

**PENGARUH OPTIMASI *SPINDLE SPEED* DAN *FEED RATE* PADA MESIN CNC MILLING BERBASIS CAD/CAM TERHADAP TINGKAT KEKASARAN DALAM MANUFAKTUR *DRAG CHAIN***

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan Teknik Mesin*



Oleh  
**YOGA NOVRIALDY**  
**NIM . 17067132 /2017**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH OPTIMASI *SPINDLE SPEED* DAN *FEED RATE* PADA  
MESIN CNC MILLING BERBASIS CAD/CAM TERHADAP TINGKAT  
KEKASARAN DALAM MANUFAKTUR *DRAG CHAIN*

Nama : Yoga Novrialdy  
NIM/TM : 17067132 / 2017  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

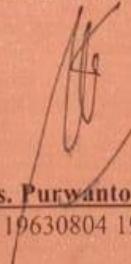
Padang, 4 Juni 2021

Disetujui Oleh:  
Pembimbing



**Dr. Ir. Arwizet K. S.T., M.T.**  
NIP. 19690920 199802 1 001

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin FT-UNP



**Drs. Purwanto, M.Pd.**  
NIP. 19630804 198603 1 002

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus Setelah Mempertahankan Skripsi di depan Tim Penguji  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Padang

Judul :

**PENGARUH OPTIMASI *SPINDLE SPEED* DAN *FEED RATE* PADA  
MESIN CNC MILLING BERBASIS CAD/CAM TERHADAP TINGKAT  
KEKASARAN DALAM MANUFAKTUR *DRAG CHAIN***

Oleh :

Nama : Yoga Novrialdy  
NIM/TM : 17067132 / 2017  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

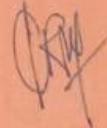
Padang, 4 Juni 2021

Tim Penguji

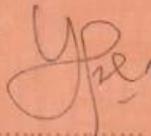
Nama

Tanda Tangan

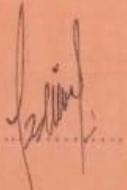
1. Ketua : Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T.

1. 

2. Anggota : Drs. Yufrizal A, M.Pd

2. 

3. Anggota : Febri Prasetya, S.Pd., M.Pd.T

3. 

## SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yoga Novrialdy

NIM/TM : 17067132 / 2017

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul :

**PENGARUH OPTIMASI *SPINDLE SPEED* DAN *FEED RATE* PADA  
MESIN CNC MILLING BERBASIS CAD/CAM TERHADAP TINGKAT  
KEKASARAN DALAM MANUFAKTUR *DRAG CHAIN*.**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 4 Juni 2021

Yang menyatakan,



Yoga Novrialdy

## ABSTRAK

### **Yoga Novrialdy, 2021 : Pengaruh Optimasi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* Pada Mesin CNC Milling Berbasis CAD/CAM dalam Manufaktur Drag Chain**

Salah satu hal terpenting untuk meningkatkan kualitas produk yaitu tingkat kekasaran permukaan. Dengan perlakuan proses pemesinan memberikan keuntungan yaitu dimensi dan bentuk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Sehingga dibutuhkan pengaturan parameter yang tepat untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan memiliki standar manufaktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh optimasi kecepatan spindle dan laju pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan *drag chain* menggunakan mesin CNC *milling* berbasis CAD/CAM.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen.. Penelitian eksperimental paling tepat untuk menguji hubungan sebab-akibat melalui pengujian hipotesis menggunakan pendekatan kuantitatif yang bersifat analitik. Dalam penelitian ini metode eksperimen yang digunakan adalah metode *Taguchi*. Dua cara yang digunakan dalam desain parameter ini adalah *Orthogonal array* dan *Signal to Noise Ratio (SNR)*.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil bahwa tingkat kekasaran permukaan *drag chain* dipengaruhi oleh kecepatan spindle dan laju pemakanan. Berdasarkan analisa data menggunakan ANOVA nilai rata-rata didapatkan nilai persentase kontribusi *spindle speed* sebesar 27,31 % dan *feed rate* 52,58 %. Sedangkan pada analisa ANOVA SNR didapatkan nilai persentase kontribusi *spindle speed* sebesar 27,31 % dan *feed rate* 58,96 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa faktor yang sangat berpengaruh dalam tingkat kekasaran permukaan *drag chain* ialah faktor *feed rate* / laju pemakanan.

**Keyword : *Spindle Speed*, *Feed Rate*, Optimasi, CNC, Taguchi**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhaanahu Wa Ta'ala yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah beserta karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Pengaruh Optimasi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* Pada Mesin CNC Milling Berbasis CAD/CAM dalam Manufaktur *Drag Chain*”**. Shalawat dan salam semoga selalu dilimpahkan Allah Subhaanahu Wa'Ta'ala kepada junjungan umat islam sedunia yakni Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh cahaya ilmu pengetahuan, aqidah dan berakhlak baik.

Skripsi ini bertujuan untuk menjelaskan pengaruh parameter *spindle speed* dan *feed rate* terhadap kualitas produk yang diukur dari tingkat kekasaran produk. Selama penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan perhatian dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir, Arwizet K, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Yufrizal A, M.Pd, selaku Dosen Peninjau I.
3. Bapak Febri Prasetya, S.Pd., M.Pd.T , selaku Dosen Peninjau II.
4. Bapak Drs. Purwantono, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Hendri Nurdin, M.T., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin FT UNP.

6. Bapak dan Ibu dosen jurusan Teknik Mesin FT UNP yang telah membimbing penulis selama menuntut ilmu.
7. Seluruh anggota keluarga tercinta terutama kedua orang tua yang selalu memberikan limpahan kasih sayang, doa, motivasi dan pengorbanan tak ternilai selama proses pendidikan sampai selesainya skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dengan segala kerendahan hati melalui adanya penulisan skripsi ini, semoga semua bantuan, dorongan dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala disisi Allah *Subhanahu Wata'ala*.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini banyak terdapat kekurangan mengingat keterbatasan pengetahuan penulis dan hambatan-hambatan yang dialami dalam memperoleh sumber dan bahan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan skripsi ini.

Padang, 4 Juni 2021

Yoga Novrialdy

NIM. 17067132

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah .....	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah .....	6
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
A. Konsep Dasar <i>Computer Aided Design (CAD)</i> .....	8
B. Konsep Dasar <i>Computer Aided Manufacturing (CAM)</i> .....	11
C. Konsep Dasar <i>Computer Numerical Control (CNC)</i> .....	14
D. Optimasi .....	19

E. Parameter Pemesinan .....	19
F. End Mill Cutter.....	23
G. Kekasaran Permukaan .....	26
H. <i>Drag Chain</i> .....	30
I. Metode Taguchi.....	31
J. Penelitian yang Relevan .....	40
K. Kerangka Berfikir.....	42
L. Hipotesis.....	44
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>45</b>
A. Jenis Penelitian.....	45
B. Waktu dan Tempat Penelitian .....	46
C. Perencanaan Penelitian.....	46
D. Prosedur Penelitian.....	51
E. Langkah – Langkah Pengukuran Kekasaran Permukaan.....	62
F. Langkah – Langkah Pengolahan Data.....	64
G. Analisa Data .....	69
H. Skema Alur Penelitian.....	69
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>71</b>
A. Produk <i>Drag Chain</i> .....	71
B. Hasil Pengujian .....	72
C. Hasil Perhitungan ANOVA.....	73
D. Hasil Penentuan Setting Level Optimal .....	77
E. Pembahasan.....	78

<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>85</b>
A. Kesimpulan.....	85
B. Saran.....	86
<b>DAFTAR RUJUKAN.....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>91</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Suasana pembuatan gambar sebelum adanya CAD .....	9
Gambar 2. Proses pembuatan gambar dengan CAD .....	10
Gambar 3. Sistem <i>Incremental</i> .....	17
Gambar 4. Sistem <i>Absolute</i> .....	18
Gambar 5. Endmill HSS.....	24
Gambar 6. Endmill <i>Carbide</i> .....	24
Gambar 7. Endmill Cobalt .....	25
Gambar 8. Endmill Titanium .....	25
Gambar 9. Suatu Kekasaran Permukaan.....	27
Gambar 10. <i>Drag Chain</i> yang terpasang pada conveyor .....	31
Gambar 11. Penggunaan <i>Drag Chain</i> .....	31
Gambar 12. 3D <i>Drag Chain</i> .....	46
Gambar 13. Gambar Kerja <i>Drag Chain</i> .....	47
Gambar 14. <i>Polyethylene</i> (PE).....	47
Gambar 15. Tabel SFM.....	48
Gambar 16. Tabel <i>Chip Load</i> .....	49
Gambar 17. <i>CNC Milling 3 Axis</i> .....	52
Gambar 18. <i>Surface Roughness</i> .....	53
Gambar 19. <i>End mill</i> .....	53
Gambar 20. <i>Edge Finder</i> .....	54
Gambar 21. <i>Vernier Caliper</i> .....	55

Gambar 22. Ragum .....	55
Gambar 23. Desain <i>Drag Chain</i> di <i>Autodesk Inventor 2020</i> .....	56
Gambar 24. Gambar Konversi ke <i>Mastercam 2020</i> .....	56
Gambar 25. Pemilihan Jenis Mesin yaitu <i>CNC Mill</i> .....	57
Gambar 26. <i>Stock Setup</i> .....	57
Gambar 27. Pemilihan <i>Toolpath Type</i> .....	58
Gambar 28. Pengaturan <i>Spindle Speed</i> dan <i>Feed Rate</i> .....	58
Gambar 29. Pemilihan <i>Cutting Method</i> .....	59
Gambar 30. Nilai <i>Depth of Cut</i> .....	59
Gambar 31. <i>Linking Parameter</i> .....	60
Gambar 32. <i>Setting Zero Point</i> .....	61
Gambar 33. <i>Setting Tool Offset</i> .....	61
Gambar 34. <i>Cutting Process</i> .....	62
Gambar 35. Pengukuran Kekasaran Titik <i>Ra1</i> .....	63
Gambar 36. Pengukuran Kekasaran Titik <i>Ra2</i> .....	63
Gambar 37. Pengukuran Kekasaran Titik <i>Ra3</i> .....	63
Gambar 38. Nilai Hasil Pengujian Pada Monitor Alat Ukur .....	64
Gambar 39. Hasil Pembuatan <i>Drag Chain</i> .....	71
Gambar 40. Grafik Persentase Kontribusi ANOVA Nilai Rata – Rata .....	80
Gambar 41. Grafik <i>Main Effect Plot for Means</i> .....	81
Gambar 42. Grafik Persentase Kontribusi ANOVA Nilai SNR .....	82
Gambar 43. Grafik <i>Main Effect Plot for SNR</i> .....	83

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Nilai Kekasaran dan Tingkat Kekasaran.....	29
Tabel 2. <i>Degree of Freedom</i> .....	66
Tabel 3. Nilai Faktor dan Level Percobaan.....	67
Tabel 4. <i>Orthogonal Array</i> $L_9(3^2)$ .....	67
Tabel 5. Desain Eksperimen .....	68
Tabel 6. Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan .....	72
Tabel 7. Nilai Rata-Rata Kekasaran Permukaan <i>Drag Chain</i> .....	73
Tabel 8. Hasil Perhitungan Tabel Respon Tingkat Kekasaran Permukaan .....	74
Tabel 9. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai Rata - Rata .....	74
Tabel 10. Data Hasil Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio</i> .....	75
Tabel 11. Hasil Perhitungan Tabel Respon <i>Signal to Noise Ratio</i> .....	76
Tabel 12. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai <i>Signal to Noise Ratio</i> .....	76
Tabel 13. Tabel Perbandingan antara Pengaruh Faktor Terhadap Eksperimen ....	77
Tabel 14. Tabel <i>Setting</i> Optimal .....	84

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	91
Lampiran 2. Hasil Produk <i>Drag Chain</i> .....	94
Lampiran 3. Perhitungan <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai Rata-Rata .....	95
Lampiran 4. Perhitungan <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai SNR.....	100
Lampiran 5. Gambar Kerja <i>Drag Chain</i> .....	109
Lampiran 6. Data Sheet <i>Polyetyhlene</i> .....	110
Lampiran 7. Feeler VMP – 40A.....	112
Lampiran 8. <i>Control</i> Fanuc Series 0i-MD .....	113
Lampiran 9. Data Sheet Parameter Mesin.....	114
Lampiran 10. Data Sheet Mitutoyo SJ-201P.....	116
Lampiran 11. Data Penelitian.....	118
Lampiran 12. Program Mastercam.....	127
Lampiran 13. M & G Code CNC Milling Feeler VMP 40-A .....	135
Lampiran 14. Tabel F Persentase Distribusi .....	137

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Adanya perkembangan dalam dunia industri maufaktur dunia diikuti dengan lahirnya ide revolusi industri 4.0 yang dianggap sebagai lompatan keempat dalam revolusi industri baru. Industri manufaktur sebagai sektor yang penting untuk mendorong pertumbuhan ekonomi serta membuka lapangan pekerjaan (Davies, 2015).

Berkembangnya peradaban manusia yang semakin modern mengakibatkan adanya perubahan yang signifikan di segala bidang. Di bidang industri khususnya di Indonesia, peralatan yang canggih dikombinasikan dengan komputer semakin meningkatkan daya saing yang ketat. Seiring dengan perkembangan teknologi di era modern proses pemesinan merupakan tuntutan dari dunia industri untuk menghasilkan produk yang berkualitas dengan meliputi tingkat kepresisian yang tinggi, variasi bentuk benda kerja yang kompleks serta produk yang dihasilkan secara massal.

Pengembangan sektor industri manufaktur memiliki potensi besar di wilayah Provinsi Kepulauan Riau (Kemenperin, 2018). Peran Kota Batam sebagai salah satu pusat kawasan industri yang mendukung pengembangan sektor industri. Kota batam yang secara geografis dengan letak yang sangat strategis, berada di jalur perdagangan internasional. Jalur perdagangan di batam merupakan yang tersibuk kedua setelah jalur perdagangan di Selat Diver di Inggris (BP Batam, 2017).

Menurut data Kementerian Perindustrian, industri manufaktur di Provinsi Kepulauan Riau relatif beragam. Orientasi sebagian industri manufaktur di kawasan industri Kota Batam yaitu ekspor. Industri manufaktur di Provinsi Kepulauan Riau khususnya Kota Batam tumbuh dengan sangat pesat karena didukung oleh infrastruktur seperti adanya kawasan khusus industri di Batam (Saragih, 2018).

Kota Batam sebagai kota industri memiliki 26 kawasan industri di Batam dan satu diluar kawasan industri yang dijadikan sebagai saran investasi yang diperuntukan baik untuk asing maupun pengusaha lokal. Dari 26 kawasan industri yang terdapat di Batam tersebut memiliki total 509 *tenant* atau penyewa properti pada kawasan industri tersebut sementara untuk satu area yang tidak masuk dalam kawasan industri terdapat 800 *tenant*. Sehingga jika ditotalkan terdapat 1.309 *tenant* baik di dalam kawasan industri maupun diluar kawasan industri (Esa, 2020).

Industri manufaktur secara terfokus pada jenis-jenis industri manufaktur yang memiliki tingkat produktivitas yang tinggi dan memiliki daya saing yang besar sehingga memiliki keunggulan yang dapat bersaing dengan produk manufaktur lainnya. Sehingga dalam proses manufaktur dibutuhkan pemanfaatan teknologi dalam industri manufaktur untuk meningkatkan hasil produksi dengan efisien dan efektif (Lestari & WSU, 2017).

Semakin pesatnya peningkatan kualitas serta kuantitas hasil produksi untuk dapat memenuhi standar. Tingkat kepresisian menjadi salah satu faktor dalam optimalisasi hasil produksi. Jumlah kuantitas produk yang dihasilkan

dari satu permodelan menggunakan cara konvensional membutuhkan waktu yang cukup lama dengan tingkat kepresisian yang berbeda serta penggunaan CAD yang hanya sebagai acuan gambar kerja secara konvensional.

SMK Negeri 6 Batam sebagai sekolah yang terletak di Kawasan Industri mengikuti program *link and match* yang dimiliki oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud) yang bertujuan untuk mendorong lulusan pendidikan vokasi dapat terserap oleh industri (Disas et al., 2018). Kerja sama SMK Negeri 6 Batam dengan PT. Citra Tubindo Tbk merupakan wujud implementasi program *link and match* antara sekolah dengan industri sehingga dibutuhkan sinkronisasi kurikulum dengan perkembangan industri.

Sinkronisasi kurikulum dengan industri yaitu pengembangan *teaching factory* yaitu sebuah konsep pembelajaran di SMK berbasis produksi dan jasa yang mengacu kepada standar dan prosedur yang berlaku di industri. Program ini dilaksanakan dalam suasana industri, implementasi *teaching factory* dapat menjembatani kesenjangan kompetensi antara kebutuhan industri dan kompetensi yang dihasilkan oleh sekolah.

Program *Teaching Factory* (TEFA) yang dilaksanakan di PT. Citra Tubindo Tbk yaitu membuat produk-produk yang membantu proses pengerjaan produk utama PT. Citra Tubindo Tbk. Salah satu produk yang dikerjakan oleh TEFA SMK Negeri 6 Batam yaitu *Drag Chain Coating Plant Conveyor*. Produk pendukung yang digunakan di Departemen *Coating Plant* yang berfungsi sebagai stopper atau penahan pipa pada *conveyor* saat proses

*coating* atau pemberian lapisan yang berguna untuk melindungi pipa dari korosi.

*Drag Chain* sebagai produk pendukung pada Departemen *Coating* memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi serta kualitas yang baik. Sehingga proses manufaktur *Drag Chain* dilakukan menggunakan mesin CNC Milling 3 Axis. Proses pengerjaan diawali dengan proses *design* 2D dan 3D menggunakan software berbasis CAD, Pembuatan program *NC-Code* dan proses produksi menggunakan CNC *milling*. TEFA Pemesinan SMKN 6 Batam menuntut proses produksi untuk menyelesaikan produk sebelum waktu *deadline* yang diberikan oleh klien serta kualitas produk yang memiliki standar. Salah satu hal terpenting untuk meningkatkan kualitas produk yaitu tingkat kekasaran permukaan. Sehingga pada proses pengerjaan operator belum mengetahui *setting* parameter pemesinan yang sesuai dengan produk yang akan diproduksi.

Selain itu pada proses pengerjaan operator masih lama dalam *set-up* benda kerja pada mesin CNC *milling* yang berakibat proses pengerjaan menjadi lebih lama. Tingkat kekasaran permukaan sangat penting untuk meminimalisir adanya gesekan *drag chain* dengan kedudukan conveyor. Dengan perlakuan proses pemesinan memberikan keuntungan yaitu dimensi dan bentuk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Sehingga dibutuhkan pengaturan parameter yang tepat untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan memiliki standar manufaktur. Oleh karena itu, timbul pertanyaan

“Bagaimana pengaruh parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan hasil produk ? “.

Peneliti merasa tertarik untuk mengadakan penelitian terkait tingkat kekasaran hasil produksi menggunakan mesin CNC Milling 3 Axis. Penelitian ini diberi judul **“Pengaruh Optimasi *Spindle Speed* dan *Feed Rate* Pada Mesin CNC Milling Berbasis CAD/CAM Terhadap Tingkat Kekasaran Dalam Manufaktur *Drag Chain*”**.

## **B. Identifikasi Masalah**

Permasalahan penelitian yang penulis ajukan ini dapat diidentifikasi permasalahannya sebagai berikut :

1. Masih adanya operator yang belum mengetahui hubungan parameter pemesinan antara *spindle speed* dan *feed rate* terhadap tingkat kekasaran produk.
2. Masih adanya pengaturan *spindle speed* dan *feed rate* yang belum optimal dalam menentukan kekasaran terendah produk.
3. Waktu proses pengerjaan yang masih lama.
4. Lamanya waktu *set-up* benda kerja pada mesin CNC Milling.

## **C. Batasan Masalah**

Karena adanya keterbatasan waktu dan biaya maka permasalahan diatas dibatasi sebagai berikut :

1. Adanya operator yang belum mengetahui hubungan parameter pemesinan antara *spindle speed* dan *feed rate* terhadap tingkat kekasaran produk.

2. Adanya pengaturan *spindle speed* dan *feed rate* yang belum optimal dalam menentukan kekasaran terendah produk.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, maka dapat disusun rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah ada pengaruh *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan benda kerja *Drag Chain* ?
2. Apakah ada pengaruh *feed rate* terhadap kekasaran permukaan benda kerja *Drag Chain* ?
3. Berapa parameter *spindle speed* dan *feed rate* yang tepat digunakan untuk menentukan kekasaran terendah pada permukaan *Drag Chain* ?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan dengan masalah yang telah dirumuskan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan *Drag Chain* pada proses *CNC Milling*.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi *feed rate* terhadap kekasaran permukaan *Drag Chain* pada proses *CNC Milling*.
3. Untuk mengetahui parameter *spindle speed* dan *feed rate* yang tepat digunakan untuk menentukan kekasaran terendah pada permukaan *Drag Chain*.

## F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai berikut:

### 1. Manfaat Teoritik

Menambah wawasan ilmu pengetahuan, baik dunia pendidikan dan khususnya dalam bidang manufaktur.

### 2. Manfaat Praktis

- a) Pengaplikasian Mastercam sebagai media untuk melakukan pengaturan program CNC dan simulasi *Milling*.
- b) Memberikan informasi untuk menunjang kualitas dan detail spesifikasi lebih lengkap tentang kekasaran permukaan pada permukaan produk pada industri.
- c) Bisa dijadikan sebagai rujukan dan referensi pada perpustakaan Universitas Negeri Padang dan diharapkan akan mendorong para peneliti untuk mengkaji hal sejenis secara lebih mendalam.
- d) Bisa dijadikan bahan pertimbangan untuk meningkatkan sistem produksi di TEFA Pemesinan SMKN 6 Batam – PT. Citra Tubindo Tbk.
- e) Mengetahui nilai variabel *spindle speed* dan *feed rate* untuk menghasilkan kekasaran optimum sebagai acuan dalam manufaktur.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Konsep Dasar *Computer Aided Design* (CAD)**

##### **1. Pengertian Computer Aided Design (CAD)**

CAD (*Computer Aided Design*) adalah program komputer yang memungkinkan seorang perancang (*designer*) untuk mendisain gambar rekayasa (*design engineering*) dengan mentransformasikan gambar geometris secara cepat. CAD (*Computer Aided Design*) alat perangkat lunak yang digunakan oleh para insinyur, arsitek, desainer dan perancang untuk membuat gambar 2D dan 3D digital untuk mendesain berbagai item dan ruang. CAD memungkinkan desainer untuk menguji objek dengan mensimulasikan kondisi dunia nyata (Dykes, n.d.). CAD (*Computer Aided Design*) adalah program komputer yang memungkinkan seorang perancang (*designer*) untuk mendisain gambar rekayasa (*design engineering*) dengan mentransformasikan gambar geometris secara cepat.

##### **2. Sejarah Computer Aided Design (CAD)**

CAD merupakan evolusi komputer grafik yang diciptakan didalam industri manufaktur. CAD diciptakan untuk meningkatkan perkembangan teknologi dan untuk mempermudah pekerjaan para tukang gambar (*draftsman*) dan desainer. Pada pertengahan tahun 1950 SAGE (*Semi Automatic Ground Environment*) dari departemen pertahanan udara USA menggunakan komputer grafik dan mengubah informasi radar menjadi gambar komputer. Patrick Hanratty pada tahun 1960 melakukan penelitian

dan pengembangan dari CAD sambil bekerja di Laboratorium Riset General Motor. Pada tahun 1963 Ivan Sutherland seorang doktor memulai basis teori dari komputer grafik. Tetapi pada tahun 1960an, biaya investasi CAD sangat mahal dan hanya perusahaan-perusahaan besar saja yang sanggup membeli.

Pada awal 1980an, CAD mengalami perkembangan di dunia terutama dalam segi ekonomi. Pada saat itu, sebuah perusahaan bernama Autodesk memperkenalkan sebuah software CAD yang diberi nama AutoCAD. AutoCAD sekarang telah menjelma menjadi software yang paling terkenal dan paling banyak penggunanya sampai saat ini. Selain itu sekarang banyak muncul software-software baru dalam bidang CAD diantaranya SolidWorks, Catia, Pro Engineer, Inventor dsb. Software-software tersebut menawarkan berbagai aplikasi dan fitur-fitur desain yang bisa digunakan dalam desain di industri.



Gambar 1. Suasana pembuatan gambar sebelum adanya CAD  
Sumber : (Dtengineeringteaching, 2018)

CAD pada dasarnya merupakan alat bantu yang digunakan untuk menggambar (*drafter*) dan mendesain (*engineer/designer*). Selama

beberapa dekade, sistem dan pengetahuan CAD berubah dari *Computer Assisted Drawing/Drafting* menjadi *Computer Aided Design/Drawing*. CAD dapat digunakan untuk berbagai industri antara lain, dirgantara, mobil, bangunan, elektrikal, manufaktur, dll.



Gambar 2. Proses pembuatan gambar dengan CAD  
Sumber : (Autodesk, 2020)

Perangkat lunak CAD digunakan untuk merancang produk mulai dari desain, ukuran sebuah produk hingga desain *assembly* dengan produk/komponen lain. Rancangan tersebut dapat diproses lebih lanjut oleh perancang (*engineer*) untuk proses pengujian dengan metode tertentu. Misal metode FEM (*Finite Element Analysis*) untuk mendeteksi titik-titik lemah sebuah produk. Penggunaan CAD untuk analisa dapat menggerakkan bagian-bagian produk tersebut seperti sedang digunakan (animasi pergerakan). Ketika rancangan itu selesai, perangkat lunak CAD dapat menyiapkan spesifikasi rinci yang diperlukan untuk memproduksi produk yang diinginkan. Spesifikasi ini kemudian disimpan dalam desain database (Abdillah, n.d.).

Ruang lingkup CAD secara umum meliputi seluruh aktifitas yang terlibat pada *Computer Aided Production of Engineering Data* yaitu :

- a) *Drawing*
- b) *Geometrical Models*
- c) *Finite Element Analysis*
- d) *Part List*
- e) *NC Control Information* (Suhendra, n.d.).

## **B. Konsep Dasar *Computer Aided Manufacturing* (CAM)**

### 1. Pengertian *Computer Aided Manufacture* (CAM)

*Computer Aided Manufacturing* (CAM) biasanya mengacu pada penggunaan aplikasi perangkat lunak dengan *numerical* (NC) untuk membuat instruksi terperinci (*G-Code*) yang menggerakkan peralatan mesin *Computer Numerical Control* (CNC) untuk komponen manufaktur (Siemens, n.d.).

CAM (*Computer Aided Manufacturing*) adalah sistem manufaktur yang mengoptimalkan kemampuan program komputer untuk menterjemahkan desain rekayasa yang dibuat oleh CAD sehingga dapat mengontrol mesin CNC (*Numerical Controlled Machines*). *Computer Aided Manufacturing* (CAM) merupakan proses penyusunan langkah dan mengaplikasikan perintah – perintah berupa *NC-Code* dalam mesin CNC melalui komputer. Penggunaan *NC-Code* ini berdasarkan bahasa pemrograman yang di kenal oleh para *machinist* dan mesin CNC, sehingga dalam menjalankan perintah – perintah dapat di minimalis terjadinya kesalahan. Dengan adanya program CAM ini, tingkat presisi dan proses

fabrikasi dari model/bentuk geometri yang di bentuk melalui program CAD dapat tercapai.

## 2. Sejarah Computer Aided Manufacture (CAM)

Teknologi di dalam program CAM telah mengalami banyak perkembangan, yang dimulai dari sekitar tahun 1950-an. Awalnya berupa kode – kode perintah secara numerik yang di atur dari mesin menggunakan pita *tape*. Lalu pada tahun 1971, digunakan dalam industri otomotif dan *tool*. Saat sekarang ini, aplikasi CAM tidak hanya dalam industri automotive, tetapi berkembang dalam pembentukan *jig – fixture*. Dalam proses *casting, mold* atau pun *stencils, jig* lebih dikenal dengan sebutan *die*. *Die* ataupun *Jig* merupakan alat yang di gunakan sebagai template atau prototype untuk membentuk suatu produk secara massal, dan *fixture* merupakan alat yang di gunakan untuk menjepit benda kerja.

Jika sebelumnya, kode – kode hanya dapat di simpan dalam pita tape, sekarang dapat di simpan dalam CD ataupun *flashdisk*. Penentuan dalam arah pemotongan ataupun pemakanan dalam CAM berdasarkan sumbu axis, yang mana sumbu axis ini dapat ke arah sumbu X, Y Z ataupun gabungan diantaranya.

Proses di dalam CAM menggunakan proses permesinan. CAM lebih mengarah pada otomatis karena penentuan titik nol dan proses lainnya di dalam mesin di lakukan secara otomatis (Setyoadi et al., n.d.).

### 3. Kategori Proses CAM

Ada beberapa kategori dalam proses CAM, salah satunya adalah berdasarkan arah gerak makan (*feeding movement*) dan gerak potong (*cutting movement*). Untuk proses ini, CAM dapat di bagi menjadi 7, antara lain :

- a. Proses Bubut (*Turning*)
- b. Proses Gurdi (*Drill*)
- c. Proses Frais (*Milling*)
- d. Proses Gerinda Rata (*Surface Grinding*)
- e. Proses Gerinda Silindrik (*Cylindrical Grinding*)
- f. Proses Sekrap (*Shaping, Planing*)
- g. Proses Gergaji (*Sawing, Broaching*)

### 4. Tahapan Proses dalam CAM

- a. Proses pengerjaan kasar (*Roughing*), proses ini melakukan pembuangan bagian material yang berlebih, dan memotongnya dengan kasar untuk membentuk model akhir. Umumnya di dalam proses milling, hasilnya membentuk “teras”, karena kemampuannya dalam melakukan pemotongan secara horizontal. Beberapa metoda pemakanan dalam *milling*, antara lain *zig – zag clearing*, *offset clearing*, *plunge roughing*, dan *rest – roughing*.
- b. Proses Semi finishing, proses ini melakukan pemakanan (*feeding movement*) pada jarak tertentu dari model. Tujuannya adalah memberi sisa untuk proses finishing agar hasilnya dapat lebih akurat. Metoda

yang umum dalam proses ini antara lain *raster passes*, *waterline passes*, *constraint step – over passes*, dan *pencil milling*.

- c. Proses akhir (*finishing*), pada tahap ini, mata pahat akan bergerak dengan pelan sepanjang material untuk menghasilkan bentuk akhir sesuai yang di harapkan. Kecepatan pahat akan berkurang tetapi kecepatan spindel akan di tambah, untuk menghasilkan permukaan yang lebih akurat.
- d. Proses pemakanan kontur (*contour milling*), proses ini membutuhkan beberapa langkah akhir yang berkaitan dengan jumlah *increment*, untuk mendapatkan bentuk permukaan yang baik dengan tingkat akurasi yang sangat bagus.

### C. Konsep Dasar *Computer Numerical Control* (CNC)

#### 1. Pengertian Computer Numerical Control (CNC)

CNC singkatan dari *Computer Numerically Controlled*, merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem mekanik dan kontrol berbasis komputer yang mampu membaca instruksi kode N, G, F, T, dan lain-lain, dimana kode-kode tersebut akan menginstruksikan ke mesin CNC agar bekerja sesuai dengan program benda kerja yang akan dibuat. Secara umum cara kerja mesin perkakas CNC tidak berbeda dengan mesin perkakas konvensional. Fungsi CNC dalam hal ini lebih banyak menggantikan pekerjaan operator dalam mesin perkakas konvensional misalnya pekerjaan setting tool atau mengatur gerakan pahat sampai pada posisi siap memotong, gerakan pemotongan dan gerakan

kembali keposisi awal dan lain- lain. Demikian pula dengan pengaturan kondisi pemotongan (kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman pemotongan serta fungsi pengaturan yang lain seperti penggantian pahat, pengubahan transmisi daya (jumlah putaran poros utama) dan arah putaran poros utama, pengekleman, pengaturan cairan pendingin dan sebagainya.

## 2. Sejarah Computer Numerical Control (CNC)

Mesin otomatis telah ada sejak Perang Sipil di Amerika (1861-1865), namun mesin tersebut hanya mampu membuat satu jenis produk dan dibutuhkan waktu yang sangat lama untuk setting mesin apabila berganti produksi jenis produk Lain. Dari sumber yang ada, mesin bubut ditemukan oleh seorang Insinyur, arsitek dari Swedia yang bernama Immanuel Nobel yang kemudian mempunyai seorang anak yang sekarang dikenal sebagai Alfred Nobel yaitu seorang ilmuwan penemu dinamit dan pengusaha terkenal sekaligus penggagas pemberian penghargaan Nobel.

Mesin otomatis dengan elektronik program pertama kali sukses dibuat oleh proyek gabungan antara Massachusetts Institute of Technology (MIT) dan US Air Force pada pertengahan tahun 1950. Mesin itu adalah 3 axis milling mesin yang dikontrol oleh satu ruangan penuh perangkat Tabung Vakum Elektronik. Meskipun mesin ini tidak handal, namun mesin ini merupakan satu langkah ke arah mesin modern. Kontroler tersebut dinamakan Numerical Control, atau NC

The Electronics Industry Association (EIA) mendefinisikan NC sebagai Sebuah sistem dimana gerakan-gerakan mesin di kontrol dengan cara memasukkan langsung data numerik di beberapa titik disebut kontrol numerik (NC = *Numerical Control*) karena pemrograman yang digunakan menggunakan kode alfanumerik (terdiri dari alfabet/huruf dan numerik/bilangan) yang digunakan untuk menuliskan instruksi- instruksi beserta posisi relatif tool dengan benda kerjanya. Mesin NC dikontrol secara elektronis, tanpa menggunakan komputer

Selama tahun 1980 an, banyak pabrik mesin mengembangkan teknologi PC (*Personal Computer*) untuk meningkatkan kehandalan dan menurunkan biaya dari kontrol CNC model sebelumnya. Dalam perkembangnya Mesin Bubut CNC semakin modern, Output perkerjaan atau kemampuan mesin makin meningkat, semakin sederhana dan rapih bentuknya namun semakin mudah cara pengoperasiannya dan didesign semakin komplit bagian perangkat alat kerjanya sehingga akan lebih efisien dan praktis.

### 3. Pemrograman Mesin CNC

Pemrograman adalah suatu urutan perintah yang disusun secara rinci tiap blok per blok untuk memberikan masukan mesin perkakas CNC tentang apa yang harus dikerjakan. Untuk menyusun pemrograman pada mesin CNC diperlukan hal- hal berikut. Metode pemrograman dalam mesin CNC ada dua, yaitu:

a. Metode Inkremental

Adalah suatu metode pemrograman dimana titik referensinya selalu berubah, yaitu titik terakhir yang dituju menjadi titik referensi baru untuk ukuran berikutnya. Pada sistem ini titik awal penempatan alat potong yang digunakan sebagai acuan adalah menetapkan titik referensi yang berlaku tetap selama proses operasi mesin berlangsung. Untuk mesin bubut, titik referensinya diletakkan pada sumbu (pusat) benda kerja yang akan dikerjakan pada bagian ujung. Sedangkan pada mesin frais, titik referensinya diletakkan pada pertemuan antara dua sisi pada benda kerja yang akan dikerjakan.



Gambar 3. Sistem *Incremental*

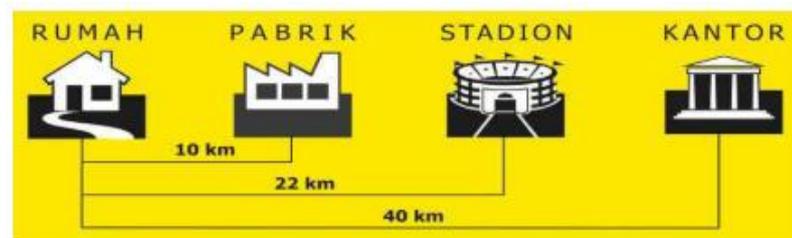
Sumber : (Widarto, 2008)

b. Metode Absolut

Adalah suatu metode pemrograman di mana titik referensinya selalu tetap yaitu satu titik / tempat dijadikan referensi untuk semua ukuran. Pada sistem ini titik awal penempatan yang digunakan sebagai acuan adalah selalu berpindah sesuai dengan titik aktual yang dinyatakan terakhir. Untuk mesin bubut maupun mesin frais diberlakukan cara yang sama. Setiap kali suatu gerakan pada proses

pengerjaan benda kerja berakhir, maka titik akhir dari gerakan alat potong itu dianggap sebagai titik awal gerakan alat potong pada tahap berikutnya.

Sejalan dengan berkembangnya kebutuhan akan berbagai produk industri yang beragam dengan tingkat kesulitan yang bervariasi, maka telah dikembangkan berbagai variasi dari mesin CNC. Hal ini dimaksud untuk memenuhi kebutuhan jenis pekerjaan dengan tingkat kesulitan yang tinggi. Berikut ini diperlihatkan berbagai variasi mesin CNC.



Gambar 4. Sistem *Absolute*  
Sumber : (Widarto, 2008)

Mesin CNC hanya dapat membaca kode standar yang telah disepakati oleh industri yang membuat mesin CNC. Dengan kode standar tersebut, pabrik mesin CNC dapat menggunakan PC sebagai input yang diproduksi sendiri atau yang direkomendasikan.

#### D. Optimasi

Menurut Anthony (2014:1), teknik optimasi merupakan suatu cara yang dilakukan untuk memberikan hasil yang terbaik yang diinginkan. Sedangkan menurut (Sugioko, 2013), optimasi adalah suatu disiplin ilmu matematika yang fockus untuk mendapatkan nilai minimum atau maksimum secara sistematis dari suatu fungsi, peluang maupun pencarian nilai lainnya dalam berbagai kasus. Berdasarkan pendapat ahli diatas maka, optimasi adalah suatu disiplin ilmu yang berfokus untuk mendapatkan nilai minimum atau maksimu secara sistematis dari suatu fungsi yang bertujuan untuk memberikan hasil yang terbaik sesuai dengan keinginan.

Banyak cara yang dilakukan dapat dilakukan dalam menyelesaikan masalah untuk memberikan hasil terbaik. Cara untuk memberikan hasil terbaik ini disebut sistem optimasi atau teknik optimasi. Optimasi memerlukan strategi yang bagus dalam mengambil keputusan agar diperoleh hasil yang optimum.

#### E. Parameter Pemesinan

Parameter dalam proses pemesinan frais yaitu dasar – dasar perhitungan yang digunakan dalam proses pemesinan frais yang meliputi *cutting speed* (CS), *speed spindle* (rpm) dan *federate* (Vf). Pada proses pemesinan yang menggunakan mesin milling terdapat parameter pemotongan antara lain :

##### 1. *Cutting Speed* (SFM)

Kecepatan potong atau *Cutting Speed* (SFM) adalah kemampuan alat potong dalam menyayat bahan dalam satuan *surface feet per minute*.

Kecepatan gerak pahat tergantung pada benda kerja yang akan dikerjakan

dan bahan dari pahat potong itu sendiri. Untuk mencari kecepatan potong maka rumusnya (Lawson, 2014):

$$\mathbf{SFM = 0,262 \times D \times RPM \dots\dots\dots (2.1)}$$

Keterangan :

SFM = Kecepatan potong

D = Diameter alat potong (mm)

Pada prinsipnya kecepatan pemotongan suatu material tidak dapat dihitung secara matematis. Karena setiap material memiliki kecepatan potong sendiri-sendiri berdasarkan karakteristiknya dan harga kecepatan potong dari tiap material ini dapat dilihat didalam tabel yang terdapat didalam buku atau referensi.

## 2. *Spindle Speed* / Putaran Spindel (rpm)

Putaran spindel (rpm) yaitu kemampuan kecepatan putaran mesin untuk melakukan pemotongan atau penyayatan dalam satu menit. Dalam hal ini mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditentukan secara baku, maka komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin / benda kerja. Dengan demikian rumus untuk menghitung putaran adalah (Lawson, 2014):

$$\mathbf{Rpm = \frac{3,82 \times SFM}{D} \dots\dots\dots (2.2)}$$

Keterangan :

SFM = Kecepatan potong

D = Diameter alat potong (mm)

Rpm = Putaran spindel (rpm)

### 3. *Feed Rate* (Laju pemakanan)

Laju pemakanan pada proses pengefraisan, ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya kekerasan bahan, kedalaman penyayatan, sudut-sudut alat potong, bahan alat potong, ketajaman alat potong dan kesiapan mesin yang digunakan. Disamping beberapa pertimbangan tersebut, kecepatan pemakanan pada umumnya untuk proses pengasaran ditentukan pada kecepatan pemakan tinggi karena tidak memerlukan hasil permukaan yang halus (waktu pengefraisan lebih cepat) dan pada proses penyelesaiannya / *finishing* digunakan kecepatan pemakanan rendah dengan tujuan mendapatkan kualitas permukaan hasil penyayatan yang lebih baik sehingga hasilnya halus (waktu pengerjaan lebih cepat). Maka rumus untuk mencari laju pemakanan adalah (Lawson, 2014) :

$$\mathbf{IPR = Chip\ Load \times F \dots\dots\dots (2.3)}$$

Keterangan :

IPR = *Feed Rate* (Inch per Revolution)

Chip Load = *Inchi per Tooth*

F = Jumlah *Flute* Pahat

Sedangkan untuk mencari nilai *feed rate* dengan satuan inchi per revolusi dapat dicari menggunakan rumus berikut (Lawson, 2014) :

$$\mathbf{IPM = RPM \times IPR \dots\dots\dots (2.4)}$$

Keterangan :

IPM = *Feed Rate* (Inch per Minute)

RPM = Kecepatan Spindel

IPR = *Inchi Per Revolution*

#### 4. *Chip Load* (IPT)

*Chip Load* atau beban chip adalah jumlah material yang terpotong oleh mata-mata pahat dalam satuan *Inch per Tooth* (Lawson, 2014).

$$\text{Chip Load} = \frac{IPM}{RPM \times F} \text{ or } \frac{IPR}{F} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

IPM = *Feed Rate (Inch per Minute)*

IPR = *Feed Rate (Inch per Revolution)*

RPM = Kecepatan Spindel

F = Jumlah Flute Pahat

#### 5. *Depth of Cut* / **Kedalaman Pemakanan**

Tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong.

### F. **End Mill Cutter**

Umumnya pisau frais mempunyai lebih dari satu *flute* dengan bentuk heliks. Bagian sepanjang tepi *flute* yang tajam disebut sebagai gigi. Dimana gigi pisau frais ini merupakan bagian yang memotong benda kerja yang difrais dan tatal hasil penyayatan akan keluar dari pisau frais melalui *flute*.

Ada beberapa macam material yang umum digunakan sebagai bahan untuk membuat pisau frais, seperti :

### 1) Baja Kecepatan Tinggi



Gambar 5. Endmill HSS  
Sumber : (Nachi, 2014)

Baja kecepatan tinggi atau HSS (*High Speed Steel*) merupakan material yang banyak digunakan untuk membuat *endmill*. *Endmill* yang terbuat dari HSS umumnya memiliki warna yang mengkilap dan bobotnya relatif ringan. *Endmill* HSS ini digunakan untuk pengefraisan umum baik untuk benda kerja yang terbuat dari bahan *ferro* maupun *non-ferro*.

### 2) Karbida



Gambar 6. Endmill *Carbide*  
Sumber : (Mitsubishi, 2020)

Pisau frais banyak juga yang terbuat dari bahan karbida. Pisau frais karbida memiliki warna yang tidak mengkilap dan relative lebih berat dibandingkan pisau frais HSS. Pisau frais karbida memiliki sifat yang tahan terhadap pengikisan. Dibandingkan pisau frais karbida lebih tahan

lama dan bisa dipakai pada kecepatan yang lebih tinggi dengan keausan lebih sedikit sehingga dalam jangka panjang pisau frais dari material karbida lebih ekonomis.

### 3) Kobalt



Gambar 7. Endmill Cobalt  
Sumber : (Kbctools, 2021)

Pisau frais yang terbuat dari baja kobalt lebih tahan terhadap panas dan tahan terhadap pengikisan. Pisau frais baja kobalt banyak digunakan untuk mengefrais benda kerja yang terbuat dari material yang keras, seperti titanium dan baja tahan karat (*stainless steel*). Material ini tersusun dari baja perkakas yang dipadu dengan kobalt sekitar 8 %.

### 4) Material pelapis



Gambar 8. Endmill Titanium  
Sumber : (Zeicin, 2020)

Pemakaian material pelapis ini dapat meningkatkan kekerasan permukaan pisau frais. Hal ini akan membuat umur pisau frais menjadi lebih lama serta dapat meningkatkan kecepatan potong dan pemakanan (*feed*) hingga 15% sampai 25%. Jenis material pelapis yang umum

digunakan sebagai pelapis standar pisau frais, antara lain : Titanium Nitride (TiN), Titanium Carbonitride (TiCN) dan Titanium Aluminium Nitride (TiAlN).

#### **G. Kekasaran Permukaan**

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) merupakan sebuah ketidakrataan suatu konfigurasi permukaan yang berupa goresan atau lekukan kecil pada suatu benda. Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Kekasaran permukaan dapat diwakilkan kedalam sebuah grafik yang memiliki bentuk yang sama dengan profil yang diukur. Grafik tersebut merupakan pembesaran dari kekasaran permukaan pada profil tersebut. Dari grafik yang didapatkan tersebut, dapat dicari beberapa parameter-parameter guna mengalisa dan mengidentifikasi konfigurasi suatu permukaan.

Permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Tekstur permukaan adalah pola dari permukaan yang menyimpang dari suatu permukaan nominal. Penyimpangan mungkin atau berulang yang diakibatkan oleh kekasaran, *waviness*, *lay* dan *flaws*. Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dibedakan menjadi dua :

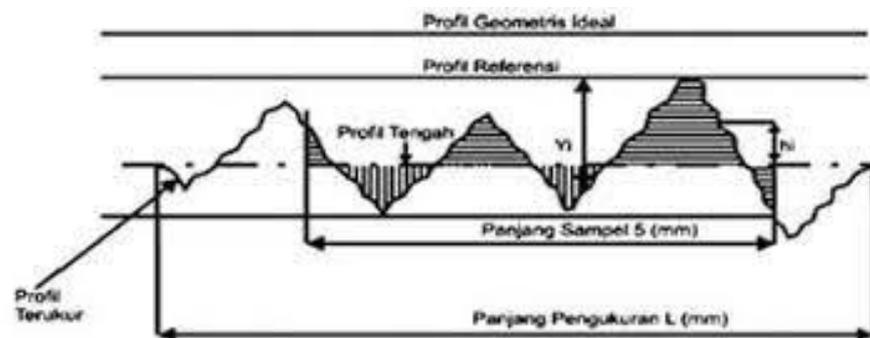
a) *Ideal Surface Roughness* *Ideal Surface Roughness*

Kekasaran ideal (terbaik) yang bisa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran ideal di antaranya:

- 1) Getaran yang terjadi pada mesin.
- 2) Ketidaktepatan gerakan bagian bagian mesin.
- 3) Ketidakteraturan feed mechanism.
- 4) Adanya cacat pada material.
- 5) Gesekan antara chip dan material.

*b) Natural Surface Roughness Natural Surface Roughness*

Kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut. Parameter kekasaran permukaan sebelum jauh melangkah ke parameter kekasaran perlu diketahui terlebih dahulu tentang profil yang penting seperti yang terlihat pada Gambar 9 berikut ini :



Gambar 9. Suatu Kekasaran Permukaan  
Sumber : (Atedi & Agustono, 2015)

Profil kekasaran permukaan terdiri dari:

- 1) Profil geometrik ideal ialah profil permukaan yang sempurna dapat berupa garislurus, lengkung atau busur.
- 2) Profil terukur (*measured profil*), merupakan profil permukaan terukur.
- 3) Profil referensi adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidakraturan konfigurasi permukaan.
- 4) Profil akar/alas yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
- 5) Profil tengah adalah profil yang digeserkan ke bawah sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah di atas profil tengah sampai profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur (Sugiyanto & Prabowo, 2018).

Berdasarkan profil-profil di Gambar 10 di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah memanjang. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu:

- 1) Kekasaran total (*peak to valley height/total height*),  $R_t(\mu\text{m})$  adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- 2) Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean line*),  $R_p(\mu\text{m})$  adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.

- 3) Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index/center line average, CLA*),  $R_a(\mu\text{m})$  adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

Kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil, yang selanjutnya disebut nilai kekasaran ( $R_a$ ). Nilai kekasaran rata-rata aritmetik telah diklasifikasikan oleh ISO menjadi 12 tingkat kekasaran, dari mulai N1 sampai dengan N12. Untuk penunjukan pada gambar mengenai spesifikasi kekasaran ini dapat dituliskan langsung nilai  $R_a$ -nya, atau tingkat kekasarannya.

Tabel 1. Nilai Kekasaran dan Tingkat Kekasaran

Kekasaran $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Tingkat kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,05	N2	
0,025	N1	0,08

*Surface roughness tester* merupakan alat ukur kekasaran pada permukaan suatu material. Alat ini mampu menguji pada benda yang berupa logam ataupun non logam. Berikut ini beberapa langkah cara menggunakan *surface roughness tester* :

1. Letakan spesimen uji.
2. Letakan unit pada material yang akan di uji, sehingga ujung dari *dial indicator* berada dalam posisi stabil pada pembacaan skala tekanan terhadap permukaan objek pengukuran.
3. Lakukan pengukuran dengan menggunakan beberapa parameter yang sudah disiapkan pada unit tersebut. Dalam standar pengukuran kekasaran permukaan memiliki beberapa parameter seperti Ra, Rq, Rz, Rmax dan parameter lainnya.
4. Pada saat pengambilan data, posisi *dial indicator* bergerak dengan konstan sesuai dengan sumbu horizontal dan sejajar pada material uji.
5. Hasil yang didapat maka kita dapat mencetak hasil praktikum dengan printer yang ada pada alat ukur.

#### **H. Drag Chain**

*Drag Chain Coating Plant Conveyor* merupakan *support* produk untuk mendukung proses pembuatan *main product*. *Drag Chain* digunakan pada Departemen *Coating Plant* yang berfungsi sebagai *Stopper* atau penahan pipa pada conveyor saat proses *coating* atau pemberian lapisan pada pipa yang berguna untuk melindungi pipa dari korosi.

Material yang dipilih untuk digunakan sebagai *stopper* yaitu *polyethylene* (PE). Penggunaan material tersebut bertujuan agar saat proses *coating*, *Drag Chain* yang tidak merusak permukaan pipa. Pembuatan *Drag Chain* membutuhkan tingkat kepresisian untuk dipasangkan dengan struktur conveyor.



Gambar 10. *Drag Chain* yang terpasang pada Conveyor  
Dokumentasi : PT. Citra Tubindo Tbk, 2020



Gambar 11. Penggunaan *Drag Chain*  
Dokumentasi : PT. Citra Tubindo Tbk, 2020

## I. Metode Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design* (Williams et al., 2005). Definisi kualitas menurut taguchi adalah

kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan.

Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari empat buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target.
3. Produk harus didesain sehingga robust terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
4. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi merupakan *off-line quality control* artinya pengendalian kualitas yang *preventif*, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Off-line quality control* dilakukan dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*).

Langkah-langkah penelitian taguchi ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah (1) fase perencanaan, (2) fase pelaksanaan, dan (3) fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen.

Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik,

analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level.

Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif. Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut :

1) Perumusan Masalah

Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.

2) Tujuan Eksperimen

Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.

3) Memilih Karakteristik Kualitas (Variabel Tak Bebas)

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselidiki.

4) Memilih Faktor yang Berpengaruh Terhadap Karakteristik Kualitas (Variabel Bebas)

Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang

bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselediki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah brainstorming, flowcharting, dan cause effect diagram.

#### 5) Mengidentifikasi Faktor Terkontrol dan Tidak Terkontrol

Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (control factors) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (noise factors) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.

#### 6) Penentuan Jumlah Level dan Nilai Faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan ongkos percobaan.

#### 7) Identifikasi Interaksi Antar Faktor Kontrol

Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada main effect (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal

mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.

8) Perhitungan Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom/DOF*)

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

9) Pemilihan Orthogonal Array (OA)

Dalam memilih jenis Orthogonal Array harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati yaitu:

- a) Jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis OA untuk level dua faktor.
- b) Jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis OA untuk level tiga faktor.
- c) Jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: pilih yang mana yang dominan dan gunakan *Dummy Treatment*, Metode kombinasi, atau metode *Idle Column*.
- d) Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *merging column*.

10) Penugasan Untuk Faktor dan Interaksinya pada Orthogonal Array

Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada orthogonal array terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi.

Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.

#### 11) Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

#### 12) Analisis Data

Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu lay out tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.

Langkah – langkah analisa data taguchi (Yang & El-haik, 2003) :

##### a) Perhitungan SNR Setiap Eksperimen

##### 1) Perhitungan *Mean* ( $\mu$ )

Perhitungan nilai rata – rata dari data yang didapat.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots (2.6)$$

##### 2) Perhitungan Standar Deviasi

Simpangan baku untuk pengukuran pada kelompok data yang tersebar dari nilai rata-rata.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

3) Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Suatu ukuran untuk menentukan kualitas dan dalam penelitian menggunakan kualitas *small the better*.

$$\eta = -10\log_{10}[\mu^2 + \sigma^2] \dots \dots \dots (2.8)$$

## 4) Perhitungan Tabel Respon

Nilai respon yang dihasilkan dari nilai *signal to noise ratio*.

$$A1 = \frac{\Sigma \text{SNR level 1 pada faktor A}}{3} \dots \dots \dots (2.9)$$

b) Pengolahan data ANOVA nilai *Signal to Noise Ratio*1) Perhitungan Jumlah Kuadrat Total atau *Sum of Square* (SS total)

Jumlah kuadrat untuk *regression* yang diperoleh dari nilai penjumlahan kuadrat.

$$SS \text{ total} = \Sigma y^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

2) Perhitungan *Sum of Square due to Mean* (Jumlah kuadrat terhadap rata-rata atau *SSmean*)

Jumlah kuadrat untuk *regression* yang diperoleh dari nilai penjumlahan kuadrat dari hasil nilai rata-rata.

$$SS_{\text{mean}} = n \times (\bar{y})^2 \dots \dots \dots (2.11)$$

3) Perhitungan Jumlah Kuadrat Faktor (*Sum of Square due to Factors* atau  $SS_A$ )

$$SS_A = ((A1)^2 \times n1) + ((A2)^2 \times n2) + ((A3)^2 \times n3) - SS_{mean} \dots\dots\dots (2.12)$$

- 4) Perhitungan *Sum of Square due to Error* (Jumlah Kuadrat karena *Error* atau *Sse*)

$$Sse = SS_{total} - SS_{mean} - SS_A - SS_B \dots\dots\dots (2.13)$$

- 5) Membuat hipotesis awal

- c) Membuat Tabel ANOVA nilai Rata – rata

- 1) Menentukan Derajat Kebebasan
- 2) Menentukan Derajat Kebebasan Total
- 3) Menghitung *Mean Sum of Square* (Rata – rata Jumlah Kuadrat)

$$MS_A = \frac{SS_A}{DFA} \dots\dots\dots (2.14)$$

- 4) Menghitung Nilai Rasio (*F-Ratio*)

$$F_A = \frac{MS_A}{MSe} \dots\dots\dots (2.15)$$

- 5) Menghitung *Pure Sum of Square* Pada Masing – Masing Faktor (*SS'*)

$$SS' \text{ faktor} = SS \text{ faktor} - (DF \text{ faktor} \times MS_e) \dots\dots\dots (2.16)$$

- 6) Menghitung *Percent Contribution (Rho%)* masing-masing faktor

$$Rho\% A = \frac{SS'A}{SST} \times 100\% \dots\dots\dots (2.17)$$

### 13) Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.

### 14) Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya dan setting parameter (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

## J. Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan oleh João Eduardo Ribeiro, Manuel Braz César, Hernâni Lopes yang berjudul “**Optimization Of Machining Parameter To Improve The Surface Quality**”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode taguchi memungkinkan dalam penelitian ini untuk menentukan parameter pemesinan. Melalui analisis nilai ditunjukkan bahwa faktor yang paling penting adalah kedalaman pemotongan radial dan interaksi antara kedalaman pemotongan aksial, yang mengarah pada meminimaliasi kekasaran permukaan.

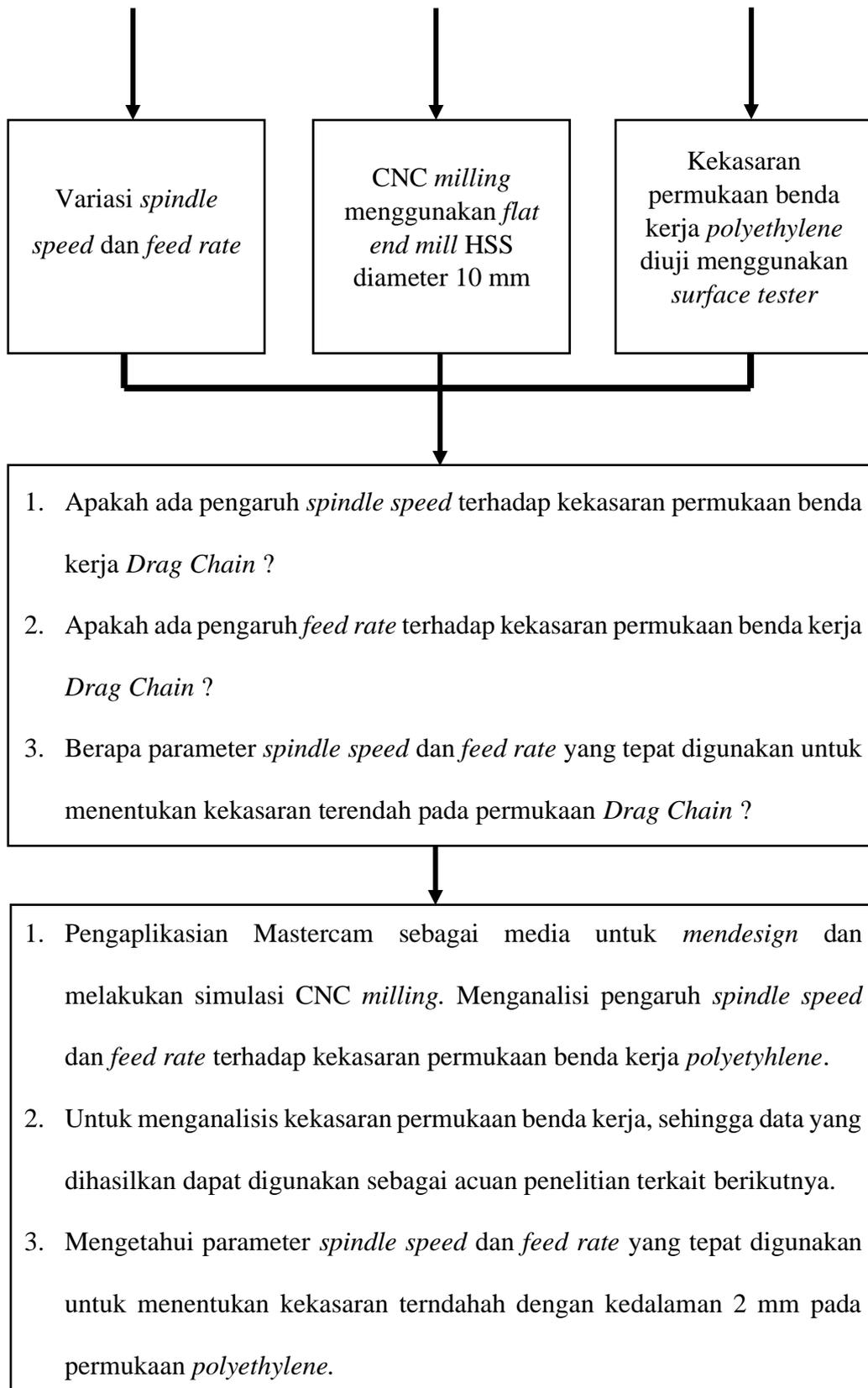
2. Penelitian yang dilakukan oleh P.P. Shirpurkar, P.D. Kamble, S.R. Bobde dan V.V. Patil yang berjudul “**Optimization of CNC Turning Process Parameters for Prediction of Surface Roughness by Taguchi Orthogonal Array**”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *nose radius* memiliki kontribusi yang signifikan dengan persentase 42,98% terhadap kekasaran permukaan benda kerja sedangkan faktor kedua yang berpengaruh yaitu *cutting speed* dengan persentase 29,37% dan faktor ketiga yaitu *feed rate* dengan persentase 6,51%.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Agus Hari Cahyono, Nely Ana Mufarida, Asmar Finali yang berjudul “**Pengaruh Variasi Kecepatan Spindel Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan *Stainless Steel* AISI 304 Pada Proses Frais Konvensional Dengan Metode Taguchi**”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan spindel mempunyai pengaruh yang berbanding terbalik terhadap nilai kekasaran permukaan yaitu semakin tinggi kecepatan spindel maka nilai kekasaran permukaan akan semakin kecil dan sebaliknya.
4. Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Irwan, Hanifah Widyastuti dan Muhammad Dzuhri M yang berjudul “**Pengaruh Kecepatan Putar Alat Potong (*Spindle Speed*) Dan Kedalaman Pemakanan (*Depth Of Cut*) Proses Milling Pada Aluminium Alloy Terhadap Kehalusan Permukaan Produk**”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil kedalaman pemakanan dengan variasi putaran spindle (*spindle speed*) dan

kecepatan gerak potong (*feed rate*) yang semakin besar akan menghasilkan nilai kekasaran yang rendah.

5. Penelitian yang dilakukan oleh Moch Yunus, Didi Suryana dan Mulyadi yang berjudul “**Analisa Parameter Kekasaran Permukaan Bahan Aluminium Jenis AI Mg Si 3.6082 DIN 1725 Pada Proses Pemesinan CNC Milling**”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan ( $R_a$ ) terbukti dipengaruhi oleh *cutting speed*, *feed rate* dan *depth of cut*.

#### **K. Kerangka Berfikir**

1. Kekasaran permukaan merupakan faktor terpenting dalam pembuatan produk. Karena kekasaran permukaan cetkan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk, faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan kekasaran yang akan diteliti adalah *spindle speed* dan *feed rate*.
2. *Roughness* didefinisikan sebagai pemakanan permukaan benda kerja yang relatif kecil dan umumnya terdiri dari pemakanan setelah dilakukan proses pengerjaan manufaktur dan ditentukan oleh faktor-faktor lain.
3. Sistem manufaktur dalam dunia industri pembuatan produk yang berkualitas tentu harus didukung dengan saran pemesinan yang memadai.
4. Pada parameter *spindle speed* dan *feed rate* berapa parameter yang tepat untuk menentukan kekasaran terendah pada permukaan benda kerja *polyethylene*.



## L. Hipotesis

Hipotesis adalah suatu jawaban yang sifatnya sementara terhadap permasalahan penelitian, sampai terbukti melalui data yang terkumpul (Arikunto, 2006). Berdasarkan teori yang telah diuraikan di atas, maka diajukan hipotesis sebagai berikut :

- 1)  $H_0$  : Tidak ada pengaruh *spindle speed* (Faktor A) terhadap kekasaran permukaan *drag chain*.  
 $H_1$  : Ada pengaruh *spindle speed* (Faktor A) terhadap kekasaran permukaan *drag chain*.
- 2)  $H_0$  : Tidak ada pengaruh *feed rate* (Faktor B) terhadap kekasaran permukaan *drag chain*.  
 $H_1$  : Ada pengaruh *feed rate* (Faktor B) terhadap kekasaran permukaan *drag chain*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Pada bagian penutup ini akan dibahas perihal kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan serta adanya saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

#### **A. Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian serta pengolahan data dengan menggunakan metode *Taguchi* adalah sebagai berikut.

1. Hasil dari penelitian pengaruh faktor A (*spindle speed*) terhadap kekasaran permukaan *drag chain* pada *Analysis of Variance* (ANOVA) nilai rata-rata sebesar 27,31 % dengan nilai error 20,11 % sedangkan pada *Analysis of Variance* (ANOVA) *Signal to Noise Ratio* nilai persen kontribusi sebesar 30,15 % dengan nilai *error* 10,89 %.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan faktor yang memiliki pengaruh paling besar terhadap tingkat kekasaran pada *drag chain* yaitu faktor B (*feed rate*) dengan nilai persen kontribusi sebesar 52,58 % pada *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan nilai *error* 20,11 % sedangkan pada *Analysis of Variance* (ANOVA) *Signal to Noise Ratio* sebesar 58,96 % dengan nilai *error* 10,89 %.
3. Parameter *Spindle Speed* dan *feed rate* yang tepat digunakan untuk menentukan nilai kekasaran permukaan terendah pada permukaan *drag chain* yang berbahan *polyethylene* menggunakan *spindle speed* 4000

rpm dan *feed rate* 800 mm/menit yang menghasilkan nilai rata-rata kekasaran permukaan spesimen 0,58  $\mu\text{m}$ . Hasil analisis data kekasaran permukaan *polyethylene* dapat digunakan sebagai rujukan atau referensi untuk bahan penelitian yang sejenis.

## **B. Saran**

Berikut ini saran yang dapat diberikan untuk penelitian serupa selanjutnya.

1. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya perlu diperhatikan kelengkapan peralatan yang akan digunakan saat penelitian.
2. Sebaiknya mahasiswa diberikan kemudahan akses dalam peminjaman peralatan dalam laboratorium pada saat penelitian.
3. Sebaiknya ditambahkan peralatan laboratorium CNC milling yang menunjang penelitian dan produksi.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abdillah, H. (2021). *Sejarah Singkat CAD (Computer Aided Design)*. Retrieved February 16, 2021, from <https://hamidabdillah.wixsite.com/profile/single-post/2017/04/12/sejarah-singkat-cad-computer-aided-design>
- Arikunto, Suharsimi. (2006). *Penelitian suatu pendekatan praktek*. Rineka Cipta.
- Atedi, B., & Agustono, D. (2015). Standar Kekasaran Permukaan Bidang Pada Yoke Flange Menurut ISO R.1302 dan DIN4768 Dengan Memperhatikan Nilai Ketidakpastiannya. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 6(2), 63–69. <https://doi.org/10.23917/mesin.v6i2.2897>
- Autodesk. (2020). *CAD Software | 2D And 3D Computer-Aided Design | Autodesk*. <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>
- BP Batam. (2017). *Napak Tilas Pembangunan Batam dalam Sejarah Badan Pengusahaan Batam*. <https://bpbatam.go.id/pages/read/44-sejarah>
- Davies, R. (2015). Industry 4.0. Digitalisation for productivity and growth. *European Parliamentary Research Service, September, 10*.
- Disas, E. P., Indonesia, U. P., & Barat, J. (2018). Link and Match sebagai Kebijakan Pendidikan Kejuruan. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 18(2), 231–242.
- Dtengineeringteaching. (2018). *Design & Technology and Engineering Teaching Resources*. <https://dtengineeringteaching.co.uk/2018/10/26/dt-engineering-blog-amazing-vintage-photos-that-show-how-people-worked-before-autocad/>
- Dykes, A. (2021). *CAD/CAM Definition & Meaning | What is CAD/CAM?* Retrieved March 31, 2021, from <https://www.webopedia.com/definitions/cad-cam/>
- Esa. (2020). *Ini 26 Kawasan Industri di Kota Batam yang Dijadikan Sarana*