rendah.

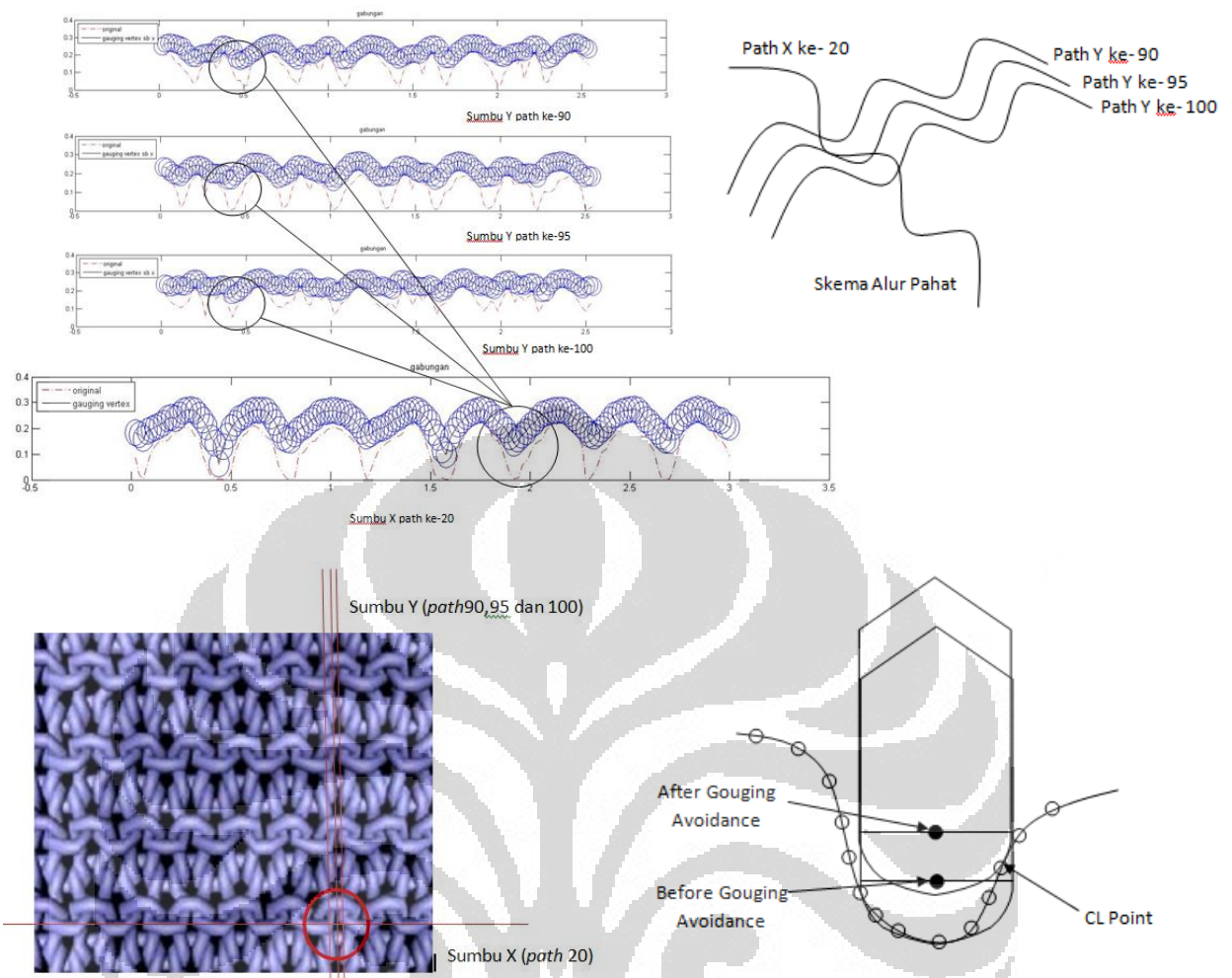
Selanjutnya, perbandingan antara tiap *path* yang terbentuk, dimana terlihat proses *gouging avoidance* yang terjadi memiliki perbedaan ketinggian pengangkatan *cutting tool* pada setiap *path*-nya.



**Gambar 5.4** Perbandingan *tool path* yang terbentuk

Pada gambar 5.4 dibandingkan *path* yang terbentuk pada *path* ke-10, ke-15, ke-20, dan ke-25. Terlihat perbandingan ketinggian pengangkatan setiap *path* tidak seragam. Ini dipengaruhi oleh bentuk kontur tiap *path*, dan secara axis X dan axis Y. Pada *path* ke-15 *cutting tool* mengalami pengangkatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *path* yang lain, hal ini disebabkan kontur dari *path* ke-15 lebih rapat dibandingkan *path* yang lain.

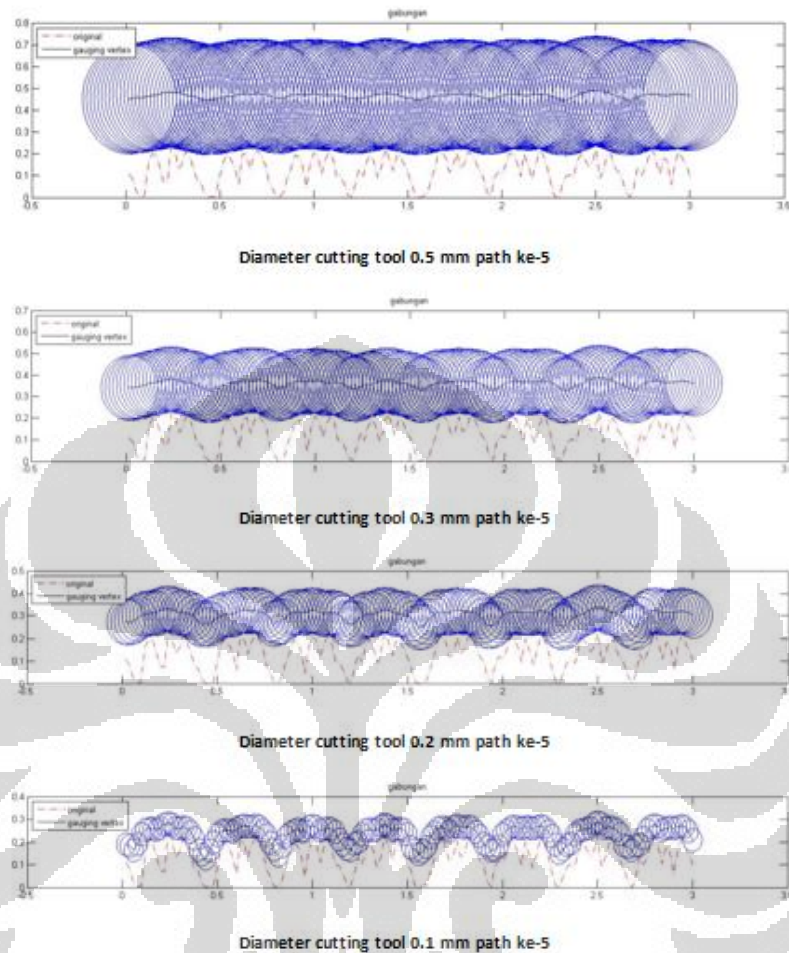




**Gambar 5.5** Skema pengangkatan *cutting tool* pada proses *Gouging Avoidance*

Pada gambar 5.5 menjelaskan bahwa pengangkatan *cutting tool* pada proses *gouging avoidance* disebabkan berdasarkan tidak hanya sepanjang path searah sumbu-Y, namun juga dipengaruhi oleh *path* searah sumbu-X. Terlihat pada *path* ke-20 searah sumbu-Y pada bagian yang dilingkari, *cutting tool* mengangkat lebih tinggi dari kurva original ini disebabkan pada path ke-90 hingga path ke-100 searah sumbu-X ketinggian kurva original lebih tinggi, sehingga ini mempengaruhi pengangkatan *cutting tool*.

### 5.3. Analisis *Tool Path* dengan Diameter *Cutting Tool* Berbeda

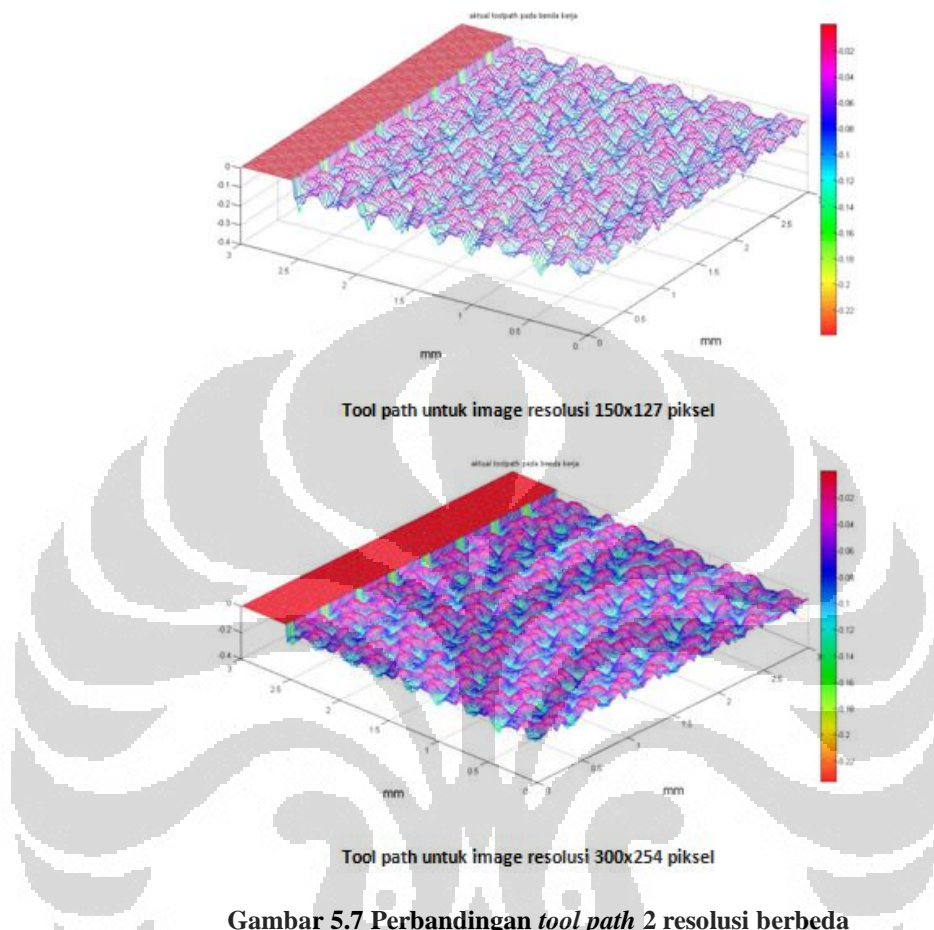


**Gambar 5.6** Perbandingan *tool path* dengan *cutting tool* berbeda diameter

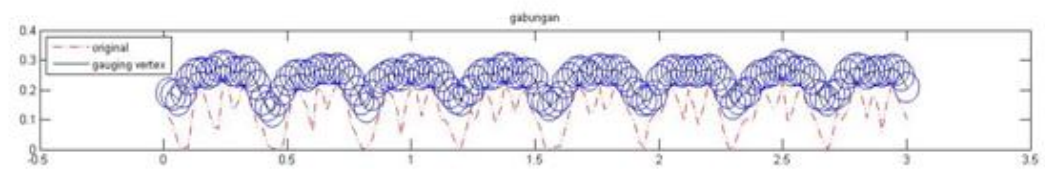
Resolusi dari motor step pada mesin *micro-milling* hingga  $0.5 \mu\text{m}$ . Namun pemesinan terbatas terhadap ukuran diameter dari *cutting tool*. Pilihan *cutting tool* yang bisa digunakan terhadap desain pola permukaan adalah diameter 0.5 mm hingga yang terkecil 0.1 mm.

Berdasarkan perbandingan dari gambar 5.5 terlihat bahwa semakin kecil diameter *cutting tool* kontur dari pola permukaan dapat terbentuk lebih kompleks. Ini dikarenakan proses *gouging avoidance*, sehingga semakin besar diameter *cutting tool* semakin tinggi pengangkatan *cutting tool*.

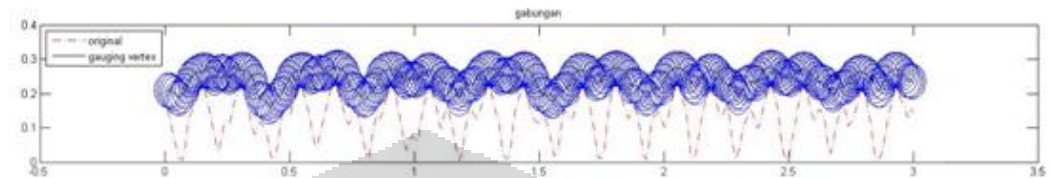
#### 5.4. Analisis *Tool Path* dengan Resolusi *Image* Berbeda



Ukuran resolusi dari gambar berbanding lurus dengan jumlah *CL point* dari *tool path* yang dibuat. Artinya semakin besar resolusi maka *CL point* akan semakin banyak. Hal ini berdampak terhadap *tool path* yang dihasilkan, terlihat pada *tool path* pada *image* beresolusi 300x254 piksel lebih rapat dan halus dibandingkan dengan *tool path image* beresolusi 150x127 piksel.



Path ke-5 pada image resolusi 150x127 piksel

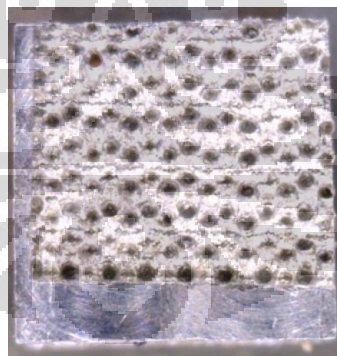


Path ke-5 pada image resolusi 300x254 piksel

Gambar 5.8 Perbandingan *path* ke-5 pada *image* berbeda resolusi

Pada gambar 5.8 terlihat pada *path* yang sama, resolusi yang berbeda *tool path* yang dihasilkan dari proses *gouging avoidance* terlihat perbedaan. Pada *tool path image* beresolusi lebih tinggi, *tool path* dari *cutting tool* lebih rapat dan alurnya mendekati terhadap pola tekstur permukaan.

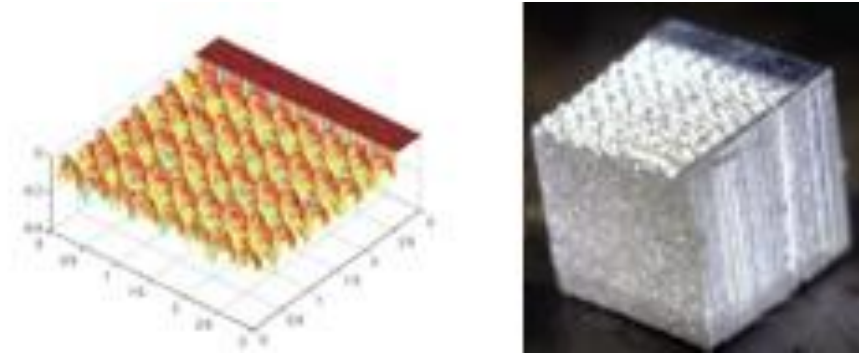
### 5.5. Analisis Hasil Pemesinan



Gambar 5.9 Foto mikroskop hasil pemesinan

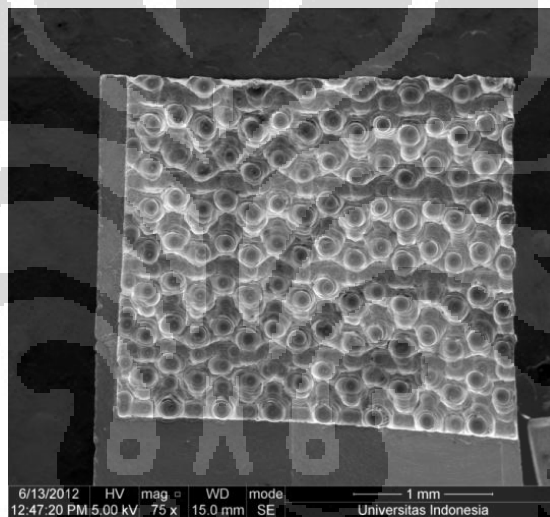
Pada gambar selanjutnya dapat dibandingkan kemiripan hasil *image process* dan *gouging avoidance* yang dilakukan dengan hasil pemesinan. Titik hitam yang terlihat menunjukkan perbedaan ketinggian dimana titik hitam lebih dalam daripada yang lainnya.



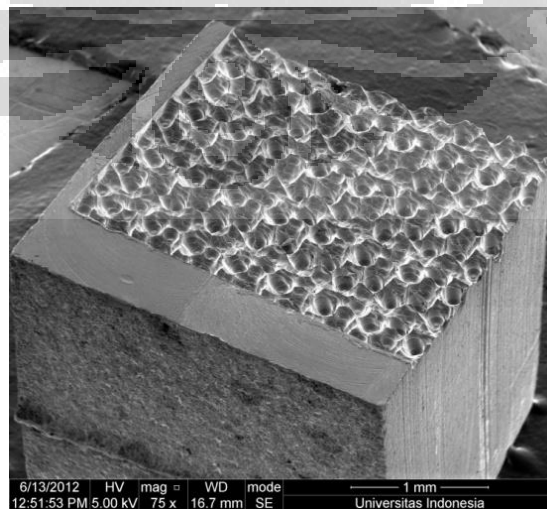


**Gambar 5.10** Perbandingan hasil pemelasan

Penggunaan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada hasil pemelasan dilakukan untuk mendapatkan gambar yang lebih jelas dan struktur dari hasil pemelasan dapat lebih terlihat.



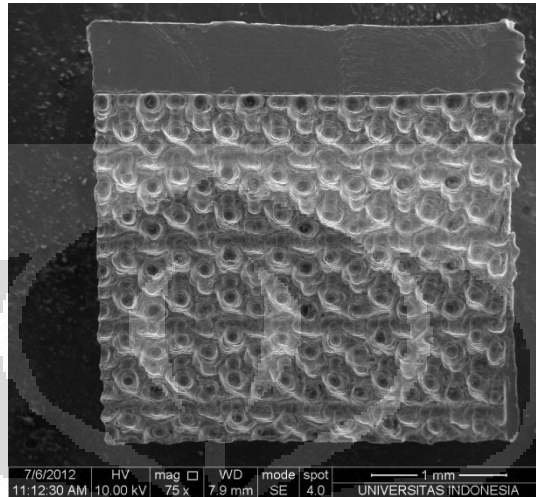
**Gambar 5.11** Pandangan atas hasil pemelasan untuk citra beresolusi 150 x 127



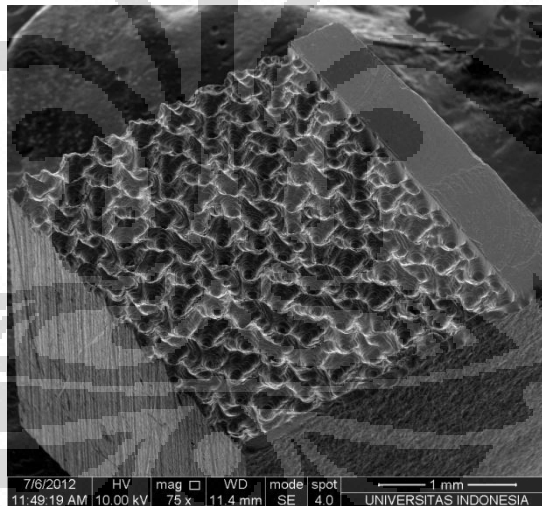
**Gambar 5.12** Pandangan *isometric* hasil pemelasan untuk citra beresolusi 150 x 127



Terlihat terdapat lembah dan bukit seperti yang diharapkan saat melakukan *image process*. Hasil pemesinan terlihat tidak terdapat burr atau chip yang tertinggal karena pemesinan. Penyesuaian pada kedalaman pemakanan berdampak pada hasil, kecepatan pemakanan juga sangat berpengaruh.

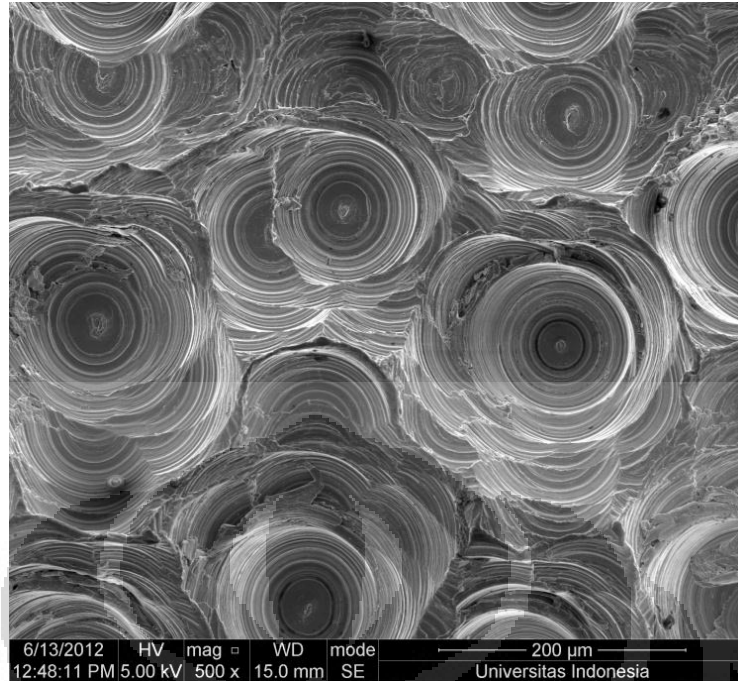


**Gambar 5.13** Pandangan atas hasil pemesinan untuk citra beresolusi 300 x 254

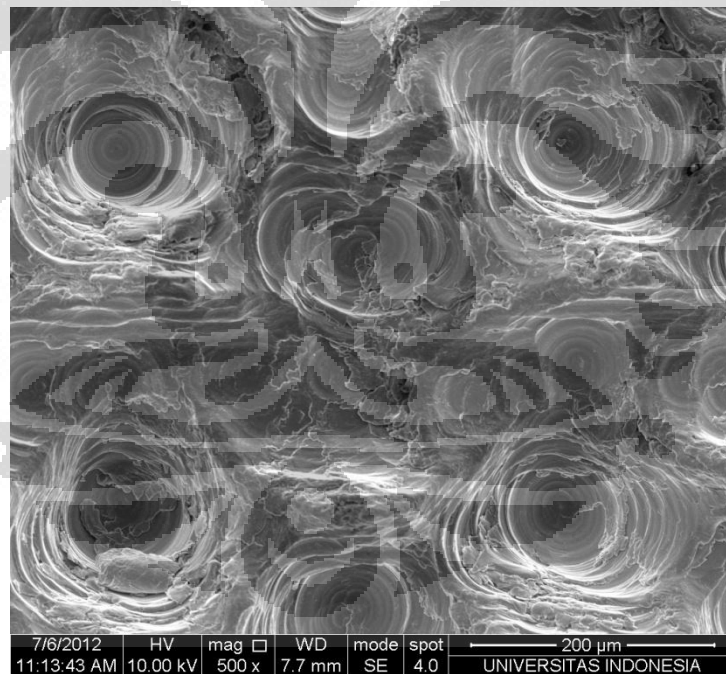


**Gambar 5.14** Pandangan *isometric* hasil pemesinan untuk citra beresolusi 300 x 254

Dari gambar-gambar SEM di atas terlihat perbedaan pada hasil pemesinan untuk citra berbeda resolusi. Dimana pada hasil pemesinan untuk citra beresolusi 300 x 254 piksel lebih terlihat halus, tidak meruncing seperti terlihat pada hasil pemesinan untuk citra beresolusi 150 x 127.



**Gambar 5.15 Struktur permukaan hasil pemesinan untuk citra beresolusi 150 x 127**



**Gambar 5.16 Struktur permukaan hasil pemesinan untuk citra beresolusi 300 x 254**

Pada gambar terdapat lingkaran hasil pemesinan ini disebabkan oleh ukuran gambar, dimana jarak antar CL menjadi lebih renggang sehingga saat dilakukan proses anti-gouging menyebabkan hasil yang sedikit berbeda dari desain awal.

Perbedaan dari gambar 5.15 dan 5.16 tidak terlalu signifikan, namun tetap terlihat pola pada gambar 5.16 lebih halus dibanding gambar 5.15. Hal ini

dipengaruhi oleh besar resolusi citra yang berdampak semakin besar resolusi citra maka CL point akan semakin banyak. Dimana interpolasi antar kurva akan semakin kecil nilai eror-nya.

**Tabel 5.1 Mechanical Properties Aluminium (A1100)**

Properties	
Density ( $\times 1000 \text{ kg/m}^3$ )	2.71
Poisson's Ratio	0.33
Elastic Modulus (GPa)	70 - 80
Tensile Strength (Mpa)	110
Yield Strength (Mpa)	105
Elongation (%)	12
Reduction in Area (%)	
Hardness (HB500)	28
Shear Strength (MPa)	69
Fatigue Strength (MPa)	41

Aluminium memiliki nilai kekerasan sebesar 28 HRC, berdasarkan tabel pemakain *cutting tool*, nilai tersebut sesuai dengan kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan yang digunakan. Maka dari karena itu burr atau kegagalan pemesinan tidak terlihat dari benda kerja berbahan material aluminium ini.

## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari hasil pemesinan *micro-milling* dengan metode olah citra 2D, dengan menggunakan citra beresolusi 150 x 127 dan 300 x 254 menghasilkan 2 spesimen berukuran 3 x 3 mm berbahan aluminium. Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Hasil pemesinan dari olah citra menghasilkan spesimen berbeda terhadap 2 ukuran resolusi citra yang digunakan. Hasil pemesinan pemesinan pada spesimen dengan citra beresolusi 300 x 254 lebih smooth dibandingkan dengan spesimen dengan citra bersolusi 150 x 127. Hal ini disebabkan perbedaan jumlah CL-point yang signifikan sehingga berpengaruh dalam pembentukan *tool path*.
2. Proses *gouging avoidance* mempengaruhi *tool path* yang terbentuk, dimana proses *gouging avoidance* dilakukan untuk menghindari *over cut*, proses ini menyebabkan hasil pemesinan sedikit berbeda dari citra atau gambar yang menjadi dasar tekstur permukaan.
3. Parameter pemesinan menjadi penting karena pengaruhnya terhadap hasil pemesinan. Nilai kedalaman pemakanan (*Depth of Cut*) menjadi penting karena dipengaruhi oleh besaran kekerasan aluminium yang sebesar 28 HRC. Putaran *spindle* pun menjadi tolok ukur dalam menentukan besaran kecepatan pemakanan dari pemesinan.

## 6.2. Saran

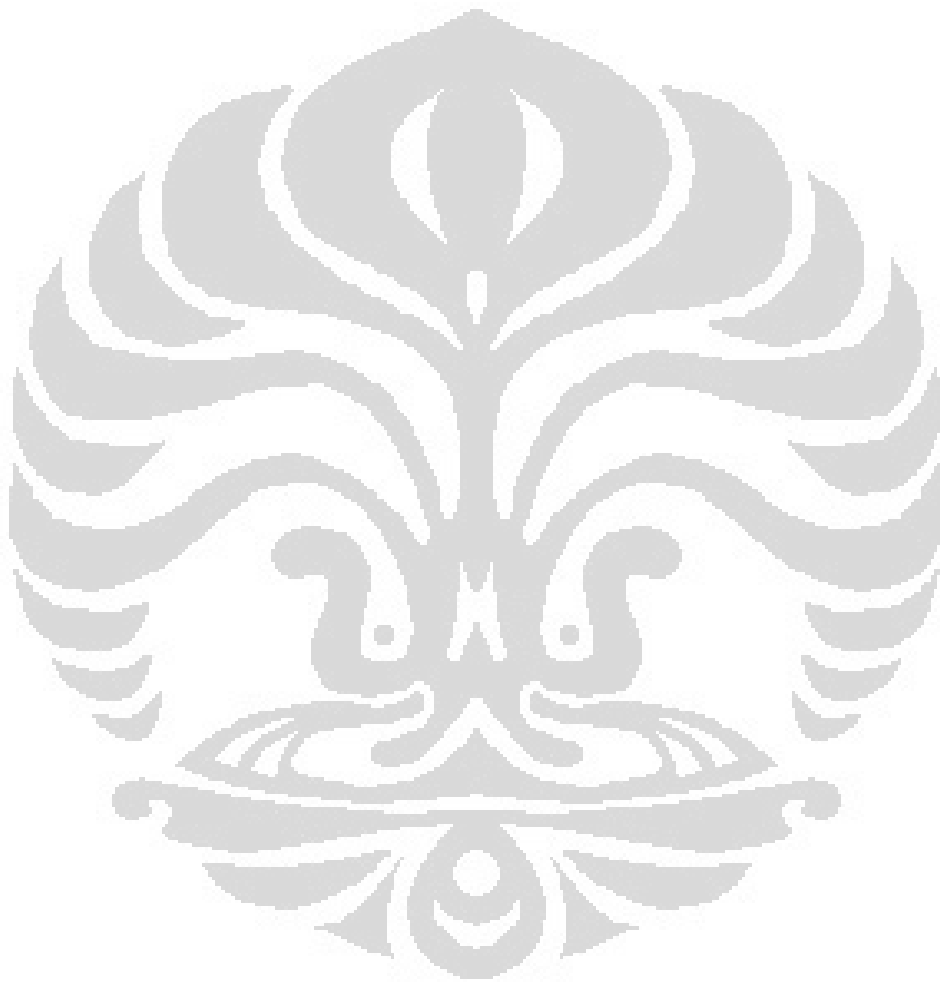
Dari hasil pemesinan serta penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Mencoba pemesinan dengan variasi parameter yang berbeda, Untuk *feed rate*, nilai lebih tinggi dapat digunakan saat proses *finishing*, namun tetap ada batasan maksimal *feed rate* saat pemesinan agar *cutting tool* tidak patah.
2. Pengembangan metode lain pada olah citra dan perancangan *tool path*. Untuk olah citra diperlukan pengembangan yang lebih lanjut dalam menentukan nilai ketinggian yang notabene bergantung dari besar nilai intensitas warna.
3. Merancang *user interface* yang lebih mudah digunakan untuk algoritma matlab yang telah dibuat.
4. Mengembangkan metode penentuan titik origin antara mesin dan benda kerja. Dalam menentukan *zero point* dari *workpiece* masih menggunakan metode visual, sehingga keakuratan pada saat post process belum bagus. Diperlukan metode yang lebih baik sehingga keakuratan saat pemesinan bisa lebih baik.
5. Metode pembuatan *tool path* dari image 2D tidak hanya dapat diaplikasikan untuk *mikro texture* namun bisa diterapkan pula pada bentuk geometri lain. Kuncinya adalah rekayasa gambar pada nilai intensitas warna yang diasumsikan sebagai perbedaan ketinggian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shirai, K., Kobayashi, Y., (2007), Multi-axis Milling for Micro-texturing
- [2] Kalpakjian, S., Schmid Steven R., Prentice Hall International, (2001), Manufacturing Engineering and Technology Fourth Edition
- [3] Slide Presentasi Proses Manufaktur Departemen Teknik Mesin Universitas
- [4] Micro-part example. 18 June 2012.  
[http://www.accu-mold.com/Accumold\\_Micro\\_Electronics.php](http://www.accu-mold.com/Accumold_Micro_Electronics.php)  
[http://www.mendell.com/cardiovascular\\_and\\_endovascular.php](http://www.mendell.com/cardiovascular_and_endovascular.php)  
<http://www.ceee.umd.edu/consortia/ahxec/projects>  
<http://mdtmag.com/Articles/2012/02/Laser-Micromachining-for-Manufacturing-of-Medical-Implants/>
- [5] 18 June 2012, <http://its.fvtc.edu/machshop3/speedCalc/feedratecalc.htm>
- [6] 18 June 2012,  
[http://www.cnczone.com/forums/benchttop\\_machines/122918-copper\\_feed\\_speed\\_calculations.html](http://www.cnczone.com/forums/benchttop_machines/122918-copper_feed_speed_calculations.html)
- [7] Mathwork
- [8] Hwang, J.S., (1992), Interference-free tool-path generation in the NC machining of parametric compound surfaces
- [9] William D., Callister, Jr. (2007) Material Science and Engineering 7<sup>th</sup> edition. John Willey & Sons, inc.
- [10] Seco Tool Manual
- [11] Kim, B.H., Chu, C.N., (1999) Texture prediction of milled surface using texture superposition method
- [12] Kayal, Prasenjit., (2000) Inverse offset method for adaptive cutter path generation from point-based surface
- [13] IndonesiaMalekiana,M., Parka, S.S., Junb, M.B.G., (2009), Tool wear monitoring of micro-milling operations, Journal of Materials Processing Technology
- [14] Implan micro texture. 18 June 2012.  
<http://www.ospreybiomedical.com/technology/surfacing.html>.
- [15] Thread micro texture. 18 June 2012.  
<http://www.osteoti.com/detal-implant-system-micro-threading>.

- [16] Milling terms. 18 June 2012.  
<http://www.mmsonline.com/articles/a-new-milling-101-what-milling-is-then-and-now-plus-a-glossary-of-milling-terms>
- [17] Least Square Equation. 18 June 2012.  
<http://www.efunda.com/math/least-squares/least-squares.cfm>.



## LAMPIRAN

### Program MATLAB untuk IMAGE PROCESSING

```
clc
clear all

%INPUT
%gambar yang akan di proses
a1=imread('rantai300.jpg');

%ukuran workpiece dalam mm
dimensix=3; %ukuran x
dimensiy=3; %ukuran y
tinggi=1; %ukuran z

%tool diameter dalam mm
dtool=0.1;

%tinggi skala pengerjaan yang diinginkan dalam mm
sizeaktual=0.24;

%pemesinan
doc=0.24;%dalam step pemakanan
tnonc=0.5;%tinggi gerakan non contact

%feed rate
axi1=1000; %sb x
axi2=1000; %sb y
axi3=1000; %sb z

%%
%pembacaan besar gambar dan merubah ke dalam grayscale
[x,y,z]=size(a1);
b=rgb2gray(a1);
bb=double(b);

%scaling skala pixel gambar ke mm (sb x dan sb y)
rangexy=max(dimensix,dimensiy)/max(x,y);
X=[rangexy:rangexy:max(dimensix,dimensiy)];
Y=[rangexy:rangexy:max(dimensix,dimensiy)];

%perhitungan skala terhadap ukuran tool yang dipakai
perpixel=X(1,1); %mm/pixel
cc=dtool/perpixel; %ukuran diameter tool dalam pixel
radius=cc/2; %ukuran radius tool dalam pixel
jumlahstep=sizeaktual/doc; %jumlah layer dalam pemesinan

%%
%scaling (ke ukuran pixel (sb z))
minyykolomori= min(bb);
minyyallori= min(minyykolomori);
maxyykolomori= max(bb);
maxyyallori= max(maxyykolomori);
```



```

rangeori=maxyyallori-minyyallori;

bscale1=(bb-minyyallori)*(sizeaktual/rangeori); %nilai hasil
scaling(mm)
bscale=bscale1/perpixel; %diubah ke scaling pixel

%%
%membuat matriks baru untuk keperluan gauging
jarak=100;
Zbaruns= zeros(x+jarak,y+jarak);
for i=1:x
    for j=1:y
        Zbaruns(i+(jarak/2),j+(jarak/2))=bscale(i,j);
    end
end

%%
%fungsi gauging detection
if cc <= 5 && cc > 3
for k=((jarak/2)+1):x+(jarak/2)
    for l=((jarak/2)+1):y+(jarak/2)
        zp=[0,gou(k-2,l-1,Zbaruns(k-2,l-1),radius,k,l),gou(k-
2,l,Zbaruns(k-2,l),radius,k,l),gou(k-2,l+1,Zbaruns(k-
2,l+1),radius,k,l),0;
            gou(k-1,l-2,Zbaruns(k-1,l-2),radius,k,l),gou(k-1,l-
1,Zbaruns(k-1,l-1),radius,k,l),gou(k-1,l,Zbaruns(k-
1,l),radius,k,l),gou(k-1,l+1,Zbaruns(k-1,l+1),radius,k,l),gou(k-
1,l+2,Zbaruns(k-1,l+2),radius,k,l);
            gou(k,l-2,Zbaruns(k,l-2),radius,k,l),gou(k,l-
1,Zbaruns(k,l-1),radius,k,l),gou(k,l,Zbaruns(k,l),radius,k,l),gou(k,l+1,Zbaruns(k,
k,l+1),radius,k,l),gou(k,l+2,Zbaruns(k,l+2),radius,k,l);
            gou(k+1,l-2,Zbaruns(k+1,l-2),radius,k,l),gou(k+1,l-
1,Zbaruns(k+1,l-1),radius,k,l),gou(k+1,l,Zbaruns(k+1,l),radius,k,l),gou(k+1,l+1,Zb
aruns(k+1,l+1),radius,k,l),gou(k+1,l+2,Zbaruns(k+1,l+2),radius,k,l
);
            0,gou(k+2,l-1,Zbaruns(k+2,l-
1),radius,k,l),gou(k+2,l,Zbaruns(k+2,l),radius,k,l),gou(k+2,l+1,Zb
aruns(k+2,l+1),radius,k,l),0;];
        zpmax=abs(max(max(zp)));
        Zpath(k-(jarak/2),l-(jarak/2))=zpmax;
    end
end
elseif cc <= 7 && cc > 5
for k=((jarak/2)+1):x+(jarak/2)
    for l=((jarak/2)+1):y+(jarak/2)
        zp=[0,0,gou(k-3,l-1,Zbaruns(k-3,l-1),radius,k,l),gou(k-
3,l,Zbaruns(k-3,l),radius,k,l),gou(k-3,l+1,Zbaruns(k-
3,l+1),radius,k,l),0,0;
            0,gou(k-2,l-2,Zbaruns(k-2,l-2),radius,k,l),gou(k-2,l-
1,Zbaruns(k-2,l-1),radius,k,l),gou(k-2,l,Zbaruns(k-
2,l),radius,k,l),gou(k-2,l+1,Zbaruns(k-2,l+1),radius,k,l),gou(k-
2,l+2,Zbaruns(k-2,l+2),radius,k,l),0;
            gou(k-1,l-3,Zbaruns(k-1,l-3),radius,k,l),gou(k-1,l-
2,Zbaruns(k-1,l-2),radius,k,l),gou(k-1,l-1,Zbaruns(k-1,l-
1),radius,k,l),gou(k-1,l,Zbaruns(k-1,l),radius,k,l),gou(k-

```

```

1, l+1, Zbaruns (k-1, l+1), radius, k, l), gou (k-1, l+2, Zbaruns (k-
1, l+2), radius, k, l), gou (k-1, l+3, Zbaruns (k-1, l+3), radius, k, l);
    gou (k, l-3, Zbaruns (k, l-3), radius, k, l), gou (k, l-
2, Zbaruns (k, l-2), radius, k, l), gou (k, l-1, Zbaruns (k, l-
1), radius, k, l), gou (k, l, Zbaruns (k, l), radius, k, l), gou (k, l+1, Zbaruns (
k, l+1), radius, k, l), gou (k, l+2, Zbaruns (k, l+2), radius, k, l), gou (k, l+3,
Zbaruns (k, l+3), radius, k, l);
    gou (k+1, l-3, Zbaruns (k+1, l-3), radius, k, l), gou (k+1, l-
2, Zbaruns (k+1, l-2), radius, k, l), gou (k+1, l-1, Zbaruns (k+1, l-
1), radius, k, l), gou (k+1, l, Zbaruns (k+1, l), radius, k, l), gou (k+1, l+1, Zb
aruns (k+1, l+1), radius, k, l), gou (k+1, l+2, Zbaruns (k+1, l+2), radius, k, l
), gou (k+1, l+3, Zbaruns (k+1, l+3), radius, k, l);
    0, gou (k+2, l-2, Zbaruns (k+2, l-2), radius, k, l), gou (k+2, l-
1, Zbaruns (k+2, l-
1), radius, k, l), gou (k+2, l, Zbaruns (k+2, l), radius, k, l), gou (k+2, l+1, Zb
aruns (k+2, l+1), radius, k, l), gou (k+2, l+2, Zbaruns (k+2, l+2), radius, k, l
), 0;
    0, 0, gou (k+3, l-1, Zbaruns (k+3, l-
1), radius, k, l), gou (k+3, l, Zbaruns (k+3, l), radius, k, l), gou (k+3, l+1, Zb
aruns (k+3, l+1), radius, k, l), 0, 0;];
    zpmax=abs (max (max (zp)));
    Zpath (k- (jarak/2), l- (jarak/2))=zpmax;
end
end
elseif cc <= 9 && cc > 7
for k=((jarak/2)+1):x+(jarak/2)
for l=((jarak/2)+1):y+(jarak/2)
    zp=[0, 0, 0, gou (k-4, l-1, Zbaruns (k-4, l-1), radius, k, l), gou (k-
4, l, Zbaruns (k-4, l), radius, k, l), gou (k-4, l+1, Zbaruns (k-
4, l+1), radius, k, l), 0, 0, 0;
        0, 0, gou (k-3, l-2, Zbaruns (k-3, l-2), radius, k, l), gou (k-
3, l-1, Zbaruns (k-3, l-1), radius, k, l), gou (k-3, l, Zbaruns (k-
3, l), radius, k, l), gou (k-3, l+1, Zbaruns (k-3, l+1), radius, k, l), gou (k-
3, l+2, Zbaruns (k-3, l+2), radius, k, l), 0, 0;
        0, gou (k-2, l-3, Zbaruns (k-2, l-3), radius, k, l), gou (k-2, l-
2, Zbaruns (k-2, l-2), radius, k, l), gou (k-2, l-1, Zbaruns (k-2, l-
1), radius, k, l), gou (k-2, l, Zbaruns (k-2, l), radius, k, l), gou (k-
2, l+1, Zbaruns (k-2, l+1), radius, k, l), gou (k-2, l+2, Zbaruns (k-
2, l+2), radius, k, l), gou (k-2, l+3, Zbaruns (k-2, l+3), radius, k, l), 0;
        gou (k-1, l-4, Zbaruns (k-1, l-4), radius, k, l), gou (k-1, l-
3, Zbaruns (k-1, l-3), radius, k, l), gou (k-1, l-2, Zbaruns (k-1, l-
2), radius, k, l), gou (k-1, l-1, Zbaruns (k-1, l-1), radius, k, l), gou (k-
1, l, Zbaruns (k-1, l), radius, k, l), gou (k-1, l+1, Zbaruns (k-
1, l+1), radius, k, l), gou (k-1, l+2, Zbaruns (k-1, l+2), radius, k, l), gou (k-
1, l+3, Zbaruns (k-1, l+3), radius, k, l), gou (k-1, l+4, Zbaruns (k-
1, l+4), radius, k, l);
        gou (k, l-4, Zbaruns (k, l-4), radius, k, l), gou (k, l-
3, Zbaruns (k, l-3), radius, k, l), gou (k, l-2, Zbaruns (k, l-
2), radius, k, l), gou (k, l-1, Zbaruns (k, l-
1), radius, k, l), gou (k, l, Zbaruns (k, l), radius, k, l), gou (k, l+1, Zbaruns (
k, l+1), radius, k, l), gou (k, l+2, Zbaruns (k, l+2), radius, k, l), gou (k, l+3,
Zbaruns (k, l+3), radius, k, l), gou (k, l+4, Zbaruns (k, l+4), radius, k, l);
        gou (k+1, l-4, Zbaruns (k+1, l-4), radius, k, l), gou (k+1, l-
3, Zbaruns (k+1, l-3), radius, k, l), gou (k+1, l-2, Zbaruns (k+1, l-
2), radius, k, l), gou (k+1, l-1, Zbaruns (k+1, l-
1), radius, k, l), gou (k+1, l, Zbaruns (k+1, l), radius, k, l), gou (k+1, l+1, Zb
aruns (k+1, l+1), radius, k, l), gou (k+1, l+2, Zbaruns (k+1, l+2), radius, k, l
), gou (k+1, l+3, Zbaruns (k+1, l+3), radius, k, l), gou (k+1, l+4, Zbaruns (k+1
, l+4), radius, k, l);

```

```

0, gou(k+2, l-3, Zbaruns(k+2, l-3), radius, k, l), gou(k+2, l-
2, Zbaruns(k+2, l-2), radius, k, l), gou(k+2, l-1, Zbaruns(k+2, l-
1), radius, k, l), gou(k+2, l, Zbaruns(k+2, l), radius, k, l), gou(k+2, l+1, Zb
aruns(k+2, l+1), radius, k, l), gou(k+2, l+2, Zbaruns(k+2, l+2), radius, k, l
), gou(k+2, l+3, Zbaruns(k+2, l+3), radius, k, l), 0;
0, 0, gou(k+3, l-2, Zbaruns(k+3, l-
2), radius, k, l), gou(k+3, l-1, Zbaruns(k+3, l-
1), radius, k, l), gou(k+3, l, Zbaruns(k+3, l), radius, k, l), gou(k+3, l+1, Zb
aruns(k+3, l+1), radius, k, l), gou(k+3, l+2, Zbaruns(k+3, l+2), radius, k, l
), 0, 0;
0, 0, 0, gou(k+4, l-1, Zbaruns(k+4, l-
1), radius, k, l), gou(k+4, l, Zbaruns(k+4, l), radius, k, l), gou(k+4, l+1, Zb
aruns(k+4, l+1), radius, k, l), 0, 0, 0;];
zpmx=abs(max(max(zp)));
Zpath(k-(jarak/2), l-(jarak/2))=zpmx;
end
end
elseif cc <= 11 && cc > 9
for k=((jarak/2)+1):x+(jarak/2)
for l=((jarak/2)+1):y+(jarak/2)
zp=[0, 0, 0, gou(k-5, l-2, Zbaruns(k-5, l-2), radius, k, l), gou(k-
5, l-1, Zbaruns(k-5, l-1), radius, k, l), gou(k-5, l, Zbaruns(k-
5, l), radius, k, l), gou(k-5, l+1, Zbaruns(k-5, l+1), radius, k, l), gou(k-
5, l+2, Zbaruns(k-5, l+2), radius, k, l), 0, 0, 0;
0, 0, gou(k-4, l-3, Zbaruns(k-4, l-3), radius, k, l), gou(k-
4, l-2, Zbaruns(k-4, l-2), radius, k, l), gou(k-4, l-1, Zbaruns(k-4, l-
1), radius, k, l), gou(k-4, l, Zbaruns(k-4, l), radius, k, l), gou(k-
4, l+1, Zbaruns(k-4, l+1), radius, k, l), gou(k-4, l+2, Zbaruns(k-
4, l+2), radius, k, l), gou(k-4, l+3, Zbaruns(k-4, l+3), radius, k, l), 0, 0;
0, gou(k-3, l-4, Zbaruns(k-3, l-4), radius, k, l), gou(k-3, l-
3, Zbaruns(k-3, l-3), radius, k, l), gou(k-3, l-2, Zbaruns(k-3, l-
2), radius, k, l), gou(k-3, l-1, Zbaruns(k-3, l-1), radius, k, l), gou(k-
3, l, Zbaruns(k-3, l), radius, k, l), gou(k-3, l+1, Zbaruns(k-
3, l+1), radius, k, l), gou(k-3, l+2, Zbaruns(k-3, l+2), radius, k, l), gou(k-
3, l+3, Zbaruns(k-3, l+3), radius, k, l), gou(k-3, l+4, Zbaruns(k-
3, l+4), radius, k, l), 0;
gou(k-2, l-5, Zbaruns(k-2, l-5), radius, k, l), gou(k-2, l-
4, Zbaruns(k-2, l-4), radius, k, l), gou(k-2, l-3, Zbaruns(k-2, l-
3), radius, k, l), gou(k-2, l-2, Zbaruns(k-2, l-2), radius, k, l), gou(k-2, l-
1, Zbaruns(k-2, l-1), radius, k, l), gou(k-2, l, Zbaruns(k-
2, l), radius, k, l), gou(k-2, l+1, Zbaruns(k-2, l+1), radius, k, l), gou(k-
2, l+2, Zbaruns(k-2, l+2), radius, k, l), gou(k-2, l+3, Zbaruns(k-
2, l+3), radius, k, l), gou(k-2, l+4, Zbaruns(k-2, l+4), radius, k, l), gou(k-
2, l+5, Zbaruns(k-2, l+5), radius, k, l);
gou(k-1, l-5, Zbaruns(k-1, l-5), radius, k, l), gou(k-1, l-
4, Zbaruns(k-1, l-4), radius, k, l), gou(k-1, l-3, Zbaruns(k-1, l-
3), radius, k, l), gou(k-1, l-2, Zbaruns(k-1, l-2), radius, k, l), gou(k-1, l-
1, Zbaruns(k-1, l-1), radius, k, l), gou(k-1, l, Zbaruns(k-
1, l), radius, k, l), gou(k-1, l+1, Zbaruns(k-1, l+1), radius, k, l), gou(k-
1, l+2, Zbaruns(k-1, l+2), radius, k, l), gou(k-1, l+3, Zbaruns(k-
1, l+3), radius, k, l), gou(k-1, l+4, Zbaruns(k-1, l+4), radius, k, l), gou(k-
1, l+5, Zbaruns(k-1, l+5), radius, k, l);
gou(k, l-5, Zbaruns(k, l-5), radius, k, l), gou(k, l-
4, Zbaruns(k, l-4), radius, k, l), gou(k, l-3, Zbaruns(k, l-
3), radius, k, l), gou(k, l-2, Zbaruns(k, l-2), radius, k, l), gou(k, l-
1, Zbaruns(k, l-
1), radius, k, l), gou(k, l, Zbaruns(k, l), radius, k, l), gou(k, l+1, Zbaruns(k
, l+1), radius, k, l), gou(k, l+2, Zbaruns(k, l+2), radius, k, l), gou(k, l+3,

```

```

Zbaruns (k, l+3), radius, k, l), gou (k, l+4, Zbaruns (k, l+4), radius, k, l), go
u (k, l+5, Zbaruns (k, l+5), radius, k, l);
    gou (k+1, l-5, Zbaruns (k+1, l-5), radius, k, l), gou (k+1, l-
4, Zbaruns (k+1, l-4), radius, k, l), gou (k+1, l-3, Zbaruns (k+1, l-
3), radius, k, l), gou (k+1, l-2, Zbaruns (k+1, l-2), radius, k, l), gou (k+1, l-
1, Zbaruns (k+1, l-
1), radius, k, l), gou (k+1, l, Zbaruns (k+1, l), radius, k, l), gou (k+1, l+1, Zb
aruns (k+1, l+1), radius, k, l), gou (k+1, l+2, Zbaruns (k+1, l+2), radius, k, l
), gou (k+1, l+3, Zbaruns (k+1, l+3), radius, k, l), gou (k+1, l+4, Zbaruns (k+1
, l+4), radius, k, l), gou (k+1, l+5, Zbaruns (k+1, l+5), radius, k, l);
    gou (k+2, l-5, Zbaruns (k+2, l-5), radius, k, l), gou (k+2, l-
4, Zbaruns (k+2, l-4), radius, k, l), gou (k+2, l-3, Zbaruns (k+2, l-
3), radius, k, l), gou (k+2, l-2, Zbaruns (k+2, l-2), radius, k, l), gou (k+2, l-
1, Zbaruns (k+2, l-
1), radius, k, l), gou (k+2, l, Zbaruns (k+2, l), radius, k, l), gou (k+2, l+1, Zb
aruns (k+2, l+1), radius, k, l), gou (k+2, l+2, Zbaruns (k+2, l+2), radius, k, l
), gou (k+2, l+3, Zbaruns (k+2, l+3), radius, k, l), gou (k+2, l+4, Zbaruns (k+2
, l+4), radius, k, l), gou (k+2, l+5, Zbaruns (k+2, l+5), radius, k, l);
    0, gou (k+3, l-4, Zbaruns (k+3, l-4), radius, k, l), gou (k+3, l-
3, Zbaruns (k+3, l-3), radius, k, l), gou (k+3, l-2, Zbaruns (k+3, l-
2), radius, k, l), gou (k+3, l-1, Zbaruns (k+3, l-
1), radius, k, l), gou (k+3, l, Zbaruns (k+3, l), radius, k, l), gou (k+3, l+1, Zb
aruns (k+3, l+1), radius, k, l), gou (k+3, l+2, Zbaruns (k+3, l+2), radius, k, l
), gou (k+3, l+3, Zbaruns (k+3, l+3), radius, k, l), gou (k+3, l+4, Zbaruns (k+3
, l+4), radius, k, l), 0;
    0, 0, gou (k+4, l-3, Zbaruns (k+4, l-
3), radius, k, l), gou (k+4, l-2, Zbaruns (k+4, l-2), radius, k, l), gou (k+4, l-
1, Zbaruns (k+4, l-
1), radius, k, l), gou (k+4, l, Zbaruns (k+4, l), radius, k, l), gou (k+4, l+1, Zb
aruns (k+4, l+1), radius, k, l), gou (k+4, l+2, Zbaruns (k+4, l+2), radius, k, l
), gou (k+4, l+3, Zbaruns (k+4, l+3), radius, k, l), 0, 0;
    0, 0, 0, gou (k+5, l-2, Zbaruns (k+5, l-
2), radius, k, l), gou (k+5, l-1, Zbaruns (k+5, l-
1), radius, k, l), gou (k+5, l, Zbaruns (k+5, l), radius, k, l), gou (k+5, l+1, Zb
aruns (k+5, l+1), radius, k, l), gou (k+5, l+2, Zbaruns (k+5, l+2), radius, k, l
), 0, 0, 0;];
    zpmax=abs (max (max (zp)));
    Zpath (k- (jarak/2), l- (jarak/2))=zpmax;
end
end
elseif cc <= 13 && cc > 11
for k=((jarak/2)+1):x+(jarak/2)
    for l=((jarak/2)+1):y+(jarak/2)
        zp=[0, 0, 0, gou (k-6, l-3, Zbaruns (k-6, l-3), radius, k, l), gou (k-
6, l-2, Zbaruns (k-6, l-2), radius, k, l), gou (k-6, l-1, Zbaruns (k-6, l-
1), radius, k, l), gou (k-6, l, Zbaruns (k-6, l), radius, k, l), gou (k-
6, l+1, Zbaruns (k-6, l+1), radius, k, l), gou (k-6, l+2, Zbaruns (k-
6, l+2), radius, k, l), gou (k-6, l+3, Zbaruns (k-6, l+3), radius, k, l), 0, 0, 0;
        0, 0, gou (k-5, l-4, Zbaruns (k-5, l-4), radius, k, l), gou (k-
5, l-3, Zbaruns (k-5, l-3), radius, k, l), gou (k-5, l-2, Zbaruns (k-5, l-
2), radius, k, l), gou (k-5, l-1, Zbaruns (k-5, l-1), radius, k, l), gou (k-
5, l, Zbaruns (k-5, l), radius, k, l), gou (k-5, l+1, Zbaruns (k-
5, l+1), radius, k, l), gou (k-5, l+2, Zbaruns (k-5, l+2), radius, k, l), gou (k-
5, l+3, Zbaruns (k-5, l+3), radius, k, l), gou (k-5, l+4, Zbaruns (k-
5, l+4), radius, k, l), 0, 0;
        0, gou (k-4, l-5, Zbaruns (k-4, l-5), radius, k, l), gou (k-4, l-
4, Zbaruns (k-4, l-4), radius, k, l), gou (k-4, l-3, Zbaruns (k-4, l-
3), radius, k, l), gou (k-4, l-2, Zbaruns (k-4, l-2), radius, k, l), gou (k-4, l-
1, Zbaruns (k-4, l-1), radius, k, l), gou (k-4, l, Zbaruns (k-

```



```

        gou(k+3,1-6,Zbaruns(k+3,1-6),radius,k,1),gou(k+3,1-
5,Zbaruns(k+3,1-5),radius,k,1),gou(k+3,1-4,Zbaruns(k+3,1-
4),radius,k,1),gou(k+3,1-3,Zbaruns(k+3,1-3),radius,k,1),gou(k+3,1-
2,Zbaruns(k+3,1-2),radius,k,1),gou(k+3,1-1,Zbaruns(k+3,1-
1),radius,k,1),gou(k+3,1,Zbaruns(k+3,1),radius,k,1),gou(k+3,1+1,Zb
aruns(k+3,1+1),radius,k,1),gou(k+3,1+2,Zbaruns(k+3,1+2),radius,k,1
),gou(k+3,1+3,Zbaruns(k+3,1+3),radius,k,1),gou(k+3,1+4,Zbaruns(k+3
,1+4),radius,k,1),gou(k+3,1+5,Zbaruns(k+3,1+5),radius,k,1),gou(k+3
,1+6,Zbaruns(k+3,1+6),radius,k,1);
        0,gou(k+4,1-5,Zbaruns(k+4,1-5),radius,k,1),gou(k+4,1-
4,Zbaruns(k+4,1-4),radius,k,1),gou(k+4,1-3,Zbaruns(k+4,1-
3),radius,k,1),gou(k+4,1-2,Zbaruns(k+4,1-2),radius,k,1),gou(k+4,1-
1,Zbaruns(k+4,1-
1),radius,k,1),gou(k+4,1,Zbaruns(k+4,1),radius,k,1),gou(k+4,1+1,Zb
aruns(k+4,1+1),radius,k,1),gou(k+4,1+2,Zbaruns(k+4,1+2),radius,k,1
),gou(k+4,1+3,Zbaruns(k+4,1+3),radius,k,1),gou(k+4,1+4,Zbaruns(k+4
,1+4),radius,k,1),gou(k+4,1+5,Zbaruns(k+4,1+5),radius,k,1),0;
        0,0,gou(k+5,1-4,Zbaruns(k+5,1-
4),radius,k,1),gou(k+5,1-3,Zbaruns(k+5,1-3),radius,k,1),gou(k+5,1-
2,Zbaruns(k+5,1-2),radius,k,1),gou(k+5,1-1,Zbaruns(k+5,1-
1),radius,k,1),gou(k+5,1,Zbaruns(k+5,1),radius,k,1),gou(k+5,1+1,Zb
aruns(k+5,1+1),radius,k,1),gou(k+5,1+2,Zbaruns(k+5,1+2),radius,k,1
),gou(k+5,1+3,Zbaruns(k+5,1+3),radius,k,1),gou(k+5,1+4,Zbaruns(k+5
,1+4),radius,k,1),0,0;
        0,0,0,gou(k+6,1-3,Zbaruns(k+6,1-
3),radius,k,1),gou(k+6,1-2,Zbaruns(k+6,1-2),radius,k,1),gou(k+6,1-
1,Zbaruns(k+6,1-
1),radius,k,1),gou(k+6,1,Zbaruns(k+6,1),radius,k,1),gou(k+6,1+1,Zb
aruns(k+6,1+1),radius,k,1),gou(k+6,1+2,Zbaruns(k+6,1+2),radius,k,1
),gou(k+6,1+3,Zbaruns(k+6,1+3),radius,k,1),0,0,0;];
        zpmax=abs(max(max(zp)));
        Zpath(k-(jarak/2),1-(jarak/2))=zpmax;
    end
end
else
for k=((jarak/2)+1):x+(jarak/2)
    for l=((jarak/2)+1):y+(jarak/2)
        zp=[0,0,0,gou(k-6,1-3,Zbaruns(k-6,1-3),radius,k,1),gou(k-
6,1-2,Zbaruns(k-6,1-2),radius,k,1),gou(k-6,1-1,Zbaruns(k-6,1-
1),radius,k,1),gou(k-6,1,Zbaruns(k-6,1),radius,k,1),gou(k-
6,1+1,Zbaruns(k-6,1+1),radius,k,1),gou(k-6,1+2,Zbaruns(k-
6,1+2),radius,k,1),gou(k-6,1+3,Zbaruns(k-6,1+3),radius,k,1),0,0,0;
        0,0,gou(k-5,1-4,Zbaruns(k-5,1-4),radius,k,1),gou(k-
5,1-3,Zbaruns(k-5,1-3),radius,k,1),gou(k-5,1-2,Zbaruns(k-5,1-
2),radius,k,1),gou(k-5,1-1,Zbaruns(k-5,1-1),radius,k,1),gou(k-
5,1,Zbaruns(k-5,1),radius,k,1),gou(k-5,1+1,Zbaruns(k-
5,1+1),radius,k,1),gou(k-5,1+2,Zbaruns(k-5,1+2),radius,k,1),gou(k-
5,1+3,Zbaruns(k-5,1+3),radius,k,1),gou(k-5,1+4,Zbaruns(k-
5,1+4),radius,k,1),0,0;
        0,gou(k-4,1-5,Zbaruns(k-4,1-5),radius,k,1),gou(k-4,1-
4,Zbaruns(k-4,1-4),radius,k,1),gou(k-4,1-3,Zbaruns(k-4,1-
3),radius,k,1),gou(k-4,1-2,Zbaruns(k-4,1-2),radius,k,1),gou(k-4,1-
1,Zbaruns(k-4,1-1),radius,k,1),gou(k-4,1,Zbaruns(k-
4,1),radius,k,1),gou(k-4,1+1,Zbaruns(k-4,1+1),radius,k,1),gou(k-
4,1+2,Zbaruns(k-4,1+2),radius,k,1),gou(k-4,1+3,Zbaruns(k-
4,1+3),radius,k,1),gou(k-4,1+4,Zbaruns(k-4,1+4),radius,k,1),gou(k-
4,1+5,Zbaruns(k-4,1+5),radius,k,1),0;
        gou(k-3,1-6,Zbaruns(k-3,1-6),radius,k,1),gou(k-3,1-
5,Zbaruns(k-3,1-5),radius,k,1),gou(k-3,1-4,Zbaruns(k-3,1-

```





```

, l+4), radius, k, l), gou(k+3, l+5, Zbaruns(k+3, l+5), radius, k, l), gou(k+3
, l+6, Zbaruns(k+3, l+6), radius, k, l);
    0, gou(k+4, l-5, Zbaruns(k+4, l-5), radius, k, l), gou(k+4, l-
4, Zbaruns(k+4, l-4), radius, k, l), gou(k+4, l-3, Zbaruns(k+4, l-
3), radius, k, l), gou(k+4, l-2, Zbaruns(k+4, l-2), radius, k, l), gou(k+4, l-
1, Zbaruns(k+4, l-
1), radius, k, l), gou(k+4, l, Zbaruns(k+4, l), radius, k, l), gou(k+4, l+1, Zb
aruns(k+4, l+1), radius, k, l), gou(k+4, l+2, Zbaruns(k+4, l+2), radius, k, l
), gou(k+4, l+3, Zbaruns(k+4, l+3), radius, k, l), gou(k+4, l+4, Zbaruns(k+4
, l+4), radius, k, l), gou(k+4, l+5, Zbaruns(k+4, l+5), radius, k, l), 0;
    0, 0, gou(k+5, l-4, Zbaruns(k+5, l-
4), radius, k, l), gou(k+5, l-3, Zbaruns(k+5, l-3), radius, k, l), gou(k+5, l-
2, Zbaruns(k+5, l-2), radius, k, l), gou(k+5, l-1, Zbaruns(k+5, l-
1), radius, k, l), gou(k+5, l, Zbaruns(k+5, l), radius, k, l), gou(k+5, l+1, Zb
aruns(k+5, l+1), radius, k, l), gou(k+5, l+2, Zbaruns(k+5, l+2), radius, k, l
), gou(k+5, l+3, Zbaruns(k+5, l+3), radius, k, l), gou(k+5, l+4, Zbaruns(k+5
, l+4), radius, k, l), 0, 0;
    0, 0, 0, gou(k+6, l-3, Zbaruns(k+6, l-
3), radius, k, l), gou(k+6, l-2, Zbaruns(k+6, l-2), radius, k, l), gou(k+6, l-
1, Zbaruns(k+6, l-
1), radius, k, l), gou(k+6, l, Zbaruns(k+6, l), radius, k, l), gou(k+6, l+1, Zb
aruns(k+6, l+1), radius, k, l), gou(k+6, l+2, Zbaruns(k+6, l+2), radius, k, l
), gou(k+6, l+3, Zbaruns(k+6, l+3), radius, k, l), 0, 0, 0;];

    zpmax=abs(max(max(zp)));
    Zpath(k-(jarak/2), l-(jarak/2))=zpmax;
end
end
end

%%
%scaling ke ukuran aktual (mm)
Zaktual1=Zpath*perpixel; %surface yang dihasilkan dari proses
gauging
Zaktual2=zeros(x,y)+Zaktual1-max(max(Zaktual1)); %mengubah menjadi
nilai minus
Zaktual=zeros(max(x,y));
for l=1:x
    for m=1:y
        Zaktual(l,m)=Zaktual(l,m)+Zaktual2(l,m);
    end
end

%%
%step turun
step1=Zaktual+(ones(max(x,y),max(x,y))*0);
for i=1:max(x,y)
    for j=1:max(x,y)
        if step1(i,j) < -doc
            step1(i,j)=-doc;
        else
            step1(i,j)=step1(i,j);
        end
    end
end
end

%%

```

```

%gerakan non cutting
Ynonc=zeros(1,max(x,y)+2);
Ynonc(1,2:max(x,y)+1)=Y(1,:);
Ynonc(1,max(x,y)+2)=Y(1,max(x,y)); %hasil koordinat non contact sb
y

step1nonc=ones(max(x,y),max(x,y)+2)*tnonc; %tinggi non contact
step1nonc(:,2:max(x,y)+1)=step1; %hasil akhir non contact sb z

%%
%ploting dan mesh
figure,imshow(b),title('input citra');

figure,mesh(bb),title('original z intensitas'),
xlabel('pixel','FontSize',16),ylabel('pixel','FontSize',16);
colormap (hsv),colorbar

figure,mesh(bscale),title('original z skala pixel'),
xlabel('pixel','FontSize',16),ylabel('pixel','FontSize',16);
colormap (hsv),colorbar

figure,mesh(Zpath),title('vertex gauging skala pixel'),
xlabel('pixel','FontSize',16),ylabel('pixel','FontSize',16);
colormap (hsv),colorbar

figure,mesh(X,Y,Zaktual),title('aktual toolpath pada benda
kerja'),
xlabel('mm','FontSize',16),ylabel('mm','FontSize',16);
colormap (hsv),colorbar

figure,mesh(X,Y,step1),title('tool path berdasarkan kedalaman
makan'),
xlabel('mm','FontSize',16),ylabel('mm','FontSize',16);
colormap (hsv),colorbar

figure,mesh(step1nonc),title('tool path berdasarkan kedalaman makan
+ gerakan non cutting')
xlabel('mm','FontSize',16),ylabel('mm','FontSize',16);
colormap (hsv),colorbar

%%
%pengecekan deteksi anti gouging per baris (sb x)
sample=10; %baris yang ingin dicek
if x < y
    sebelum=bscale1(sample,:);
    sesudah=Zaktual1(sample,:);
    figure,plot(X,sebelum,'-r',X,sesudah,'-k'),title('gabungan')
else
    sebelum=bscale1(:,sample);
    sesudah=Zaktual1(:,sample);
    figure,plot(X,sebelum,'-r',X,sesudah,'-k'),title('gabungan')
end
hold on
if x < y
    for n=1:max(x,y)
        circle(X(:,n),Zaktual1(sample,n),(dtool/2));
    end
end

```

```

else
    for n=1:max(x,y)
        circle(X(:,n),Zaktual1(n,sample),(dtool/2));
    end
end
legend('original','gauging vertex',2);

%%
% pembuatan CL file dengan format prg (format pemesinan)
%cth format: GOLLA X-2.0000 Y3.0000 Z-0.0198
CL=zeros(4,(max(x,y)*(max(x,y)+2)));
[xcl,ycl]=size(CL);

%baris 1
CL(1,:)= [4:1:ycl+3];

%baris 2
for u=0:max(x,y)-1
    CL(2,1+(u*(max(x,y)+2)):y+2+(u*(max(x,y)+2)))=X(1,1+u);
end

%baris 3
for u=0:max(x,y)-1
    CL(3,1+(u*(max(x,y)+2)):y+2+(u*(max(x,y)+2)))=Ynonc(1,1:max(x,y)+2);
end

%baris 4
for u=0:max(x,y)-1
    CL(4,1+(u*(max(x,y)+2)):y+2+(u*(max(x,y)+2)))=step1nonc(1+u,1:max(x,y)+2);
end

formatSpec = '%1.0f,GOLLA X%4.4f Y%4.4f Z%4.4f\r\n';
fileID = fopen('GOLLAformat.prg','w');
fprintf(fileID,formatSpec,CL);

%%
%post process
%menyamakan MCS (Machine Coordinate System) dengan WCS (Workpiece
%Coordinate System) dan penambahan nilai feed rate
Lx=0;
Ly=0;
Lz=0; %isi nilai Lx,Ly,Lz

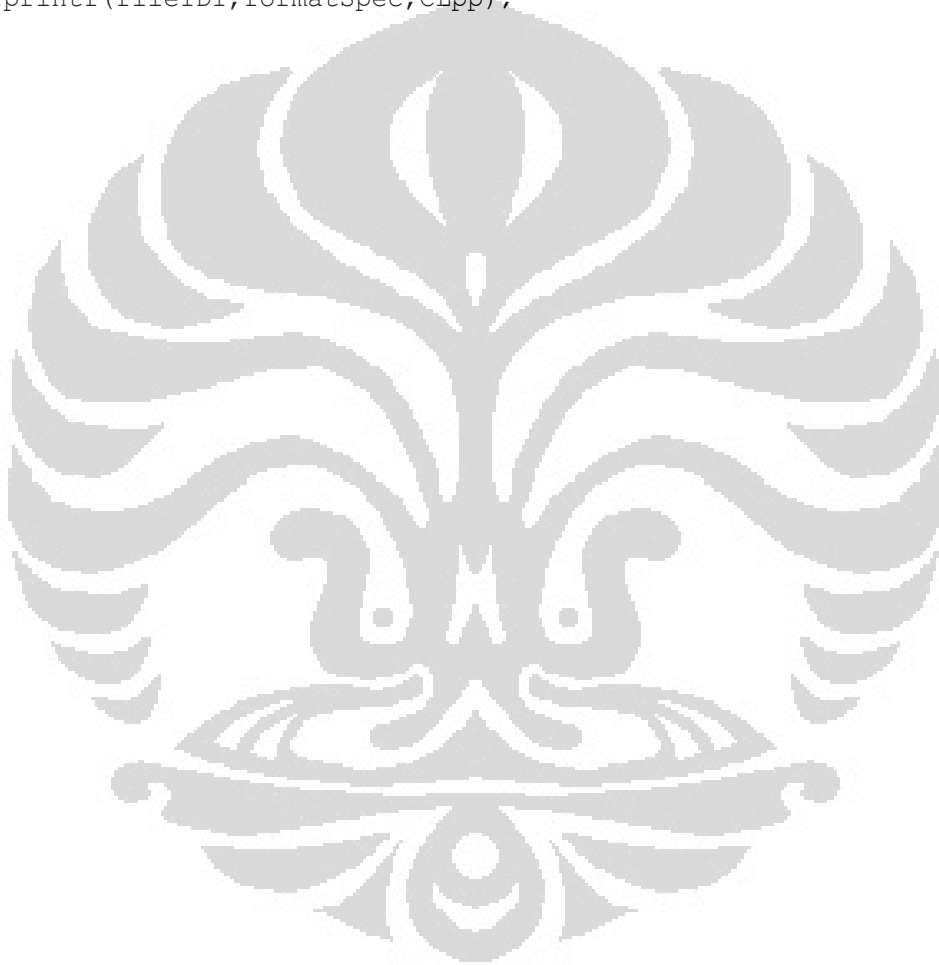
Qno=CL(1,:);
Qx=CL(2,:);
Qy=CL(3,:);
Qz=CL(4,:);

sbX=Qx + Lx;
sbY=Qy + Ly;
sbZ=(-Qz) + Lz;

CLpp(1,:)=Qno;

```

```
CLpp(2,:) = sbX;  
CLpp(3,:) = sbY;  
CLpp(4,:) = sbZ;  
  
%feed rate tiap sumbu (AXI1=sb x; AXI2=sb y; AXI3=sb z)  
CLfr=[axi1;axi2;axi3];  
formatSpec1 = '1,AXI1:SELSP 4:F4 %1.0f\r\n2,AXI2:SELSP 4:F4  
%1.0f\r\n3,AXI3:SELSP 4:F4 %1.0f\r\n';  
fileID2 = fopen('GOLApstprocess.prg','w');  
fprintf(fileID2,formatSpec1,CLfr);  
  
%hasil akhir format prg  
fileID1 = fopen('GOLApstprocess.prg','a');  
fprintf(fileID1,formatSpec,CLpp);
```



## Program Visual Studio untuk POST PROCESSING

```
Imports System.IO
Module Module2
    Sub main()

        Dim FILE_NAME As String = ("D:\Don't Disturb\TA, Riset, Skripsi
dkk\Texture\Machining 3 (semoga terakhir)\post processor cihuy\layer
1\Part81Part6.prg")
        If System.IO.File.Exists(FILE_NAME) = True Then
            Dim tulis As New System.IO.StreamWriter(FILE_NAME)

            Dim i As Integer = 1
            Dim j, k As Integer

            Dim sintakprg(100), kecepatan(4), origin(5) As String

            kecepatan(0) = "1,AXI1:SELSP 0:F0 1000"
            kecepatan(1) = "2,AXI2:SELSP 1:F1 1000"
            kecepatan(2) = "3,AXI3:SELSP 2:F2 1000"

            tulis.WriteLine(kecepatan(0))
            tulis.WriteLine(kecepatan(1))
            tulis.WriteLine(kecepatan(2))

            For i = 4 To 5

                ' Create StreamReader for the file.
                Using reader As StreamReader = New StreamReader("D:\Don't
Disturb\TA, Riset, Skripsi dkk\Texture\Machining 3 (semoga terakhir)\post
processor cihuy\CL file non contact layer 1 siap
postprocessor\Part81Part6.txt")
                    ' Do While true loop.

                    Do While (True)
                        ' Read a line.
                        Dim line As String = reader.ReadLine

                        ' See if line is Nothing.
                        If line Is Nothing Then
                            Exit Do
                        End If
                        ' Write line to screen.
                        Console.WriteLine(line)

                        'Dim words As String() = line.Split(New Char()
{" ", "c"})

                        Dim myline As String = line
                        Dim linelength As Long
                        Dim lastlength As Long
                        'Dim sbx, sby, sbz, sba, sbc As Integer

                        If InStr(myline, "GOTO/") Then
                            linelength = Len(myline)
                        End If
                    End While
                End Using
            Next i
        End If
    End Sub
End Module
```

```

lastlength = linelength - 5
Dim truline As String
truline = Right$(myline, lastlength)

Dim words As String() = truline.Split(New
Char() {","})

'PERHITUNGAN POSPROCESSING

Dim sbC, radC, sbA, radA, iCL, jCL, kCL As
Double

Dim Qx, Qy, Qz As Double
Dim sbX, sbY, sbZ, Lx, Ly, Lz, Lt As Double

'menghitung sudut C

iCL = 0
jCL = 0

radC = Math.Atan2(jCL, iCL)
sbC = radC * (180 / Math.PI)
Console.WriteLine("nilai i dan j CL dari file
{0} {1}", iCL, jCL)
Console.WriteLine("Sudut sumbu C : {0}", sbC)
'Console.ReadLine()

' menghitung sudut A

kCL = 1
radA = Math.Acos(kCL)
sbA = radA * (180 / Math.PI)
Console.WriteLine("nilai k dari CL file {0}",
kCL)
Console.WriteLine("Sudut sumbu A : {0}", sbA)
'Console.ReadLine()

'MENGHITUNG SUMBU X

'nilai Lx, Ly, Lz dan Lt adalah nilai jarak-
jarak ordinat XYZ dan ZA, nilai dibawah ini masih dimisalkan.

'Lx = -10
Lx = -4.1
'Ly = 3.2
Ly = 0.7
'Lz = 5.25 - 0.0009
Lz = 2.85
Lt = 45.87

'Console.WriteLine(words(0))

Qx = words(0)
'Console.WriteLine(Qx)

```

```

'Console.ReadLine()
Qy = words(1)

Qz = words(2)
If sbA = 0 Then
    'sbZ = (-Qz) - 0.234 + Lz
    sbZ = (-Qz) + Lz
    sbY = Qy + Ly
    sbX = Qx + Lx
Else
    sbZ = (-Qz) + (Lt * Math.Cos(sbA)) + Lz
    sbY = (-(Qx - Lx) * Math.Sin(sbC)) + ((Qy -
Ly) * Math.Cos(sbC)) + (Lt * Math.Sin(sbA) * Math.Cos(sbC))
    sbX = ((Qx - Lx) * Math.Cos(sbC)) + ((Qy -
Ly) * Math.Sin(sbC))
End If

'Console.WriteLine("Titik sumbu x : {0}",
words(0))
'Console.WriteLine("Titik sumbu Y : {0}",
words(1))
'Console.WriteLine("Titik sumbu z : {0}",
words(2))
'Console.ReadLine()
For j = 0 To 2

    k = j Mod 3
    If k = 1 Then
        sintakprg(j) = i & ",AXI2:GOABS " & sbY
        & ":DW"
        i = i + 1
        tulis.WriteLine(sintakprg(j))
    ElseIf k = 2 Then
        sintakprg(j) = i & ",AXI1:GOABS " & sbX
        & ":DW"
        i = i + 1
        tulis.WriteLine(sintakprg(j))
    Else
        sintakprg(j) = i & ",AXI3:GOABS " & sbZ
        & ":DW"
        i = i + 1
        tulis.WriteLine(sintakprg(j))
    End If
    Console.WriteLine(sintakprg(j))

Next

'tulis.WriteLine(sintakprg(j))
j = j + 1

End If

```



Loop

End Using

Next

```
' i = i + 1
' kecepatan(0) = i & ",AXI1:SELSP 0:F0 150"
' i = i + 1
' kecepatan(1) = i & ",AXI2:SELSP 1:F1 150"
' i = i + 1
' kecepatan(2) = i & ",AXI3:SELSP 2:F2 150"
' i = i + 1
' kecepatan(3) = i & ",AXI4:SELSP 3:F3 150"
' i = i + 1
```

```
'tulis.WriteLine(kecepatan(0))
' tulis.WriteLine(kecepatan(1))
' tulis.WriteLine(kecepatan(2))
```

```
' origin(0) = i & ",AXI3:GOABS 0:DW "
' i = i + 1
' origin(1) = i & ",AXI2:GOABS 0:DW "
' i = i + 1
' origin(2) = i & ",AXI1:GOABS 0:DW "
' i = i + 1
' origin(3) = i & ",AXI4:GOABS 0:DW "
```

```
' tulis.WriteLine(origin(0))
' tulis.WriteLine(origin(1))
' tulis.WriteLine(origin(2))
```

tulis.Close()

MsgBox("Syntaks telah dituliskan")

```
'Console.ReadLine()
```

Else

```
MsgBox("File tidak ada")
```

End If

```
Console.ReadLine()
```

End Sub

End Module