

ANALISIS PENGARUH VARIASI PARAMETER *STRATEGY MACHINING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN *MATERIAL MILD STEEL*

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Teknik Industri**



Yanuar Andhika Syahputra

14 06 07963

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2019

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir berjudul
**ANALISIS PENGARUH VARIASI PARAMETER STRATEGY MACHINING
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL MILD STEEL**

yang disusun oleh
Yanuar Andhika Syahputra
14 06 07963

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 7 Januari 2020

Dosen Pembimbing 1,

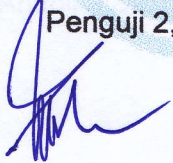

A. Tonny Yuniarto, S.T.,M.Eng.

Tim Penguji,

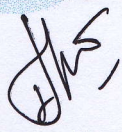
Penguji 1


A. Tonny Yuniarto, S.T.,M.Eng.

Penguji 2,


Dr. A. Teguh Siswantoro, M.Sc.

Penguji 3,

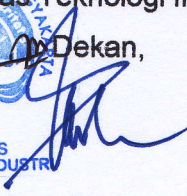

D.M. Ratna Tungga Dewa, S.Si., M.T.

Yogyakarta, 20 Januari 2020

Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
Fakultas Teknologi Industri,



Dekan,


Dr. A. Teguh Siswantoro, M.Sc.

PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yanuar Andhika Syahputra

NPM : 1406 07963

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya dengan judul "Analisis Pengaruh Variasi Parameter *Strategy Machining* Terhadap Kekasaran Permukaan *Material Mild Steel*" merupakan hasil penelitian saya pada Tahun Akademik 2018/2019 yang bersifat original dan tidak mengandung *plagiasi* dari karya manapun. Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidak sesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk untuk dicabut gelar Sarjana yang telah diberikan Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta,

Yang menyatakan,



Yanuar Andhika Syahputra

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan perlindungan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Tugas akhir ini disusun guna melengkapi syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Tugas akhir ini berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Parameter *Strategy Machining* Terhadap Kekasaran Permukaan Material *Mild Steel*”.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak secara langsung dan tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmatnya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Tonny Yuniarto, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing, yang telah bersedia untuk membimbing dan memberikan masukan dalam penulisan tugas akhir ini.
3. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa dan memberi support hingga menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Kakak tercinta yang selalu memberikan dukungan moril dan materil.
5. Teman-teman yang selalu mendukung saya dan memberi motivasi agar menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir masih jauh dari sempurna karena masih kurangnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Penulis menerima kritik dan saran dari rekan-rekan pembaca. Akhir kata, semoga penelitian ini dapat berguna bagi rekan-rekan semua.

Yogyakarta, 28 Juni 2019



Penulis

DAFTAR ISI

BAB	JUDUL	HAL
	HALAMAN JUDUL	i
	HALAMAN PENGESAHAN	ii
	PERNYATAAN ORIGINALITAS	iii
	KATA PENGANTAR	iv
	DAFTAR ISI	v
	DAFTAR TABEL	vii
	DAFTAR GAMBAR	viii
	INTISARI	x
1	BAB 1 PENDAHULUAN	1
	1.1.Latar Belakang	1
	1.2.Rumusan Masalah	2
	1.3.Tujuan	2
	1.4.Batasan Masalah	3
2	BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
	2.1.Penelitian Terdahulu	4
	2.2.Penelitian Sekarang	5
	2.3.Dasar Teori	5
3	BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
	3.1.Tahapan Metodologi Penelitian	19
	3.2.Langkah-Langkah Penelitian	21
4	BAB 4 PROFIL DATA	23
	4.1.Profil Bengkel	23

4.2.	Profil Mesin CNC	23
4.3.	Data Material	25
4.4.	Cutting Tools	25
4.6.	Penjelasan Faktor eksperimen	29
5	BAB 5 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	31
5.1.	Hasil Brainstorming	31
5.2.	Analisis Optimalisasi Manufaktur dengan Metode Taguchi	32
5.3.	Analisis Proses PowerMill 2014 (Proses CAM)	41
5.4.	Analisis Hasil Permesinan	60
5.5.	Analisis Penentuan Produk secara <i>visual</i>	63
5.6.	Analisis Kekasaran Permukaan (<i>Surfaces Roughness</i>)	64
5.7.	Pembahasan	65
6	BAB 6 KESIMPULAN	68
	DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Spesifikasi Mild Steel	8
Tabel 4. 1. Spesifikasi Mesin CNC Quaser MV 184 C	24
Tabel 5. 1. Daftar Pertanyaan Brainstorming	31
Tabel 5. 2 Ringkasan Jawaban Brainstorming	31
Tabel 5. 3 Faktor dan Level untuk Orthogonal Array	33
Tabel 5. 4 Experimental Layout and Responses	33
Tabel 5. 5 Hasil Pengukuran Surfaces Roughn	34
Tabel 5. 6 Uji Normalitas	36
Tabel 5. 7 Uji Homogenitas	37
Tabel 5. 8 Experimental Data L4(23) dan Hasil Pengukuran (6 Titik)	37
Tabel 5. 9 Output Uji Anova	39
Tabel 5. 10 Rata-rata tingkat kualitas permukaan	40
Tabel 5. 11 Hasil S/N Ratio	41
Tabel 5. 12 Urutan Proses Benda 1	61
Tabel 5. 13 Urutan Proses Benda 2	62
Tabel 5. 14 Urutan Proses Benda 3	62
Tabel 5. 15 Urutan Proses Benda 4	63
Tabel 5. 16 Perbandingan Hasil Machining	63
Tabel 5. 17 Perbandingan Rata-rata Kekasaran Permukaan	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Gerakan utama, <i>feeding</i> , dan depth of cut	6
Gambar 2. 2. Pemotongan Climbing	6
Gambar 2. 3. Pemotongan Konvensional	7
Gambar 2. 4 Cutting speed	8
Gambar 2. 5 Mesin milling CNC	9
Gambar 2. 6 Kekasaran, Gelombang, Kesalahan Bentuk Permukaan	16
Gambar 2. 7 Profil Suatu Permukaan	17
Gambar 2. 8 Kedalaman Total dan Kedalaman Perataan	18
Gambar 3. 1 Tahapan Metodologi Penelitian	19
Gambar 4. 1 Mesin CNC Quaser MV 184 C	24
Gambar 4. 2 Material Mild Steel	25
Gambar 4. 3 Spesifikasi <i>Insert tip</i>	26
Gambar 4. 4 <i>Cutter Insert Tip</i> Ø20	26
Gambar 4. 5 Spesifikasi <i>Cutter End mill</i>	27
Gambar 4. 6 <i>End mill</i> Ø10	28
Gambar 5. 1 Pembuatan <i>Cutter Insert Tip</i> Ø20	42
Gambar 5. 2 <i>Holder, shank</i> , dan <i>tip</i>	44
Gambar 5. 3 Pembuatan <i>Cutter End mill</i> Ø10	45
Gambar 5. 4 Menu Toolpath Strategy Proses Roughing	46
Gambar 5. 5 Proses Pembuatan Block	47
Gambar 5. 6 Block pada simulasi	48
Gambar 5. 7 Pemilihan Tool yang Digunakan (<i>Insert Tip</i> Ø20)	48
Gambar 5. 8 Pembuatan Proses Roughing	49
Gambar 5. 9 Pembuatan Rapid Move Height Proses Roughing	50
Gambar 5. 10 Pembuatan Start Point Proses Roughing	51

Gambar 5. 11 Start Point Proses Roughing	51
Gambar 5. 12 Pembuatan End Point Proses Roughing	52
Gambar 5. 13 Pembuatan End Point Proses Roughing	52
Gambar 5. 14 Pembuatan Feed and Speed Proses Roughing	54
Gambar 5. 15 Hasil Pembuatan Strategi Proses Roughing	54
Gambar 5. 16 Statistik Waktu Pengerjaan Proses Roughing	55
Gambar 5. 17 Simulasi Proses Roughing	56
Gambar 5. 18 Pemilihan Toolpath Strategy Optimezed Constant Z Finishing	56
Gambar 5. 19 Pemilihan <i>Cutter End mill</i>	57
Gambar 5. 20 Pembuatan Strategy Optimezed Constant Z Finishing	58
Gambar 5. 21 Pembuatan Feeds and Speeds Proses Finishing (Benda 1)	59
Gambar 5. 22 Simulasi Proses Finishing dengan Toolpath Strategy Optimezed Constant Z Finishing	60
Gambar 5. 23 Statistic Waktu Proses Finishing dengan toolpath strategy Optimezed Constant Z Finishing (benda 1)	60
Gambar 5. 24 Titik yang diukur	65

INTISARI

Penggunaan CNC Milling 3 axis pada industri manufaktur sudah sangat umum digunakan untuk memperoleh hasil yang optimal. Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan rekomendasi parameter permesinan optimal pada pengerjaan material *mild steel* sebagai *raw material*. Parameter permesinan sangat erat kaitannya dengan *surfaces roughness quality* dari material yang dikerjakan dan *setting parameter* pada mesin CNC. Penelitian ditujukan untuk membantu industri manufaktur yang mempunyai CAD/CAM dan mesin CNC 3axis dengan kecepatan *spindle* maksimum 10.000 rpm.

Dalam penelitian ini menggunakan mesin CNC Quaser MV 184 C. Hasil riset di awal mengidentifikasi bahwa faktor yang diduga signifikan mempengaruhi *surfaces roughness* adalah ketajaman alat potong, *toolpath strategy*, kecepatan *spindle*, *Depth of Cut* (DOC), *step over cutter* dan *feeding*. Dari keenam parameter tersebut setelah melalui proses *brainstorming* didapatkan hanya tiga faktor yang mempengaruhi nilai *surfaces roughness*, yaitu: *tool path strategy*, *feeding*, dan kecepatan *spindle*.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai *surfaces roughness* pada perlakuan pertama rata-rata 0,675 μm dan perlakuan kedua rata-rata 1,008 μm dimana nilai ini dari kedua percobaan masing-masing berkisar pada N5 dan N6. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan *feeding* dan kecepatan *spindle* memiliki pengaruh pada nilai *surface roughness* yang signifikan.

Kata Kunci : CNC milling 3axis, surface roughness, tool path strategy, taguchi methods.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jaman globalisasi sekarang ini teknologi dan dunia industri mengalami perkembangan yang sangat pesat. Dunia industri berkembang sangat pesat akibat imbas dari perilaku masyarakat yang konsumtif dan juga daya beli masyarakat yang naik pada tiap tahunnya. Salah satu industri yang berkembang adalah industri manufaktur dan juga industri kerajinan. Beberapa industri manufaktur dan kerajinan memiliki bahan utama berupa besi dan baja. Menurut kemenperin di Indonesia sendiri dibutuhkan tiap tahunnya material baja sebesar 14 juta ton. Berkembangnya teknologi membuat industri manufaktur dan industri kerajinan semakin canggih. Industri manufaktur mulai membutuhkan produk-produk yang berkualitas tinggi baik dari kepresisian maupun kualitas permukaan dari produk itu sendiri.

Pada tahun 2016 kementerian industri menyebutkan bahwa *mild steel* pada sektor pembuatan rantai non motor memiliki pendapatan sebesar 42 juta US\$ untuk eksportnya sendiri. Material *mild steel* juga sudah sangat umum digunakan untuk pembuatan alat maupun mesin di dunia manufaktur. Karena jenis dari besi dan baja yang sangat banyak sehingga perusahaan harus memilih material yang tepat untuk diproduksi agar kegunaan barang tersebut tepat sasaran dan sesuai dengan fungsinya. *Mild Steel* adalah salah satu material yang cukup sering digunakan karena harganya yang relatif lebih murah dibanding dengan material *machinery steel* yang lain seperti VCL 140.

Proses CAD/CAM telah diterapkan dimana-mana untuk memfasilitasi desain dan pengembangan produk dalam beberapa tahun terakhir (Li, 2002). Perusahaan kecil hingga menengah di Indonesia sudah dapat menerapkan produksi dengan metode CAD/CAM.

Untuk membuat produk yang memiliki kualitas permukaan tertentu maka dibutuhkan penanganan yang lebih untuk mencapai tingkat kekasaran yang diinginkan. Beberapa perusahaan mulai menggunakan salah satu metode machining yang relatif baru di dunia manufaktur yaitu metode *High-Speed Machining* atau disingkat HSM agar produk yang dihasilkan memiliki kualitas permukaan yang optimal.

High-Speed Machining (HSM) merupakan teknologi yang relatif baru dalam beberapa tahun terakhir dalam dunia manufaktur. Dalam implementasinya HSM dapat menurunkan biaya produksi dalam pembuatan *part-part* dengan tingkat kepresisian dan kualitas permukaan yang tinggi. Christanto, J. H, (2011). Di Indonesia sendiri masih sedikit perusahaan yang memiliki teknologi *High-Speed Machining* (HSM) dikarenakan harga mesin CNC yang memiliki kecepatan *spindle* diatas 18000 RPM lebih mahal dibandingkan dengan mesin CNC. Oleh karena itu perusahaan harus pintar-pintar menyiasati agar hasil produksi lebih halus. Untuk mencapai tingkat kekasaran tertentu perusahaan belum mengetahui parameter apa saja yang dapat mempengaruhi hasil dari produk yang dibuat di mesin CNC.

Permasalahan yang terjadi pada saat uji coba material adalah ketika menentukan parameter permesinan (*toolpath strategy*) material *mild steel* di *software* yang akan diuji di mesin CNC *milling* untuk mendapatkan kekasaran permukaan (*surfaces roughness*) yang optimal. Parameter-parameter pada mesin *milling* ini lah yang dicari apakah berpengaruh dengan hasil tingkat kekasaran pada material *mild steel*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rekomendasi hasil yang optimal dari parameter yang dipilih nantinya.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah bagaimana mengoptimalkan parameter proses *machining* mesin CNC terhadap material *mild steel* dan mengetahui faktor apa saja yang dapat mempengaruhi kualitas permukaan sehingga hasil dari permesinan dapat maksimal dari segi kekasaran permukaan dan waktu proses yang lebih cepat.

1.3. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan ini adalah: Mendapatkan faktor yang paling mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan dan pemilihan parameter yang tepat untuk pengerjaan material *mild steel* agar didapatkan tingkat kekasaran yang sesuai dengan keinginan sehingga membantu industri manufaktur yang proses produksinya menggunakan CNC *milling*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan yang diberikan penulis agar pembahasan pada penelitian lebih terarah, diantaranya:

1. Desain kontur produk *flat*.
2. Alat ukur, alat potong, dan alat bantu yang digunakan terbatas dengan yang dimiliki bengkel PT. MBG Putra Mandiri Yogyakarta
3. *Software* yang digunakan dalam penelitian adalah *PowerShape* 2014 dan *PowerMill* 2014.
4. *Hommel Tester T1000* alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran benda kerja.
5. Titik-titik pengukuran hanya pada area yang dapat dijangkau oleh alat ukur *Hommel Tester T1000*.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Berikut ini beberapa hasil penelitian berdasarkan CAD/CAM sebagai referensi dalam penelitian ini:

Sari (2010) menyebutkan tentang perbandingan simulasi pengerjaan permesinan antara penggunaan CATIA V5R10 dan *PowerMILL* 8.0. Penelitian dilakukan di PT. Mekar Armada Jaya (MAJ). Masalah yang sering terjadi adalah kerap terdapat tabrakan antara material dengan alat potong yang diakibatkan karena pengoperasian CAD/CAM yang dilakukan operator terdapat kesalahan dan kurang teliti. Sari membandingkan hasil *machining* pada produk *Lower Die Draw* dengan menggunakan CATIA V5R10 dan CAM *PowerMILL*. Hasil dari penelitian ini adalah berupa perbandingan hasil permesinan dan NC code yang benar.

Jimmy (2011) menyebutkan tentang optimalisasi *toolpath strategy* untuk produk yang dikerjakan oleh PT. KJS, Bekasi. Produk yang diteliti adalah *seat grip* dan *pootrest grip*. Optimalisasi *toolpath strategy* digunakan untuk memperoleh verifikasi *machining strategy* yang sesuai dengan permintaan *costumer* menggunakan *Vercut* 7.1.1 dan memperoleh waktu aktual yang dibutuhkan untuk permesinan 2 produk tersebut di mesin CNC. Hasil dari penelitian ini adalah *prototype seat grip* dan *pootrest grip* yang sesuai dengan permintaan *costumer*.

Anggoro dan Yuniarto (2012) menyebutkan tentang simulasi permesinan *prototype* konstruksi *mold base Honda Freed Mirror* material ebalta. Anggoro dan Yuniarto menggunakan *software PowerShape* 2012 dan *PowerMill* 2012 untuk membuat simulasinya. *Brainstorming* digunakan untuk memperoleh ide tentang *toolpath strategy*. *Output* yang dihasilkan dari penelitian ini adalah *strategy* permesinan yang optimal untuk *prototype* konstruksi *mold base Honda Freed Mirror*.

Edwin (2014) menyebutkan tentang pengaplikasian *New High Speed Machining Roughing Strategy* pada mesin CNC YCM EV1020A yang terdapat di Laboratorium Proses Produksi Universitas ATMA JAYA Yogyakarta.

Dika (2016) menyebutkan tentang pemilihan *strategy toolpath* untuk mengerjakan produk *mold botol oli* dengan material S45C. Mesin CNC yang digunakan oleh Dika adalah mesin CNC YCM EV1020A. Dalam penelitiannya menggunakan

software PowerShape 2014 dan PowerMILL 2014. Hasil dari penelitian adalah pemilihan strategy toolpath yang optimal untuk hasil kekasaran produk mold.

2.2. Penelitian Sekarang

Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu adalah pada optimalisasi proses pengerjaan produk manufaktur yang menggunakan material logam *mild steel*. Peneliti akan membahas tentang pengaruh variasi parameter *strategy machining* terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan pada produk-produk manufaktur menggunakan mesin CNC milling. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *toolpath strategy* optimal yang dapat mendapatkan kualitas permukaan terbaik. Output akhir yang diharapkan dari penelitian ini adalah masukan penting berupa parameter pemesinan yang optimal untuk pengerjaan material *mild steel* sebagai produk – produk manufaktur.

2.3. Dasar Teori

2.3.1. Proses Milling

Mesin milling merupakan salah satu mesin perkakas pada dunia industri yang berfungsi untuk meratakan permukaan benda kerja dan dapat mengerjakan benda kerja dengan bentuk yang bermacam – macam (profil, radius, silindris, dan lain-lain) yang sesuai dengan ukuran dan kualitas permukaan yang sudah ditentukan yang menghasilkan chip. Prinsip kerja mesin milling adalah benda kerja dicekam dan diam dengan meja mesin (*bed machine*) yang bergerak menuju alat potong yang berputar. Gerakan meja pada mesin *miling* ada 3:

a. Gerakan utama

Gerakan berputarnya alat potong pada sebuah spindle mesin milling. Satuan yang biasa digunakan adalah RPM (*rotation per minute*).

Simbol: “n”.

b. Gerakan pemakanan (*Feeding*)

Kecepatan gerak benda kerja pada saat proses pemotongan oleh *cutter*.

Satuan: mm / menit

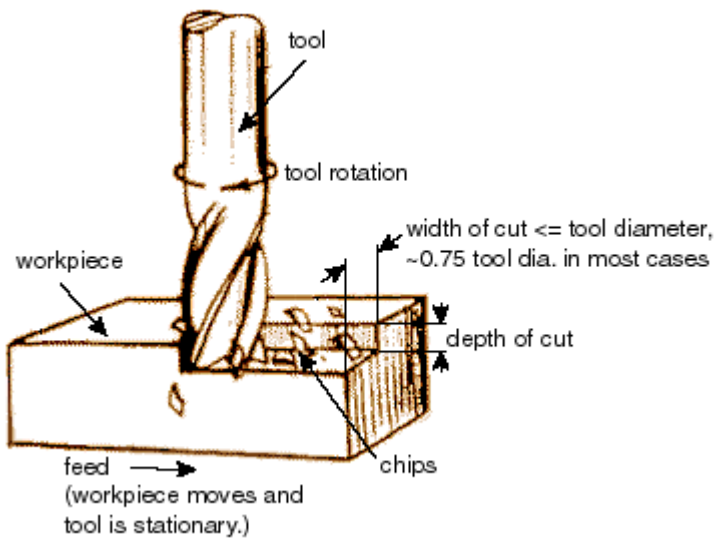
Simbol: “s”.

c. *Depth of Cut*

DOC adalah gerakan memasukkan kedalaman pemakanan *cutter* terhadap benda kerja.

Satuan: mm

Simbol: "a" atau "t"



Gambar 2. 1. Gerakan utama, *feeding*, dan *depth of cut*

Prinsip pemotongan pada mesin *milling* ada 2, yaitu:

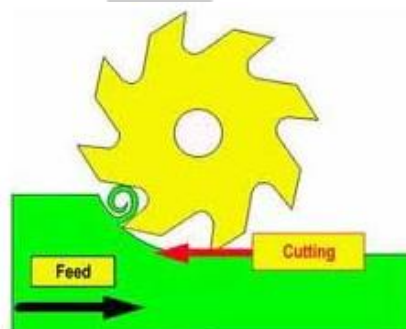
i. Pemotongan *Face Cutting*

Pemotongan *face cutting* adalah pemotongan material dengan menggunakan sisi bawah atau muka (*face*) dari *cutter*.

ii. Pemotongan *Side Cutting*

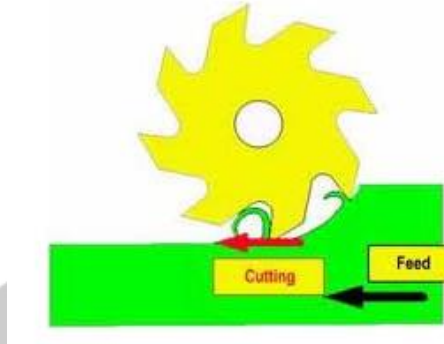
Pemotongan *side cutting* adalah pemotongan material dengan menggunakan sisi samping alat potong. Pemotongan *Side Cutting* dibedakan menjadi 2, yaitu:

a. Pemotongan *Climbing* adalah pemotongan benda kerja dengan arah putaran alat potong (*cutter*) searah dengan gerakan pemakanan benda kerja yang berada di atas *bed* mesin.



Gambar 2. 2. Pemotongan *Climbing*

- b. Pemotongan *Conventional* adalah pemotongan benda kerja dengan arah putaran alat potong (*cutter*) berlawanan arah dengan gerakan pemakanan benda kerja yang berada di atas *bed* mesin.



Gambar 2. 3. Pemotongan Konvensional

Dalam melakukan permesinan yang penting dan harus ditentukan terlebih dahulu adalah penggunaan kecepatan potong dan juga *feeding* yang digunakan. Rumus kecepatan potong dan *feeding* sebagai berikut:

$$S = \frac{1000cs}{\pi d} \quad (2.1)$$

$$F = Fz \times n \times S \quad (2.2)$$

Keterangan:

S : Kecepatan *spindle* (rpm)

Cs : *Cutting speed* (meter/menit)

μ : 3,14

d : diameter *cutter*

F : *feeding* (mm/ menit)

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

n : jumlah mata potong sasad

2.3.2 Material *Mild Steel*

Mild Steel kadang disebut juga sebagai *plain carbon steel* ataupun baja karbon rendah. Menurut standar yang ditetapkan Amerika, *mild steel* memiliki kandungan karbon sekitar 0,05–0,25% dan tidak terdapat campuran bahan lain yang cukup signifikan. Material *mild steel* banyak digunakan untuk berbagai aplikasi dikarenakan *mild steel* mudah untuk dibuat dan harganya relatif murah. Sifat umum yang dimiliki dari *mild steel* adalah kuat. *Mild steel* juga dapat memiliki sifat

magnetis. Sehingga *mild steel* juga dapat digunakan pada mesin motor maupun peralatan listrik.

Tabel 2. 1. Spesifikasi Mild Steel

	Satuan
Uji kekerasan, Brinell	120 HB
Kekuatan tarik	440 Mpa
Massa jenis	7.85 g/cm ³
Modulus geser	80 GPa
Modulus Elastisitas	205 GPa
Kandungan karbon	0,05–0,25%

<i>Material</i>	<i>Cutting Speed, $\frac{m}{min}$</i>				
	<i>Turning</i>		<i>Drilling</i>	<i>Milling</i>	
	<i>HSS</i>	<i>Carbide</i>	<i>HSS</i>	<i>HSS</i>	<i>Carbide</i>
Mild steel	20-35	90-135	20-30	20-35	75-130
Aluminum	150-180	335-365	30-120	150-180	335-365
Free machining brass	90-105	180-200	50-55	90-105	180-200
Other brass & bronze	60-75	150-165	35-40	60-75	150-165
Copper & phospher bronze	30-35	60-65	20	30-35	60-65
Wood & plastic	60-150	150-450	20-90	120	180-450
Unhardened stainless steel	20-35	70-120	15-25	15-30	60-115
Class 20 cast iron	35	135	30	130	30

Gambar 2. 4 Cutting speed

(Sumber: <http://www.me.umn.edu>)

2.3.3. Numerical Control (NC)

Numerical Control atau biasa disebut dengan *NC code* adalah program terotomasi yang menggunakan *variable* untuk mengontrol jalannya suatu mesin produksi. *Variable* untuk melakukan program berupa rangkaian kode yang berisikan huruf kemudian dilanjutkan dengan angka yang setiap kombinasinya memiliki perintah tersendiri. Aplikasi NC biasa dilakukan pada mesin milling, mesin drill, maupun mesin perkakas lainnya.

2.3.4. Computer Numerical Control (CNC)

Teknologi *numerical control* nantinya akan berkembang menjadi CNC. CNC adalah suatu peralatan yang digunakan untuk membaca dan menjalankan program menjadi gerakan pada suatu mesin produksi dengan menggunakan *microprocessor* sebagai unit pengontrol.

Suatu mesin yang menggunakan teknologi CNC biasa disebut mesin CNC. Untuk menjalankan mesin CNC maka dibutuhkan sebuah *software*. *Software* mesin CNC juga beragam, banyak perusahaan menciptakan *software* CNC mereka sendiri agar lebih optimal dan sesuai dengan produk dari perusahaan. Mesin CNC terhubung dengan sebuah komputer agar dapat menjalankan *software* tersebut untuk membuat program maupun melakukan pergantian pada suatu program yang sudah dibuat.

2.3.5. Mesin *Milling* CNC

Mesin produksi yang cukup sering digunakan oleh perusahaan yang mengedepankan otomasi dan ketelitian adalah mesin *milling* CNC. Untuk menjalankan mesin CNC *milling* menggunakan input *NC code* yang sebelumnya telah dibuat di sebuah aplikasi untuk melakukan simulasi agar tidak terjadi kesalahan pada saat proses sesungguhnya. Jenis dari mesin *milling* CNC sendiri cukup banyak dan memiliki beragam modifikasi khusus untuk menyesuaikan dengan customer yang membutuhkan.



Gambar 2. 5 Mesin milling CNC

(Sumber: www.quaser.com)

2.3.6. DELCAM

Terdapat berbagai perusahaan yang menyediakan *software* CAD/CAM salah satunya adalah Delcam. Perusahaan Delcam berdiri secara resmi pada tahun 1977. Delcam adalah perusahaan penyedia perangkat lunak di dunia manufaktur. *Software* Delcam juga sudah digunakan lebih dari 15.000 perusahaan. Beberapa *software* yang diciptakan delcam adalah *PowerShape* dan *PowerMill*.

a. *PowerShape* 2014

Software CAD *PowerShape* (PShape) dari PT. Delcam digunakan untuk melakukan proses *drafting* atau pembuatan gambar dari suatu desain dan dikhususkan untuk desain suatu produk. *PowerShape* juga memiliki paket *software* pemodelan yang lengkap seperti *PS-Mold* yang digunakan untuk membuat *mold tool*, *PS-Assembly* yang digunakan untuk melakukan pemodelan rakitan dari gambar *solid* dan masih banyak lagi fitur yang terdapat pada *powershape*.

b. *PowerMill* 2014

PowerMill 2014 digunakan untuk melakukan simulasi mesin CNC. *PowerMill* memiliki segala yang dibutuhkan untuk mengerjakan proses permesinan yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi sekalipun. *Software* *PowerMill* juga cukup mudah untuk dipelajari karena memiliki basic yang sama dengan program yang serupa. *PowerMill* juga dapat membaca gambar dari *software* desain lain contohnya Catia, IGES, UG dan lain-lain dalam bentuk simulasi permesinan, waktu permesinan yang dibutuhkan, dan G-Code.

2.3.7. Brainstorming

Salah satu untuk mendapatkan ide kreatif adalah dengan menggunakan metode *brainstorming*. *Brainstorming* dianggap cukup baik untuk memunculkan ide dan mendapatkan alternative lain. Metode *brainstorming* juga memiliki waktu yang relatif lebih singkat. Metode *brainstorming* biasanya dilakukan oleh sebuah kelompok akan tetapi tidak menutup kemungkinan untuk dilakukan secara individu. Terdapat tahapan-tahapan untuk melakukan *brainstorming* yaitu :

- a. Sebuah tim yang beranggotakan minimal 3 orang yang mempunyai kemampuan, ketrampilan, pengalaman tentang masalah tersebut, dan menguasai pengetahuan atau materi yang akan dibahas, hal berguna ini untuk mengidentifikasi masalah.
- b. Mengumpulkan ide-ide tentang permasalahan yang terjadi dari tiap anggota tim.

- c. Membuat pertanyaan mendasar tentang permasalahan tersebut dan berikan prioritas untuk setiap pertanyaan sehingga anggota tim dapat mengetahui permasalahan yang diprioritaskan untuk diselesaikan.
- d. Setiap anggota memberikan respon akan tetapi tidak diperbolehkan untuk mengevaluasi ide orang lain.
- e. Anggota tim merespon melalui dua tahap: anggota tim menuliskan idenya masing-masing secara singkat dan jelas. Selanjutnya ide tersebut disampaikan kepada anggota tim sehingga semua anggota tim dapat mengetahui setiap ide dari tim tersebut.
- f. Anggota tim dipertemukan kemudian mengkomunikasikan ide ide tersebut.
- g. Mengikuti *brainstorming* dari awal dan lakukan tes untuk setiap ide atau respon tujuannya untuk mengetahui hubungan atau relevansi antara ide dengan permasalahannya dan pemahaman untuk masing-masing ide.
- h. Menuliskan hasil dari *brainstorming* tersebut.

2.3.8. Perancangan Eksperimen

Perancangan eksperimen diperlukan untuk melakukan uji coba dengan parameter dan pengukuran yang optimal guna meningkatkan kualitas suatu produk. Definisi dari perancangan eksperimen sendiri adalah suatu rancangan eksperimen (beberapa kali tindakan) sehingga informasi akan saling berhubungan yang diperlukan untuk menjawab permasalahan yang sedang dikerjakan (Sudjana, 1991).

Eksperimen merupakan tes yang dilakukan untuk membuat perubahan pada tiap variable inputnya yang nantinya akan mempengaruhi dari hasil variable output. Variabel output inilah nantinya akan diteliti apakah terjadi perubahan hasil atau tidak. Eksperimen berperan penting untuk melakukan pengembangan proses maupun perancangan produk baru.

2.3.9. Metode Taguchi

Metode taguchi merupakan pendekatan terstruktur untuk mendapatkan kombinasi terbaik agar hasil dari jasa maupun produk dapat maksimal. Penemu metode taguchi adalah Genichi Taguchi yang merupakan seorang *engineer* dari Jepang. Taguchi memberikan pendapat bahwa kualitas produk adalah kerugian minimum yang didapatkan konsumen sejak barang siap dikirimkan hingga ke tangan konsumen.

Produk yang berkualitas tinggi dan bebas dari cacat tidaklah cukup. Genichi Taguchi berpendapat bahwa kualitas produk tidak hanya pada proses produksinya melainkan dari segi biaya hingga dampak kerugian yang didapatkan konsumen. Taguchi memberikan pendekatan melalui *S/N Ratio (Signal To Noise)* yang digunakan untuk memilih faktor yang memiliki suatu kontribusi pada pengurangan kombinasi suatu respon dan meneliti seberapa banyak pengaruh faktor pengganggu terhadap kombinasi yang dihasilkan. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mengetahui nilai level dari faktor yang berpengaruh terhadap eksperimen. Jenis yang dipilih dari *S/N Ratio* berdasarkan pada karakteristik yang diinginkan, dengan rumus:

a. *Small The Better*

Karakteristik kualitas yang menjelaskan dimana nilai yang dihasilkan semakin rendah, maka kualitas akan semakin baik. Nilai *S/N* untuk jenis karakteristik ini adalah:

$$S/N = -10 \cdot \log (\Sigma(y^2)/n) \quad (2.3)$$

Keterangan:

y : Hasil percobaan
n : Jumlah replikasi

b. *Nominal The Better*

Karakteristik kualitas yang menjelaskan ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jadi apabila nilainya semakin mendekati nominal yang sudah ditetapkan maka kualitasnya akan semakin baik. Nilai *S/N* untuk jenis karakteristik ini adalah:

$$S/N = -10 \cdot \log (s^2) \quad (2.4)$$

Keterangan:

s : standar deviasi hasil dari semua faktor

c. *Large The Better*

Karakteristik kualitas yang menjelaskan dimana nilai yang dihasilkan semakin besar maka kualitas akan semakin baik. Nilai *S/N* untuk jenis karakteristik ini adalah:

$$S/N = -10 \cdot \log (\Sigma(1/Y^2)/n) \quad (2.5)$$

Keterangan:

y : Hasil percobaan

n : Jumlah replikasi

2.3.10. Orthogonal Array

Orthogonal array merupakan matrik nomor yang terdiri dari baris dan kolom. Setiap baris mewakili keadaan dari suatu faktor yang dilakukan pada sebuah eksperimen sedangkan untuk kolom mewakili sebuah faktor yang spesifik yang bisa berubah tiap eksperimen yang dilakukan. *Orthogonal array* juga terdapat beberapa faktor dan level.

Fungsi dari orthogonal array sendiri adalah untuk merancang suatu desain percobaan yang nantinya percobaan tersebut akan dianalisa. Pemilihan dari orthogonal array sendiri harus sesuai dengan jumlah level dan faktor yang akan dilakukan percobaan.

Misal: $L_{12}(2^{11})$

- 12 artinya perlakuan dilakukan sebanyak 12 kali
- 2 artinya terdapat 2 level
- 11 artinya jumlah faktor

Dibawah ini adalah tabel standar *orthogonal array* yang dirumuskan oleh *Taguchi* :

Tabel 2. 1 Standar Orthogonal Array

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Mixed-Level
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^6 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^6 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^6 \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^6 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^6 \times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^6 \times 5^{11})$

2.3.11. Analisis Data

Setelah diperoleh data dari eksperimen maka, langkah selanjutnya adalah analisis data hasil percobaan. Analisis data merupakan langkah terakhir dari *DoE*. Pada analisis data dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yang kemudian ditampilkan dengan *layout* tertentu sesuai dengan metode dan desain yang dipilih dan dilakukan pengujian data.

2.3.12. Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of variance (ANOVA) adalah suatu cara atau metode untuk menguraikan variansi total data menjadi komponen-komponen yang mengukur berbagai sumber varian. ANOVA berguna dalam pengujian hipotesis untuk membandingkan nilai rerata sampel dengan membandingkan *unbiased estimated varians* populasi dari sumber yang berbeda.

2.3.13. Two-Way ANOVA

Dalam penelitian ini terdapat perbandingan antara dua atau lebih faktor spesifik sehingga digunakan *multi-way ANOVA* untuk menentukan varian yang disebabkan oleh rerata, faktor, dan *error* (Belavendram, 1995). Metode *multi-way ANOVA* memiliki tahapan sebagai berikut:

a. Rata-rata Respon Tiap Eksperimen

Rata-rata adalah data kualitatif yang terdapat dalam populasi dihitung dengan membagi jumlah nilai data oleh banyaknya data. Rumus rata-rata adalah:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2.6)$$

Keterangan:

μ : nilai rata-rata populasi

X_i : data ke- i

N : ukuran populasi

b. Nilai Rata-rata Seluruh Respon

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad (2.7)$$

Keterangan:

\bar{y} : nilai rata-rata seluruh respon

n : banyaknya percobaan

c. Perhitungan Rata-rata setiap faktor dan level (Perhitungan Tabel Respon)

d. *Sum of Square Total* (Total Jumlah Kuadrat)

$$ST = \sum_{i=1}^n (y_i)^2 \quad (2.8)$$

Keterangan:

y_i : nilai pengamatan

n : banyak pengamatan

e. *Sum of Square Due to The Mean* (Jumlah Kuadrat Rerata)

$$Sm = n \cdot \bar{y}^2 \quad (2.9)$$

f. *Sum of Square Due to The Factor* (Jumlah Kuadrat Karena Faktor)

Contoh perhitungan *sum of square due to the factor* untuk faktor A adalah:

$$SA = n_{A1} \cdot \bar{y}_{A1}^2 + n_{A2} \cdot \bar{y}_{A2}^2 + n_{A3} \cdot \bar{y}_{A3}^2 - Sm \quad (2.10)$$

Keterangan:

A_1 : nilai data pada level 1 untuk faktor A

n_{A1} : jumlah data pada level 1 untuk faktor A

g. *Sum of Square Due to Error* (Jumlah Kuadrat Karena Kesalahan)

$$Se = ST - Sm - \sum_{i=A}^n Si \quad (2.11)$$

$$\sum_{i=A}^n Si = SA + SB + SC + SD + SE + SF \quad (2.12)$$

h. *Mean Sum of Square* (Jumlah Kuadrat Rata-rata)

$$Mq_A = \frac{SA}{v_A} \quad (2.13)$$

SA : jumlah kuadrat karena faktor A

v_A : derajat kebebasan faktor A

i. Uji Rasio-F (*F-ratio*)

Ketika ANOVA tidak dapat membuktikan adanya perbedaan perlakuan maupun pengaruh faktor dalam suatu percobaan, maka secara statistik terdapat metode yang menyediakan keputusan pada suatu tingkat kepercayaan apakah terdapat perbedaan secara signifikan dalam mengestimasi. Metode tersebut adalah *F-Test*. Cara untuk melakukan *F-Test* adalah dengan melakukan perbandingan variasi *error* dan variasi yang dihasilkan tiap faktornya. Variasi *error* merupakan varian tiap individu dalam suatu pengamatan yang timbul dikarena faktor dari luar yang tidak dapat dikendalikan (Belavendram, 1995). *F-Test* dapat dirumuskan dengan:

$$F = \frac{MSTR}{MSE} \quad (2.14)$$

Keterangan:

MSTR: rata-rata jumlah kuadrat faktor A

MSE: rata-rata jumlah kuadrat *error*

Hasil dari *F-Ratio* (F_{hitung}) nantinya dibandingkan dengan nilai F dari tabel dengan harga α tertentu yang biasa disebut dengan F_{tabel} . Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan adalah:

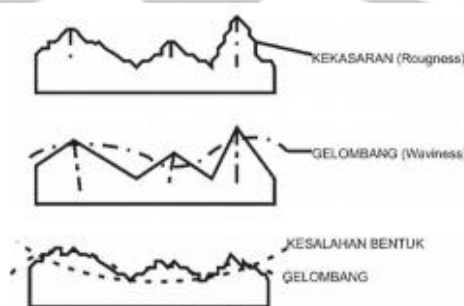
H_0 : tidak ada pengaruh pada perlakuan

H_1 : ada pengaruh pada perlakuan

Apabila nilai *F-Ratio* $\leq F_{tabel}$ maka H_0 diterima, sebaliknya bila *F-Ratio* $\geq F_{tabel}$ maka H_0 ditolak.

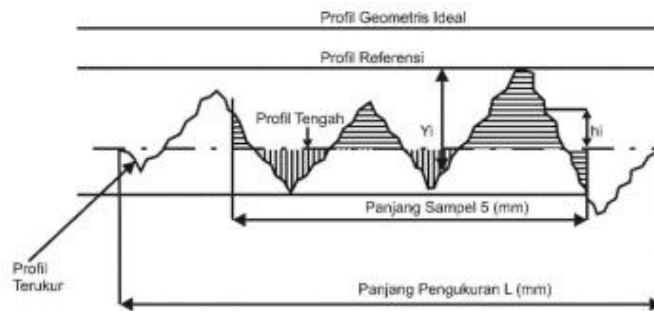
2.3.14. Kekasaran Permukaan

Istilah permukaan didalam dunia teknik adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Terdapat dua jenis permukaan yaitu permukaan kasar (*roughness*) dan permukaan yang bergelombang (*waviness*). Sebenarnya kedua hal tersebut juga dapat diketahui melalui indera perasa atau memakai ujung jari dari manusia. Permukaan yang kasar adalah permukaan yang berbentuk gelombang pendek yang terjadi karena proses *machining* yang dilakukan pada benda kerja tersebut, misalnya alat potong yang tidak tajam, kecepatan pemakanan yang terlalu cepat, kedalaman permukaan yang terlalu besar, dan banyak faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi permukaan benda kerja. Sedangkan permukaan bergelombang adalah permukaan yang mempunyai bentuk gelombang panjang yang tidak teratur dan terjadi akibat kesalahan proses misalnya pada saat benda tersebut mengalami proses perlakuan panas (*heat treatment*) atau proses penggerindaan yang tidak sempurna dan faktor-faktor yang lain. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 6 Kekasaran, Gelombang, Kesalahan Bentuk Permukaan

Beberapa profil yang terdapat pada permukaan suatu benda kerja:



Gambar 2. 7 Profil Suatu Permukaan

a. Profil Geometris Ideal (*Geometrically Ideal Profile*)

Profil ini adalah profil yang ideal dari suatu permukaan tetapi profil ini tidak mungkin dapat dicapai karena banyak faktor yang mempengaruhi dalam proses pengerjaan suatu benda kerja.

b. Profil Referensi (*Reference Profile*)

Profil permukaan ini digunakan sebagai referensi dalam menganalisa karakteristik permukaan benda kerja. Profil permukaan referensi hampir sama dengan profil permukaan

c. Profil Terukur (*Measured Profile*)

Profil terukur adalah profil permukaan benda kerja yang didapatkan dari hasil suatu pengukuran permukaan. Profil ini nantinya yang digunakan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan benda kerja hasil dari permesinan.

d. Profil Dasar (*Root Profil*)

Profil dasar adalah profil referensi yang pengukurannya terletak pada titik terendah profil terukur.

e. Profil Tengah (*Centre Profil*)

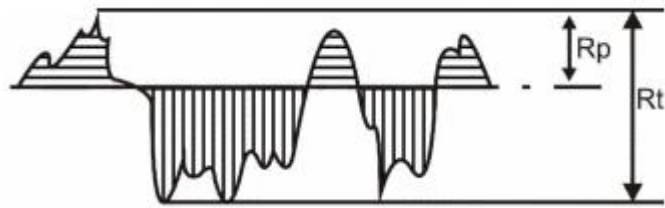
Profil tengah adalah profil yang berada di tengah-tengah posisi titik teratas dan titik terbawah profil terukur.

f. Kedalaman Total (*Peak to Valley*), R_t

Kedalaman total adalah jarak antara profil tertinggi sampai dengan profil terendah.

g. Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*), R_p

Kedalaman perataan adalah jarak rata-rata dari profil tertinggi sampai terendah.



Gambar 2. 8 Kedalaman Total dan Kedalaman Perataan

(Sumber: www.staff.uny.ac.id)

h. Kekasaran Rata-Rata Aritmetis (*Mean Roughness Indec/Center Line Average*)

Ra

Kekasaran rata-rata adalah nilai rata-rata secara aritmetis dari nilai absolute antara profil terukur dengan profil tengah dari suatu permukaan benda kerja.

i. Toleransi Harga Ra

Toleransi harga Ra adalah kelas-kelas kekasaran yang terdapat pada permukaan suatu produk. Besarnya toleransi Ra biasanya adalah antara 50% ke atas sampai 25% ke bawah. Satuan untuk kekasaran permukaan adalah μm . Tabel di bawah menunjukkan kelas-kelas dari nilai kekasaran rata-rata permukaan.

Tabel 2. 2 Toleransi Nilai Kekasaran Rata-Rata Ra

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi	Panjang Sample (mm)
N1	1	0.0025	0.02 - 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 - 0.08	
N3	4	0.0	0.08 - 0.15	
N4	8	0.2	0.15 - 0.3	0.25
N5	16	0.4	0.3 - 0.6	
N6	32	0.8	0.6 - 1.2	
N7	63	1.6	1.2 - 2.4	
N8	125	3.2	2.4 - 4.8	0.8
N9	250	6.3	4.8 - 9.6	
N10	500	12.5	9.6 - 18.75	2.5
N11	1000	25	18.75 - 37.5	
N12	2000	50	37.5 - 75	8

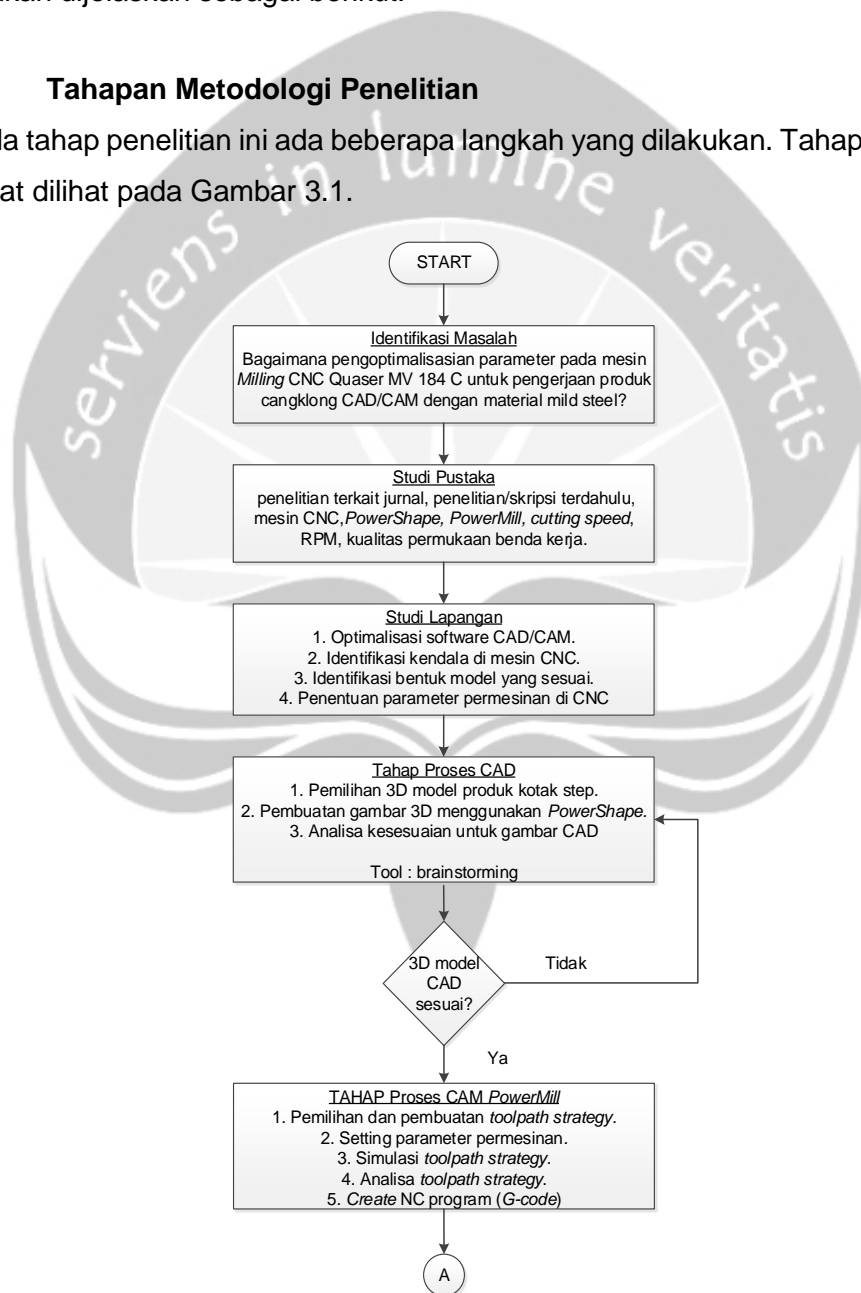
(sumber: www.staff.uny.ac.id)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

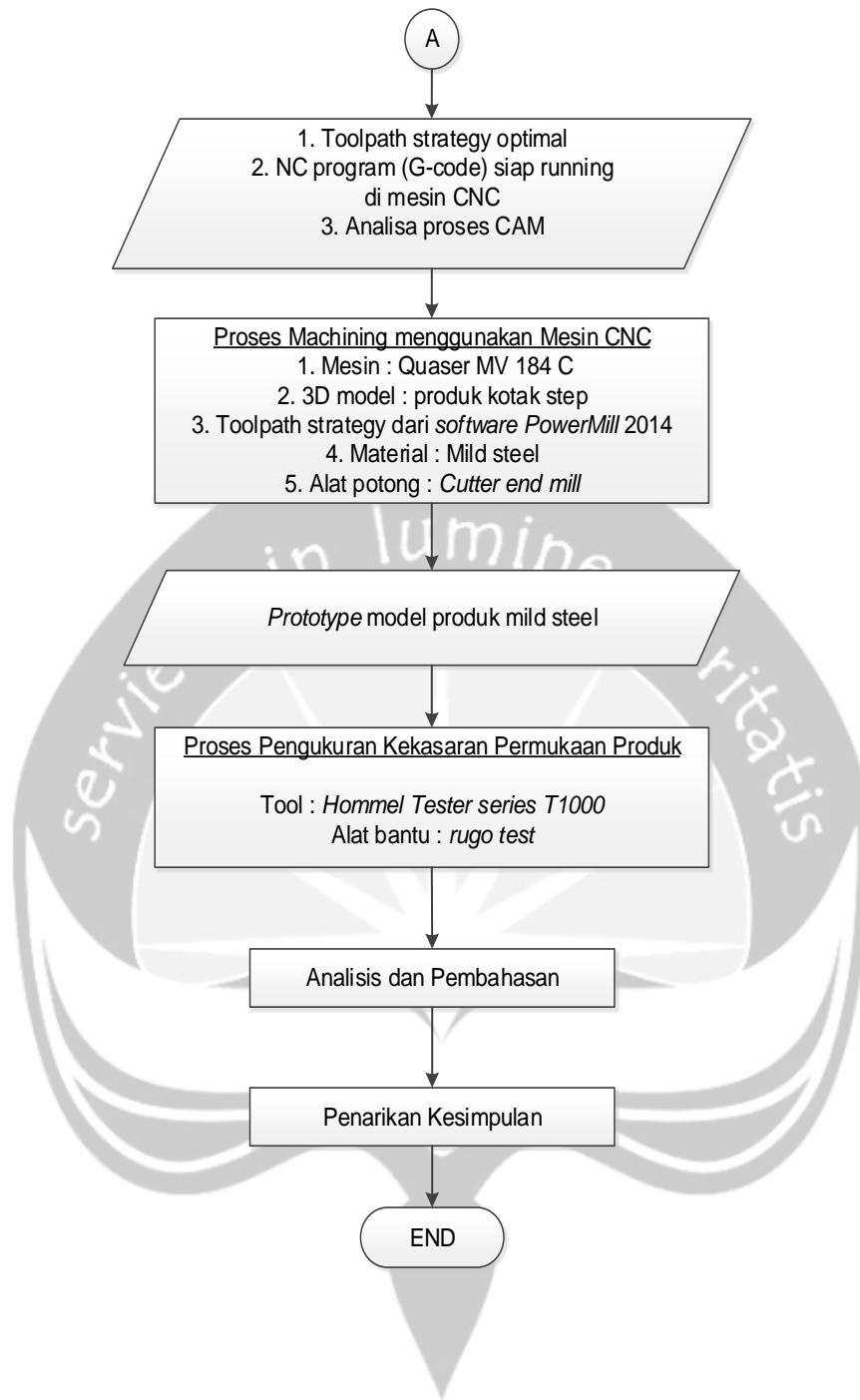
Metodologi penelitian adalah tahapan yang digunakan untuk menulis sebuah karya ilmiah secara urut, tertata, dan sistematis. Metodologi penelitian berisikan tahapan penelitian yang harus dilakukan dari pendahuluan awal hingga akhir atau penulisan laporan. Penjelasan detail mengenai urutan tahapan dalam penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut.

3.1. Tahapan Metodologi Penelitian

Pada tahap penelitian ini ada beberapa langkah yang dilakukan. Tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Tahapan Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 Lanjutan

3.2. Langkah-Langkah Penelitian

Untuk menyelesaikan penelitian maka diperlukan beberapa tahapan, antara lain:

a. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilihat dari proses pembuatan cetakan tanpa menentukan alternative – alternative lain yang dapat digunakan. Penelitian ini dilakukan agar mengetahui permasalahan dan mengoptimalkan parameter untuk proses selanjutnya.

b. Studi Pustaka

Studi Pustaka dilakukan untuk mencari sumber referensi yang digunakan untuk mendukung penelitian. Referensi didapatkan dari berbagai sumber yaitu buku, skripsi terdahulu, jurnal, dan internet. Pencarian referensi terkait penelitian tentang proses permesinan, material, mesin milling CNC, kualitas permukaan benda kerja, *cutting speed*, kecepatan *spindle* (RPM), *feeding*. Dan peneliti mendalami tentang *software* CAD/CAM (*PowerShape* dan *PowerMill*) untuk mendukung jalannya penelitian.

c. Studi Lapangan

Tahap peneliti yang dibantu oleh dosen pembimbing dan teman – teman peminatan 1 berusaha untuk menemukan masalah yang terjadi pada proses permesinan untuk benda produk penelitian sebelumnya sehingga proses untuk desain CAD/CAM dapat dimaksimalkan.

d. Proses CAD

Tahap ini peneliti yang dibantu oleh dosen pembimbing dan masukan dari operator mesin CNC. *Software* yang digunakan untuk membuat gambar 3D model adalah *PowerShape* 2014. Gambar 3D model dibuat sederhana untuk mengurangi biaya yang akan dikeluarkan dan tetap mendapatkan hasil yang diinginkan.

e. Proses Pembuatan *PowerMill*

Software yang digunakan untuk simulasi permesinan adalah *PowerMill* 2014 dengan memperhatikan faktor yang sebelumnya sudah dipilih yaitu pemilihan *toolpath strategy*, penentuan *feeding*, dan kecepatan *spindle*. Selain itu juga melakukan setting mesin maupun alat potong yang sesuai agar tidak terjadi kecelakaan saat menjalankan program. Setelah itu dilakukan simulasi program dan dianalisa untuk mengetahui permasalahan yang terjadi, saat program berjalan baik dan tidak mengalami kesalahan program akan dijadikan G-code.

f. Proses *Machining* menggunakan mesin CNC

Proses permesinan menggunakan mesin milling CNC Quaser MV 184 C dengan menggunakan 3D model yang sudah dibuat pada tahap sebelumnya. Sebelum proses permesinan dilakukan peneliti menyiapkan semua peralatan yang digunakan dan yang mendukung proses permesinan di mesin CNC, mulai dari menyiapkan material *mild steel*, *men-setting cutter*, memasang benda kerja pada alat pencekaman yang ada di mesin CNC, dan mengecek semua peralatan sudah terpasang sempurna sehingga aman pada saat proses *machining* berjalan. Selanjutnya memindahkan NC program (*G-code*) yang sudah dibuat dan disimulasikan ke dalam mesin CNC. Untuk mencegah terjadinya kesalahan maka selama proses permesinan berlangsung peneliti harus memperhatikan dengan seksama.

g. Proses Pengukuran Kekasaran Permukaan Produk

Hommel Tester series T1000 adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan benda kerja. Cara kerja alat ini adalah dengan cara menempelkan sensor dari alat ukur *Hommel Tester series T1000* di atas permukaan benda kerja kemudian tombol pada bagian samping alat ukur dipilih maka secara otomatis alat ukur tersebut akan mengukur kualitas kekasaran permukaan benda kerja sepanjang 7 mm.

h. Analisis dan Pembahasan

Tahap ini peneliti beserta tim *brainstorming* menganalisa produk hasil permesinan dari awal proses sampai produk tersebut selesai. Pada tahap ini peneliti akan menggunakan metode perhitungan ANOVA dan Taguchi untuk menentukan faktor-faktor yang benar-benar mempengaruhi kualitas kekasaran permukaan. Tahap ini juga digunakan untuk mengetahui kualitas produk yang dihasilkan, dari segi kualitas permukaan dan lamanya waktu proses permesinan.

i. Penarikan Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian maka peneliti dapat menarik kesimpulan dari proses analisa dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya. Urutan lebih jelasnya urutan proses dapat dilihat pada diagram alir.

BAB 4 PROFIL DATA

4.1. Profil Bengkel

PT. MBG Putra Mandiri Yogyakarta adalah badan usaha berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang sudah lebih dari 10 tahun berkiprah di bidang jasa manufaktur.

PT. MBG Putra mandiri Yogyakarta memiliki komitmen untuk menjaga kualitas produk dan ketepatan waktu. Untuk mencapai komitmen tersebut PT. MBG Putra Mandiri Yogyakarta memiliki tenaga kerja profesional dengan SDM yang terdidik dan berpengalaman dibidangnya. Dalam pelayanannya PT. MBG Putra Mandiri Yogyakarta menggunakan staf dan tenaga ahli tetap sebanyak 34 orang.

Fasilitas yang dimiliki PT. MBG Putra Mandiri Yogyakarta juga lengkap baik dari mesin terotomasi maupun mesin konvensional. PT.MBG putra memiliki 3 buah CNC yaitu 2 CNC millin dan 1 CNC bubut. Untuk mesin konvensional sendiri cukup terdapat banyak mesin seperti mesin las hingga mesin *bending*.

Produk yang dapat dihasilkan PT. MBG Putra Mandiri dapat bermacam – macam antara lain *conveyor*, *trolley*, roda gigi dan lain-lain. Tidak menutup kemungkinan perusahaan menerima pesanan khusus untuk mengerjakan produk khusus yang diinginkan oleh *customer*.

4.2. Profil Mesin CNC

Salah satu mesin CNC milling yang dimiliki oleh PT. MBG Putra Mandiri adalah mesin CNC Quaser MV 184 C. CNC Quaser MV 184 C memiliki 3 *axis*, yaitu *axis* X, Y, dan Z sehingga memungkinkan untuk mengerjakan kontur benda kerja atau *prototype* yang cukup kompleks. Mesin ini didukung dengan sebuah kompresor yang digunakan untuk *clamping* dari alat potong dan fungsi-fungsi yang lain. Material yang dapat dikerjakan di mesin ini adalah *metal* (besi dan baja), *ABS*, *nylon*, dan lain-lain.

Tabel 4. 1. Spesifikasi Mesin CNC Quaser MV 184 C

(sumber: www.quaser.com)

Spesifikasi	
<i>Tipe</i>	Quaser MV 184 C
Ukuran Meja (mm)	1200 x 600
X-axis Travel (mm)	1020
Y-axis Travel (mm)	610
Z-axis Travel (mm)	610
Kecepatan <i>spindle</i> (rpm)	10000
Handle Type	BBT40
Feeding (mm/min)	1~10000
Maximum Table Load Capacity (kg)	500
Tool Magazine Capacity (opt.) (T)	30
Max. Tool Weight (kg)	7
Max. Tool Dimensions (W/O Adjacent Tool) (mm)	Ø76,2x300 (Ø125x300)
Main Power (Hz)	50
Coolant Tank Capacity (Liter)	480
Power Consumption (Kva)	17,5
Dimensi Mesin (mm)	3240x 2548 x 3030
Berat Mesin (kg)	6990



Gambar 4. 1 Mesin CNC Quaser MV 184 C

4.3. Data Material

Mild Steel kadang disebut juga sebagai *plain carbon steel* ataupun baja karbon rendah. Menurut standar yang ditetapkan Amerika, *mild steel* memiliki kandungan karbon sekitar 0,05–0,25% dan tidak terdapat campuran bahan lain yang cukup signifikan. Material *mild steel* banyak digunakan untuk berbagai aplikasi dikarenakan *mild steel* mudah untuk dibuat dan harganya relatif murah. Sifat umum yang dimiliki dari *mild steel* adalah kuat. *Mild steel* juga dapat memiliki sifat magnetis. Sehingga *mild steel* juga dapat digunakan pada mesin motor maupun peralatan listrik. *Mild steel* memiliki kekuatan Tarik kurang lebih sebesar 340 MPa. Kekuatan tarik *mild steel* juga dipengaruhi dari berbagai komposisi dari *mild steel* itu sendiri. Material *mild steel* memiliki berat jenis sebesar 7,85 g/cm³. Untuk *cutting speed* material *mild steel* sebesar 75 – 130 dengan material alat potong *carbide*. Material yang digunakan memiliki ukuran awal 75mm x 50mm x 40mm.



Gambar 4. 2 Material Mild Steel

4.4. Cutting Tools

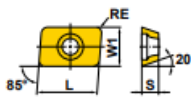
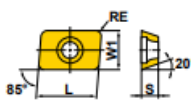
Proses *machining* dalam manufaktur tidak lepas dari *cutting tools* atau alat potongnya. Untuk penelitian ini mempunyai tingkat kesulitan masing-masing mulai dari tingkat kekerasan material dan bentuk atau kontur yang ingin dicapai.

Berikut adalah beberapa *cutting tools* yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

a. *Cutter Insert Tip*

Cutter insert tip merupakan salah satu jenis alat potong yang digunakan untuk proses *milling*. Jenis *cutter* ini memiliki dua bagian utama, yang pertama adalah *Shoulder Milling Cutter* yang berfungsi sebagai *holder* dan tempat pemasangan *tip*

atau mata potong *cutter*, yang kedua adalah *tip*, *tip* adalah mata potong untuk *cutter* jenis ini. Keunggulan dari *cutter* jenis ini adalah jika mata potong aus atau terjadi kerusakan dapat diganti dengan mata potong yang baru. *Cutter* yang digunakan dalam proses ini adalah *Cutter Insert Tip* Ø20. *Tip* yang digunakan berbahan *carbide* sehingga dapat digunakan untuk mengerjakan material *steel* maupun *stainless steel*.

Work Material	P	Steel	● ● ● ● ● ●					● ● ● ● ● ●					Cutting Conditions : ● : Stable Cutting ● : General Cutting ★ : Unstable Cutting Honing : E : Round F : Sharp											
	M	Stainless Steel	● ● ● ● ● ●					● ● ● ● ● ●																
Cutter Type Insert Geometry	K	Cast Iron	● ● ● ● ● ●					● ● ● ● ● ●																
	N	Non-Ferrous Metal	● ● ● ● ● ●					● ● ● ● ● ●																
	S	Heat-resistant Alloy, Titanium Alloy	● ● ● ● ● ●					● ● ● ● ● ●																
H	Hardened Materials	● ● ● ● ● ●					● ● ● ● ● ●																	
Cutter Type Insert Geometry	Order Number	(ISO) Number	Class	Honing	Coated					Cermat					Carbide					Dimensions (inch)				
					F7030	VP15TF	UP20M	NX2625	NX4545	UT120T	HT110	L	W1	S	BS	RE								
	AEMW150304ER	AEMW150304ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.625	.375	.125	—	.016									
	AEMW150308ER	AEMW150308ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.625	.375	.125	—	.031									
	AEMW1503062ER	AEMW1503062ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.625	.375	.125	—	.063									
	AEMW1503093ER	AEMW1503093ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.625	.375	.125	—	.094									
	AEMW1503125ER	AEMW1503125ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.625	.375	.125	—	.125									
	AEMW1503250ER	AEMW1503250ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.625	.375	.125	—	.252									
	AEMW19T304ER	AEMW19T304ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.750	.500	.156	—	.016									
	AEMW19T308ER	AEMW19T308ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.750	.500	.156	—	.031									
	AEMW19T3062ER	AEMW19T3062ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.750	.500	.156	—	.063									
	AEMW19T3093ER	AEMW19T3093ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.750	.500	.156	—	.094									
	AEMW19T3125ER	AEMW19T3125ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.750	.500	.156	—	.125									
	AEMW19T3250ER	AEMW19T3250ER	M	E	●	★	●	●	●	●	.750	.500	.156	—	.252									

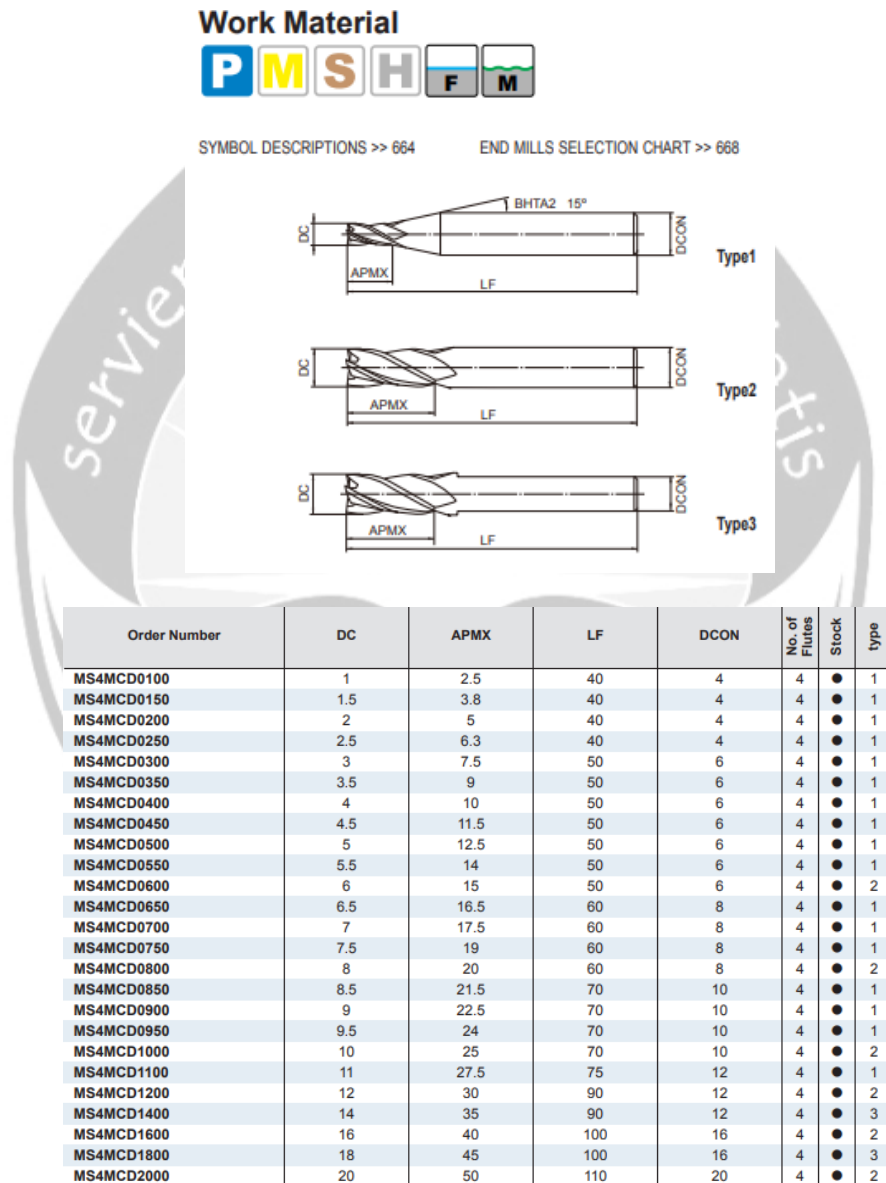
Gambar 4. 3 Spesifikasi *Insert tip*



Gambar 4. 4 *Cutter Insert Tip* Ø20

b. End mill

End mill merupakan alat potong salah satu alat potong yang dapat digunakan untuk proses *milling*. Jenis *cutting tool* ini digunakan untuk mengerjakan bidang benda kerja yang rata. *Cutter end mill* mempunyai banyak jenis. Dibedakan dari material penyusunnya ada tiga jenis yaitu *HSS*, *Carbide*, *Carbon Steel*. Pada penelitian ini *end mill* Ø10 carbide digunakan untuk proses *finishing*. Berikut spesifikasi untuk *cutter end mill*.



Gambar 4. 5 Spesifikasi *Cutter End mill*



Gambar 4. 6 End mill Ø10

Material *carbide* dipilih karena dapat menggunakan kecepatan *spindle* yang lebih cepat dibandingkan dengan *cutter* HSS.

4.5. Profil Tim Brainstorming

Anggota tim yang dipilih adalah orang-orang yang berkompeten dan mempunyai pengalaman dalam pengerjaan di permesinan, sehingga hasil dari *brainstorming* dapat maksimal dan dapat dimanfaatkan untuk mengetahui faktor yang diduga mempengaruhi secara signifikan terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja. Berikut data profil dari anggota tim:

- a. Yanuar Andhika, mahasiswa UAJY selaku peneliti dalam “ANALISIS PENGARUH VARIASI PARAMETER *STRATEGY MACHINING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN *MATERIAL MILD STEEL*”.
- b. Bapak Tonny Yuniarto, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing yang mengerti dalam proses permesinan dan penggunaan *software Powerhape* dan *PowerMill*.
- c. Jati Wibowo, S.T. merupakan alumni UAJY yang memiliki pengalaman kerja tentang mesin CNC.
- d. Ian Nugraha, Alumni ATMI yang meneliti tentang *overhang* dan memiliki kompetensi pada bidang pemesinan.

4.6. Penjelasan Faktor eksperimen

4.6.1. Toolpath Strategy Finishing

a. Optimized Constant Z Finishing

Optimized Constant Z Finishing adalah *toolpath* yang digunakan saat proses *finishing*. *Optimized Constant Z Finishing* memiliki 2 gerakan khusus yaitu *tool* akan bergerak secara konstan saat melakukan pengerjaan benda yang curam dan 3D offset saat melakukan pengerjaan yang tidak membutuhkan banyak DOC. *Toolpath* ini dipilih karena selain waktu yang relatif singkat dan juga *toolpath* ini adalah penyempurnaan dari *toolpath* sebelumnya yaitu *Constant Z Finishing*.

b. Raster Finishing

Raster Finishing dapat digunakan untuk proses *semi finishing* maupun *finishing*. Gerakan pemakanan pada *toolpath* raster adalah *cutter* bergerak dari kiri ke kanan ke seluruh sisi material hingga membentuk profil benda kerja. *Raster Finishing* memiliki kelemahan dari segi waktu yang relative cukup lama dalam pengerjaannya dikarenakan jalur pergerakan dilakukan ke seluruh area benda kerja. *Toolpath* raster dipilih karena akan mengerjakan benda kerja yang memiliki bentuk yang tidak rumit.

4.6.2. Kecepatan Putar Spindle (RPM)

Kecepatan putar spindle adalah banyaknya putaran yang dilakukan oleh *spindle* dalam satu menit. Satuan dari kecepatan putar spindle adalah RPM (*Rotation per Minute*). Kecepatan *spindle* ditentukan oleh diameter dari alat potong dan tingkat kekerasan dari material benda kerja. Pemilihan 2 level pada kecepatan *spindle* dilakukan perhitungan sesuai rumus yang telah ditentukan. Berikut perhitungan kecepatan *spindle*. *Cutting speed* yang dimiliki *mild steel* sebesar 75-130 m/menit.

$$S = \frac{1000cs}{\pi d}$$

$$S = \frac{1000 \times 102}{\pi \times 10}$$

$$S = 3248 \text{ Rpm}$$

Dalam perhitungan diatas didapatkan kecepatan *spindle* sebesar 3248 RPM dan dibulatkan menjadi 3250 RPM. Kecepatan *spindle* untuk level 2 dilakukan penurunan kecepatan *spindle* sebesar 1000 RPM menjadi 2250 RPM.

4.6.3. Feeding

Feeding adalah kecepatan alat potong untuk melakukan pemakanan terhadap benda kerja. Besaran *feeding* dapat ditentukan dari alat potong yang digunakan dan tingkat kekerasan dari benda kerja. Satuan dari *feeding* adalah mm/menit. Perhitungan untuk mendapatkan *feeding* dapat dilihat di $Fz = 0.1 \text{ m/mz}$

$$F = Fz \times \text{jumlah mata potong} \times S$$

$$F = 0.075 \times 4 \times 3250$$

$$F = 975 \text{ mm/menit}$$

Dalam perhitungan diatas didapatkan *feeding* sebesar 975 mm/menit dan dibulatkan menjadi 1000 mm/menit. Untuk *feeding* yang lainnya dilakukan penurunan *feeding* hal ini diharapkan agar hasil penelitian lebih optimal yaitu sebesar 750 mm/menit.



BAB 5
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil *Brainstorming*

Sebelum melakukan penelitian, perlu diketahui faktor apa saja yang dapat mempengaruhi kualitas permukaan benda kerja. Faktor-faktor tersebut nantinya akan digunakan untuk mendesain *orthogonal array* dalam metode taguchi. Untuk mendapatkan faktor-faktor tersebut perlu dilakukan proses *brainstorming* yang akan dilakukan peneliti bersama tim. Pertanyaan yang digunakan untuk mencari faktor-faktor yang diduga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan.

Tabel 5. 1. Daftar Pertanyaan Brainstorming

No	Pertanyaan
1	Parameter permesinan apa saja yang dapat mempengaruhi Kekasaran Permukaan benda kerja??
2	<i>Toolpath strategy</i> apa saja yang Anda rekomendasikan untuk penelitian ini??
3	Apa rekomendasi Anda untuk <i>Cutter / Cutting Tools</i> yang akan digunakan untuk penelitian ini??

Tabel 5. 2 Ringkasan Jawaban Brainstorming

Ringkasan Jawaban	
Bapak Tonny Yuniarto, S.T., M.Eng	
1	Parameter yang mempengaruhi kualitas permukaan benda kerja adalah <i>toolpath strategy</i> yang digunakan karena pada saat <i>setting toolpath</i> juga memasukkan parameter-parameter permesinan.
2	<i>Raster Finishing</i> dan <i>Optimized Constant Z</i>
3	Material untuk <i>cutting tools minimal solid carbide</i> .
Jati Wibowo, S.T.	
1	<i>Step over, Step down, kecepatan spindle, dan feeding</i>
2	<i>Steep and Shallow Finishing</i> dan <i>Raster Finishing</i>

Tabel 5. 3 Lanjutan

3	<i>Cutter Tools untuk finishing sebaiknya menggunakan Single Lip</i>
Ian Nugraha	
1	<i>Feeding, kondisi tools, pemberian coolant, kecepatan putar spindle (RPM), toolpath strategy yang dipakai, DOC.</i>
2	<i>Raster Finishing dan Optimized Constant Z</i>
3	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Roughing = End mill Flat / Corner Radius</i> • <i>Finishing = Ball Nose lebih optimal untuk pengerjaan kontur Material untuk cutting tools minimal solid carbide.</i>

Setelah peneliti dan Bapak Tonny Yuniarto, S.T., M.Eng selaku pembimbing melakukan diskusi tentang hasil *brainstorming*, disimpulkan bahwa faktor yang diduga berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan adalah *Toolpath Strategy Finishing, feeding, step over, step down*, dan kecepatan *spindle* (RPM). Dar hasil *brainstorming* didapatkan 5 faktor tersebut. Akan tetapi mengingat keterbatasan biaya dan waktu maka hanya 3 faktor yang dipilih untuk dilakukan penelitian. 3 faktor tersebut adalah *Toolpath Strategy Finishing, feeding*, dan kecepatan *spindle* (RPM). Faktor tersebut nantinya akan digunakan dalam pembuatan *orthogonal array*.

5.2. Analisis Optimalisasi Manufaktur dengan Metode Taguchi

5.2.1. Pemilihan Orthogonal Array

Sebelum menentukan *Orthogonal Array* yang akan digunakan dalam penelitian ini, maka dibutuhkan faktor-faktor yang diduga berpengaruh secara signifikan. Faktor-faktor tersebut didapatkan dari hasil proses *brainstorming*. Terdapat tiga faktor yang diduga dapat mempengaruhi tingkat kekasaran secara signifikan. Semua faktor disetting pada dua level. Berikut tabel faktor dan level untuk *Orthogonal Array*. Penentuan kecepatan *spindle* dan *feeding* dilakukan dengan perhitungan secara manual dengan rumus. Untuk penentuan prosesnya *feeding* diturunkan lebih lambat dan diharapkan akan menghasilkan permukaan yang lebih halus.

Tabel 5. 4 Faktor dan Level untuk Orthogonal Array

Faktor	Level	
<i>Toolpath Strategy Finishing</i>	<i>Optimized Contant Z Finishing</i>	<i>Raster Finishing</i>
Kecepatan <i>Spindle</i> (RPM)	3250	2250
<i>Feeding</i> (mm/menit)	750	1000

Software Minitab 2016 digunakan untuk mencari *orthogonal array*. Hasil penggunaan *software Minitab* 2016 adalah $L_4(2^3)$. Desain tersebut merupakan desain yang paling sedikit jumlah spesimen yang diuji dan sebagai pembandingan. Hal ini ditujukan mengurangi biaya material spesimen dan *cutting tools* yang digunakan saat penelitian. Setelah dilakukan perhitungan manual kecepatan *spindle* maka didapatkan hasil seperti di atas dan juga diberikan selisih 1000 RPM agar terlihat perbedaan dari proses pengerjaannya. Dari segi pemilihan kombinasi berdasarkan waktu. Setiap kombinasi tidak memiliki selisih perbedaan waktu yang besar. Waktu untuk melakukan pekerjaan finishing paling lama adalah 8 menit sedangkan untuk waktu dengan kombinasi tercepat adalah 4 menit. Sehingga ditetapkan kombinasi sesuai *orthogonal layout* yang diberikan oleh Taguchi pada *minitab* 2016. Hasil dari *orthogonal array* ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 5 Experimental Layout and Responses

Product (<i>Mild Steel</i>)	<i>Toolpath Finishing</i>	Kecepatan Spindle (RPM)	Feeding (m/menit)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

5.2.2. Hasil Eksperimen

Setelah proses *machining* menggunakan mesin CNC selesai, dilakukan proses pengukuran menggunakan alat ukur *Hommel Tester seri T1000* untuk mendapatkan harga Ra (kekasaran permukaan) untuk setiap produk, sehingga

dapat diketahui perlakuan yang paling optimal untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang terkecil. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan pada 6 titik untuk masing-masing produk. Penentuan 6 titik dipilih sesuai dengan alur pada saat pengerjaan di mesin CNC. Titik yang diukur merupakan area yang dapat dijangkau oleh alat ukur *Hommel Tester seri T1000*. Berikut gambaran titik-titik yang dilakukan proses pengukuran:

Tabel 5. 6 Hasil Pengukuran Surfaces Roughn

Benda 1			Benda 2		
<i>Toolpath</i>	<i>Optimezed Constant Z Finishing</i>		<i>Toolpath</i>	<i>Optimezed Constant Z Finishing</i>	
<i>Kecepatan Spindle</i>	3250 RPM		<i>Kecepatan Spindle</i>	2250 RPM	
<i>Feeding</i>	750 mm/menit		<i>Feeding</i>	1000 mm/menit	
1	0.551	µm	1	1.067	µm
2	0.655	µm	2	1.048	µm
3	0.786	µm	3	0.997	µm
4	0.629	µm	4	0.99	µm
5	0.688	µm	5	0.829	µm
6	0.738	µm	6	1.117	µm
Rata-rata	0.675	µm	Rata-rata	1.008	µm

Benda 3			Benda 4		
<i>Toolpath</i>	<i>Raster Finishing</i>		<i>Toolpath</i>	<i>Raster Finishing</i>	
<i>Kecepatan Spindle</i>	3250 RPM		<i>Kecepatan Spindle</i>	2250 RPM	
<i>Feeding</i>	1000 mm/menit		<i>Feeding</i>	750 mm/menit	
1	0.922	µm	1	0.803	µm
2	0.574	µm	2	0.701	µm
3	0.861	µm	3	0.929	µm
4	0.641	µm	4	0.747	µm
5	0.638	µm	5	0.956	µm
6	0.602	µm	6	0.757	µm
Rata-rata	0.706	µm	Rata-rata	0.816	µm

5.2.3. Uji Data Eksperimen

a. Pengujian Normalitas

Pengujian normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data yang didapat terdistribusi normal atau tidak. *Software* yang digunakan adalah SPSS 25.

Uji normalitas dalam pengujian ini dilakukan uji *Shapiro-Wilk*. Apabila nilai dari signifikansi lebih besar dibandingkan 0,05 maka data terdistribusi normal. Hipotesis uji normalitas sebagai berikut.

H0 = data berdistribusi normal

H1 = data tidak berdistribusi normal

Dari hasil uji normalitas yang sudah dilakukan seluruh data dinyatakan terdistribusi normal dikarenakan nilai sig. > 0,05. Hasil uji normalitas dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 5. 7 Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Feeding	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasil	750	.142	12	.200*	.961	12	.804
	1000	.196	12	.200*	.897	12	.147

Tests of Normality							
	Kecepatan Spindle	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasil	3250	.204	12	.178	.913	12	.234
	2250	.140	12	.200*	.939	12	.486

Tests of Normality							
	Toolpath	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasil	Optimized	.194	12	.200*	.925	12	.329
	Raster	.148	12	.200*	.932	12	.407

b. Pengujian Homogenitas

Uji Homogenitas dilakukan untuk mendapatkan apakah eksperimen memiliki varian yang sama atau tidak pada tiap kombinasinya. Homogenitas didapat dari data hasil respon kekasaran permukaan. Pengujian homogenitas menggunakan *software* SPSS 25. Berikut hasil uji Homogenitas.

Tabel 5. 8 Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances ^{a,b}					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil	Based on Mean	1.512	3	20	.242
	Based on Median	.272	3	20	.845
	Based on Median and with adjusted df	.272	3	12.821	.844
	Based on trimmed mean	1.363	3	20	.283

Hipotesis uji homogenitas adalah sebagai berikut :

H0 = Tidak ada varian pada data (homogen)

H1 = Terdapat perbedaan varian pada data (tidak homogeny)

Berdasarkan tabel hasil uji homogenitas di atas, didapatkan nilai Sig. sebesar 0,242. Karena nilai sig. $0,242 > 0,05$, maka dapat disimpulkan H0 diterima dan dinyatakan bahwa data yang diambil homogen.

5.2.4. Perhitungan Pengaruh Parameter (ANOVA)

Setelah dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas selanjutnya adalah perhitungan pengaruh parameter menggunakan ANOVA. Experimental data dari hasil pengukuran akan ditampilkan pada tabel *experiment data*.

Tabel 5. 9 Experimental Data L4(2³) dan Hasil Pengukuran (6 Titik)

No	Toolpath	Kecepatan Spindle	Feeding	Hasil (µm)					
				1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	0.551	0.655	0.786	0.629	0.688	0.738
2	1	2	2	1.067	1.048	0.997	0.99	0.829	1.117
3	2	1	2	0.922	0.574	0.861	0.641	0.638	0.602
4	2	2	1	0.803	0.701	0.929	0.747	0.956	0.757

Data kemudian diolah menggunakan SPSS 25. Dengan ketentuan data akan diterima apabila nilai dari sig. $\geq 0,05$ dan data akan ditolak apabila nilai sig $< 0,05$. Adapun hipotesisnya sebagai berikut:

- a. Pengaruh besarnya kecepatan *spindle* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H0 = tidak ada pengaruh besarnya kecepatan *spindle* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H1 = terdapat pengaruh besarnya kecepatan *spindle* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

- b. Pengaruh besarnya *feeding* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H0 = tidak ada pengaruh besarnya *feeding* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H1 = terdapat pengaruh besarnya *feeding* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

- c. Pengaruh *toolpath* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H0 = tidak ada pengaruh *toolpath* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H1 = terdapat pengaruh *toolpath* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

- d. Pengaruh ketiga variable terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H0 = tidak ada pengaruh interaksi ketiga variabel terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

H1 = terdapat pengaruh interaksi ketiga variabel terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja.

Berikut adalah hasil dari pengujian anova menggunakan SPSS 25.

Tabel 5. 10 Output Uji Anova

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hasil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.408 ^a	3	.136	11.080	.000
Intercept	15.402	1	15.402	1254.356	.000
Kecepatan <i>Spindle</i>	.294	1	.294	23.939	.000
<i>Feeding</i>	.075	1	.075	6.148	.022
<i>Toolpath</i>	.039	1	.039	3.154	.091
Kecepatan <i>Spindle</i> * <i>Feeding</i> * <i>Toolpath</i>	.408	3	.136	11.080	.000
Error	.246	20	.012		
Total	16.055	24			
Corrected Total	.654	23			
R Squared = .624 (Adjusted R Squared = .568)					

Dari hasil output di atas menunjukkan bahwa nilai sig. dari kecepatan *spindle* adalah 0, maka $0 < 0,05$, H_0 ditolak dan $F_{hitung} = 23,939 \geq F_{tabel} = 3,1$ maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh dari kecepatan *spindle* terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja. Kemudian dilanjutkan dengan variable berikutnya yaitu *feeding* nilai sig dari *feeding* adalah $0,22 < 0,05$, H_0 ditolak dan $F_{hitung} = 6,148 \geq F_{tabel} = 3,1$ maka H_0 ditolak. Sehingga kesimpulan yang dapat diambil adalah *feeding* memiliki pengaruh terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja. Untuk variable terakhir yaitu *toolpath* memiliki nilai sig sebesar $0,91 > 0,05$ maka H_0 diterima. Variabel *toolpath* dapat disimpulkan bahwa tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat kualitas permukaan benda kerja. Untuk menentukan nilai rata-rata tingkat kualitas permukaan benda kerja dari hasil beberapa kombinasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 11 Rata-rata tingkat kualitas permukaan

Dependent Variable : Hasil

Kecepatan Spindle	<i>Feeding</i>	<i>Toolpath</i>	Mean	Std. Deviation	Jumlah Pengukuran
3250	750	<i>Optimized</i>	.67450	.082885	6
		Total	.67450	.082885	6
	1000	<i>Raster</i>	.70633	.146812	6
		Total	.70633	.146812	6
	Total	<i>Optimized</i>	.67450	.082885	6
		<i>Raster</i>	.70633	.146812	6
Total		.69042	.114875	12	
2250	750	<i>Raster</i>	.81550	.103926	6
		Total	.81550	.103926	6
	1000	<i>Optimized</i>	1.00800	.099446	6
		Total	1.00800	.099446	6
	Total	<i>Optimized</i>	1.00800	.099446	6
		<i>Raster</i>	.81550	.103926	6
Total		.91175	.139682	12	
Total	750	<i>Optimized</i>	.67450	.082885	6
		<i>Raster</i>	.81550	.103926	6
		Total	.74500	.115992	12
	1000	<i>Optimized</i>	1.00800	.099446	6
		<i>Raster</i>	.70633	.146812	6
		Total	.85717	.197766	12
	Total	<i>Optimized</i>	.84125	.194811	12
		<i>Raster</i>	.76092	.134003	12
		Total	.80108	.168589	24

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa kombinasi untuk memperoleh tingkat kualitas permukaan benda kerja yang maksimal adalah dengan menggunakan kecepatan spindle 3250 RPM, *feeding* 750 mm/menit, dan *toolpath* yang digunakan adalah *Optimized* Constant Z. Dengan kombinasi tersebut didapatkan tingkat kualitas permukaan benda kerja sebesar 0,6745 μ m yang berarti mendapatkan kelas kekasaran N5. Sedangkan tingkat kualitas permukaan benda

kerja yang paling kasar bernilai 1,008 μm dengan menggunakan kecepatan spindle 2250 RPM, *feeding* 1000 mm/menit, dan *toolpath Optimized Constant Z*. Tingkat kelas kekasaran yang didapatkan yaitu N6. Dalam hal ini jika dibandingkan dari segi tingkat kualitas permukaan maka jelas kelas N5 lebih baik dibandingkan dengan kelas N6 akan tetapi untuk menentukan tingkat kualitas permukaan benda kerja juga ditilik dari berbagai sudut baik dari segi kebutuhan kualitas permukaan maupun biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kualitas permukaan yang lebih tinggi.

5.2.5. Perhitungan S/N Ratio

Perhitungan *Signal To Noise* dilakukan menggunakan *software* minitab 16. Output yang dihasilkan dari perhitngan *Signal To Noise* dapat dilihat pada tabel 5.11.

Tabel 5. 12 Hasil S/N Ratio

Level	<i>Toolpath</i>	Kecepatan <i>spindle</i>	<i>Feeding</i>
1	1.6724	3.2189	2.5901
2	2.3951	0.8485	1.4773
Delta	0.7227	2.3704	1.11227
Rank	3	1	2

Hasil dari perhitungan menggunakan *software* minitab minitab merupakan analisa dengan karakteristik *smaller is better* yang berarti semakin kecil hasil yang didapatkan saat pengujian maka hasil tersebut yang paling baik. Urutan faktor yang mendominasi hasil dari tingkat permukaan material adalah kecepatan *spindle* dan pada peringkat 2 adalah *feeding*. Faktor yang kurang dominan dalam mempengaruhi hasil dari tingkat permukaan material adalah *toolpath*.

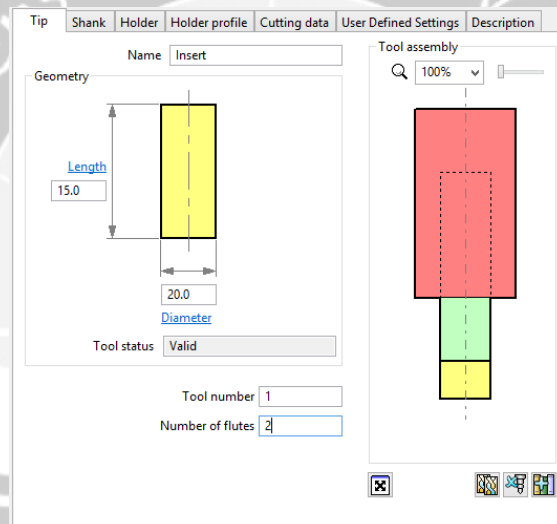
5.3. Analisis Proses *PowerMill 2014* (Proses CAM)

5.3.1. Pembuatan Alat Potong *Cutter*

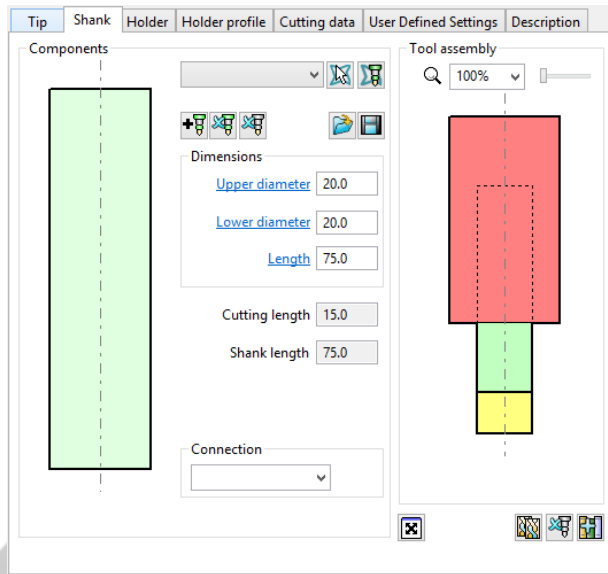
Tahap selanjutnya dalam proses CAM adalah pembuatan alat potong yang akan digunakan dalam proses permesinan. Pembuatan profil alat potong/*cutter* harus disesuaikan dengan kondisi alat potong yang nyata di lapangan karena jika profil yang dibuat berbeda dengan kondisi nyatanya akan beresiko pada saat proses permesinan. Resiko yang terjadi jika profil yang dibuat berbeda adalah *cutter* yang digunakan akan menabrak profil/model benda kerja yang dikerjakan sehingga

profil/model benda kerja akan cacat atau rusak. Untuk proses *machining* pada penelitian ini digunakan 2 jenis alat potong/*cutter* yaitu *cutter insert tip* Ø20 untuk proses *roughing* dan *end mill* Ø10 untuk proses *finishing*.

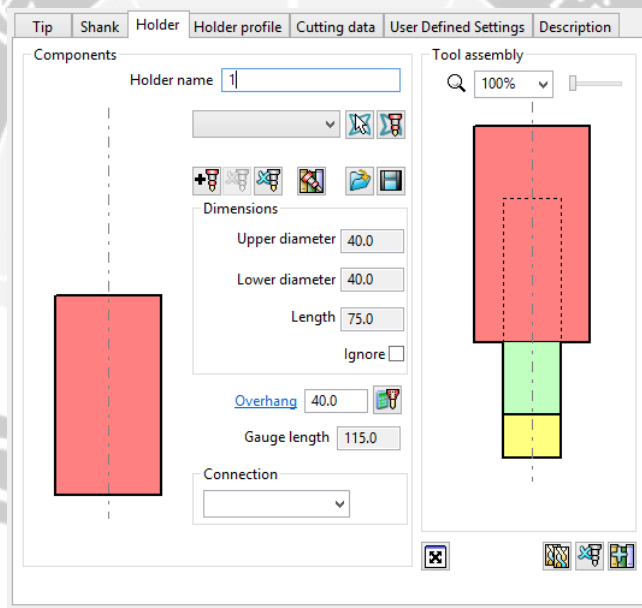
Pada pembuatan *tools* terdapat beberapa *form* yang harus diisi yaitu *form tip*, *form shank*, dan *form holder*. Pada *form tip* yang harus diisi adalah nama (nama dari *cutter*), *length* (panjang *tip*), diameter (diameter dari *cutter*), *tool number* (urutan *cutter* pada *magazine* mesin), *number of flutes* (jumlah mata potong). Pada *form Shank* bagian yang harus diisi adalah *upper diameter* (diameter bagian atas), *lower diameter* (diameter bagian bawah), *length* (panjang dari *shank*). Pada *form holder* terdapat 4 bagian yang perlu diisi yaitu *upper diameter* (diameter bagian atas), *lower diameter* (diameter bagian bawah), *length* (panjang *holder*), *overhang* (panjang *cutter* yang keluar dari *holder*).



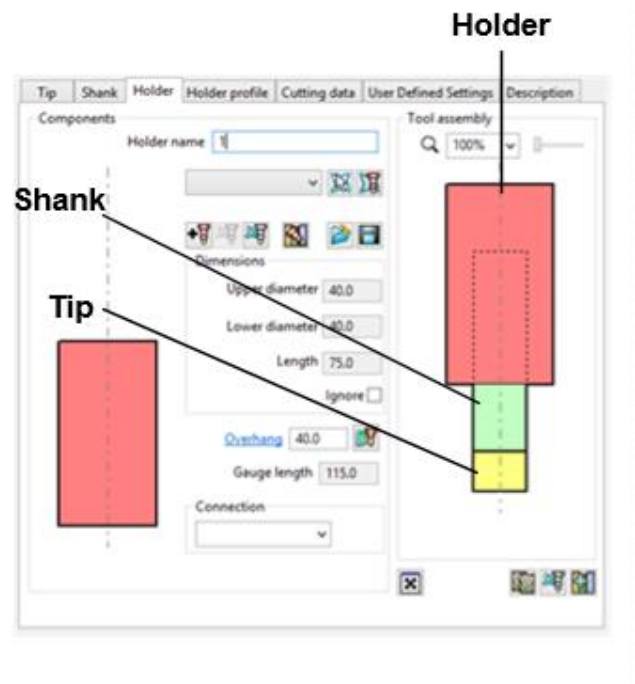
Gambar 5. 1. Pembuatan Cutter Insert Tip Ø20



Gambar 5. 1 Lanjutan



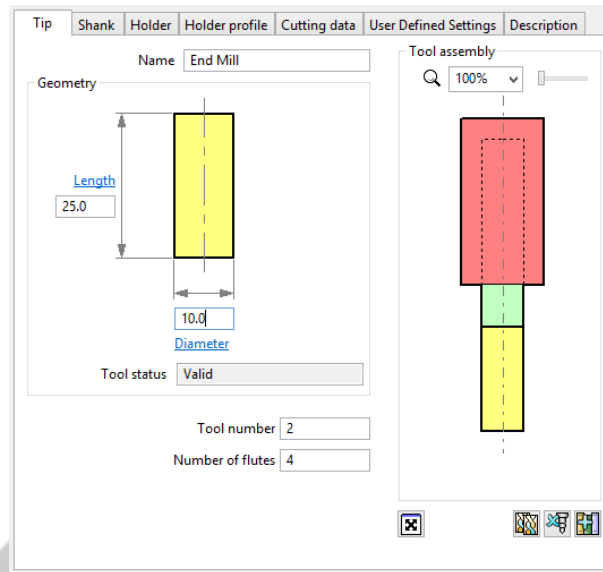
Gambar 5. 1 Lanjutan



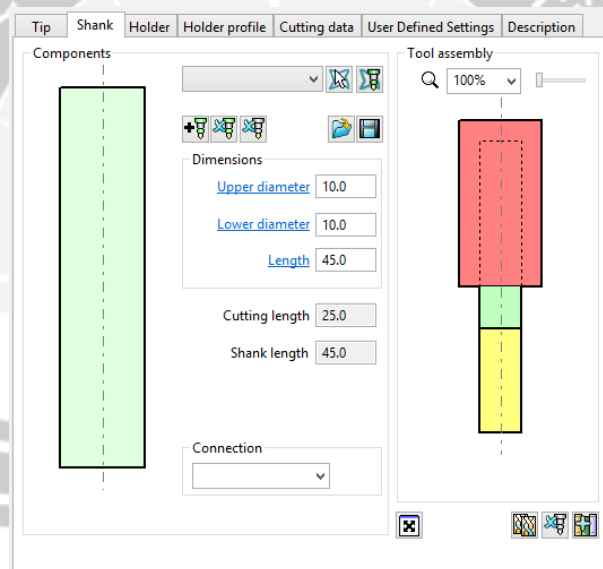
Gambar 5. 2 Holder, shank, dan tip

Ukuran input data harus material harus sesuai dengan keadaan *tool* aslinya maupun pemasangan *tool* pada *holdernya* harus sesuai (*overhang*). Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kesalahan saat mengerjakan di mesin CNC dan sudah sesuai dengan simulasi pada *powermill*. Pada *length tip* diisikan dengan nilai 15 dan diameternya 20 kemudian jumlah *flute* atau *tip* nya berjumlah 2. Untuk *shanknya* memiliki panjang 75. Setelah itu pada input *holder* yang perlu diperhatikan adalah cara pemasangannya agar tetap aman dan tidak boleh terlalu sedikit bagian *shanknya* yang dicekam maka nilai *overhangnya* diisikan nilai 40.

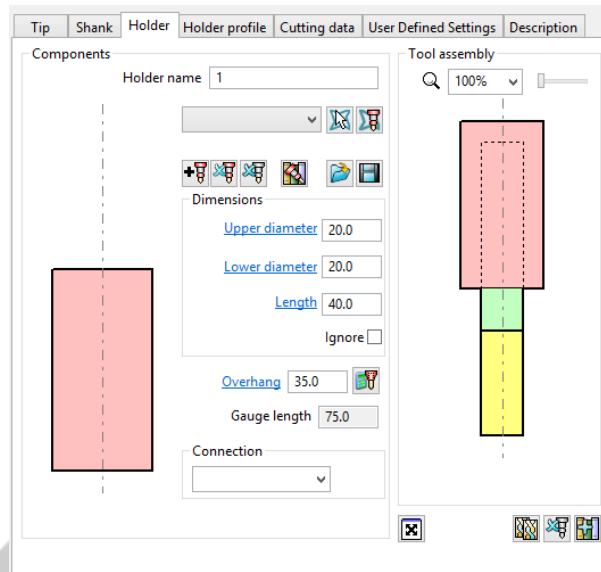
Cutter kedua yang dibuat adalah *Cutter End mill* Ø10 seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 5. 3 Pembuatan *Cutter End mill* Ø10



Gambar 5. 3 Lanjutan

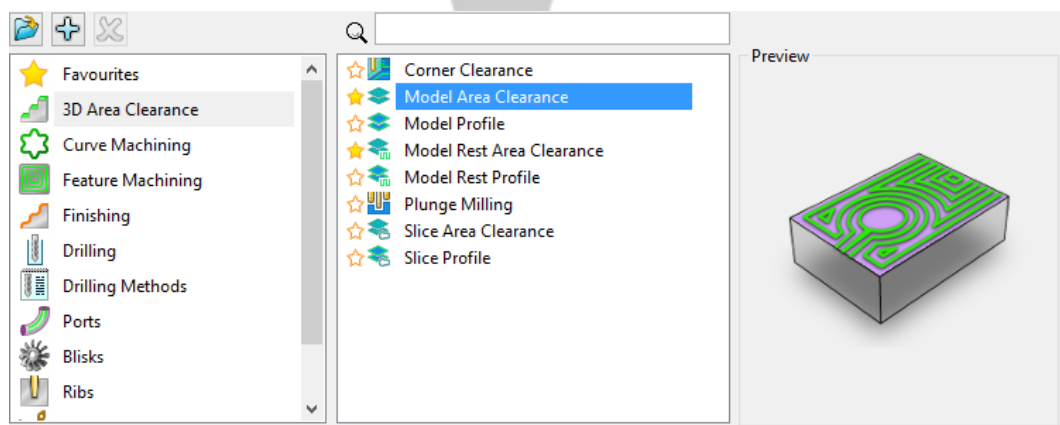


Gambar 5. 3 Lanjutan

Pada *tool* kedua ini juga sama harus keadaan *tool* *realnya* dengan simulasi yang dilakukan pada powermill. Nilai pada panjang *tip* dan diameter *tip* adalah 25 dan 10. Jumlah *tip* atau *flutenya* berjumlah 4. Panjang shank endmill sebesar 45 dan apabila ditotal maka panjang keseluruhan *endmill* sebesar 70mm. Untuk *overhangnya* sendiri bernilai 35.

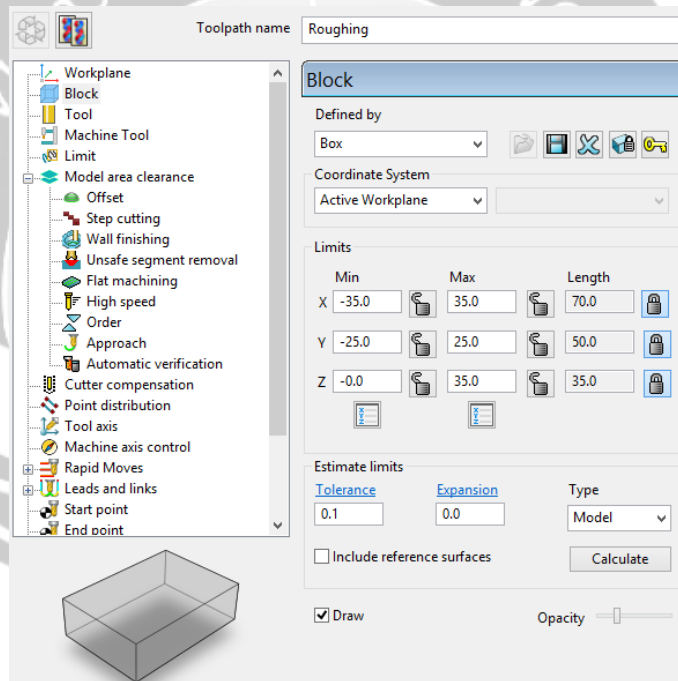
5.3.2. Proses *Roughing*

Proses *machining* untuk setiap benda ada dua tahap yaitu *roughing* dan *finishing*. Tahap pertama setelah pembuatan *cutter* adalah pembuatan *toolpath strategy* untuk proses awalan atau *roughing*. Saat proses *roughing toolpath* yang digunakan adalah *Model Area Clearance*. *Toolpath Model Area Clearance* terdapat pada menu *toolpath 3D Area Clearance*.

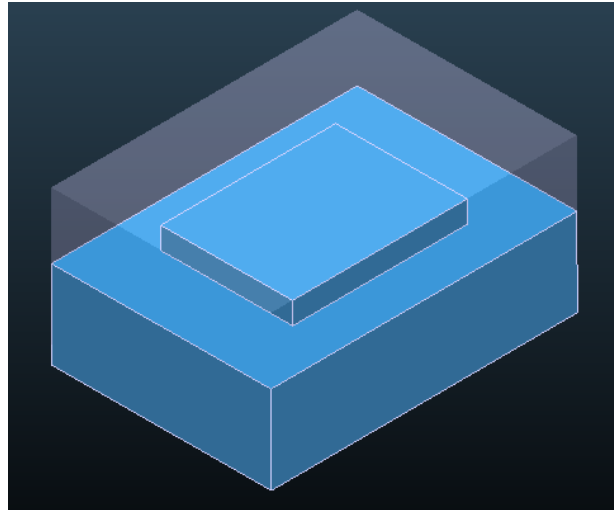


Gambar 5. 4 Menu *Toolpath Strategy* Proses *Roughing*

Langkah pertama adalah pembuatan ukuran *block*. *Block* berguna untuk menentukan *raw material* dari benda kerja yang akan dikerjakan mulai dari tinggi, panjang, dan lebar dari *raw material*. Pada layar *block* terdapat beberapa bagian yang harus diisi terlebih dahulu. Pada bagian *defined by* terdapat beberapa pilihan untuk bentuk dari *raw material*, yaitu *cylinder* (*raw material* berbentuk silinder), *box* (*raw material* berbentuk persegi), maka dipilih *box* untuk model dari *raw material*nya karena sesuai dengan material yang akan dikerjakan. Layar *block* menampilkan panjang, lebar, dan tinggi material dari *workplane* benda kerja. Untuk mempermudah dalam penentuan ukuran dari *raw material*, pada layar *block* terdapat fungsi *calculate* yang digunakan untuk membuat *block* material secara otomatis. Ketika fungsi *calculate* digunakan maka ukuran dari *raw material* akan menyesuaikan ukuran terbesar dari benda kerja.

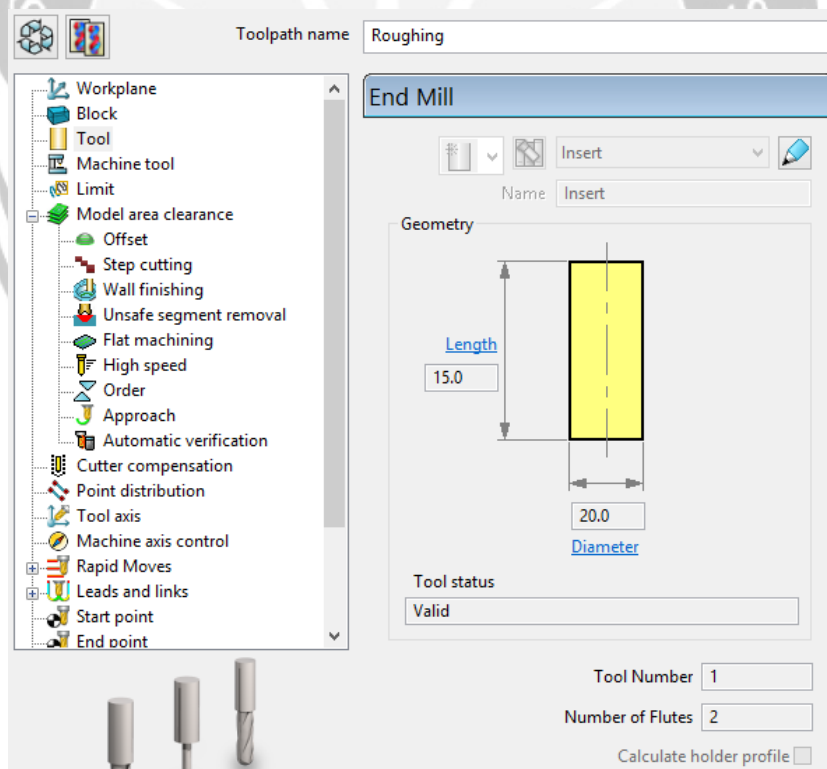


Gambar 5. 5 Proses Pembuatan Block



Gambar 5. 6 Block pada simulasi

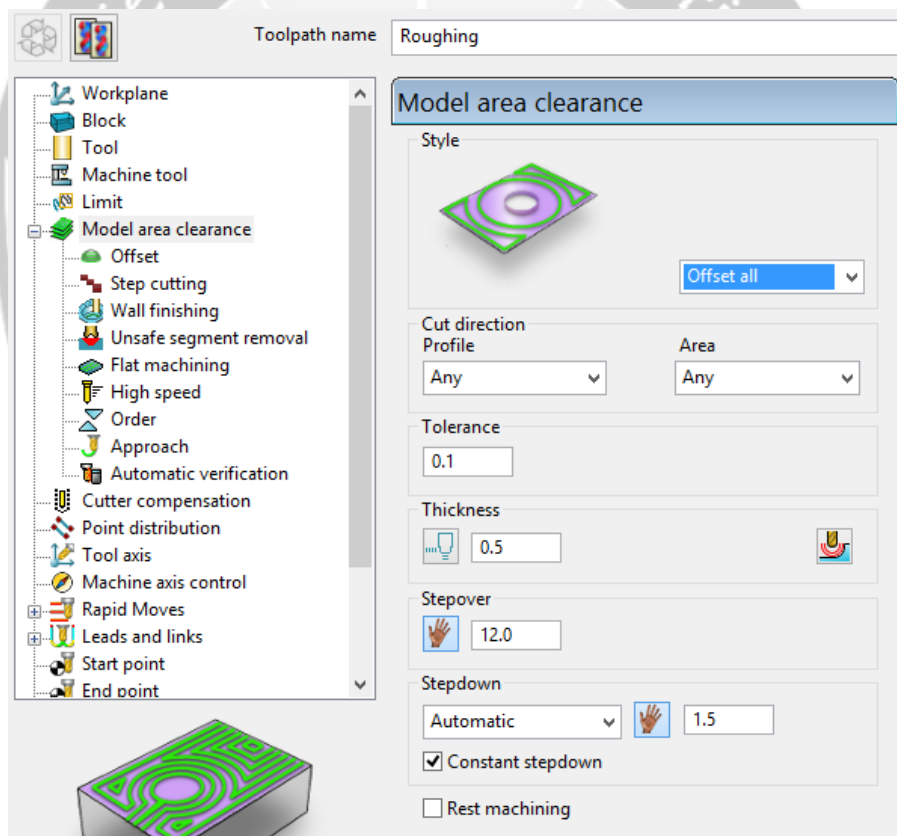
Langkah kedua adalah pemilihan *Tool* yang akan dipakai untuk proses *machining*. Pada menu *Tool* selain untuk memilih *tool* yang sudah dibuat pada awal proses CAM, pada menu ini juga dapat melihat detail dari *tool* itu sendiri. Untuk proses *roughing* dipilih *Cutter end mill*.



Gambar 5. 7 Pemilihan Tool yang Digunakan (*Insert Tip Ø20*)

Langkah ketiga adalah penentuan beberapa parameter yang terdapat pada menu *model area clearance*. Pertama adalah penentuan *Style* pemakanan yang dipakai

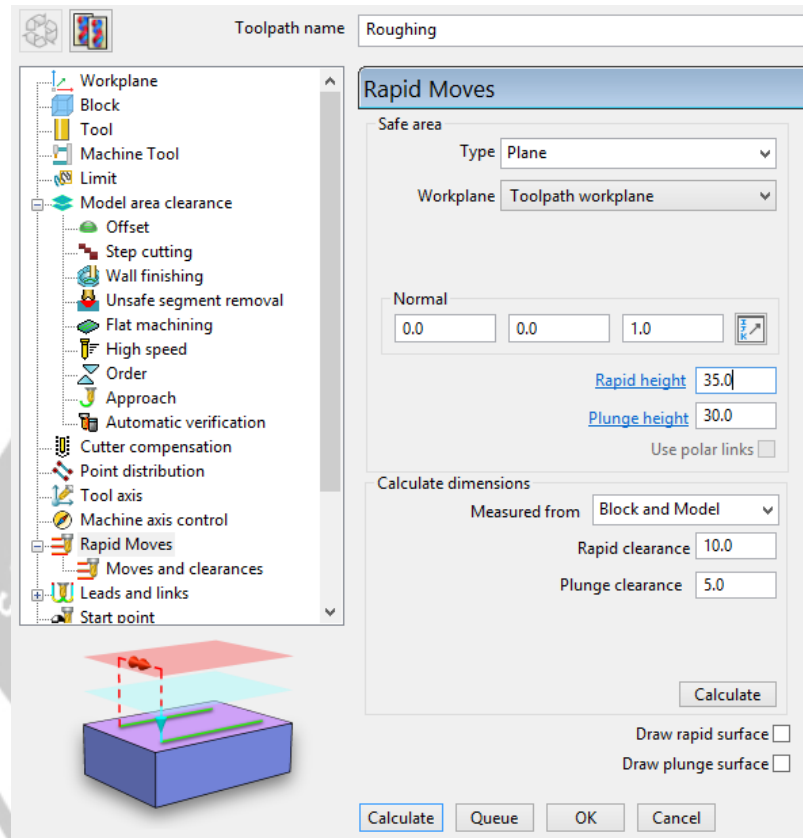
untuk proses *roughing*, untuk mempersingkat proses pemakanan maka dipilihlah *offset all* yang memiliki waktu proses paling cepat dan cocok untuk kontur. *Cut Direction* yang dipakai untuk proses ini adalah *any* karena waktu proses yang paling cepat. Sehingga proses ini akan menggunakan *system* pemakanan *climb* dan *conventional*. *Step down* (kedalaman pemakanan) 1.5 mm, *step over* (pergeseran *Cutter*) dipilih 12 mm, *Tolerance* ditetapkan 0,1 mm dan *Thickness* ditetapkan sebesar 0.5 mm. Pada pemilihan *step down* diisikan dengan nilai 1.5 agar pemakanan benda kerja tidak terlalu banyak dan tidak membuat cepat aus benda kerja. *Step down* sendiri berarti langkah turun tiap *cutter* pada sumbu Z pada tiap satu langkahnya. Untuk *thickness* sendiri diisikan dengan nilai 0.5 yang berarti pada *toolpath roughing* ini menyisakan 0.5 mm sebelum dilakukannya proses *finishing*. Sehingga pada saat proses *finishing* nantinya benda kerja masih berada pada ukuran atas dan mengurangi resiko untuk hasil ukuran pada proses *roughing*.



Gambar 5. 8 Pembuatan Proses Roughing

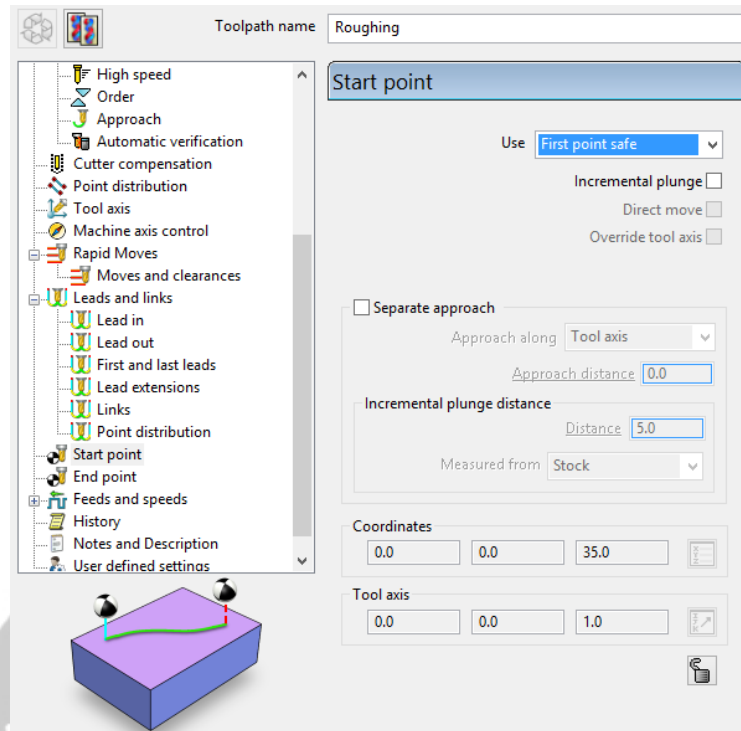
Langkah keempat adalah pembuatan *Rapid Move Height*. Fungsi dari menu ini adalah untuk mengatur pergerakan *cutter* terhadap sumbu Z. Terdapat dua hal yang perlu diatur yaitu *start Z* dan *safe Z*. Untuk Pemilihan *start Z* dan *safe Z* harus berhati-hati karena dapat merusak *cutter* maupun benda kerja. *Start Z* diisikan

dengan nilai 35mm yang berarti *cutter* akan berjarak 35mm saat akan memulai pemakanan. Sedangkan *safe Z* pergerakan *cutter* setelah selesai proses pemakanan pada jarak aman. Diusahakan tidak terlalu dekat maupun jauh. Jika terlalu jauh maka akan memakan waktu lebih lama.

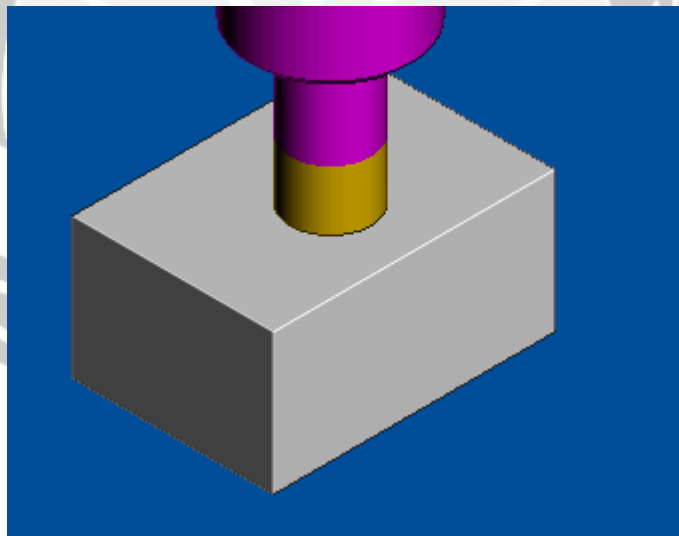


Gambar 5. 9 Pembuatan Rapid Move Height Proses Roughing

Langkah kelima adalah pembuatan *start point* dan *end point*. *Start* dan *end point* digunakan untuk menentukan koordinat titik awal dan akhir dari awal proses machining hingga selesai. Pada proses ini dipilih *first point safe* untuk *start point* dan *last point safe* untuk *end point*. Dalam hal ini *software* akan memilih titik aman *cutter*nya sendiri saat awal pemakanan dan akhir pemakanan benda kerja.

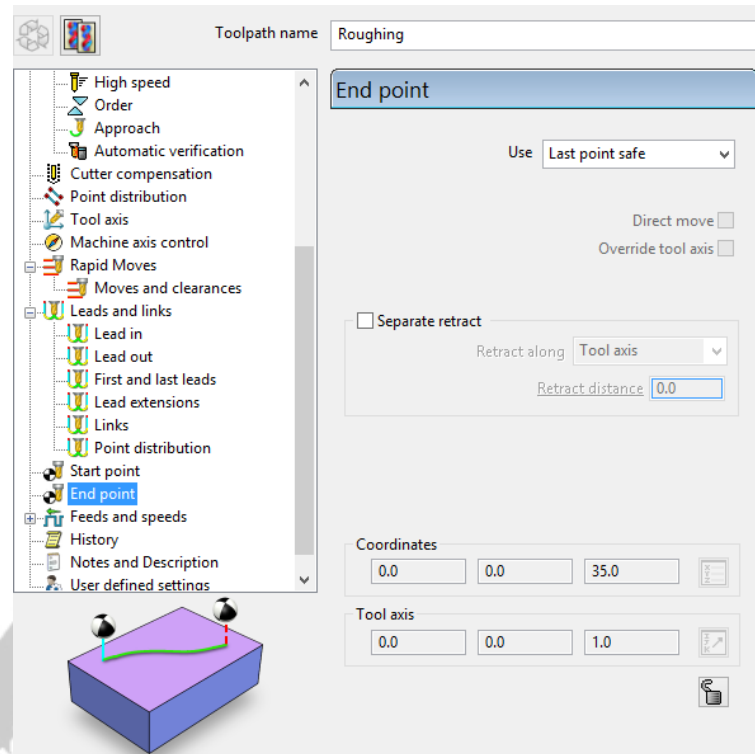


Gambar 5. 10 Pembuatan Start Point Proses Roughing

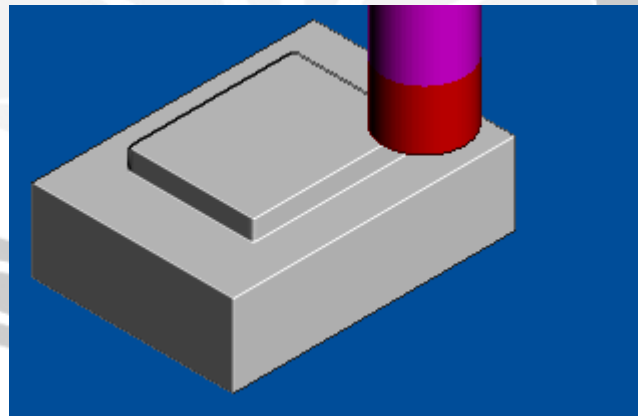


Gambar 5. 11 Start Point Proses Roughing

Pada gambar di atas adalah letak awal tool pada saat awal pengerjaan apabila dipilih first point safe sehingga letak awal tool dengan benda kerja terletak pada titik aman namun jarak atau langkah saat akan melakukan penyayatan tidak terlalu jauh atau dapat dikatakan lebih efektif.



Gambar 5. 12 Pembuatan End Point Proses Roughing



Gambar 5. 13 Pembuatan End Point Proses Roughing

Pada gambar di atas adalah letak akhir dari *tool* saat telah selesai melakukan penyayatan. Letak akhir *tool* juga pada posisi aman akan tetapi jarak *tool* dengan benda kerja juga tidak terlalu jauh sehingga lebih mempercepat proses *toolpath* jika harus dibandingkan *tool* kembali pada posisi Z0.

Langkah keenam adalah pembuatan *Feed and Speed*. *Speed* adalah kecepatan putar dari *cutter* yang berputar pada *spindle* mesin. *Feed* adalah *feeding* atau kecepatan pemotongan pada saat *machining*. *Feed* dan *speed* didapatkan dari

spesifikasi *tip* yang dipakai. Berikut perhitungan untuk *Feed and Speed* untuk proses *roughing*.

Diketahui: $C_s = 75$ m/menit

$$F_z = 0.3 \text{ m/mz}$$

$$S = \frac{1000 C_s}{\pi d}$$

$$S = \frac{1000 \times 75}{\pi \times 20}$$

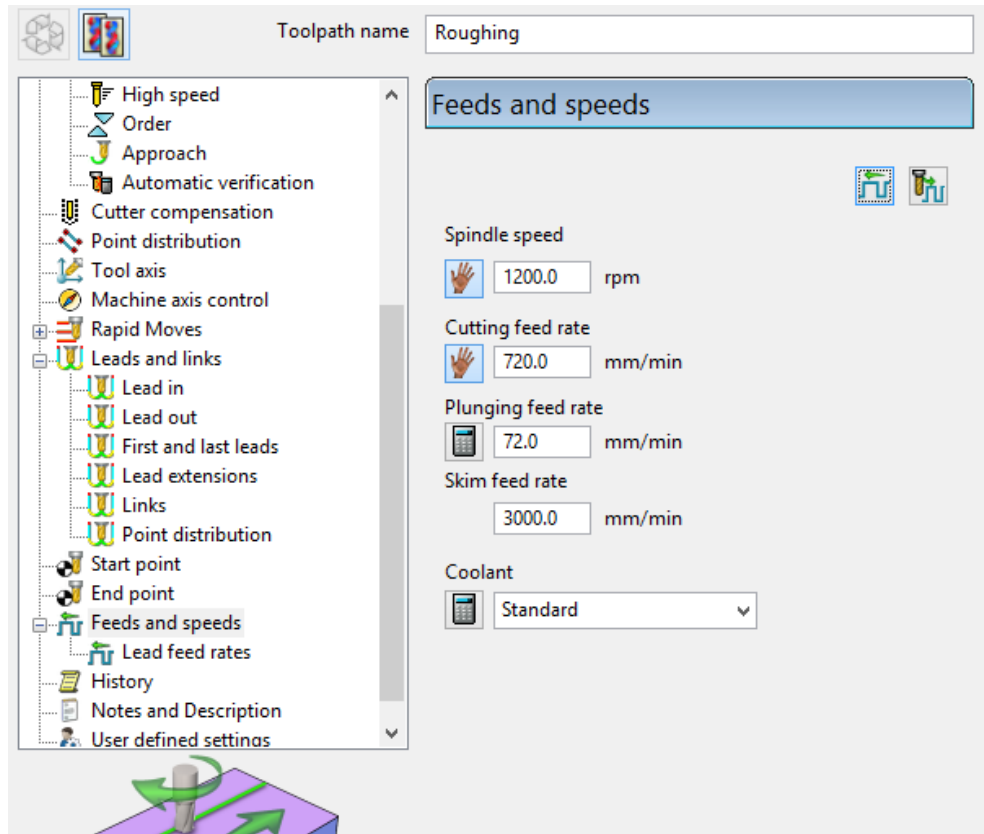
$$S = 1194 \text{ Rpm}$$

$$F = F_z \times \text{jumla mata potong} \times S$$

$$F = 0.3 \times 2 \times 1194$$

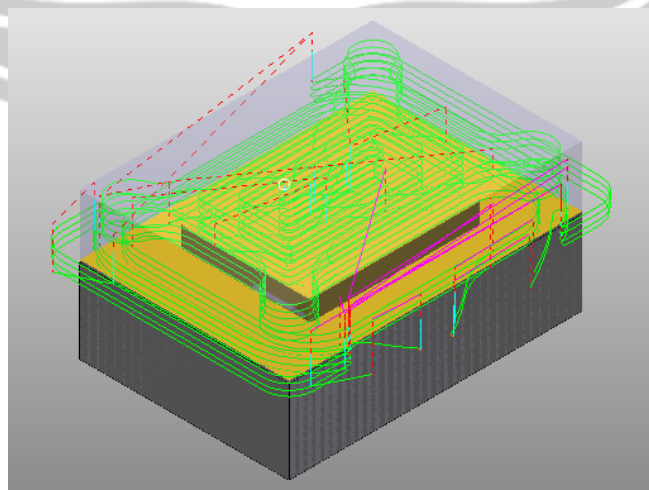
$$F = 716.4 \frac{\text{m}}{\text{menit}}$$

Untuk *Speed* atau kecepatan putar dari *cutter* menggunakan 1194 RPM agar sesuai dengan perhitungan secara manual. Untuk *feeding* pada perhitungannya didapatkan nilai sebesar 716.4 m/menit. Pada penggunaan realnya ditetapkan *feeding* sebesar 720 m/menit, hal ini tidak akan mempengaruhi hasil dan juga masih pada angka aman karena kenaikan *feeding* relatif kecil. Karena ini masih pada tahap *roughing* maka tingkat kekasaran benda tidak diperhatikan terlebih dahulu.



Gambar 5. 14 Pembuatan Feed and Speed Proses Roughing

Setelah semua langkah tersebut selesai dibuat kemudian pilih *Calculate*. Hal ini dilakukan agar *PowerMill* membuat dan memperhitungkan langkah proses yang sudah dibuat. Berikut tampilan setelah dilakukan proses *Calculate*.



Gambar 5. 15 Hasil Pembuatan Strategi Proses Roughing

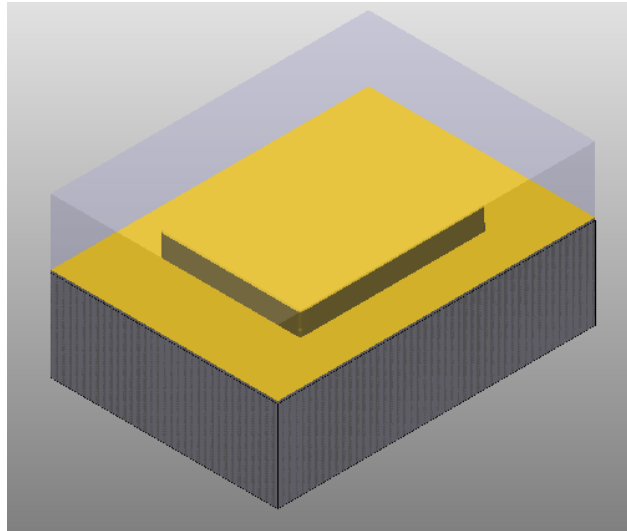
Waktu yang dibutuhkan untuk proses *roughing* adalah sekitar 14 menit 30 detik. Jika dilihat pada gambar statistic waktu untuk pengerjaan proses *roughing* adalah

6 menit dan 14 detik, waktu tersebut waktu jika *feeding* yang digunakan 100%. Tapi pada saat machining yang digunakan hanya 40% yang dapat diatur pada potensio mesin CNC. Karena ini masih pada tahap roughing maka pengaturan *feeding* dapat diturunkan tanpa mempengaruhi hasil dari permukaan *finishing* nantinya.

Entity		
		Roughing
Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	928.248653	0:00:18
Plunge	123.41666	0:00:14
Ramp	0.0	0:00:00
Others	2.497633	0:00:00
Total	1054.162946	0:00:33
Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	3828.254164	0:03:49
Arcs	1853.213781	0:01:51
Total	5681.467945	0:05:40
Dwells		
		Time
Total		0:00:00
Total	6735.630891	0:06:14
	Number lifts	21

Gambar 5. 16 Statistik Waktu Pengerjaan Proses Roughing

Setelah jalur pemakanan sudah terbentuk, maka langkah selanjutnya adalah mensimulasikan proses *roughing*. Berikut gambar hasil simulasi dari proses *roughing*.

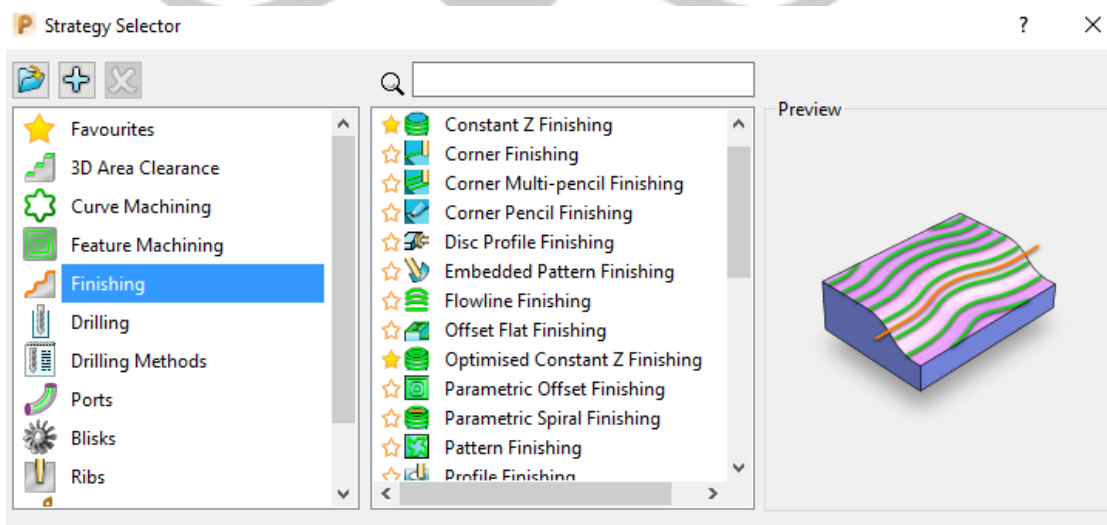


Gambar 5. 17 Simulasi Proses Roughing

5.3.3. Proses *Finishing*

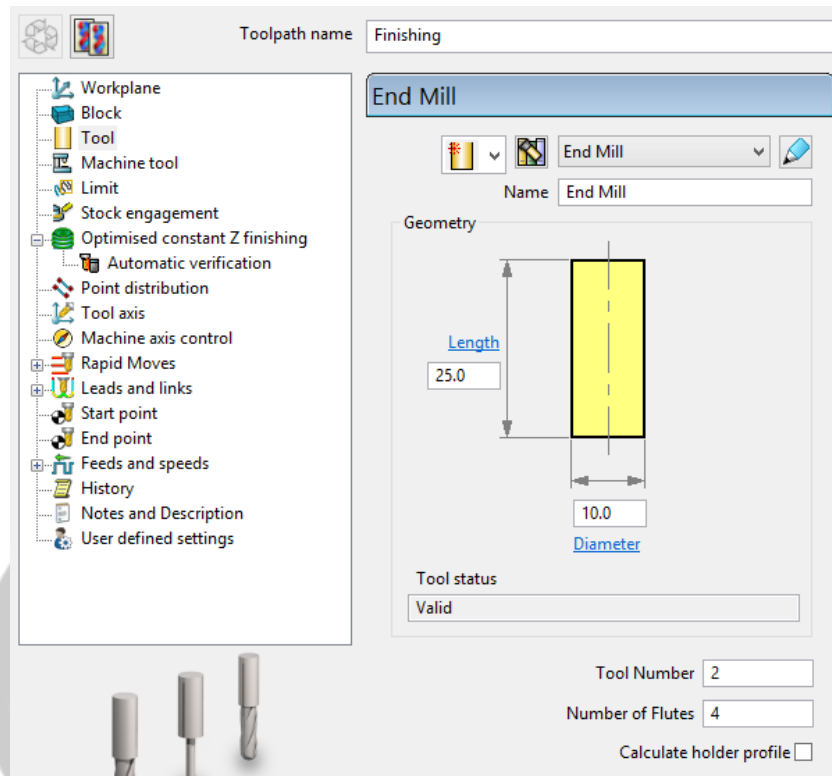
Pada penelitian ini, peneliti menggunakan dua *toolpath strategy* yang berbeda-beda untuk proses *finishing*. Dua *toolpath strategy* tersebut adalah *Optimized Constant Z*, dan *Raster Finishing*. Selain *toolpath strategy*, ada beberapa faktor lain yang membedakan proses *finishing* untuk masing-masing benda (lihat Tabel 4.2. dan Tabel 4.3.). Berikut adalah langkah-langkah pembuatan *toolpath strategy* yang menghasilkan kekasaran permukaan terbaik (*Optimized Constant Z*):

Langkah pertama adalah memilih *toolpath* yang akan dipilih untuk proses *finishing* yaitu *toolpath strategy Optimized Constant Z* (Benda 1). *Toolpath strategy Optimized Constant Z* terdapat pada grup dari *toolpath strategy finishing*.



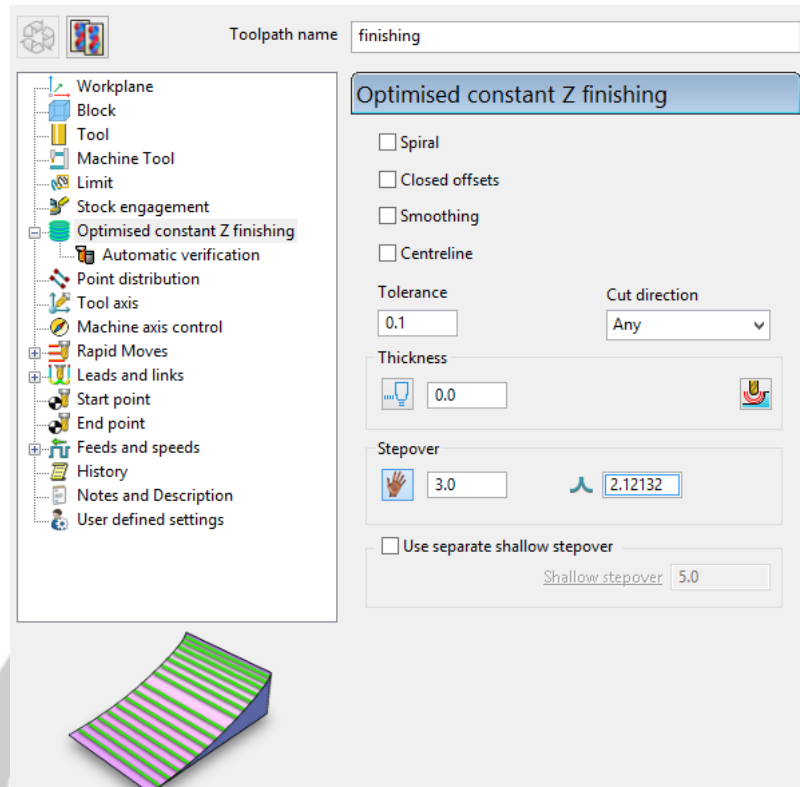
Gambar 5. 18 Pemilihan *Toolpath Strategy Optimized Constant Z Finishing*

Langkah kedua adalah pemilihan *tool* yang akan digunakan untuk proses *finishing*. *Tool* yang digunakan untuk proses *finishing* adalah *End mill* Ø10.



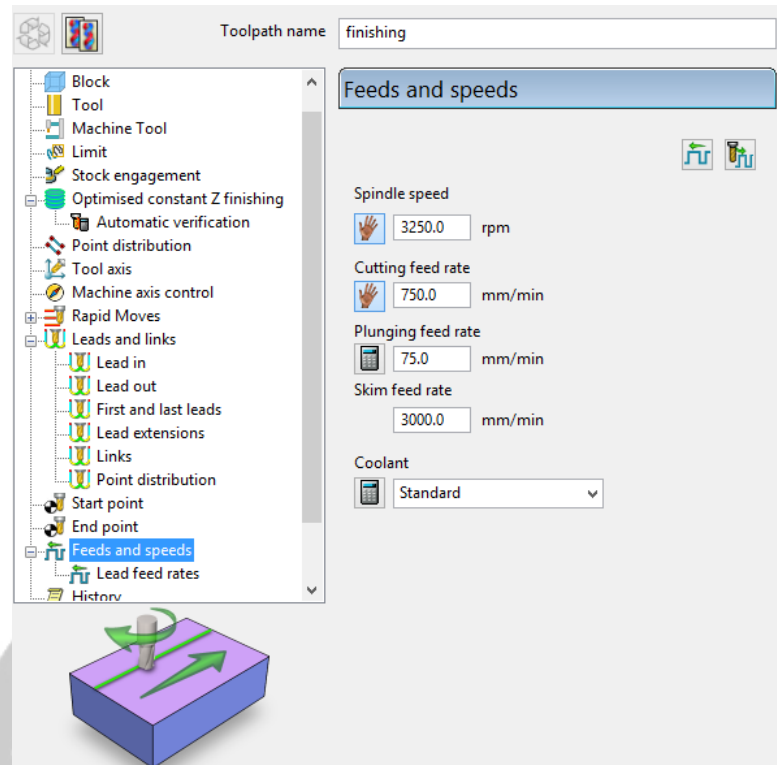
Gambar 5. 19 Pemilihan *Cutter End mill*

Langkah ketiga adalah penentuan parameter pada *strategy Optimezed Constant Z Finishing* yang harus disesuaikan dengan *orthogonal array*. *Cut direction* dipilih *any* agar dapat mempercepat waktu proses. Efek dari pemilihan *cut direction any* adalah pada satu sisi bisa terdapat beberapa arah penyayatan yang akan menyebabkan hasil permukaan pada tiap jalur penyayatan berbeda.



Gambar 5. 20 Pembuatan Strategy Optimezed Constant Z Finishing

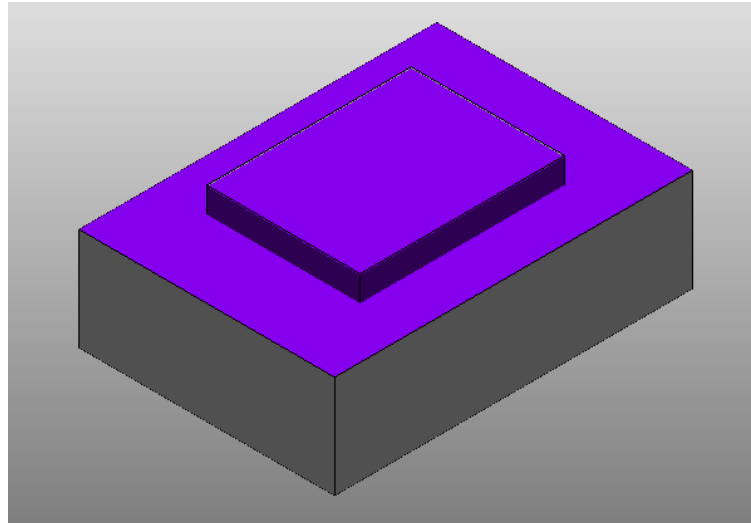
Langkah keempat adalah penentuan *Feeds* dan *Speeds*. Penentuan *Feeds* dan *Speeds* harus disesuaikan dengan *orthogonal array* yang telah dibuat untuk melakukan uji pada benda kedua maka kecepatan *spindle* sebesar 3250 RPM dan feed ditetapkan sebesar 750 mm/menit. Untuk benda kedua hingga benda keempat maka pergantian data baik *toolpath*, kecepatan *spindle*, dan *feeding* akan menyesuaikan dengan tabel data yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 5. 21 Pembuatan Feeds and Speeds Proses *Finishing* (Benda 1)

Pada proses *Finishing*, pembuatan *Block*, *Rapid Move Height*, *Start Point*, dan *End Point* memiliki tahapan yang sama dengan proses *roughing*. *Start* dan *end Point* nantinya akan berada pada posisi yang berbeda dengan saat proses *roughing* akan tetapi memiliki prinsip yang sama yaitu pada awal dan akhir *toolpath*. Posisi *tool* juga berada pada posisi aman saat akan melakukan proses *finishing*.

Setelah semua parameter selesai di-*setting*, langkah berikutnya adalah *calculate*. Berikut gambar yang menunjukkan jalur *machining* untuk proses *Finishing* dengan *toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing* (benda 1). Kemudian dilakukan simulasi pada *toolpath* tersebut.



Gambar 5. 22 Simulasi Proses *Finishing* dengan *Toolpath Strategy Optimized Constant Z Finishing*

Waktu yang dibutuhkan untuk proses *Finishing* dengan *toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing* (benda 1) adalah 5 menit.

Entity		
		finishing
Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	595.031198	0:00:11
Plunge	120.0	0:01:36
Ramp	0.0	0:00:00
Others	0.0	0:00:00
Total	715.031198	0:01:47
Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	2026.388113	0:02:42
Arcs	0.0	0:00:00
Total	2026.388113	0:02:42
Dwells		
		Time
Total		0:00:00
Total	2741.419311	0:04:30
	Number lifts	24

Gambar 5. 23 Statistic Waktu Proses *Finishing* dengan *toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing* (benda 1)

5.4. Analisis Hasil Permesinan

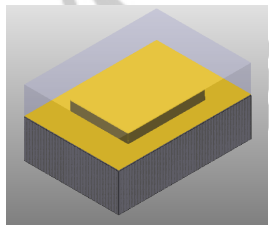

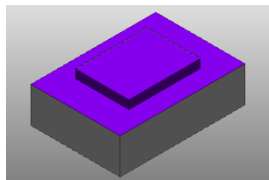

Proses machining dilaksanakan pada tanggal 11 Maret 2019. Proses *machining* benda eksperimen menggunakan mesin CNC Quaser MV 184 C yang bertempat

di PT. MBG Putra Mandiri. Penelitian ini menggunakan alat yang tersedia di PT. MBG Putra Mandiri dan juga alat milik operator.

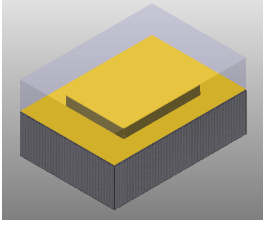

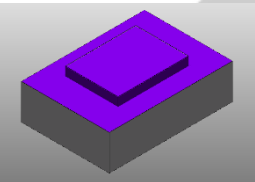

Proses *machining* diawali dengan menyiapkan material *Mild Steel*. Material yang dibutuhkan berjumlah 4 sesuai dengan jumlah benda yang akan diuji. Untuk pengerjaan proses *roughing* waktu yang dibutuhkan masing-masing benda relatif sama yaitu 6 menit 14 detik dikarenakan semua parameter pada proses *roughing* sama.

Pada proses *finishing*, untuk masing-masing material membutuhkan waktu *machining* yang berbeda-beda karena untuk proses *finishing* harus sesuai dengan *orthogonal array* yang telah dibuat. Waktu yang dibutuhkan untuk tiap proses *finishing* tidak terpaut jauh dikarenakan benda yang dikerjakan memiliki ukuran yang relatif kecil. Benda 4 memiliki waktu terlama dibandingkan dengan proses *finishing* yang lain yaitu 8 menit 6 detik sedangkan untuk waktu tercepat adalah benda 2 yang memiliki waktu proses selama 3 menit 25 detik. Untuk lebih lengkapnya, berikut tabel yang menjelaskan waktu yang dibutuhkan masing-masing benda dari proses *roughing* sampai proses *finishing*.

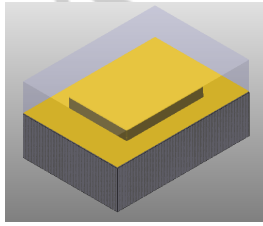

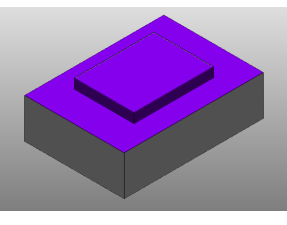

Tabel 5. 13 Urutan Proses Benda 1

Simulasi <i>PowerMill</i>	Waktu Simulasi	Hasil <i>Machining</i>	Proses	Waktu proses
	6 Menit 14 Detik		<i>Roughing</i>	14 menit 30 detik
	4 Menit 30 Detik		<i>Finishing</i>	5 Menit

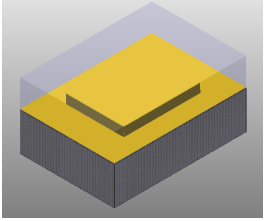

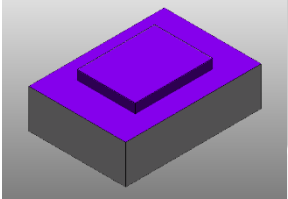

Tabel 5. 14 Urutan Proses Benda 2

Simulasi <i>PowerMill</i>	Waktu Simulasi	Hasil <i>Machining</i>	Proses	Waktu proses
	6 Menit 14 Detik		<i>Roughing</i>	14 menit 30 detik
	3 Menit 25 Detik		<i>Finishing</i>	4 menit 20 detik

Tabel 5. 15 Urutan Proses Benda 3

Simulasi <i>PowerMill</i>	Waktu Simulasi	Hasil <i>Machining</i>	Proses	Waktu proses
	6 Menit 14 Detik		<i>Roughing</i>	14 menit 30 detik
	6 Menit 16 Detik		<i>Finishing</i>	7 menit



Tabel 5. 16 Urutan Proses Benda 4

Simulasi <i>PowerMill</i>	Waktu Simulasi	Hasil <i>Machining</i>	Proses	Waktu proses
	6 Menit 14 Detik		<i>Roughing</i>	14 menit 30 detik
	8 Menit 6 Detik		<i>Finishing</i>	9 menit 10 detik



5.5. Analisis Penentuan Produk secara *Visual*

Penentuan produk secara *visual* adalah penilaian produk hasil penelitian menggunakan indera pengelihatian dan indera perasa yang terdapat pada ujung jari manusia. Penilaian berdasarkan tampilan secara keseluruhan, kekasaran permukaan tanpa menggunakan alat ukur, dan perpindahan pergerakan yang terlihat pada permukaan masing-masing produk botol oli. Berikut tabel perbandingan empat benda.

Tabel 5. 17 Perbandingan Hasil *Machining*

Benda 1	Benda 2
	

Tabel 5. 15 Lanjutan

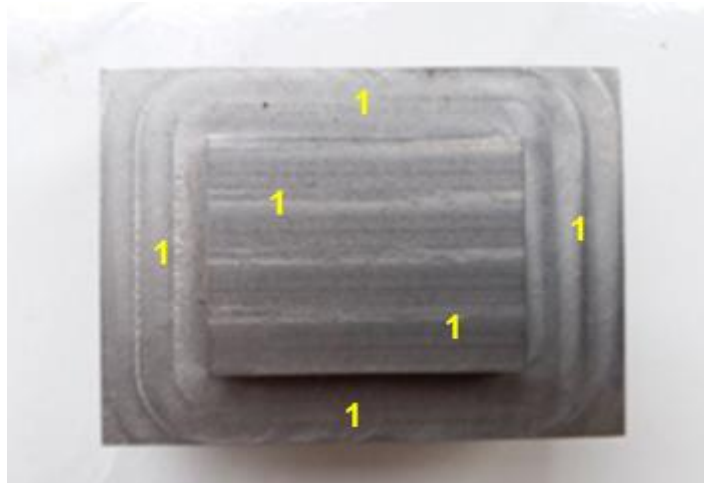
Benda 3	Benda 4
	

Penilaian dilakukan oleh anggota tim *brainstorming* dan Operator. Setelah melakukan diskusi, didapatkan bahwa yang memiliki tampilan produk yang paling optimal adalah

Setelah melakukan diskusi, didapatkan bahwa yang memiliki tampilan produk yang paling optimal adalah benda 2. Benda 2 dikerjakan menggunakan *toolpath strategy finishing Optimized Contant Z Finishing*. Pada benda 2 terlihat bahwa alur pemakanan *cutter* lebih rapi dibandingkan dengan benda lainnya.

5.6. Analisis Kekasaran Permukaan (*Surfaces Roughness*)

Pada sub bab ini akan dilakukan analisis *surfaces roughness* untuk masing-masing benda hasil *machining*. Pada tabel 5.16. merupakan hasil pengukuran kekasaran permukaan benda kerja untuk masing-masing benda. Pada cara pengukurannya maka sebelumnya ditentukan berapa jumlah titik yang akan diukur menggunakan hommel T100. Sebelum dilakukannya pengukuran harus dipastikan tidak ada benda asing yang mengganggu saat melakukan uji kekasaran. Permukaan benda kerja harus dibersihkan terlebih dahulu. Kemudian letakkan *pointer* hommel T1000 kemudian klik *start* maka akan secara otomatis nilai tingkat kekasaran permukaan akan muncul pada *display*.



Gambar 5. 24 Titik yang diukur

Tabel 5. 18 Perbandingan Rata-rata Kekasaran Permukaan

Perbandingan Rata-rata Kekasaran Permukaan	
Benda Kerja	Rata-rata Ra (μm)
1	0.675
2	1.008
3	0.706
4	0.816

Pada tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa benda kerja yang mempunyai *surfaces roughness* yang paling optimal adalah benda 1 yaitu mempunyai rata-rata Ra sebesar $0.675 \mu\text{m}$ yang berada pada kelas kekasaran di N5 (Lihat Tabel 2.2).

Benda 1 menggunakan *toolpath strategy Optimized Constant Z*, kecepatan *spindle* 3250 RPM, dan *feeding* 750 mm/menit. Sedangkan benda dengan *surfaces roughness* paling kasar adalah benda 2 yaitu mempunyai rata-rata Ra sebesar $1.008 \mu\text{m}$ yang berada pada kelas kekasaran N6. Benda 2 menggunakan *toolpath strategy Optimized Constant Z*, kecepatan *spindle* 2250 RPM, dan *feeding* 1000 mm/menit.

5.7. Pembahasan

Proses penelitian “Analisis Pengaruh Variasi Parameter *Strategy Machining* Terhadap Kekasaran Permukaan Material *Mild Steel*” diawali dengan melakukan

brainstorming bersama dosen pembimbing dan juga beberapa *engineer* yang sudah berkompeten pada bidang CAD/CAM untuk mendapatkan faktor yang diduga mempengaruhi kekasaran permukaan suatu benda kerja saat dilakukan pengerjaan di mesin CNC milling. Proses *brainstorming* menghasilkan tiga faktor yang diduga dapat mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja. Tiga faktor tersebut adalah *toolpath strategy*, kecepatan putar *spindle*, dan *feeding*. Metode *taguchi* digunakan untuk mendapatkan desain kombinasi perlakuan yang nantinya akan digunakan untuk membedakan perlakuan terhadap masing-masing benda kerja. Tiga faktor tersebut digunakan untuk membuat desain *orthogonal array*, semua faktornya disetting pada 2 level. Faktor *toolpath* dipilihlah *Optimized Constant Z*, dan *Raster Finishing*. Kecepatan *spindle* dipilih pada besaran 3250 RPM dan 2250 RPM, kemudian untuk *feeding* dipilih 750 mm/menit dan 1000 mm/menit. Desain *orthogonal array* didapatkan $L_4(2^3)$ menggunakan *software minitab* 2016. Desain ini dipilih karena memiliki jumlah percobaan yang paling sedikit dibanding dengan yang lain. Tujuannya adalah untuk mengurangi jumlah biaya yang digunakan untuk eksperimen ini.

Proses *machining* menghasilkan benda kerja berbentuk kotak yang memiliki *step*. Setiap benda kerja dilakukan pengukuran pada 6 titik dan diambil rata-rata kekasara permukannya untuk menentukan benda kerja dengan kualitas permukaan yang paling optimal. Disimpulkan bahwa benda kerja yang mempunyai *surface roughness* yang paling optimal adalah benda kerja 1 yang memiliki rata-rata R_a sebesar $0.675 \mu\text{m}$ yang berada pada kelas kekasaran di N5. Benda kerja 1 menggunakan *toolpath Optimized Constant Z*, , kecepatan *spindle* 3250 RPM, dan *feeding* 750 mm/menit. Sedangkan benda kerja 2 memiliki *surface roughness* yang paling kasar yaitu mempunyai rata-rata R_a sebesar $1.008 \mu\text{m}$ yang berada pada kelas kekasaran N6. Benda kerja 2 menggunakan *toolpath strategy Optimized Constant Z*, kecepatan *spindle* 2250 RPM, dan *feeding* 1000 mm/menit.

Pengolahan data pada eksperimen ini peneliti menggunakan perhitungan ANOVA untuk menemukan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi *surfaces roughness* secara signifikan. Peneliti mengasumsikan jumlah replikasi pada eksperimen ini bukan replikasi benda tetapi replikasi titik pengukuran dengan tujuan mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk eksperimen ini. Sebelum melakukan perhitungan ANOVA, data yang didapat diuji normalitas dan homogenitas terlebih dahulu menggunakan SPSS 25. Berdasarkan hasil yang pengukuran, data berdistribusi normal dan homogen. Pada perhitungan ANOVA didapat bahwa faktor yang

mempengaruhi tingkat kualitas permukaan benda kerja secara signifikan adalah kecepatan putar spindle dan *feeding*. Sedangkan untuk urutan faktor yang paling dominan dalam mempengaruhi hasil kualitas permukaan adalah kecepatan putaran spindle kemudian *feeding* dan *toolpath*.



BAB 6

KESIMPULAN

Berdasarkan brainstorming dengan para *engineer* didapatkan bahwa terdapat 3 faktor yang dianggap mempengaruhi kualitas kekasaran permukaan benda yaitu *Toolpath strategy*, kecepatan *spindle*, dan *feeding*. Di dalam penelitian ini didapatkan kualitas permukaan paling optimal didapatkan pada benda kerja 1 dengan kombinasi *toolpath Optimized Constant Z*, kecepatan *spindle* 3250 RPM, dan *feeding* 750 mm/menit. Sedangkan benda kerja 2 memiliki tingkat kualitas permukaan paling kasar dengan kombinasi *toolpath strategy Optimized Constant Z*, kecepatan *spindle* 2250 RPM, dan *feeding* 1000 mm/menit. Faktor yang mempengaruhi tingkat kualitas permukaan secara signifikan dan beturut-urut pada material *mild steel* adalah kecepatan *spindle*, *feeding* dan *toolpath*.



DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, P. W., dan Yuniarto, T., 2012, Desain produk berbasis CNC berhasil mendapatkan satu unit prototype konstruksi mold base Honda Freed Mirror berbahan baku kayu ebalta (Studi Kasus di Lab. PP), Fakultas Teknologi Industri Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Belavendram, N., 1995, *Quality by Design.*, United States of America.
- Chase, T., 2012, *Design & Manufacturing 1, Suggested Cutting Speeds for Machining*,
<http://www.me.umn.edu/courses/me3221/handouts/cuttingSpeeds.pdf>, diakses pada tanggal 20 Maret 2019.
- Christanto, J. H., 2011, Optimalisasi *Toolpath* Strategi untuk Pengerjaan Seat Grip dan Footrest di PT. Kreasindo Jayatama Sukses Bekasi-Jawa Barat, Fakultas Teknologi Industri Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Julian, B. A., 2015, Kolaborasi Teknologi Additive Manufacturing dan Spain Casting untuk Mempersingkat Waktu Proses Manufaktur Produk Suvenir Artistik (Studi Kasus di Lab. PP), Fakultas Teknologi Industri Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, 2016, Peran ekspor komoditi subsektor barang logam lainnya terhadap total ekspor hasil industri, https://kemenperin.go.id/statistik/peran_barang.php?ekspor=1%20diakses&kode=202025018&sort=2015, diakses pada tanggal 8 Agustus 2019.
- Li, L., dkk., 2002, A reverse engineering system for rapid manufacturing of complex objects, The University of Calgary, Canada.
- Munadi, S., 1988, Dasar-Dasar Metrologi Industri, <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>, diakses pada tanggal 10 Maret 2019.
- Nindhira, A., 2016, Desain Eksperimen Untuk Pengendalian Kadar Air Jamu Simplisia, Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Pamungkas, D. S., 2016, Analisis Pengaruh Variasi Parameter *Strategy Machining* terhadap Kekasaran Permukaan 3D *Product-Packaging*, Fakultas

Teknologi Industri Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.

Sari, F. E., 2010, Analisis Pemilihan Strategi Permesinan Untuk Proses Pengerjaan Lower Die Draw 52185 (Studi Kasus di PT. Mekar Armada Jaya), Fakultas Teknologi Industri Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.

Sudjana. 1991. Desain dan Analisis Eksperimen. Bandung

Yuwono, E. B., 2014, Aplikasi New High Speed Machining Roughing Strategy Pada Mesin CNC YCM EV1020A, Fakultas Teknologi Industri Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.

