

TUGAS AKHIR - TM 184835

# ANALISIS GAYA POTONG PADA PEMBUBUTAN BAJA AISI 1018 DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

ANZELMUS MARCELLIUS HARTANTO PURNOMO  
NRP 02111640000139

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA



**TUGAS AKHIR - TM 184835**

# **ANALISIS GAYA POTONG PADA PEMBUBUTAN BAJA AISI 1018 DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**ANZELMUS MARCELLIUS HARTANTO PURNOMO**  
NRP 02111640000139

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri dan  
Rekayasa Sistem Institut Teknologi  
Sepuluh Nopember  
Surabaya 2021



**FINAL PROJECT - TM 184835**

**ANALYSIS OF CUTTING FORCES ON  
TURNING PROCESS AISI 1018 USING FINITE  
ELEMENT METHOD**

**ANZELMUS MARCELLIUS HARTANTO PURNOMO  
NRP 02111640000139**

Advisor  
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology and System  
Engineering Sepuluh Nopember of Institute  
Technology  
Surabaya 2021

*ANALISIS GAYA POTONG PADA PEMBUBUTAN BAJA  
AISI 1018 DENGAN METODE ELEMEN HINGGA*




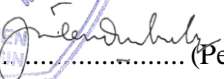
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ANZELMUS MARCELLIUS HARTANTO PURNOMO**  
Nrp. 02111640000139

Disetujui oleh Pembimbing dan Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA .....  ..... (Pembimbing)
2. Mohammad Khoirul Effendi,  
S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. ....  ..... (Penguji I)
3. Dr.Eng. Yohanes, S.T., M.Sc .....  ..... (Penguji II)
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. ....  ..... (Penguji III)

**SURABAYA**  
**Maret 2021**

# **ANALISIS GAYA POTONG PADA PEMBUBUTAN BAJA AISI 1018 DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

Nama Mahasiswa : Anzelmus Marcellius H.P.  
NRP : 02111640000139  
Departemen : Mechanical Engineering  
FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Sigit  
Pramono, DEA

## **ABSTRAK**

*Proses pembubutan merupakan pemakanan benda kerja yang berputar oleh pahat yang bergerak secara translasi atau sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja . Terdapat beberapa parameter dalam proses pembubutan yang akan mempengaruhi hasil akhir dari benda kerja. Salah satu indikator untuk menganalisa hasil pemotongan adalah besar gaya potong yang dihasilkan. Penulis berinovasi untuk melakukan uji simulasi numerik dengan metode elemen hingga sebagai perbandingan hasil dari hubungan parameter – parameter pemotongan terhadap hasil gaya potong yang dihasilkan. Rumusan masalah penelitian yaitu: bagaimana pengaruh parameter – parameter dalam proses pemotongan terhadap besar gaya potong yang akan dihasilkan, dan bagaimana distribusi gaya potong untuk tiap sumbu aksial, tangensial, dan juga radial.*

*Dalam penelitian ini simulasi pemotongan benda kerja oleh pahat ini dirancang dengan melihat komponen-komponen penting dalam proses pemotongan dalam sistem bubut. Perancangan tersebut menggunakan SOLIDWORKS 2019. Kemudian, hasil perancangan disimulasikan menggunakan metode elemen hingga dengan software ANSYS 18.0: Explicit Dynamic. Metode meshing yang dilakukan yaitu dengan uniform sebesar 1 mm. Penentuan geometri benda kerja*

*adalah silinder berdiameter 24 mm dan tinggi 20 mm dengan menggunakan material AISI 1018 dan penentuan geometri pahat menggunakan single point cutting tool dengan menggunakan material High Speed Steel. Tahapan pada penelitian ini adalah proses pemodelan 3D benda kerja dan pahat, simulasi menggunakan explicit dynamic pada software elemen hingga, meshing, set up, dan analisa hasil. Hasil yang akan dianalisa pada penelitian ini adalah hasil besar gaya potong yang akan dihasilkan. Dari gaya yang didapat melalui simulasi maka pengaruh parameter pembubutan seperti rake angle dan feed rate terhadap gaya potong yang dihasilkan dapat dibandingkan dan dianalisa.*

*Dari penelitian kali ini didapatkan bahwa rake angle dan feed rate memengaruhi gaya potong yang dilakukan selama proses turning. Semakin besar rake angle yang digunakan maka gaya potong yang terjadi dalam proses turning akan semakin kecil. Sebaliknya, semakin besar feed rate yang digunakan maka gaya potong yang terjadi dalam proses turning akan semakin besar. Selain itu didapatkan juga besar gaya potong pada sumbu aksial adalah yang terbesar, diikuti dengan gaya tangensial, dan gaya potong terkecil terjadi pada sumbu radial. Error yang didapat dari perbandingan sesuai hasil simulasi dengan hasil eksperimen kurang dari 20%. Besar error ini dapat diakibatkan oleh beberapa factor, antara lain yaitu : perbedaan penentuan titik gaya potong yang diamati, mechanical properties dari pahat yang berbeda, dan bias juga karena penggunaan meshing yang kurang tepat.*

***Kata kunci: Orthogonal Turning, Rake Angle, Feed Rate, Finite Element***

# ***ANALYSIS OF CUTTING FORCES ON TURNING PROCESS AISI 1018 USING FINITE ELEMENT METHOD***

Student Name : Anzelmus Marcellius H.P.  
Student ID : 02111640000139  
Department : Mechanical Engineering  
FTIRS-ITS  
Academic Advisor : Dr. Ir. Agus Sigit  
Pramono, DEA

## ***ABSTRACT***

*The turning process is the infusion of a rotating workpiece by a tool that moves in translation or is parallel to the rotating axis of the workpiece. There are several parameters in the turning process that will affect the final result of the workpiece. One of the indicators to analyze the cutting results is the amount of cutting force generated. The author innovates to perform numerical simulation tests with the finite element method as a comparison of the results of the relationship between cutting parameters and the resulting cutting force. The formulation of the research problem is: how the parameters in the cutting process affect the amount of cutting force to be generated, and how is the distribution of the cutting forces for each axial, tangential, and radial axis.*

*In this study, the simulation of cutting the workpiece by the chisel is designed by looking at the important components in the cutting process in the lathe system. The design uses SOLIDWORKS 2019. Then, the design results are simulated using the finite element method with ANSYS 18.0: Explicit Dynamic software. The meshing method used is a uniform of 1 mm. The determination of the workpiece geometry is a cylinder with a diameter of 24 mm and a height of 20 mm using AISI 1018 material and the determination of the geometry of the tool using a single point cutting tool using High Speed Steel*

*material. The stages in this study are the 3D modeling process of workpieces and chisels, simulation using explicit dynamic in finite element software, meshing, set up, and analysis of results. The results to be analyzed in this study are the results of the large cutting force that will be generated. From the force obtained through the simulation, the effect of turning parameters such as rake angle and feed rate on the resulting cutting force can be compared and analyzed.*

*From this research, it was found that the rake angle and feed rate affect the cutting force during the turning process. The greater the rake angle used, the smaller the cutting force that occurs in the turning process. Conversely, the greater the feed rate used, the greater the cutting force that occurs in the turning process. In addition, it is also found that the cutting force on the axial axis is the largest, followed by the tangential force, and the smallest cutting force occurs on the radial axis. The error obtained from the comparison according to the simulation results with experimental results is less than 20%. The magnitude of this error can be caused by several factors, including: differences in the determination of the observed cutting force points, the mechanical properties of different tools, and the bias is also due to the use of inaccurate meshing.*

***Key words: Orthogonal Turning, Rake Angle, Feed Rate, Finite Element***



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberi dukungan, semangat, doa dan nasihat untuk penulis
2. Adik penulis beserta keluarga yang selalu memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan baik.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, terima kasih atas motivasi, dukungan dan bimbingan dengan sangat sabar selama ini sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Saudara Samuel, Pieter, Kafi, Fatah, Septian, Iqbal, Budi, Aditya dan Rizal yang sudah menjadi teman berdiskusi terkait tugas akhir penulis.
5. Saudaraku M59 yang selalu menemani di saat menempuh masa- masa perkuliahan dan membuat banyak cerita.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Akhir kata, penulis berharap agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangan bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Maret 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Proses Permesinan Konvensional .....	5
2.2 <i>Turning</i> (bubut) .....	8
2.2.1 Jenis Jenis Mesin Bubut Berdasarkan Dimensinya....	11
2.2.2 Jenis Jenis Mesin Bubut Berdasarkan Prinsip Kerjanya .....	14
2.2.3 Jenis Jenis Pemotongan yang dapat dilakukan pada Mesin Bubut .....	19
2.2.4 <i>Sinle Point Cutting Tool</i> .....	21
2.3 Elemen Dasar Pemotongan pada Proses Bubut .....	22
2.4 Mekanika Pemotongan Logam ( <i>Mechanics of Metal Cutting</i> ) .....	27
2.4.1 <i>Cutting Ratio</i> .....	28
2.4.2 <i>Shear Strain</i> .....	28
2.4.3 <i>Shear Plane Angle</i> .....	30
2.4.4 <i>Orthogonal Cutting</i> .....	31
2.4.5 <i>Rake Angle</i> .....	34
2.5 <i>Strain Rate</i> .....	34
2.6 Formasi Geram ( <i>Chips Formation</i> ) .....	38
2.7 <i>Finite Element Method</i> (Metode Elemen Hingga) .....	43
2.8 Permodelan <i>Johnson-Cook</i> .....	46
2.9 Penelitian Terdahulu .....	47

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	68
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	68
3.2 Observasi .....	69
3.3 Perumusan Permasalahan.....	69
3.4 Studi Literatur .....	70
3.5 Dimensi dan Material .....	70
3.6 Penentuan Besar <i>Cutting Speed</i> , <i>Feed Rate</i> dan <i>Depth of Cut</i> .....	71
3.7 Diagram Alir Simulasi ANSYS .....	72
3.8 Simulasi <i>Orthogonal Cutting</i> dengan ANSYS .....	74
3.9 Analisis Simulasi .....	81
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	83
4.1 Perbandingan Hasil Gaya Potong Uji Simulasi Dengan Uji Eksperimen Proses Pembuatan AISI 1045.....	83
4.2 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Terhadap Variasi <i>Rake Angle</i> .....	87
4.2.1 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada Arah Normal (X) terhadap Variasi <i>Rake Angle</i> .....	88
4.2.2 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada Arah Tangensial (Y) terhadap Variasi <i>Rake Angle</i> .....	90
4.2.3 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada Arah Radial (Z) terhadap Variasi <i>Rake Angle</i> .....	92
4.3 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Terhadap Variasi <i>Feed Rate</i> (Laju Makan).....	94
4.3.1 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada Arah Normal (X) terhadap Variasi Laju Makan.....	94
4.3.2 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada Arah Tangensial (Y) terhadap Variasi Laju Makan.....	97
4.3.3 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada Arah Radial (Z) terhadap Variasi Laju Makan.....	99
4.4 Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong Pada Sumbu Akasial, Tangensial dan Juga Radial .....	102

4.4.1	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Aksial, Tangensial, dan juga Radial dengan <i>Rake Angle</i> .....	102
4.4.2	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Aksial, Tangensial, dan juga Radial dengan <i>Rake Angle</i> 10° .....	104
4.4.3	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Aksial, Tangensial, dan juga Radial dengan <i>Rake Angle</i> 18° .....	106
4.5	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong Pada Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi.....	108
4.5.1	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Aksial Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi dengan Variasi <i>Feed Rate</i> .....	109
4.5.2	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Tangensial Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi dengan Variasi <i>Feed Rate</i> .....	111
4.5.3	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Radial Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi dengan Variasi <i>Feed Rate</i> .....	113
4.5.4	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Aksial Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi dengan Variasi <i>Rake Angle</i> .....	115
4.5.5	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Tangensial Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi dengan Variasi <i>Rake Angle</i> .....	118
4.5.6	Analisa Perbandingan Besar Gaya Potong pada Sumbu Radial Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi dengan Variasi <i>Rake Angle</i> .....	120
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		123
5.1	Kesimpulan .....	123
5.2	Saran .....	124
DAFTAR PUSTAKA .....		xvi
LAMPIRAN .....		xviii
BIODATA PENULIS .....		xix

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi proses permesinan konvensional menurut gerakan potong dan gerakan makan perkakas potong.....	7
Gambar 2.2 Ilustrasi proses bubut .....	9
Gambar 2.3 Mesin bubut (lathe) .....	10
Gambar 2.4 <i>Portable lathe</i> .....	12
Gambar 2.5 <i>Medium Lathe</i> .....	12
Gambar 2.6 <i>Standart Lathe</i> .....	13
Gambar 2.7 <i>Long Bad Lathe</i> .....	14
Gambar 2.8 <i>Centre Lathe</i> .....	14
Gambar 2.9 <i>Belt Lathe</i> .....	15
Gambar 2.10 <i>Vertical Lathe</i> .....	16
Gambar 2.11 <i>Facing Lathe</i> .....	16
Gambar 2.12 <i>Turet Lathe</i> .....	17
Gambar 2.13 <i>Sadle Turet Lathe</i> .....	18
Gambar 2.14 <i>Vertical Turet Machine</i> .....	19
Gambar 2.15 Jenis jenis pemotongan yang dapat dilakukan pada mesin <i>lathe</i> .....	19
Gambar 2.16 <i>Single Point Cutting Tool</i> .....	22
Gambar 2.17 Ilustrasi beberapa parameter pada proses pembubutan .....	23
Gambar 2.18 Skematis proses <i>turning</i> .....	25
Gambar 2.19 Skematis proses pemotongan logam .....	27
Gambar 2.20 Ilustrasi pemotongan <i>orthogonal</i> .....	28
Gambar 2.21 (a) Ilustrasi formasi geram dari pemotongan, (b) diagram kecepatan hubungan angular dengan ketiga kecepatan dalam zona pemotongan.....	29
Gambar 2.22 <i>Shear Plane Angle</i> .....	30
Gambar 2.23 <i>Orthogonal Cutting</i> .....	31
Gambar 2.24 Komponen Ortogonal dari Gaya Potong .....	32
Gambar 2.25 Gaya Potong dalam berbagai sudut dan arah.....	32
Gambar 2.26 <i>Positive Rake Angle</i> .....	34
Gambar 2.27 <i>Continous Chips</i> .....	40
Gambar 2.28 <i>Built-Up Chips</i> .....	41

Gambar 2.29 <i>Serrated Chips</i> .....	42
Gambar 2.30 <i>Discontinuous Chips</i> .....	43
Gambar 2.31 Lathe Set Up .....	48
Gambar 2.32 Variasi gaya potong dari <i>feed rate</i> dengan <i>rake angle</i> sebesar $0^0$ .....	50
Gambar 2.33 Variasi gaya potong dari <i>feed rate</i> dengan <i>rake angle</i> sebesar $10^0$ .....	50
Gambar 2.34 Variasi gaya potong dari <i>feed rate</i> dengan <i>rake angle</i> sebesar $18^0$ .....	51
Gambar 2.35 Finite Element Model dari pembubutan orthogonal hardened steel .....	53
Gambar 2.36 Bentuk geram pada dua kecepatan yang berbeda (a) $V = 150\text{m/min}$ dan (b) $V = 750\text{ m/min}$ .....	54
Gambar 2.37 Distribusi tegangan distribusi pada dua kecepatan yang berbeda (a) $V = 150\text{m/min}$ dan (b) $V = 750\text{ m/min}$ .....	55
Gambar 2.38 Machining Forces pada dua kecepatan yang berbeda .....	55
Gambar 2.39 Bentuk geram pada dua kedalaman potong yang berbeda (a) $d = 5\text{ }\mu\text{m}$ dan (b) $d = 20\text{ }\mu\text{m}$ .....	56
Gambar 2.40 Distribusi tegangan hidrostatik pada dua kedalaman potong yang berbeda(a) $d = 5\text{ }\mu\text{m}$ dan (b) $d = 20\text{ }\mu\text{m}$ .....	56
Gambar 2.41 Machining Forces pada dua kedalaman potong yang berbeda .....	57
Gambar 2.42 Bentuk geram pada dua , tool-tip radius yang berbeda(a) tool-tip radius = $5\text{ }\mu\text{m}$ dan (b) ,tool-tip radius = $20\text{ }\mu\text{m}$ .....	57
Gambar 2.43 Distribusi tegangan hidrostatik pada dua tool-tip radius yang berbeda(a) tool-tip radius = $5\text{ }\mu\text{m}$ dan (b) ,tool-tip radius = $20\mu\text{m}$ .....	58
Gambar 2.44 Machining Forces pada dua tool-tip radius yang berbeda.....	58
Gambar 2.45 Skema dari rancangan eksperimen.....	62
Gambar 2.46 Hubungan temperatur dengan kedalaman potongan pada variasi kecepatan potong .....	63
Gambar 2.47 Model dari pahat .....	64

Gambar 2.48 Distribusi temperatur pada pahat .....	64
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	68
Gambar 3. 2 Desain pahat <i>Single Point Cutting Tool</i> .....	70
Gambar 3.3 Desain benda kerja .....	71
Gambar 3.4 Diagram alir simulasi ANSYS .....	72
Gambar 3.5 Impor model desain ke ANSYS .....	74
Gambar 3.6 <i>Cartesian Coordinate System</i> pada simulasi ini ...	76
Gambar 3.7 <i>Cylindrical Coordinate System</i> pada simulasi ini..	76
Gambar 3.8 <i>Coordinate System</i> simulasi ini pada ANSYS .....	77
Gambar 3.9 Penentuan <i>contacts</i> .....	77
Gambar 3.10 <i>Connections</i> pada penelitian ini.....	78
Gambar 3.11 <i>Mesh</i> pada benda kerja .....	78
Gambar 3.12 <i>Mesh</i> pada pahat .....	79
Gambar 3.13 <i>Element Quality</i> pada hasil <i>Meshing</i> .....	79
Gambar 3.14 <i>Displacement</i> pada pahat.....	80
Gambar 3.14 <i>Displacement</i> pada benda kerja .....	80
Gambar 3.16 <i>Displacement</i> pada ANSYS untuk penelitian ini ..	80
Gambar 3.17 <i>Analysis Settings</i> pada ANSYS.....	81
Gambar 3.18 <i>Solution</i> pada penelitian ini .....	81
Gambar 3.19 <i>Output Force Reaction</i> Pada Sumbu x ( feed rate 0,156 mm/rev dan <i>rake angle</i> 0°) .....	82
Gambar 3.20 <i>Output Force Reaction</i> Pada Sumbu y ( feed rate 0,156 mm/rev dan <i>rake angle</i> 0°) .....	82
Gambar 3.21 <i>Output Force Reaction</i> Pada Sumbu z ( feed rate 0,156 mm/rev dan <i>rake angle</i> 0°) .....	82
Gambar 4.1 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah normal x dengan variasi <i>rake angle</i> .....	89
Gambar 4.2 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah tangensial y dengan variasi <i>rake angle</i> .....	91
Gambar 4.3 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah radial z dengan variasi <i>rake angle</i> .....	93
Gambar 4.4 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah normal x terhadap variasi laju gerak makan.....	96
Gambar 4.5 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah tangensial y terhadap variasi laju gerak makan .....	98



Gambar 4.6 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah radial z terhadap variasi laju gerak makan .....	101
Gambar 4.7 Grafik perbandingan gaya potong maksimum pada tiap sumbu dengan <i>rake angle</i> 0° .....	103
Gambar 4.8 Grafik perbandingan gaya potong maksimum pada tiap sumbu dengan <i>rake angle</i> 10° .....	106
Gambar 4.9 Grafik perbandingan gaya potong maksimum pada tiap sumbu dengan <i>rake angle</i> 18° .....	108
Gambar 4.10 Grafik perbandingan Fx maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan <i>rake angle</i> 0° .....	112
Gambar 4.11 Grafik perbandingan Fy maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan <i>rake angle</i> 0° .....	112
Gambar 4.12 Grafik perbandingan Fz maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan <i>rake angle</i> 0° .....	114
Gambar 4.13 Grafik perbandingan Fx maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan <i>feed rate</i> 0,122 mm/s .....	117
Gambar 4.14 Grafik perbandingan Fy maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan <i>feed rate</i> 0,122 mm/s .....	119
Gambar 4.15 Grafik perbandingan Fz maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan <i>feed rate</i> 0,122 mm/s..	121

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan dan parameter dari proses bubut .....	26
Tabel 2.2 Komposisi kimia dari AISI 1018.....	48
Tabel 2.3 Hasil Eksperimen .....	49
Tabel 2.4 Properti mekanika dan fisik dari benda kerja dan material pahat.....	53
Tabel 2.5 Nilai dari beberapa parameter dalam proses pemotongan .....	62
Tabel 2.6 Nilai dari beberapa parameter menggunakan HSS....	63
Tabel 2.7 Perhitungan gaya $F_c$ dan $F_t$ .....	65
Tabel 2.8 Perhitungan tegangan pada pahat .....	65
Tabel 2.9 perbandingan hasil; <i>analytical</i> dan <i>FEA result</i> .....	66
Tabel 2.10 hasil tegangan saat dikenai gaya pada pahat .....	66
Tabel 3.1 Parameter <i>input</i> yang divariasikan pada proses simulasi <i>orthogonal cutting</i> .....	72
Tabel 3.2.Data properties material standar .....	75
Tabel 3.3. Nilai dari parameter material untuk pemodelan Johnson-Cook.....	75
Tabel 4.1 Hasil gaya potong maksimum uji eksperimen .....	84
Tabel 4.2 Hasil gaya potong maksimum uji simulasi .....	84
Tabel 4.3 Perbandingan hasil gaya potong maksimum uji eksperimen dan uji simulasi .....	85
Tabel 4.4 <i>Error</i> hasil gaya potong maksimum uji eksperimen dan uji simulasi .....	85
Tabel 4.5 Gaya potong maksimum arah normal x dengan variasi <i>rake angle</i> .....	88
Tabel 4.6 Gaya potong maksimum arah tangensial y dengan variasi <i>rake angle</i> .....	90
Tabel 4.7 Gaya potong maksimum arah radial z dengan variasi <i>rake angle</i> .....	92
Tabel 4.8 Gaya potong maksimum arah normal x variasi laju gerak makan.....	95
Tabel 4.9 Gaya potong maksimum arah tangensial y variasi laju gerak makan .....	97

Tabel 4.10 Gaya potong maksimum arah radial z variasi laju gerak makan.....	100
Tabel 4.11 Gaya potong maksimum arah aksial, tangensial dan radial untuk variasi <i>feed rate</i> sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan <i>rake angle</i> sebesar $0^0$ .....	102
Tabel 4.12 Gaya potong maksimum arah aksial, tangensial dan radial untuk variasi <i>feed rate</i> sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan <i>rake angle</i> sebesar $10^0$ .....	104
Tabel 4.13 Gaya potong maksimum arah aksial, tangensial dan radial untuk variasi <i>feed rate</i> sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan <i>rake angle</i> sebesar $18^0$ .....	107
Tabel 4.14 Perbandingan $F_x$ maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi .....	109
Tabel 4.15 Perbandingan $F_y$ maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi .....	111
Tabel 4.16 Perbandingan $F_z$ maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi .....	113
Tabel 4.17 Perbandingan $F_x$ maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi, <i>feed rate</i> 0,122 mm/s .....	116
Tabel 4.18 Perbandingan $F_y$ maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi, <i>feed rate</i> 0,122 mm/s .....	118
Tabel 4.19 Perbandingan $F_y$ maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi, <i>feed rate</i> 0,122 mm/s .....	120

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada dunia manufaktur, proses pemesinan sangat berperan penting pada pembuatan serta hasil komponen suatu produk. Proses pemesinan sendiri merupakan proses proses mengurangi material dari permukaan benda kerja di mana proses tersebut akan menghasilkan geram (*chips*). Terdapat dua jenis proses permesinan yaitu *conventional machining process* dan *non conventional machining process*. Proses permesinan konvensional terdiri dari berbagai jenis beberapa diantaranya adalah *Turning Machine*, *Shapping Machine*, *Milling Machine*, dan *Drilling Machine*. *Turning* atau bubut adalah suatu proses pemakanan benda kerja yang berputar oleh pahat yang bergerak secara translasi atau sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja. Berdasarkan sumbu potongnya *Turning* terbagi menjadi *orthogonal cutting* dan *oblique cutting*. *Orthogonal cutting* adalah proses pemotongan di mana tepi pemotong tegak lurus terhadap arah kecepatan pemotongan.

Saat melakukan proses *orthogonal turning*, kualitas produksi akan menjadi baik jika dapat menentukan parameter yang tepat. Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *orthogonal cutting* yaitu *cutting speed*, *depth of cut*, *feed rate*, dan *rake angle*. Dengan menggunakan parameter yang tepat dalam suatu proses bubut akan meningkatkan *life time* dari *cutting tool* dan hasil akhir permukaan dari benda kerja yang dihasilkan. Oleh karena itu pengetahuan mengenai parameter yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *orthogonal cutting* sangat diperlukan untuk mendapatkan efisiensi maksimal pada hasil akhir benda kerja.

Upaya yang dapat dilakukan untuk menemukan hasil bubut yang baik adalah melalui analisa besar gaya potong yang dihasilkan, perbedaan nilai nilai parameter yang digunakan akan menghasilkan besar gaya potong yang berbeda pula. Melalui cara ini dapat dianalisa pengaruh dari beberapa parameter yaitu, *rake*

*angle* dan *feed rate*. Dalam proses *turning* diperlukan analisa lebih mendalam agar dapat menghemat dari segi ekonomis. Oleh karena itu, perlu untuk melakukan analisa hubungan antara parameter – parameter dalam proses *orthogonal turning* dengan hasil gaya potong yang dihasilkan. Pesatnya perkembangan teknologi, pemodelan proses pemesinan bisa dilakukan dengan uji simulasi melalui pendekatan numerik. Pendekatan ini dapat menyelesaikan pemodelan kompleks dengan akurasi yang tinggi.

Metode ini tentunya dapat digunakan untuk mengamati hasil gram dari suatu proses pembubutan dengan beberapa nilai *variable* dari tiap parameter yang berbeda. Metode numerik yang digunakan untuk menganalisa proses *orthogonal cutting* ini adalah metode elemen hingga (*finite elemen method/FEM*). FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Uji simulasi ini bisa menampilkan *output – output* seperti gaya potong, temperatur, tegangan, regangan, dan laju regangan. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai proses *orthogonal cutting*, maka dilakukan pendekatan metode elemen hingga untuk memodelkan dan menganalisa hasil gaya potong yang dihasilkan pada proses *orthogonal cutting* menggunakan beberapa variabel yang berbeda dari parameter parameter yang mempengaruhi proses pembubutan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS 18.1.

Berdasarkan dari latar belakang tersebut, penulis terdorong untuk mengambil tugas akhir tentang analisa hasil gaya potong pada proses bubut dengan metode *orthogonal cutting*. Dengan harapan penelitian ini dapat menjadi masukan untuk merencanakan *turning* yang tepat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari *rake angle* dan *feed rate* terhadap hasil gaya potong yang dihasilkan pada proses *orthogonal turning* dengan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS?
2. Bagaimana pengaruh dari *rake angle* dan *feed rate* dengan perbandingan gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu dengan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS?
3. Bagaimana perbandingan *output* hasil eksperimen dengan hasil simulasi ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material benda kerja yang digunakan adalah steel *AISI 1018*.
2. Material *cutting tool* yang digunakan adalah *High Speed Steel M2 ( HSS M2)*.
3. Jenis *cutting tool* adalah *single point cutting tool*.
4. *Rake Angle* yang digunakan sebesar  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $18^\circ$ .
5. Koefisien gesekan yang digunakan dalam simulasi sebesar 0,2 .
6. Jenis pemotongan adalah *orthogonal*.
7. Diameter benda kerja adalah 24 mm dengan panjang 20 mm.
8. Spindle Speed yang digunakan pada penelitian ini adalah 1150 rpm.
9. Variasi *feed rate* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,122 mm/putaran , 0,156 mm/putaran dan 0,215 mm/putaran.
10. *Depth of cut* yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 mm.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh dari *rake angle* dan *feed rate* terhadap hasil gaya potong yang dihasilkan pada proses *orthogonal turning* dengan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS?

2. Mengetahui pengaruh dari *rake angle* dan *feed rate* dengan perbandingan gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu dengan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS
3. Mengetahui perbandingan *output* hasil eksperimen dengan hasil simulasi ?

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu pelaku industri permesinan khususnya proses permesinan bubut dalam mempersiapkan dan meningkatkan kualitas dari hasil benda kerja.
2. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang manufaktur.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Proses Permesinan Konvensional**

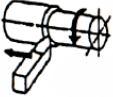




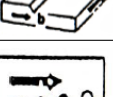

Proses pemesinan merupakan proses mengurangi material dari permukaan benda kerja di mana proses tersebut akan menghasilkan geram (*chips*). Arti yang tepat dari istilah pemesinan telah berkembang selama satu setengah abad terakhir seiring dengan kemajuan teknologi. Pada abad ke-18, kata mekanis secara sederhana berarti orang yang membangun atau memperbaiki mesin. Pekerjaan orang ini kebanyakan dilakukan dengan tangan seperti proses mengukir kayu dan penempaan tangan serta pengarsipan logam. Pada saat itu, insinyur dan pembuat mesin jenis baru seperti James Watt atau John Wilkinson juga masih mengembangkan metode permesinan secara sederhana dimana proses selalu dilakukan oleh tangan manusia. Sekitar pertengahan abad ke-19, kata-kata permesinan tradisional diciptakan saat konsep yang mereka gambarkan berkembang menjadi keberadaan yang meluas. Oleh karena itu, selama Era Mesin, pemesinan mengacu pada proses pemesinan "tradisional", seperti pembubutan, pemboran, pengeboran, penggilingan, broaching, dan penggergajian. Dalam proses pemesinan tradisional atau konvensional ini, peralatan mesin, seperti mesin bubut, mesin milling, pengepres bor, atau lainnya, digunakan dengan alat pemotong tajam untuk menghilangkan material guna mencapai geometri yang diinginkan.

Sejak munculnya teknologi baru di era pasca-Perang Dunia II, seperti pemesinan pelepasan listrik, pemesinan elektrokimia, pemesinan berkas elektron, pemesinan fotokimia, dan pemesinan ultrasonik, retronim "pemesinan konvensional" dapat digunakan



untuk membedakan teknologi klasik tersebut dari yang lebih baru. Dalam penggunaan saat ini, istilah "pemesinan" tanpa kualifikasi biasanya menyiratkan proses pemesinan tradisional. Dalam dekade 2000-an dan 2010-an, ketika manufaktur aditif berevolusi di luar laboratorium sebelumnya dan konteks pembuatan prototipe yang cepat dan mulai menjadi umum di semua fase manufaktur, istilah manufaktur subtraktif menjadi umum secara retronim dalam kontras logis dengan manufaktur aditif, mencakup dasarnya proses pemindahan apa pun yang sebelumnya juga dicakup oleh istilah pemesinan.

Ditinjau dari segi gerakan potong dan gerakan makan, proses permesinan konvensional dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu

Jenis Proses		Gerak Potong		Gerak Makan	
Bubut		↑ Putar ↓	Benda kerja m/min	↑ Lurus ↓	Pahat m/min
Gurdi			Pahat m/min		Pahat m/min
Freis			Pahat m/min		Benda kerja m/min
Gerinda rata			Pahat m/min		Benda kerja
Gerinda silindrik			Pahat m/min		Benda kerja 1 & 2
Sekrap meja (a) Sekrap (b)		↑ Lurus ↓	<u>a</u> benda kerja <u>b</u> pahat m/min	<u>a</u> pahat <u>b</u> benda kerja m/min	
Parut dan gergaji			Pahat m/min		

Gambar 2.1 Klasifikasi proses pemesinan konvensional menurut gerakan potong dan gerakan makan perkakas potong

Selain ditinjau dari segi gerakan dan segi mesin yang digunakan proses pemesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan proses terbentuknya permukaan (*surface generation*). Dalam hal ini proses tersebut dikelompokkan dalam dua garis besar proses yaitu:

- 1) Pembentukan permukaan silindrik atau konis, dan
- 2) Pembentukan permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja.

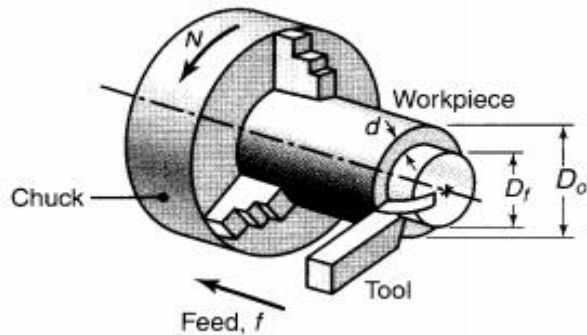
Berdasarkan gambar teknik, dimana dinyatakan spesifikasi geometrik suatu produk komponen mesin, proses frais dipilih sebagai suatu proses atau urutan proses yang digunakan untuk membuatnya. Bagi suatu tingkatan proses, ukuran obyektif ditentukan dan pahat harus membuang Sebagian material benda kerja sampai ukuran obyektif tersebut dicapai. Lima elemen dasar proses pemesinan yaitu:

- 1) Kecepatan potong (*cutting speed*);  $v$  (m/min)
- 2) Kecepatan makan (*feeding speed*);  $v_f$  (mm/rev)
- 3) Kedalaman potong (*depth of cut*);  $a$  (mm)
- 4) Waktu pemotongan (*cutting time*);  $t_c$  (min), dan
- 5) Kecepatan penghasiian geram (*rate of metal removal*);  $Z$  (cm<sup>3</sup>/min)

Elemen proses pemesinan tersebut dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan pahat serta besaran dari mesin perkakas.

## **2.2 Turning (bubut)**

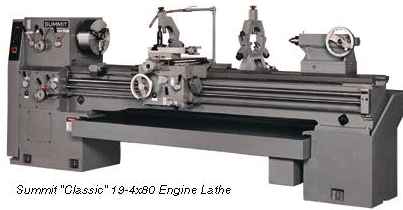
Turning atau bubut adalah proses permesinan yang biasa dilakukan pada mesin bubut dimana pahat bermata potong tunggal pada mesin bubut bergerak memakan benda kerja yang berputar. Mayoritas operasi *turning* melibatkan penggunaan pemotongan titik tunggal yang sederhana, dengan geometri alat potong yang tipikal setiap kelompok bahan benda kerja memiliki seperangkat sudut alat yang optimal, yang dikembangkan sebagian besar melalui pengalaman.



Gambar 2.2 Ilustrasi proses bubut.

Proses pembubutan adalah salah satu proses pemesinan yang menggunakan pahat dengan satu mata potong untuk membuang material dari permukaan benda kerja yang berputar. Pahat bergerak pada arah linier sejajar dengan sumbu putar benda kerja seperti yang terlihat pada gambar. Dengan mekanisme kerja seperti ini, maka Proses bubut memiliki kekhususan untuk membuat benda kerja yang berbentuk silinder.

Benda kerja di cekan dengan poros spindel dengan bantuan chuck yang memiliki rahang pada salah satu ujungnya. Poros spindel akan memutar benda kerja melalui piringan pembawa sehingga memutar roda gigi pada poros spindel. Melalui roda gigi penghubung, putaran akan disampaikan ke roda gigi poros ulir. Oleh klem berulir, putaran poros ulir tersebut diubah menjadi gerak translasi pada eretan yang membawa pahat. Akibatnya pada benda kerja akan terjadi sayatan yang berbentuk ulir.



Summit "Classic" 19-4x80 Engine Lathe

Gambar 2.3 Mesin bubut (*lathe*).

Pembubutan dapat dilakukan secara manual, dalam bentuk mesin bubut tradisional (*lathe*) yang seringkali memerlukan pengawasan terus menerus oleh operator, atau dengan menggunakan mesin bubut otomatis yang tidak memerlukan pengawasan (*computer numerical control*).

Mesin bubut logam atau bubut pengerjaan logam adalah kelas besar mesin bubut yang dirancang untuk pengerjaan material yang relatif keras dan juga dibutuhkan akurasi serta presisi. Mesin bubut awalnya dirancang untuk mesin logam; namun, dengan munculnya plastik dan bahan lainnya, dan dengan keserbagunaan yang melekat, bahan tersebut digunakan dalam berbagai aplikasi, dan berbagai bahan. Dalam lingkup pemesinan, di mana konteks yang lebih besar sudah dipahami, biasanya disebut mesin bubut, atau disebut dengan nama subtype yang lebih spesifik (bubut ruang peralatan, bubut turret, dll.). Perkakas mesin yang kaku ini menghilangkan material dari benda kerja yang berputar melalui gerakan (biasanya linier) dari berbagai perkakas pemotong, seperti bit perkakas dan mata bor.

Saat membubut, benda kerja (bagian dari bahan yang relatif kaku seperti kayu, logam, plastik, atau batu) diputar dan alat pemotong dilintasi sepanjang 1, 2, atau 3 sumbu gerakan untuk menghasilkan diameter dan kedalaman yang tepat. Pembubutan dapat dilakukan di luar silinder atau di dalam (juga dikenal sebagai boring)

untuk menghasilkan komponen tubular ke berbagai geometri.

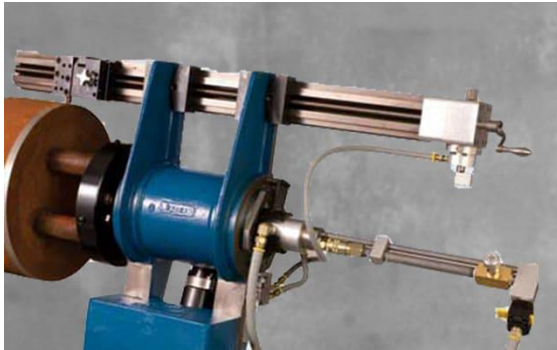
*Lathe* dianggap sebagai peralatan mesin tertua, dan dapat melakukan berbagai jenis proses permesinan seperti *straight turning, taper turning, profiling or external grooving*. Jenis proses pembubutan tersebut dapat menghasilkan berbagai bentuk material seperti benda kerja lurus, kerucut, lengkung, atau berlekuk. Secara umum, pembubutan menggunakan alat potong titik tunggal yang sederhana. Setiap kelompok bahan benda kerja memiliki sekumpulan sudut pahat optimal yang telah dikembangkan selama bertahun-tahun.

### **2.2.1 Jenis Jenis Mesin Bubut berdasarkan dimensinya**

Jenis mesin bubut pada umumnya dikategorikan menjadi 4 jenis, yaitu :

#### 1. Mesin bubut ringan / *portable lathe*

Mesin Bubut ini hanya digunakan untuk suatu pekerjaan ringan. Misalnya untuk memotong benda kecil dan keperluan rumah tangga. Dapat juga dijadikan sebagai latihan dalam mengoperasikan mesin bubut / belajar untuk mendalami profesi mesin bubut. Ukuran dari mesin ini relatif kecil dan cukup portable. Bahkan panjang dari mesin ini kurang 1200 mm / 1,2 meter. Bentuk dari mesin ini juga sangat sederhana dan mudah dalam dipahami cara menggunakannya. Dengan ukuran yang kecil, mesin ini dapat diletakkan dimanapun. Entah itu di meja ataupun di lantai tanpa memerlukan ruang / tempat yang cukup luas. Serta cukup ringan untuk diangkat oleh satu orang.



Gambar 2.4 *Portable lathe*

## 2. Mesin bubut sedang / *medium lathe*

Mesin ini jauh lebih besar dari mesin bubut ringan. Mesin ini juga dilengkapi dengan konstruksi yang lebih kompleks dan detail. Serta terdapat beberapa bagian yang mempunyai fungsi dan peralatan khusus.

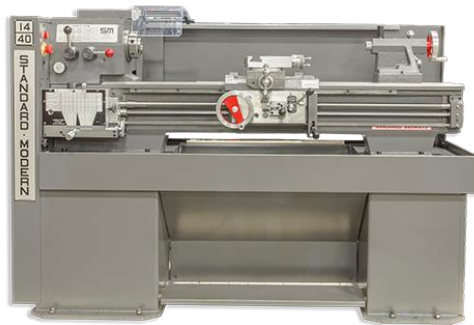
Kegunaan dari mesin ini juga jauh lebih kompleks. Bahkan dapat membunuh material dengan diameter hingga 20 cm. Dengan mesin ini juga dapat menciptakan sebuah perkakas baik untuk keperluan rumah tangga ataupun sekolah. Selain itu juga dapat digunakan untuk memperbaiki suatu perkakas.



Gambar 2.5 *Medium lathe*

### 3. Mesin bubut standart / *standart lathe*

Mesin bubut ini mempunyai ukuran dan berat yang lebih daripada portable dan medium lathe. Konstruksi dari mesin ini juga jauh lebih kompleks. Bahkan dilengkapi dengan lampu kerja, pendingin mesin, rem hingga tempat untuk menampung geram. Untuk daya yang dihasilkan oleh mesin ini jauh lebih besar. Mesin ini digunakan di sebuah industri, baik industri kecil ataupun pabrik.



Gambar 2.6 *Standart lathe*

### 4. Mesin bubut meja panjang / *long bed lathe*

Jenis mesin ini merupakan mesin bubut yang paling besar diantara mesin bubut lainnya. Bahkan pada mesin ini dilengkapi dengan roda gigi dan tingkat kecepataannya juga sangat maksimal. Mesin bubut ini khusus untuk digunakan di pabrik – pabrik besar.





Gambar 2.7 *Long bed lathe*

### **2.2.2 Jenis Jenis Mesin Bubut berdasarkan prinsip kerjanya**

Jenis mesin bubut berdasarkan prinsip kerjanya dikategorikan menjadi 7 jenis, yaitu :

#### 1. Mesin bubut center / *centre lathe*

Mesin ini tersedia dalam berbagai macam bentuk dan menjadi mesin umum dalam suatu industri. Baik industri besar maupun industri kecil. Cara Kerja dari mesin ini yaitu menggunakan sebuah poros spindle. Cara dalam pengoperasian mesin bubut yang satu ini juga cukup mudah. Poros spindle tersebut mempunyai suatu chuck yang berahang dan di satu sisi berfungsi sebagai alat untuk mencengkram material. Chuck yang berahang menjadi inti / pusat sumbu. Untuk sisi lain yang tidak berfungsi untuk mencengkram, berfungsi sebagai alat pemutar.



Gambar 2.8 *Centre Lathe*

## 2. Mesin bubut sabuk

Mesin bubut ini mempunyai ciri khas yaitu terdapat suatu bagian yang berfungsi sebagai sabuk. Walaupun terlihat seperti suatu aksesoris, tetapi sabuk tersebut mempunyai fungsi yang penting yaitu memutar roda gigi. Letak dari sabuk melingkar pada roda gigi. Serta dapat berputar dengan putaran poros yang berasal dari spindle yang telah dikaitkan dengan sabuk. Pada roda gigi terhadap suatu arahan pahat yang dapat bergerak secara memutar dengan konstan / stabil dan berfungsi untuk membentuk ulir. Jadi bagian utama dari mesin ini yaitu roda gigi yang telah dilingkari sabuk. Karena bagian tersebut menjadi kunci dalam pemotongan material dan pembuatan ulir.



Gambar 2.9 *Belt lathe*

## 3. Mesin bubut *vertical turning* dan *borring milling*

Pengoperasian pada mesin bubut ini sangat mudah dan dapat berjalan secara otomatis. Sebelum digunakan hanya perlu mengatur bentuk akhir dari potongan yang dibutuhkan. Lalu mesin ini akan bekerja sesuai dengan perintah dan hanya menunggu hasil akhirnya dan mengawasi jalannya mesin. Mesin ini menjadi mesin favorit di sebuah industri / pabrik, terutama pada pabrik

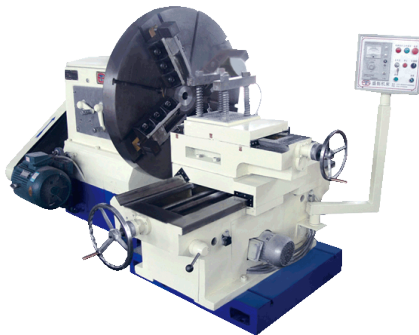
besar. Dengan mesin ini pekerjaan menjadi lebih cepat terselesaikan.



Gambar 2.10 *Vertical Lathe*

#### 4. Mesin bubut *facing lathe*

Untuk mesin bubut ini merupakan mesin bubut khusus. Karena gasnya dapat digunakan pada material yang berbentuk piringan / bentuk datar. Jadi tidak dapat digunakan pada material dengan bentuk balok / silinder. Mesin ini mempunyai suatu cakram di atas piringan yang berupa pelat dengan ukuran besar. Kalau tersebut berada di sisi dasar / bawah. Lalu untuk proses pembubutannya bekerja di dua buah sisi piringan / plate.



Gambar 2.11 *Facing Lathe*

### 5. Mesin bubut *turret*

Mesin jenis ini juga dapat bekerja secara otomatis. Tetapi cara kerja mesin ini jauh lebih sempurna dan lebih kompleks dari mesin bubut voting milling dan vertical turning. Karakter pada mesin ini dapat melakukan operasional secara berurutan. Serta dapat disetting sesuai dengan kebutuhan.

Khusus untuk mesin ini mempunyai suatu kemampuan khusus untuk mengerjakan suatu material dengan identic. Jadi mesin dapat bekerja dengan sendirinya sesuai dengan setting / pengaturan mesin secara urut. Dengan berbagi macam jenis pekerjaan yang dapat dilakukan hanya dengan 1 buah mesin. Pada mesin ini dapat memproduksi material dalam jumlah banyak dengan berbagai jenis dengan sangat efektif. Tetapi dengan mesin ini mungkin akan memerlukan waktu yang cukup lama untuk setting / melakukan persiapan dalam pengoperasian mesin. Jadi operator pada mesin ini harus terampil dan cekatan dalam bekerja.



Gambar 2.12 *Turret Lathe*

### 6. Mesin bubut *turret* sadel

Pada dasarnya mesin ini hampir sama dengan mesin bubut yang biasa dan sangat simple serta mudah dalam pengoperasiannya. Namun pada mesin ini terdapat

sebuah sadel. Sadel tersebut mempunyai fungsi khusus dalam pengaturan hingga pengoperasian material secara identik. Selain itu mesin ini dapat bergerak maju dan mundur.



Gambar 2.13 *Sadle Turet Lathe*

#### 7. Mesin bubut *vertical turret*

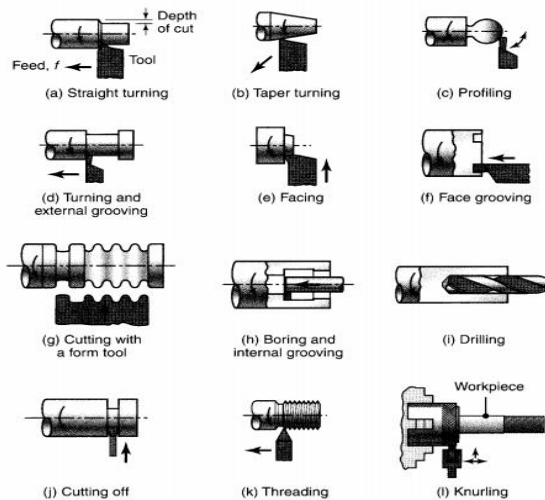
Sekilas, bentuk dari mesin ini sangat mirip dengan mesin frais bor vertikal. Ciri khas pada mesin ini yaitu dalam memegang pahatan menggunakan pengaturan turret. Mesin ini terdiri dari mana putar / pencengkram dengan posisi horizontal. Lalu sebagai tambahan, pada bagian turret dipasang di atas rel penyilang. Mesin ini minimal mempunyai satu buah kepala samping dan telah dilengkapi dengan suatu turret yang berbentuk bujur sangkar sebagai alat untuk memegang pahatan. Lalu masing – masing turret mempunyai suatu perangkat penghenti.



Gambar 2.14 *Vertical Turret Machine*

### 2.2.3 Jenis Jenis pemotongan yang dapat dilakukan pada mesin bubut

Jenis pemotongan yang dapat dilakukan pada mesin bubut, yaitu



Gambar 2.15 Jenis jenis pemotongan yang dapat dilakukan pada mesin *lathe*

Tiap tiap jenis pemotongan memiliki fungsi yang berbeda, yaitu

#### 1. *Turning*

Untuk menghasilkan benda kerja lurus, kerucut, melengkung, atau berlekuk (dapat lihat pada Gambar 2.15 a sampai d), seperti poros, spindel, dan pin.

#### 2. *Facing*

Untuk menghasilkan permukaan datar pada ujung bagian dan tegak lurus terhadapnya sumbu (Gambar 2.15.e), berguna untuk bagian yang dirakit dengan komponen lain. Alur muka menghasilkan alur untuk aplikasi seperti *O-ring seats* (Gambar 2.15 f).

#### 3. *Cutting with form tools*

Untuk menghasilkan berbagai bentuk axisymmetric untuk tujuan fungsional atau estetika (Gambar 2.15 g).

#### 4. *Boring*

Untuk memperbesar lubang atau rongga silinder yang dibuat dengan proses sebelumnya atau ke menghasilkan alur internal melingkar (Gambar 2.15 h).

#### 5. *Drilling*

Untuk menghasilkan lubang (Gambar 2.15 i), yang dapat diikuti dengan pengeboran untuk meningkatkan akurasi dimensi dan permukaan akhir.

#### 6. *Parting*

Juga disebut memotong, untuk memotong sepotong dari ujung suatu bagian, seperti yang dilakukan di produksi *slugs* atau blanko untuk pemrosesan tambahan menjadi produk diskrit (Gambar 2.15 j).

#### 7. *Threading*

Untuk menghasilkan utas eksternal atau internal (Gambar 2.15 k).

#### 8. *Knurling*

Untuk menghasilkan kekasaran berbentuk teratur pada permukaan silinder, seperti pada membuat kenop dan pegangan (Gambar 2.15 l)

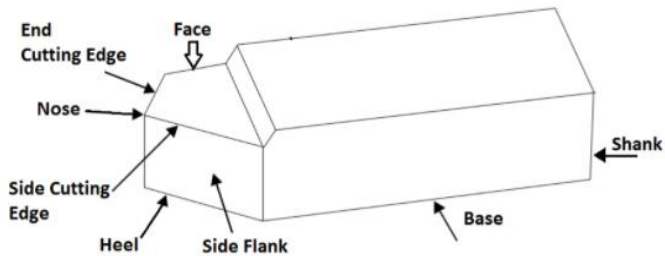
### **2.2.4 Single Point Cutting Tool**

Pahat bubut merupakan alat potong yang digunakan untuk menyayat benda kerja yang dilaksanakan pada mesin bubut. Pahat bubut dipasang di dalam rumah pahat (tool post) pada mesin bubut. Ada berbagai jenis material yang biasanya digunakan untuk membuat pahat bubut. Material alat potong yang ideal harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- 1) Lebih keras 30% sampai 50% daripada material benda kerja yang dipotong.
- 2) Memiliki ketahanan aus yang tinggi.
- 3) Memiliki kekerasan panas (hot hardness) yang tinggi.
- 4) Tahan terhadap kejutan termal
- 5) Tahan terhadap tumbukan (impact).
- 6) Tidak bereaksi secara kimia dengan material benda kerja dan cairan pendingin.
- 7) Murah dan mudah dalam pembuatannya.

Jenis pahat yang umum digunakan pada proses pembubutan adalah *single point cutting tool*. Pahat ini hanya terdiri dari satu *cutting edge* utama yang dapat melakukan tindakan penghilangan material dalam satu waktu dalam satu lintasan. Perlu dicatat bahwa pada pahat berbasis sisipan, beberapa tepi tajam dapat muncul dalam satu pahat. Namun, hanya satu *cutting edge* yang dapat melakukan tindakan pemindahan material pada satu waktu.



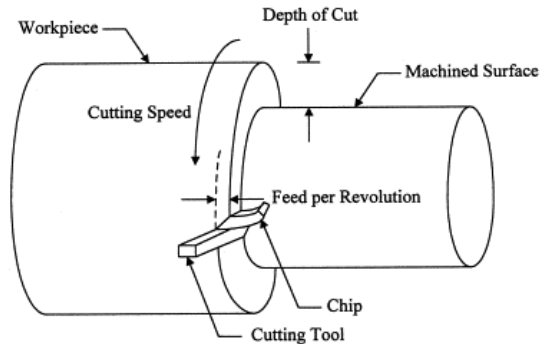


Gambar 2.16 *Single Point Cutting Tool*

Keuntungan utama dari penggunaan pahat ini adalah desain dan fabrikasi mudah serta alat ini harganya sedikit lebih murah. Kerugian utamanya adalah ada sedikit tingkat keausan pahat yang tinggi, umur alat lebih pendek, tingkat penghilangan logam rendah dan produktifitas rendah.

### 2.3 Elemen dasar pemotongan pada proses bubut

Elemen – elemen pada dasar pemotongan pada proses bubut dapat diketahui dengan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar teknik, di mana di dalam gambar teknik dinyatakan spesifikasi geometrik suatu produk komponen mesin yang di gambar. setelah itu harus dipilih suatu proses atau urutan proses yang digunakan untuk membuatnya. Salah satu cara atau prosesnya adalah dengan bubut, pengerjaan produk, komponen mesin, dan alat – alat menggunakan mesin bubut akan ditemui dalam setiap perencanaan proses permesinan.



Gambar 2.17 Ilustrasi beberapa parameter pada proses pembubutan

untuk itu perlu kita pahami lima elemen dasar permesinan bubut, yaitu :

1) Kecepatan potong (*cutting speed*)

Kecepatan potong adalah panjang ukuran lilitan pahat terhadap benda kerja atau dapat juga disamakan dengan panjang geram yang terpotong dalam ukuran meter yang diperkirakan apabila benda kerja berputar selama satu menit. Secara skematis, kecepatan pada permukaan benda kerja dapat dianggap sebagai kecepatan tangensial pada antarmuka pemotong-pahat. Dalam pembubutan dan pemboran, permukaan dapat ditentukan di kedua sisi kedalaman potongan, yaitu, permukaan awal atau permukaan akhir. Persamaan

Akan ada kecepatan potong optimal untuk setiap material dan set kondisi pemesinan, dan kecepatan spindel (RPM) dapat dihitung dari kecepatan ini. Faktor yang mempengaruhi perhitungan kecepatan potong adalah: Bahan yang sedang dikerjakan (baja, kuningan, baja perkakas, plastik, kayu). Bahan pemotong terbuat

dari (Baja Karbon Tinggi, Baja Kecepatan Tinggi (HSS), Karbida, Keramik, dan Perkakas Berlian) serta umur ekonomis pemotong (biaya untuk memperbaiki atau membeli baru, dibandingkan dengan jumlah suku cadang yang diproduksi)

## 2) Kecepatan makan (*feeding speed*)

Kecepatan makan adalah kecepatan di mana pemotong bergerak memakan, yaitu maju terhadap benda kerja. Ini dinyatakan dalam satuan jarak per revolusi untuk *turning* dan *boring* (biasanya inci per revolusi [ipr] atau milimeter per revolusi).

Kecepatan makan tergantung pada: Jenis perkakas (bor kecil atau bor besar, kecepatan tinggi atau karbida, boxtool atau recess, perkakas bentuk tipis atau perkakas lebar, knurl geser atau knurl turret straddle); Permukaan akhir yang diinginkan; Daya tersedia di spindel (untuk mencegah pemotong atau benda kerja macet); Kekakuan mesin dan pengaturan perkakas (kemampuan untuk menahan getaran atau obrolan); Kekuatan benda kerja (laju umpan tinggi akan meruntuhkan pipa dinding tipis); Karakteristik material yang dipotong; aliran chip tergantung pada jenis material dan kecepatan makan.

## 3) Kedalaman potong (*depth of cut*)

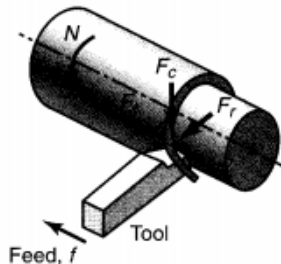
Kecepatan potong dan laju umpan digabungkan dengan kedalaman potong untuk menentukan laju pembuangan material, yaitu volume material benda kerja (logam, kayu, plastik, dll.) Yang dapat dibuang per satuan waktu.

4) Waktu pemotongan (*cutting time*)

Kecepatan potong adalah kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang/waktu (meter/menit atau feet/menit).

5) Kecepatan penghasilan geram (*rate of metal removal*)

Kecepatan penghasil geram adalah jumlah material yang dibuang per unit waktu (biasanya per menit) saat melakukan operasi pemesinan seperti menggunakan mesin bubut atau mesin milling. Semakin banyak material yang dibuang per menit, semakin tinggi tingkat pembuangan material.



Gambar 2.18 Skematis proses *turning*

Beberapa persamaan dalam proses *turning* :

## 1. Kecepatan potong

$$V = \frac{\pi DN}{1000} ; \text{ m/menit} \dots \dots \dots (2.1)$$

## 2. Kecepatan makan

$$v = fN ; \text{ mm/menit} \dots \dots \dots (2.2)$$

## 3. Waktu permesinan

$$t = \frac{l}{fN}; \text{ menit} \dots \dots \dots (2.3)$$

## 4. Kecepatan penghasil geram

$$\text{MRR} = \pi D_{\text{avg}} df N; \text{cm}^3/\text{menit} \dots \dots (2.4)$$

## 5. Diameter rata rata

$$D_{\text{avg}} = \frac{D_o + D_f}{2}; \text{ mm} \dots \dots \dots (2.5)$$

Tabel 2.1 Persamaan dan parameter dari proses bubut

---

**Summary of Turning Parameters and Formulas**


---

$N$  = Rotational speed of the workpiece, rpm

$f$  = Feed, mm/rev

$v$  = Feed rate, or linear speed of the tool along workpiece length, mm/min  
=  $fN$

$V$  = Surface speed of workpiece, m/min

=  $\pi D_o N$  (for maximum speed)

=  $\pi D_{\text{avg}} N$  (for average speed)

$l$  = Length of cut, mm

$D_o$  = Original diameter of workpiece, mm

$D_f$  = Final diameter of workpiece, mm

$D_{\text{avg}}$  = Average diameter of workpiece, mm

=  $(D_o + D_f)/2$

$d$  = Depth of cut, mm

=  $(D_o + D_f)/2$

$t$  = Cutting time, s or min

=  $l/fN$

MRR =  $\text{mm}^3/\text{min}$

=  $\pi D_{\text{avg}} df N$

Torque =  $N \cdot m$

=  $F_c D_{\text{avg}}/2$

Power = kW or hp

= (Torque)( $\omega$ ), where  $\omega = 2\pi N$  rad/min

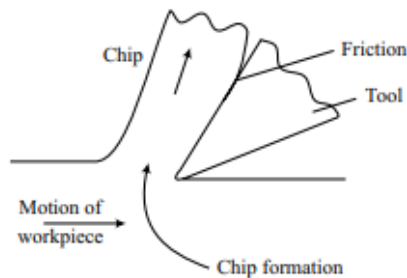
---

Pada Tabel 2.1 Merupakan perumusan umum mengenai proses pembubutan dimana terdapat beberapa

parameter penting dan umum untuk persamaan ini dimana beberapa contohnya adalah perhitungan *feed rate* dimana perhitungannya didapat dari perkalian antara *Spindle Speed* dari *chuck* dengan besar *feed*. Selain itu juga terdapat persamaan untuk mencari besar kecepatan permukaan benda kerja ( $V$ ), dimana perumusannya merupakan perkalian antara  $\Phi$  dengan diameter benda kerja dan dengan *spindle speed*. *MRR* ( *Material Removal Rate* ) merupakan persamaan untuk mengetahui besar laju penghasilan geram dalam satuan  $\text{mm}^3/\text{menit}$ .

#### 2.4 Mekanika Pemotongan Logam ( Mechanics Of Metal Cutting )

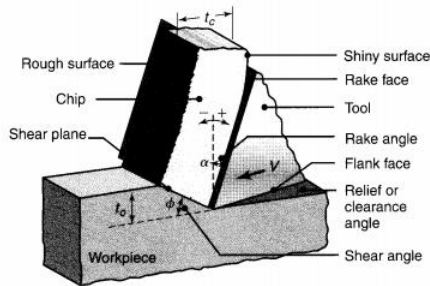
Proses pemotongan logam (*cutting process*) adalah memotong logam untuk mendapatkan bentuk dan ukuran serta kualitas permukaan potong yang direncanakan. Proses pemotongan logam dilakukan dengan tool (perkakas/pahat) yang khusus, sesuai dengan jenis proses pemotongannya. Jadi tool untuk proses yang satu tidak dapat dipakai pada proses yang lainnya, bahkan untuk proses yang sejenis tidak dapat dipertukarkan toolnya bila rencana pemotongannya tidak sama.



Gambar 2.19 Skematis proses pemotongan logam

**2.4.1 Cutting Ratio**

Dapat dilihat bahwa ketebalan chip dapat ditentukan dari kedalaman potong ke sudut rake dan sudut geser. Rasio  $t_0 / t_c$  dikenal sebagai rasio pemotongan (atau rasio ketebalan chip), dan keterkaitan kedua sudut tersebut dengan hubungan berikut:



Gambar 2.20 Ilustrasi pemotongan *orthogonal*

$$\tan\phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \dots\dots\dots (2.6)$$

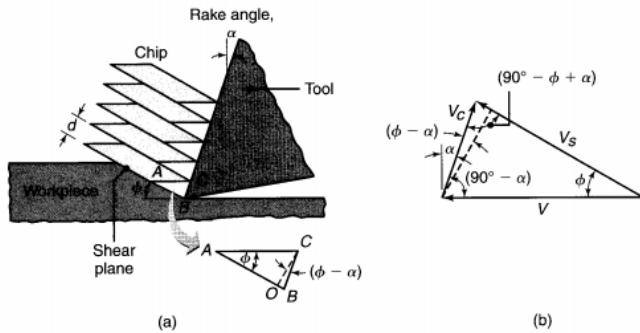
$$r = \frac{t_0}{t_c} = \frac{\sin\phi}{\cos(\phi - \alpha)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Pada perumusan 2.6 dan 2.7 dijelaskan mengenai perumusan cutting ratio dimana dari persamaan ini akan memerlukan besar tebal benda kerja yang akan dipotong serta besar geram yang akan dihasilkan. Sudut  $\tan\phi$  merupakan sudut pemotongan yang sejajar dengan arah pemotongan.

**2.4.2 Shear Strain**

Sudut geser sangat penting dalam mekanisme operasi pemotongan. Ini mempengaruhi gaya dan kebutuhan daya, ketebalan chip, dan suhu. Akibatnya, banyak perhatian difokuskan pada penentuan hubungan

antara sudut geser, variabel proses pemotongan, dan sifat material benda kerja. Salah satu analisis paling awal didasarkan pada asumsi bahwa sudut geser menyesuaikan untuk meminimalkan gaya potong atau bahwa bidang geser adalah bidang dengan tegangan geser maksimum.



Gambar 2.21 (a) Ilustrasi formasi geram dari pemotongan, (b) diagram kecepatan hubungan angular dengan ketiga kecepatan dalam zona pemotongan

$$\gamma = \frac{AB}{OC} = \frac{AO}{OC} + \frac{OB}{OC'} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\gamma = \cot\phi + \tan(\phi - \alpha) \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk analisa kecepatan pada zona pemotongannya yaitu,

$$V_c = \frac{V \sin\phi}{\cos(\phi - \alpha)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\frac{V}{\cos(\phi - \alpha)} = \frac{V_s}{\cos\alpha} = \frac{V_c}{\sin\phi} \dots\dots\dots(2.11)$$

Sehingga dapat dihubungkan dengan gesekan yang

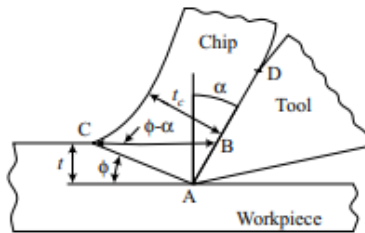


terjadi, yaitu

$$\gamma = \frac{t_0}{t_c} = \frac{1}{V_c} \frac{V_c}{v} \dots\dots\dots(2.12)$$

**2.4.3 Shear plane angle**

Sudut antara vector kecepatan potong dan bidang geser disebut sudut dari bidang geser ( $\phi$ ). Geram terbentuk dari deformasi plastis dari material benda kerja dan laju benda kerja berkelanjutan.



Gambar 2.22 Shear Plane angle

Dari persamaan kontinuitas, didapatkan:

$$t \cdot b \cdot v = t_c \cdot b_c \cdot v_c \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana, t = kedalaman potong

b = lebar potong

v = kecepatan potong

t<sub>c</sub> = ketebalan geram

b<sub>c</sub> = lebar geram

v<sub>c</sub> = kecepatan geram

Dalam kebanyakan proses pemotongan, b ≈ b<sub>c</sub>

$$t \cdot v = t_c \cdot v_c \dots\dots\dots(2.14)$$

Ratio ketebalan geram dapat dirumuskan sebagai :

$$r_t = \frac{t}{t_c} = \frac{1}{V_c} \frac{V_c}{v} = \frac{1}{L} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana, r<sub>t</sub> = ratio ketebalan geram

L = panjang geram yang tak terpotong

$L_c$  = panjang geram yang terbentuk

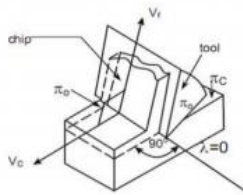
Pada gambar 2.22 dapat diketahui panjang dari bidang gesek yaitu

$$AC = \frac{t}{\sin \phi} = \frac{tc}{\cos(\phi - \alpha)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana,  $\alpha$  = rake angle

**2.4.4 Orthogonal Cutting**

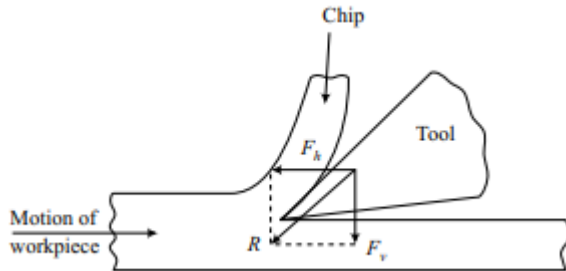
Pemotongan ortogonal merupakan jenis pemotongan yang alat potongnya tegak lurus dengan arah gerak pahat. Pada pemotongan ini aliran chip tegak lurus dengan cutting edge.



Gambar 2.23 Orthogonal Cutting

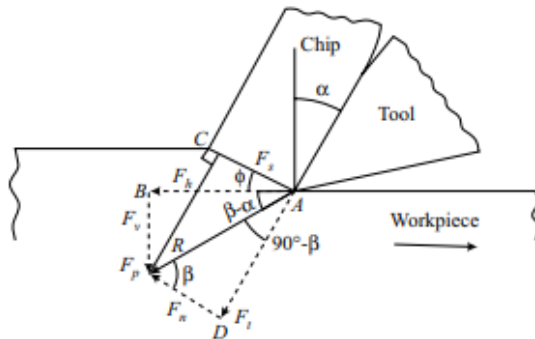
Dalam proses pemotongan orthogonal, gaya yang dihasilkan oleh pahat timbul pada bidang normal ujung pahat. Hal ini dapat ditentukan dengan cara mengukur komponen orthogonal pada arah pemotongan ( Gaya potong ) dan komponen lainnya pada arah pemotongan ( Gaya dorong ). Dengan bantuan *Dynamometers*, besarnya gaya resultan dapat diketahui dengan :

$$R = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \dots\dots\dots(2.17)$$



Gambar 2.24 Komponen Ortogonal dari Gaya Potong

Hubungan geometri dari komponen gaya resultan terhadap arah lainnya dapat dilihat pada gambar 2.24 dimana menunjukkan beberapa sudut dan beberapa arah



Gambar 2.25 Gaya Potong dalam berbagai sudut dan arah

Dimana,  $\phi$  = bidang sudut gesek

$\beta$  = Sudut gesekan

$\alpha$  = sudut *tool rake*

Beberapa pasangan komponen ditunjukkan pada arah yang sama

1.  $F_h$  = Komponen gaya horizontal sejajar vektor kecepatan potong

$F_v$  = Komponen gaya vertikal tegak lurus vektor kecepatan potong

2.  $F_s$  = Komponen gaya sejajar dengan bidang gesek (AC)

$F_p$  = Komponen gaya tegak lurus dengan bidang gesek (AC)

3.  $F_t$  = Komponen gaya sejajar dengan muka *tool rake*

$F_n$  = Komponen gaya tegak lurus dengan muka *tool rake*

Melalui gambar 2.25 dapat didapatkan persamaan :

$$R = \sqrt{F_s^2 + F_p^2} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$R = \sqrt{F_t^2 + F_n^2} \dots \dots \dots (2.19)$$

Perhitungan gaya – gaya juga dapat diketahui dengan mematok  $R, \phi, \beta, \alpha$ .

$$F_s = R \cos (\phi + \beta - \alpha) \dots \dots \dots (2.20)$$

$$F_p = R \sin (\phi + \beta - \alpha) \dots \dots \dots (2.21)$$

$$F_h = R \cos (\beta - \alpha) \dots \dots \dots (2.22)$$

$$F_v = R \sin (\beta - \alpha) \dots \dots \dots (2.23)$$

$$F_n = R \cos \beta \dots \dots \dots (2.24)$$

$$F_t = R \sin \beta \dots \dots \dots (2.25)$$

Sehingga Fenomena fisik yang relevan dengan persamaan ini dan berdasarkan gambar 2.25, diketahui bahwa makin besar nilai *rake angle* ( $\alpha$ ) maka akan menghasilkan nilai gaya gaya yang bekerja selama proses pemotongan semakin kecil berdasarkan persamaan 2.20; 2.22; 2.23; makin besar nilai  $\alpha$  maka nilai Resultan cos dari ketiga gaya tersebut makin kecil.

### 2.4.5 Rake angle

*Rake angle* adalah parameter yang digunakan dalam berbagai proses pemotongan dan pemesinan, yang menjelaskan sudut permukaan pemotongan relatif terhadap pekerjaan. Ada tiga jenis *rake angle*: positif, nol atau netral, dan negatif.

1) *Positive rake*: Perkakas memiliki *positive rake* jika permukaan pahat miring menjauhi tepi tajam di sisi dalam.

2) *Neutral rake*: Perkakas memiliki *neutral rake* (atau netral) jika permukaan pahat tegak lurus dengan tepi pemotongan di sisi dalam.

3) *Negative rake*: Sebuah pahat memiliki sudut *negative rake* jika permukaan pahat miring jauh dari tepi pemotongan di sisi luar.

*Rake angle* didefinisikan bernilai kecil jika sudut yang terbentuk antara kontak pahat dan benda kerja juga kecil (baik *negative angle* ataupun *positive rake angle*) Sehingga acuan besarnya bukanlah dari jenisnyanya melainkan besar sudut yang terbentuk diukur dari sudut kontak yang terjadi antara pahat dan benda kerja



Gambar 2.26 *Positive rake angle*

### 2.5 Strain Rate

Analisis laju regangan dalam pemotongan logam adalah salah satu masalah yang paling penting namun

belum sepenuhnya dipahami. Pertanyaan mengenai urutan laju regangan dalam pemotongan logam merupakan salah satu masalah tertua dan telah ada sepanjang sejarah pemotongan logam modern. Karena masalah ini sangat menarik baik untuk teori maupun praktik

Tingkat regangan tinggi yang diyakini terjadi pada pemotongan logam dapat mempengaruhi sifat mekanik material benda kerja secara signifikan dengan memodifikasi sifat mekanik material benda kerja yang relevan. Selain itu, jika laju regangan yang ditemui dalam proses pemotongan logam tinggi dan dapat ditentukan secara memadai, pemotongan logam dapat menjadi metode pengujian yang sangat penting untuk penentuan sifat fisik dinamis bahan yang dapat dikerjakan dengan mesin. Kemungkinan seperti itu disarankan oleh Drucker [1] dan Shaw [2]. Drucker [1] mengasumsikan bahwa rata-rata laju regangan geser  $\epsilon_{xy}$  sama dengan regangan geser rata-rata  $\epsilon_{xy}$  dibagi dengan waktu rata-rata  $t_{av}$  yang diperlukan untuk melintasi zona geser sisi sejajar dengan ketebalan  $h$   $t_1 / 20$  ( $t_1$  adalah ketebalan chip yang belum dipotong)

$$\epsilon'_{xy} = \frac{\epsilon_{xy}}{h} = \frac{0,2 \epsilon_{xy} v \sin \varphi}{h} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan asumsi  $\epsilon_{xy} = 2$ ,  $h = 0.010$  in,  $v = 200$  fpm, dan  $\varphi = 15$  deg, Drucker menghitung  $\epsilon'_{xy} = 40.000$  sec<sup>-1</sup> dan menyatakan bahwa hanya untuk kecepatan pemotongan yang sangat rendah,  $v$ , dan ketebalan chip yang belum dipotong yang besar,  $t_1$ , nilai  $\epsilon_{xy}$  dalam pendekatan pemotongan logam yang diperoleh dalam eksperimen *impact* kecepatan tinggi.

Reudenthal [3] mengasumsikan  $v = 100$  fpm,  $t_1 = 0,01$  in,  $\varphi = 20$  deg, ketebalan glide lamellae  $h_1$  dalam urutan besarnya  $4 \times 10^{-5}$  in, dan  $\epsilon_{xy}$  dalam urutan besarnya 0,1. Dia kemudian menghitung laju regangan

sebagai:

$$\varepsilon'_{xy} = \frac{0,2 \varepsilon_{xy} v \sin \varphi}{h} = \frac{0,2 \cdot 0,1 \cdot 100 \cdot 0,34}{4 \cdot 10^{-5}} = 16.000 \text{ sec}^{-1} \dots\dots\dots(2.27)$$

Freudenthal menyatakan bahwa tingkat regangan, yang diperoleh dengan cara ini, melebihi yang dikenakan oleh beban tumbukan yang diterapkan pada kecepatan peluru.

Chao dan Bisacre [4] menyatakan bahwa laju regangan yang biasa ditemukan dalam operasi pemessinan diperkirakan berkisar antara 103 hingga 106 detik-1.

Shaw [2] menurunkan hubungan berikut untuk regangan

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\cos \varphi}{\cos(\varphi - \varphi')} \frac{0,2 v}{\Delta_y} \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana  $\Delta_y$  adalah jarak antara bidang geser yang berurutan. Dengan asumsi rezimpemotongan yang wajar, Shaw menghitung laju regangan geser rata-rata 213.000 detik-1. Shaw menyatakan bahwa maksimum laju ini mungkin berkali-kali lipat dari nilai ini dan dapat mencapai urutan  $10^6$  detik<sup>-1</sup> yang sangat tinggi dibandingkan dengan laju regangan dalam uji tarik biasa sekitar  $10^3$  detik<sup>-1</sup> dan  $10^3$  detik<sup>-1</sup> dalam uji dampak paling cepat. Kececioglu [5] berusaha untuk menentukan laju regangan pada pemotongan logam secara eksperimental. Mempelajari material benda kerja yang berbeda dan menggunakan berbagai rezim pemotongan, ia memperoleh kisaran untuk laju regangan geser rata-rata dari 2.500 hingga 212.000 detik<sup>-1</sup>. Berdasarkan hasil ini, Kececioglu menyimpulkan bahwa dalam kondisi pemotongan logam, dislokasi dapat bergerak dengan kecepatan suara atau lebih cepat. Von Turkovich [6] menyimpulkan bahwa laju regangan dalam kondisi pemotongan logam

umum adalah  $2 \times 10^4 \text{ c}^{-1}$ , dan pada kecepatan pemotongan yang sangat tinggi dan umpan yang sangat dangkal, laju regangan bisa sangat besar, pada urutan  $10^7 \text{ c}^{-1}$ . Oxley mempelajari laju regangan dan pengaruhnya dalam pemotongan logam selama bertahun-tahun [7-9] dan menyimpulkan bahwa laju regangan geser rata-rata di zona geser terletak pada kisaran  $10^3$ - $10^5 \text{ c}^{-1}$  atau bahkan lebih tinggi. Sebagian besar penelitian, yang diterbitkan dalam beberapa tahun terakhir, mempertimbangkan kisaran yang sama untuk laju regangan setelah pendekatannya. Analisis di atas menunjukkan bahwa terdapat konsistensi yang tinggi dalam hasil yang dilaporkan. Keberatan apa pun atas hasil yang didiskusikan tidak dapat ditemukan dalam literatur yang tersedia untuk penulis.

Dari uraian di atas, terlihat bahwa, seperti yang diyakini, laju regangan pada pemotongan logam lebih tinggi daripada pada uji dampak paling cepat dan bahkan melebihi yang dikenakan oleh beban dampak yang diterapkan pada kecepatan peluru. Menurut pendapat penulis, laju regangan dalam pemotongan dianggap sangat tinggi karena dianggap dari diagram kecepatan yang diketahui dan model asumsi zona deformasi dengan ketebalan nol. Dalam hal ini, laju regangan apa pun, bahkan tak terbatas, dapat diperoleh. Untuk memahami poin ini, bagaimanapun, tidak perlu mempertimbangkan bahkan kecepatan peluru. Seperti diketahui, kecepatan kerja yang ditemui dalam operasi pembentukan logam yang berbeda jauh lebih tinggi daripada dalam pemotongan. Hal ini juga ditunjukkan dalam Dieter [12] bahwa beberapa proses pengerjaan logam modern menggunakan kecepatan setinggi 700 kaki / detik untuk melakukan penempaan, ekstrusi, pembentukan lembaran, dll. Proses ini dikenal sebagai pembentukan laju energi tinggi. Proses berkecepatan



tinggi ini memanfaatkan energi dari ledakan (gas atau bahan peledak konvensional); akan tetapi, laju regangan yang dihitung dalam pemotongan logam masih lebih tinggi dibandingkan dengan proses ini. Selain itu, bertentangan dengan akal sehat, laju regangan dalam pemotongan bahkan lebih tinggi daripada peluru yang menabrak dinding [13]. Menurut pendapat mereka, pengertian urutan laju regangan telah hilang dalam studi pemotongan logam. Peneliti merasa bahwa pemahaman yang lebih baik tentang sifat mekanik material dalam pemotongan logam diperlukan, oleh karena itu pertanyaan tentang nilai riil laju regangan dalam pemotongan logam harus diperjelas.

## **2.6 Formasi Geram ( *Chips Formation* )**

Dalam proses pemesinan, kelebihan material dari benda kerja dihilangkan dalam bentuk geram. Bentuk geram adalah indeks penting dari pengerjaan permesinan karena secara langsung atau tidak langsung menunjukkan:

- 1) Sifat dan Perilaku material dalam proses pemesinan
- 2) Jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan material (kebutuhan energi spesifik)
- 3) Sifat dan tingkat interaksi pada antar permukaan kontak geram dengan pahat

Dalam proses pembentukan geram oleh gesekan kontak pahat dengan benda kerja, material benda kerja yang berdekatan dengan permukaan pahat dikompresi dan retakan terjadi di depan pahat dan menuju badan benda kerja.. Pemotongan terjadi sesekali dan tidak ada pergerakan material benda kerja di atas permukaan pahat. Dalam pembentukan geram dengan cara geser, ada pergerakan umum geram di atas permukaan pahat.

Bentuk geram bergantung pada:

- 1) Materi kerja atau sifat benda kerja
- 2) Geometri dan bahan pahat (Sifat pahat)
- 3) Tingkat kecepatan potong dan laju umpan
- 4) Lingkungan pemesinan atau cairan pemotongan
- 5) Dimensi alat
- 6) Gesekan antara alat dan benda kerja

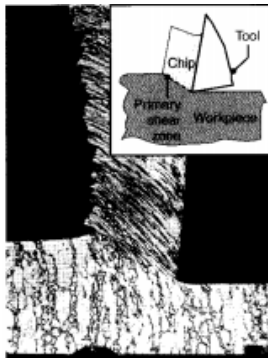
Berdasarkan bentuknya, geram dibagi menjadi 4 jenis, yaitu :

- 1) *Continuous Chips*

*Continuous Chips* biasanya dibentuk dengan bahan yang ulet, dikerjakan dengan kecepatan potong tinggi dan *rake angle* tinggi . Deformasi material terjadi di sepanjang zona geser kecil yang disebut zona geser utama. *Continuous chips* dapat mengembangkan zona geser sekunder karena gesekan tinggi pada antarmuka geram dengan pahat; zona ini menjadi lebih tebal dengan meningkatnya gesekan.

Deformasi pada chip kontinu juga dapat terjadi di sepanjang zona geser primer yang lebar dengan batas melengkung. Pemotongan ini biasanya menghasilkan permukaan akhir yang buruk dan menyebabkan tegangan sisa permukaan yang dapat merusak properti bagian mesin dalam masa pakainya.

Meskipun geram tipe ini umumnya menghasilkan permukaan akhir yang baik, *continuous chips* dapat tidak selalu diinginkan, terutama dengan peralatan mesin yang dikendalikan komputer secara umum, karena *continuous chips* cenderung menjadi kusut di sekitar pemegang alat, pemasangan, dan benda kerja, serta di sekitar sistem pembuangan geram. Masalah ini dapat diatasi dengan pemutus chip, dengan mengubah parameter seperti kecepatan potong, *feed rate*, dan kedalaman potong, atau dengan menggunakan cairan pemotongan.



Gambar 2.27 *Continuous Chips*

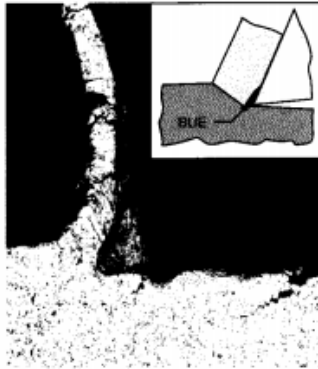
## 2) *Built-Up Chips*

*Built-Up Chips* (BUE) terdiri dari lapisan material benda kerja yang secara bertahap diendapkan pada ujung pahat-maka istilahnya 'dibangun'. Semakin besar BUE, maka akan menjadi tidak stabil dan akhirnya pecah. Bagian bahan BUE terbawa oleh sisi pahat dari geram dan sisanya disimpan secara acak di permukaan benda kerja. Siklus pembentukan dan penghancuran BUE diulang terus menerus selama operasi pemotongan sampai tindakan perbaikan diambil. Akibatnya, tepi yang dibangun mengubah geometri tepi potong dan menumpulkannya

Logam yang diberi perlakuan *cold worked* umumnya memiliki kecenderungan yang lebih kecil untuk membentuk BUE dibandingkan saat dalam kondisi *annealed*. Karena pekerjaan pengerasan dan pengendapan lapisan material yang berurutan, kekerasan BUE meningkat secara signifikan. Saat kecepatan potong meningkat, ukuran BUE berkurang atau bahkan tidak terbentuk sama sekali.

Kecenderungan pembentukan BUE dapat dikurangi dengan cara berikut:

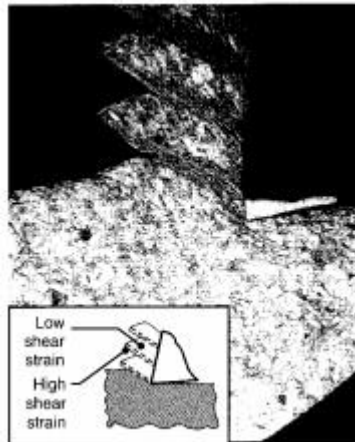
- Tingkatkan kecepatan pemotongan
- Mengurangi kedalaman potong
- Tingkatkan *rake angle*
- Gunakan alat tajam
- Gunakan cairan pemotongan yang efektif



Gambar 2.28 *Built-Up Chips*

### 3) *Serrated Chips*

*Serrated Chips* (juga disebut geram tersegmentasi atau tidak homogen) adalah geram semikontinu dengan zona besar regangan geser rendah dan zona kecil regangan geser tinggi, oleh karena itu zona terakhir disebut lokalisasi geser. Logam dengan konduktivitas termal rendah dan kekuatan yang menurun tajam karena suhu (pelunakan termal) menghasilkan geram ini, terutama titanium. Geram memiliki penampilan seperti gigi gergaji.



Gambar 2.29 *Serrated Chips*

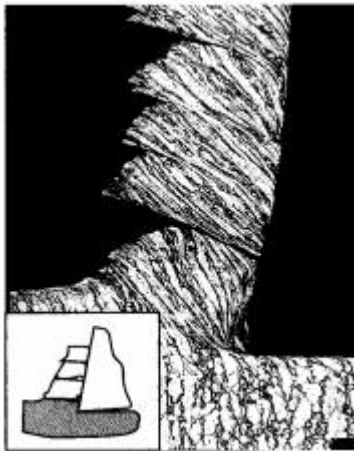
#### 4) *Discontinuous Chips*

*Discontinuous chips* terdiri dari segmen yang dapat dipasang satu sama lain dengan kuat atau longgar. *Discontinuous chips* biasanya terbentuk di bawah kondisi berikut:

- Bahan benda kerja rapuh, karena tidak memiliki kapasitas untuk menjalani regangan geser tinggi yang terlibat dalam pemotongan.
- Bahan benda kerja yang mengandung inklusi keras dan kotoran atau memiliki struktur seperti serpihan grafit pada besi cor abu-abu.
- Kecepatan potong sangat rendah atau sangat tinggi.
- Potongan yang sangat dalam.
- *Rake angle* rendah.
- Kurangnya cairan pemotongan yang efektif.
- Kekakuan rendah dari pemegang alat atau peralatan mesin, sehingga memungkinkan getaran

Karena sifat pembentukan chip yang terputus-putus, gaya terus-menerus bervariasi selama pemotongan. Akibatnya, kekakuan atau kekakuanudukan pahat

pemotong, yaitu alat penahan kerja, dan alat potong merupakan faktor penting dalam menangani *Serrated chips* dan *discontinuous chips*. Jika tidak cukup kaku, mesin dan alat mungkin mulai bergetar, sehingga berdampak negatif pada permukaan akhir dan akurasi dimensi komponen benda kerja, dan dapat menyebabkan keausan dini atau kerusakan pada alat pemotong bahkan pada komponen alat mesin jika getarannya berlebihan.



Gambar 2.30 *Discontinuous Chips*

### **2.7 Finite Element Method (Metode Elemen Hingga)**

Finite Element adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lain yang adalah metode analitik, yang untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, constrain, dan sifat material) maka semakin sulit atau bahkan mustahil di bangun

suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena umumnya membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (finite) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum).

Saat ini, banyak sekali software FEM berkeliaran dengan berbagai mutu dan kemudahan. Contoh dari software ini adalah MSC.NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, LSDYNA, dan lainnya. Pengguna software FEM kemudian terbiasa melihat GUI (graphic user interface) di mana suatu benda didiskritisasi menjadi sekian puluh bahkan ribu elemen. Istilah baru kemudian muncul yaitu Finite Element Modeling, karena pengguna hanya memodelkan fisik suatu benda dengan elemen-elemen kecil, mendefinisikan sifat-sifat material, memberikan kondisi batas dan pembebanan, menjalankan software. Ini yg dinamakan pre-processing. Fase post-processing biasanya lebih sulit karena pengguna diharapkan bisa menginterpretasi hasil, menganalisis angka dan fisik yang dihasilkan dan melakukan trouble-shooting jika hasilnya kurang memuaskan.

Pendekatan metode elemen hingga adalah salah satu diskritisasi. *Finite Method Element* dibangun dengan cara berikut:

- Sejumlah titik hingga diidentifikasi dalam domain fungsi dan nilai- nilai fungsi dan turunannya, ketika sesuai, ditentukan pada titik – titik ini.

- Domain fungsi diwakili kira – kira oleh kumpulan subdomain terbatas yang disebut elemen hingga.
- Domain tersebut kemudian merupakan kumpulan elemen – elemen yang terhubung bersama secara tepat.
- Fungsi ini diperkirakan secara lokal dalam setiap elemen dengan fungsi kontinu yang secara unik dijelaskan dalam hal nilai titik nodal yang terkait dengan elemen tertentu.

Jalan menuju solusi masalah elemen hingga terdiri dari lima langkah spesifik, yaitu:

- (1). Identifikasi masalah,
- (2). Definisi masalah,
- (3). Pembentukan persamaan elemen,
- (4). Kumpulan persamaan elemen,
- (5). Solusi numerik dari persamaan global.

Pembentukan persamaan elemen dilakukan dengan menggunakan salah satu metode berikut ini:

- (1). Pendekatan langsung,
- (2). Metode variasional,
- (3). Metode residu tertimbang,
- (4). Pendekatan keseimbangan energi.

Pemodelan dari proses pemotongan yang dilakukan secara numerik dengan menggunakan *Finite Element Method* dapat digunakan untuk mensimulasikan proses *turning*. Sebagai contoh, model numerik dapat digunakan untuk menggambarkan pahat yang kompleks. Salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan *Finite Element Method* dan pemodelan pada proses *turning* dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS.



## 2.8 Pemodelan *Johnson-Cook*

Hubungan material logam antara tegangan dan regangan dapat dijelaskan oleh model Johnson-Cook. Di bawah kondisi deformasi besar, laju regangan tinggi dan suhu tinggi. Karena butuh usaha kecil untuk menentukan konstanta konstanta material, permodelan ini telah banyak digunakan oleh banyak peneliti. Model tegangan aliran dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = [A + B(\varepsilon)^n] \cdot \left[1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_m - T_0}\right)^m\right] \quad (2.29)$$

Dengan:

$\sigma$  = von Mises *flow stress* [MPa]

$\varepsilon$  = regangan plastis

$\dot{\varepsilon}$  = laju regangan [ $s^{-1}$ ]

$\dot{\varepsilon}_0$  = laju regangan plastis referensi [ $s^{-1}$ ]

$T$  = temperatur benda kerja [ $^{\circ}C$ ]

$T_m$  = temperatur leleh material benda kerja [ $^{\circ}C$ ]

$T_0$  = temperatur kamar [ $^{\circ}C$ ]

$A$  = *yield strength* [MPa]

$B$  = *hardening modulus* [MPa]

$C$  = koefisien sensitivitas laju regangan = koefisien *hardening*

$m$  = koefisien *thermal softening*

Pemodelan Johnson-Cook ini dapat digunakan pada semua jenis elemen, dan dapat dikombinasikan dengan semua equations of state dan juga properti kegagalan. Model material ini memiliki satu hal lagi yang membuat sangat populer, yaitu dapat menggunakannya untuk mendeskripsikan hampir semua jenis material. Selain itu, ini adalah model material yang sangat berguna karena mudah digunakan dan hanya membutuhkan lima konstanta untuk menggambarkan tegangan – regangan material karakteristik.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang masih terkait dengan penelitian ini dan bisa dijadikan referensi bagi penulis. Penulis mengambil referensi dari penelitian yang dilakukan oleh A. Pradeesh, dkk. pada tahun 2016, Poonam D. Kurekar pada tahun 2017, dan Hong Yan, dkk. pada tahun 2005.

Penelitian pertama dilakukan oleh A. Pradeesh dari Palakkad dengan judul *Effect of Rake Angles on Cutting Forces for A Single Point Cutting Tool*. Penelitian ini menganalisa dan menetapkan kondisi pemotongan sebagai faktor *input* dan gaya potong sebagai faktor *output* pada proses *turning* dengan material baja AISI 1018. Pengujian pemotongan ortogonal dan pembubutan batang dilakukan pada mesin bubut dengan dan berbagai laju umpan yang dikhususkan untuk putaran keras

Bahan yang dipelajari di sini adalah baja AISI 1018. Umumnya digunakan untuk pembuatan cetakan, stamping, *deep drawing dies* dan alat lainnya. Komposisi kimia diberikan pada Tabel 2.2. Sifat-sifat lainnya diberikan sebagai berikut UTS: 750 MPa, Hardness of Matrix (HB): 120 – 220. Proses eksperimen dilakukan pada mesin bubut konvensional dan dihubungkan dengan *dynamometer* guna mengukur gaya yang timbul selama proses permesinan, dapat dilihat pada gambar 2.31.

Tabel 2.2 Komposisi kimia dari AISI 1018

<b>MATERIAL</b>	<b>COMPOSITION</b>
<b>Carbon</b>	<b>0.17%</b>
<b>Silicon</b>	<b>0.27%</b>
<b>Manganese</b>	<b>0.80%</b>
<b>Phosphorus</b>	<b>0.050% max</b>
<b>Sulphur</b>	<b>0.050% max</b>



Gambar 2.31 Lathe Set Up

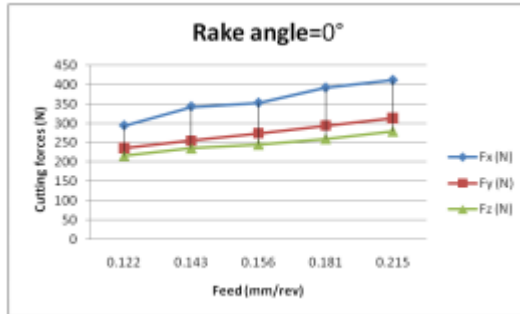
Pilihan bentuk benda uji memungkinkan untuk meminimalkan fenomena getaran dalam pemesinan. Karbida dalam matriks material membuat

alur dengan keausan pada pahat. Selama proses pemesinan, gaya potong diukur menggunakan *tool dynamometer* tipe (Kistler,9257A). Tabel 2 memberikan detail tentang kondisi pengujian.

Tabel 2.3 Hasil Eksperimen

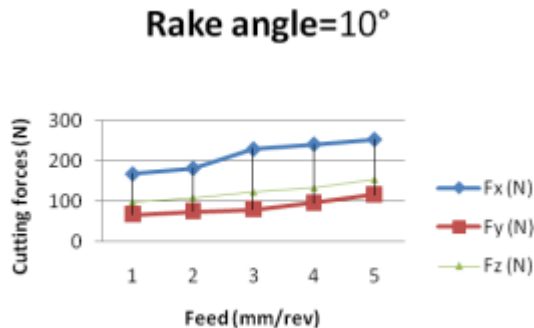
Group Number	Rake angle $\gamma_0^*$	Expnt Number	Feed (mm/rev)	F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)
1	0°	1	0.122	294.3	235.44	215.82
		2	0.143	343.35	255.06	235.44
		3	0.156	353.16	274.68	245.25
		4	0.181	392.4	294.3	259.965
		5	0.215	412.02	313.92	279.585
3	10°	1	0.122	168.732	66.708	98.1
		2	0.143	182.466	74.556	108.891
		3	0.156	229.554	80.442	122.625
		4	0.181	241.326	96.138	132.435
		5	0.215	253.098	116.739	153.036
7	18°	1	0.122	86.328	52.974	68.67
		2	0.143	118.701	60.822	79.461
		3	0.156	153.036	70.632	90.252
		4	0.181	155.979	88.29	107.91
		5	0.215	231.516	100.062	122.625

Dimensi dari benda kerja berbentuk silinder adalah berdiameter awal 24, kedalaman potong sebesar 1 mm sedangkan untuk jenis pahat adalah *single point cutting tool* dengan material menggunakan *High Speed Steel*. variasi dari beberapa parameter yang liannya ialah lalu feed rate sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev dan 0,215 mm/rev.



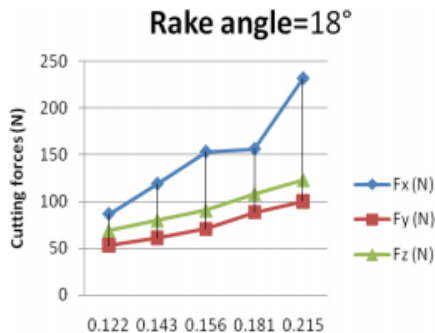
Gambar 2.32 Variasi gaya potong dari *feed rate* dengan *rake angle* sebesar  $0^0$

Setelah proses pemotongan dilakukan dari tiap mesin masing variable, didapat hasil gaya potong yang berbeda beda pula. Dalam gambar 2.32. ditunjukkan hasil perbedaan gaya potong dari tiap parameter *feed rate* yang berbeda beda. Pada *rake angle*  $0^0$  didapatkan bahwa hasil gaya potong konstan naik untuk tiap kenaikan *feed rate*.



Gambar 2.33 Variasi gaya potong dari *feed rate* dengan *rake angle* sebesar  $10^0$

Dalam gambar 2.33 dan gambar 2.34 ditunjukkan juga hasil perbedaan gaya potong dari tiap parameter *feed rate* yang berbeda beda. Pada *rake angle*  $0^{\circ}$  didapatkan bahwa hasil gaya potong konstan naik untuk tiap kenaikan *feed rate*.



Gambar 2.34 Variasi gaya potong dari *feed rate* dengan *rake angle* sebesar  $18^{\circ}$

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah Teramati bahwa gaya *feed* ( $F_x$ ) lebih besar dari gaya tangensial ( $F_y$ ). Itu juga mengamati bahwa gaya radial ( $F_z$ ) dipengaturan eksperimental saat ini sangat kecil jika dibandingkan dengan dua gaya lainnya. Gaya potong meningkat saat nilai *feed rate* juga ditingkatkan. Gaya potong menurun saat nilai *rake angle* meningkat.

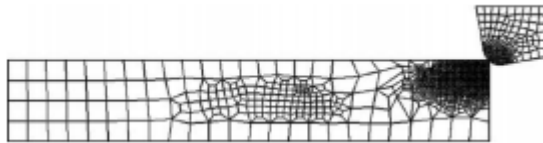
Penelitian kedua dilakukan oleh Hong Yan, dkk. dengan judul *Numerical simulation of finish hard turning for AISI H13 die steel*. Penelitian ini membahas mengenai bagian *Hardened Steel* yang banyak digunakan di otomotif, industri perkakas, *bearing*, perkakas, dan cetakan. Dengan menghilangkan kebutuhan untuk menyelesaikan bagian *grinding*, industri otomotif dapat mengurangi modal pengeluaran sebanyak 40% dan peningkatan produksi sebesar sekitar 30%. Jadi, *hard turning* adalah proses produksi

yang menjanjikan masa depan karena itu adalah sarana peningkatan produktifitas yang efektif Baja die AISI H13 memiliki ketahanan yang baik terhadap *thermal softening* dan *heat checking*, pengerasan tinggi, kekuatan tinggi dan ketangguhan tinggi. Jadi, baja ini sudah diaplikasikan secara luas untuk menghasilkan berbagai jenis *hot work dies*, seperti *die-forging*, *die-extrusion*, *die-casting* dan sebagainya. Itu manfaat untuk pembuatan dies / mould di pengerasannya. Selain itu, peningkatan kualitas / integritas permukaan benda kerja (SI) yang menghasilkan umur komponen yang lebih lama juga dianalisa.

Untuk mendapatkan penerimaan sebagai padanan dari proses *grinding*, *finishing hard turning* harus bisa memuaskan persyaratan kualitas tinggi dari benda kerja yang bersangkutan baik akurasi bentuk dan ukuran, hasil akhir permukaan, dan integritas permukaan. Namun demikian, kondisi pengerjaan mesin di *finish hard turning* berbeda dengan pembubutan konvensional, geram bekas pembentukan hanya terjadi dalam radius ujung alat karena kedalaman potong relatif kecil (kurang dari 0,1 mm) dan radius ujung alat yang besar. Secara umum, kedalaman potong (ketebalan potong, ketebalan chip yang tidak berbentuk) lebih kecil dari radius ujung alat. Analisis menyeluruh tentang teknologi baru ini akan sangat meningkatkan kemampuan proses. Sehingga dilakukan penelitian mengenai gaya pemotongan simulasi dan distribusi suhu saat pemotongan ortogonal dan memutar baja AISI H13 (HRC 52).

Lalu dilakukan simulasi terus menerus dan pembentukan geram segmental saat pemesinan AISI H13 diperlakukan dengan HRC 49 dengan ABAQUS / Eksplisit. Namun, pengaruh kekerasan benda kerja pada awal kondisi pada tegangan aliran di model FEM

sebelumnya tidak diperhitungkan, model yang terakhir membuat asumsi bahwa alat itu sangat tajam, yang membatasi percobaan dianalisis dengan kedalaman potong 0,25 mm. Oleh karena itu, untuk memahami prosesnya dengan lebih baik dan meningkatkan kinerja alat potong, penelitian ini mencoba memasukkan parameter di atas dan mengabaikan faktor dalam model FEM yang dikembangkan dan melakukan serangkaian simulasi numerik untuk menyelidiki pengaruh parameter pemesinan pada kemampuan baja keras AISI H13 pada *finish turning*.



Gambar 2.35 *Finite Element Model* dari pembubutan orthogonal *hardened steel*

Pemesinan baja keras AISI H13 dimodelkan sebagai proses pemotongan ortogonal dengan asumsi kondisi regangan bidang. Skema model elemen hingga ditunjukkan pada Gambar 2.35.

Tabel 2.4 Properti mekanika dan fisik dari benda kerja dan material pahat

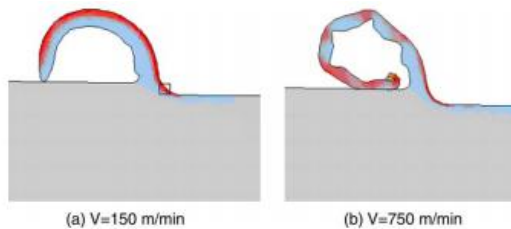
The mechanical and physical properties of the workpiece and tool material		
	AISI H13	PCBN
Young's modulus (MPa)	211,000	652,000
Poisson's ratio	0.28	0.128
Density (kg/m <sup>3</sup> )	7800	3399.5
Thermal conductivity (W/m K)	28.4	100
Specific heat (J/kg K)	560	960

Parameter untuk mempelajari efek kecepatan potong



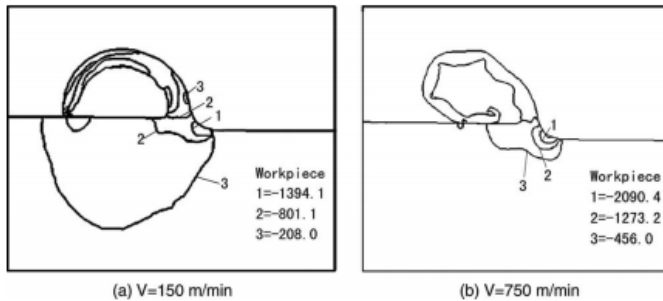
adalah kedalaman potong  $5 \mu\text{m}$ , *rake angle* =  $-10^\circ$ , *flank angle* =  $10^\circ$  dan *tool-tip radius* =  $20 \mu\text{m}$ . Gambar 2.36 menunjukkan bentuk geram pada dua kecepatan yang berbeda. Transisi dari geram kontinu untuk geram tersegmentasi berlangsung dari peningkatan kecepatan potong dari 150 menjadi 750 m / mnt. Gambar. 2.37 mengilustrasikan distribusi tegangan hidrostatik pada dua kecepatan potong yang berbeda. Distribusi hidrostatik tekanan di zona pemotongan serupa untuk dua pemotongan yang berbeda kecepatan, tetapi besarnya dipengaruhi secara signifikan oleh kecepatan memotong. Tegangan hidrostatik tarik maksimum menurun dengan meningkatnya kecepatan potong. Jadi, ini sangat membantu proses pemotongan karena kecepatan potong meningkat dengan benar.

Perbandingan antara gaya potong dan gaya dorong pada dua kecepatan berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.38. Pemotongan dan gaya dorong berkurang dengan meningkatnya kecepatan potong. Gaya dorong lebih besar dari gaya potong untuk yang lebih tinggi kecepatan potong 750 m / mm.

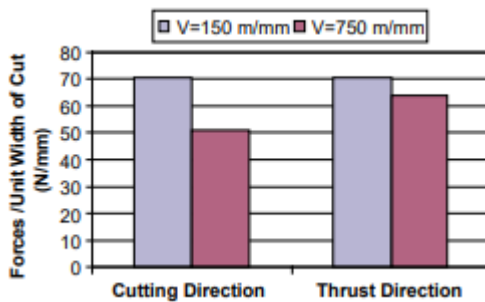


Gambar 2.36 Bentuk geram pada dua kecepatan yang berbeda

(a)  $V = 150\text{m/min}$  dan (b)  $V = 750 \text{ m/min}$

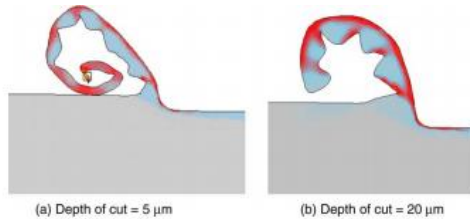


Gambar 2.37 Distribusi tegangan distribusi pada dua kecepatan yang berbeda  
(a)  $V = 150$ m/min dan (b)  $V = 750$  m/min

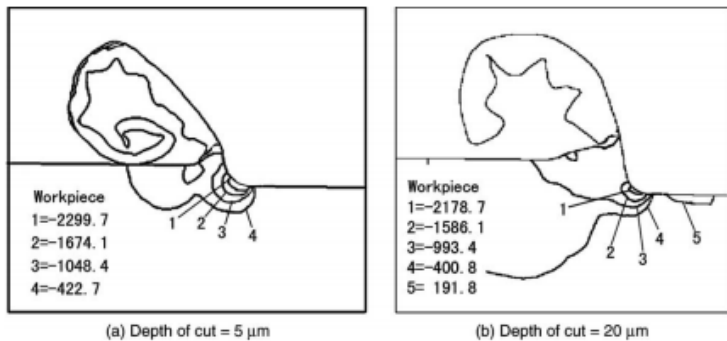


Gambar 2.38 *Machining Forces* pada dua kecepatan yang berbeda

Dilakukan juga percobaan dengan menggunakan 2 kedalaman potong yang berbeda yaitu  $5 \mu\text{m}$  dan  $20 \mu\text{m}$  dengan *rake angle* =  $-10^\circ$ , *flank angle* =  $10^\circ$ , *tool-tip radius* =  $20 \mu\text{m}$ , dan kecepatan potong =  $450$  m/menit. Didapat hasil geram yang berbeda pula disertai dengan distribusi tekanan hidrostatik yang berbeda pula yang dapat dilihat pada gambar 2.39 dan 2.40.

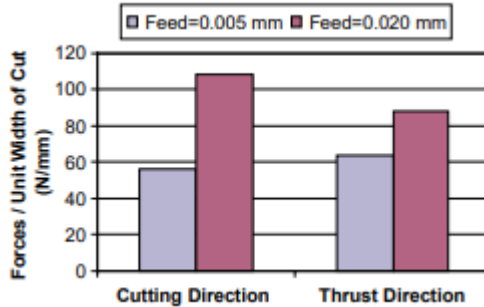


Gambar 2.39 Bentuk geram pada dua kedalaman potong yang berbeda  
(a)  $d = 5 \mu\text{m}$  dan (b)  $d = 20 \mu\text{m}$



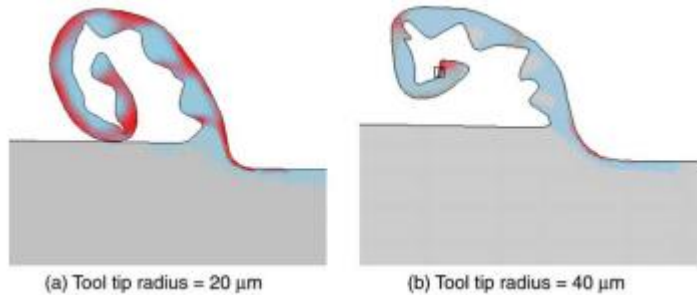
Gambar 2.40 Distribusi tegangan hidrostatik pada dua kedalaman potong yang berbeda  
(a)  $d = 5 \mu\text{m}$  dan (b)  $d = 20 \mu\text{m}$

Perbandingan antara gaya potong dan dorong pada dua kedalaman potong yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.40. Gaya pemotongan dan dorong meningkat saat kedalaman potong ditingkatkan. Gaya dorong lebih besar dari gaya potong untuk kedalaman potong lebih rendah dari 5  $\mu\text{m}$ .



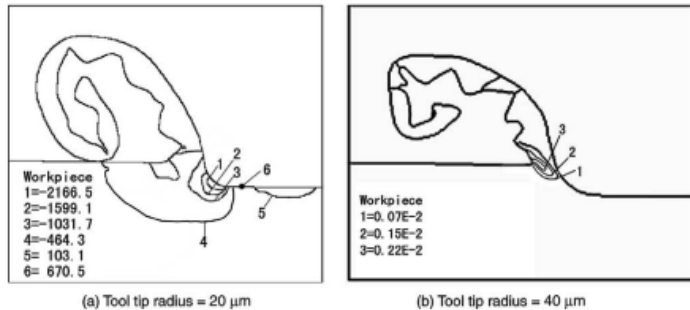
Gambar 2.41 *Machining Forces* pada dua kedalaman potong yang berbeda

Dilakukan juga percobaan dengan menggunakan 2 tool-tip radius yang berbeda yaitu  $20\ \mu\text{m}$  dan  $40\ \mu\text{m}$  dengan  $\text{rake angle} = -10^\circ$ ,  $\text{flank angle} = 10^\circ$ ,  $\text{tool-tip radius} = 20\ \mu\text{m}$ , dan kecepatan potong = 450 m/menit. Didapat hasil geram yang berbeda pula disertai dengan distribusi tekanan hidrostatik yang berbeda pula yang dapat dilihat pada gambar 2.42 dan 2.43.



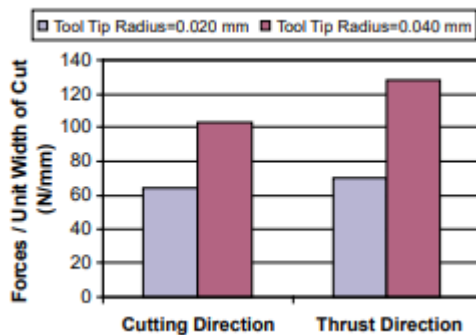
Gambar 2.42 Bentuk geram pada dua , *tool-tip radius* yang berbeda

(a) *tool-tip radius* =  $5\ \mu\text{m}$  dan (b) ,*tool-tip radius* =  $20\ \mu\text{m}$



Gambar 2.43 Distribusi tegangan hidrostatik pada dua *tool-tip radius* yang berbeda  
 (a) *tool-tip radius* = 5  $\mu\text{m}$  dan (b) *tool-tip radius* = 20  $\mu\text{m}$

Perbandingan antara gaya potong dan dorong pada dua *tool-tip radius* yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.44. Gaya pemotongan dan dorong meningkat saat *tool-tip radius* ditingkatkan.



Gambar 2.44 *Machining Forces* pada dua *tool-tip radius* yang berbeda

Dari hasil simulasi, kecepatan lebih tinggi, kedalaman lebih kecil potong dan radius ujung alat yang

lebih besar membantu mengurangi tegangan hidrostatik di lapisan mesin, yang meningkatkan integritas permukaan benda kerja mesin dan menghilangkan tegangan sisa. Ini juga membantu untuk meningkatkan desain sisipan pemotongan, terutama untuk mengoptimalkan geometri tepi sisipan PCBN untuk pemesinan presisi dari baja yang mengeras.

Gaya dorong dominan dan lebih besar dari pemotongan memaksa dalam menyelesaikan pemesinan keras. Seperti kecepatan potong meningkat, gaya potong dan gaya dorong menurun, yang membantu meningkatkan integritas permukaan mesin benda kerja. Namun, gaya potong, terutama di arah dorong, meningkat dengan peningkatan pakan dan radius ujung alat.

kecepatan potong, kedalaman potong dan radius ujung alat meningkat, suhu benda kerja dan pahat meningkat, yang dapat menyebabkan *diffusion crater* yang lebih serius dan *flank wears* di alat.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Poonam D. Kurekar, dkk. dengan judul *Finite Element Analysis Of Single Point Cutting Tool*. Penelitian ini membahas efek dari suhu dan gaya potong di ujung *Single Point Cutting Tool*. Suhu di ujung alat diukur, suhu dihasilkan dalam operasi pemesinan kecepatan tinggi. Suhu saat pemotongan di titik alat adalah parameter penting dalam pengendalian proses pemesinan. Secara khusus, ada tiga analisis berbeda dibandingkan dengan pengukuran eksperimental suhu di proses pemesinan dengan kecepatan lambat, sedang dan tinggi. Teknik *Toolwork Thermocouple* digunakan untuk mengukur suhu di ujung pahat pada berbagai parameter pemotongan (kedalaman potong, kecepatan dan *feed rate*) dan ditemukan dengan peningkatan kecepatan dan

kedalaman potong, suhu di ujung alat pemotong meningkat. Gaya potong secara analitis ditentukan dan tekanan ditemukan di ujung alat pemotong. *Single Point Cutting Tool* dimodelkan dalam perangkat lunak CATIA dan model kemudian diimpor ke perangkat lunak ANSYS untuk dianalisis. Menerapkan pembacaan suhu, distribusi suhu aktif alat pemotong ditemukan. Juga dari analisis tegangan pemotongan alat diamati bahwa efek gaya potong lebih berpengaruh dibandingkan dengan gaya dorong.

Zona yang sangat kecil dan suhu yang dihasilkan di zona deformasi mempengaruhi benda kerja dan pahat. Keausan, masa pakai pahat, integritas permukaan benda kerja, mekanisme pembentukan geram sangat dipengaruhi pada suhu saat pemotongan berkecepatan tinggi dan berkontribusi pada deformasi termal alat pemotong, yang dianggap sebagai sumber terbesar kesalahan dalam proses pemesinan. Selama proses pemotongan logam, panas dihasilkan karena gaya geser dan itu berefek pada peningkatan suhu alat. Untuk suhu ini pahat menjadi lunak di ujung dan berbagai tekanan dan deformasi terjadi di pahat. Penting untuk mengukur suhu ini secara eksperimental diberbagai kedalaman potong dan juga untuk mengetahui efek gaya di ujung pahat. Pengaruh *feed rate* dan kedalaman pemotongan lebih besar daripada gaya potong dan kecepatan spindel. Mekanisme pemotongan dan proses pembubutan menghasilkan gaya potong material di alat pemotong didorong dan material bergerak pada bidang geser.

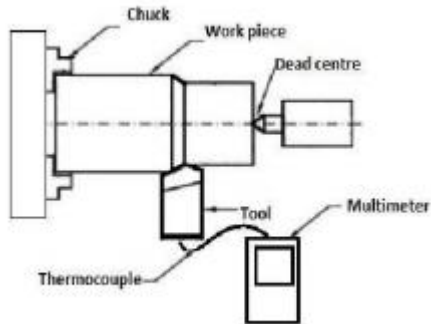
Tujuan utama dari proyek ini adalah sebagai berikut:

- 1) Studi dan perbandingan distribusi suhu pada *single point cutting tool* dari bahan HSS di berbagai parameter pemesinan.

- 2) Pemodelan dan analisis elemen hingga pada *single point cutting tool*.
- 3) Perbandingan data eksperimen dengan data analisa elemen hingga untuk alat tersebut.
- 4) Penentuan tegangan pada pahat menggunakan ANSYS.

Metode yang digunakan adalah menyiapkan sementara pengaturan untuk mengukur suhu di ujung alat selama operasi pembubutan di mesin bubut tengah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.45. Alat pengukur suhu terdiri dari rakitan termokopel dan multimeter. Alat yang digunakan di percobaan adalah *High Speed Steel*. Lubang dengan diameter 4mm dibor di betis alat dan probe termokopel dimasukkan ke dalam lubang sedemikian rupa sehingga menyentuh ujung pahat. Ujung negatif dan positif termokopel terhubung ke terminal multimeter yang sesuai. Suhu di ujung alat akan kembangkan emf di termokopel yang akan ditampilkan di multimeter. Pahat diperbaiki pada tiang pahat dan benda kerja dipasang pada chuck empat rahang. Multimeter pembacaan dilakukan untuk berbagai kondisi pemesinan dengan memvariasikan parameter pemotongan seperti pemotongan pakan, kedalaman potong, kecepatan pemotongan dan lain lain.





Gambar 2.45 Skema dari rancangan eksperimen

Eksperimen mengukur suhu proses pemotongan selama pemesinan selesai dengan sukses menggunakan termokopel dan multimeter. Tingkat pakan dan pemotongan kecepatan dibuat konstan dan nilai tegangannya diukur dari multimeter pada empat kedalaman potongan yang berbeda, laju umpan dibuat konstan dengan menyesuaikan nilai pitch. Percobaan diulangi pada tiga kecepatan potong yang berbeda dan nilai yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 2.5

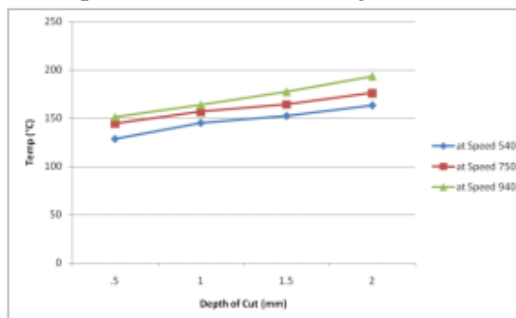
Tabel 2.5 Nilai dari beberapa parameter dalam proses pemotongan

	<b>FEED RATE (cm/sec)</b>	<b>CUTTING SPEED (rpm)</b>	<b>DEPTH OF CUT (mm)</b>
Slow	1	540	.5
Medium			1
High		750	1.5
		940	2

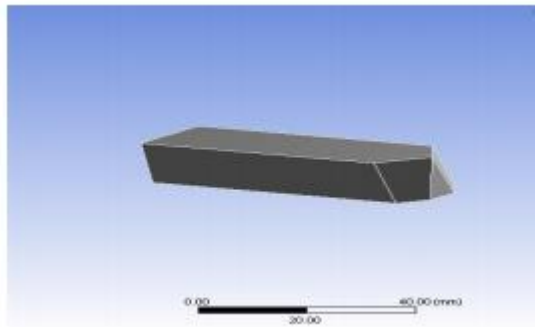
Tabel 2.6 Nilai dari beberapa parameter menggunakan HSS

Exp. No.	Speed (v) (RPM)	Depth of cut (d) (mm)	Experimental Temperature (T in °C)
1	540	0.5	128.65
2		1	145
3		1.5	152.2
4		2	163
5	750	0.5	144.52
6		1	156.72
7		1.5	164.2
8		2	176
9	940	0.5	151.26
10		1	163.68
11		1.5	177.36
12		2	193.48

Grafik diplot menggunakan nilai eksperimen ini dan dapatkan hubungan antara suhu dengan parameter pemotongan. Grafik menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan meningkatkan suhu di ujung alat pemotong dan bertambah dengan bertambahnya kecepatan. Suhu lebih tinggi pada alat pemotong dengan kecepatan tinggi dibandingkan dengan kecepatan lambat dan sedang.

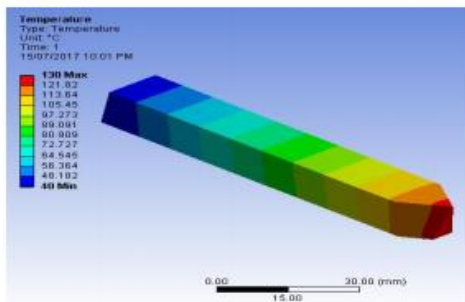


Gambar 2.46 Hubungan temperatur dengan kedalaman potong pada variasi kecepatan potong



Gambar 2.47 Model dari pahat

Dilakukan simulasi dengan ANSYS untuk menentukan beberapa *output* seperti analisa *steady state thermal* pada pahat ( gambar 2.47 ), analisa gaya yang terjadi pada pahat ( tabel 2.6 ) dan analisa tegangan pada pahat ( tabel 2.7).



Gambar 2.48 Distribusi temperatur pada pahat

Tabel 2.7 Perhitungan gaya  $F_c$  dan  $F_t$ 

Feed Rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Cutting Force $F_c$ (N)	Thrust Force $F_t$ (N)
0.5	0.5	448.05	190.11
	1	883.77	374.99
	1.5	1314	557.54

Tabel 2.8 Perhitungan tegangan pada pahat

Feed Rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Stress (Mpa)
0.5	0.5	852.134
	1	1544.09
	1.5	2168.22

Dari hasil simulasi didapatkan nilai dari *analytical* dan *FEA result* yang dapat dilihat pada tabel 2.8 dan tabel 2.9 untuk hasil tegangan pada permukaan pahat saat dikenai gaya

Tabel 2.9 perbandingan hasil; *analytical* dan *FEA result*

Analysis For DOC (mm)	Analytically Calculated Stress (Mpa)	Stress by FEM Analysis (Mpa)
0.5	852.134	935.26
1	1544.09	1844
1.5	2168.22	2742.8

Tabel 2.10 hasil tegangan saat dikenai gaya pada pahat

No.	Feed rate (mm/rev)	DOF (mm)	Force (N)	Von-mises stress (MPa)	Deformation (mm)
1	0.5	0.5	Fc & Ft	935.26	0.3983
2			Fc	853.03	0.3647
3			Ft	377.86	0.3983
4		1	Fc & Ft	1844	0.7858
5			Fc	1684.5	0.7194
6			Ft	745.65	0.3167
7		1.5	Fc & Ft	2742.8	1.168
8			Fc	2501.7	1.0696
9			Ft	1108.1	0.4709

Grafik diplot dari tabel di atas adalah sebagai berikut menyatakan bahwa perbandingan tegangan pada kondisi penerapan gaya yang berbeda pula. Dari grafik terlihat jelas bahwa dengan bertambahnya kedalaman potong, tegangan pada alat potong juga meningkat. Saat Fc dan Ft diterapkan pada alat potong amaka terjadi tegangan maksimum. Tegangan hampir bernilai sama jika Fc dan Ft dan hanya Fc yang diterapkan. Tapi tegangan yang terjadi pada pahat pemotong karena gaya dorong lebih kecil dibandingkan dengan gaya

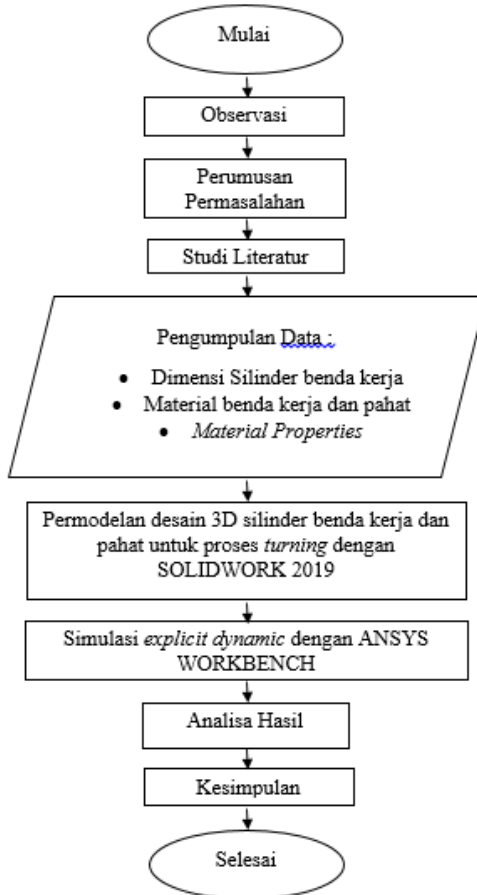
pemotongan.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah analisis eksperimental bahwa peningkatan kecepatan potong menghasilkan peningkatan suhu pemotongan. Hasil ini disebabkan oleh fakta bahwa peningkatan kecepatan potong menghasilkan peningkatan gaya pemotongan. Lebih banyak energi dibutuhkan untuk menghilangkan material sehingga jauh meningkatkan suhu pemotongan. Hal ini diamati bahwa ketika kedalaman pemotongan meningkat, tegangan vonmises yang dikembangkan pada alat meningkat pula dan juga deformasi peningkatan ujung alat yang merupakan alasan utama kegagalan alat. Pengaruh gaya potong lebih besar dibandingkan dengan gaya dorong pada *single point cutting tool*.

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilaksanakan untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini disajikan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.

Metode penelitian adalah sebuah rancangan strategi yang disusun untuk menjawab permasalahan yang ada. Dalam menyusun metode penelitian perlu dibentuk diagram alir agar dapat melaksanakan penelitian yang telah direncanakan secara runtut dan sistematis. Pada Gambar 3.1 telah ditunjukkan diagram alir yang telah peneliti rancang untuk melaksanakan penelitian ini.

### **3.2 Observasi**

Observasi merupakan langkah pertama yang dilakukan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian ini. Tujuan dari observasi ini adalah untuk menentukan ruang lingkup permasalahan yang akan dijadikan penelitian. Dalam penelitian ini, penulis melakukan observasi pada eksperimen pembubutan yang nantinya akan dibandingkan dengan proses simulasi, penulis melakukan simulasi numerik karena terkait kendala adanya keterbatasan untuk menyiapkan bahan dari benda kerja serta pahat jika dilakukan pada eksperimen, selain itu melakukan simulasi guna merancang suatu sistem numerik yang nantinya akan dapat dilihat hasil simulasi dengan eksperimen, dimana jika hasil numerik simulasi mendekati dengan hasil eksperimen, maka penelitian dengan menggunakan simulasi numerik dapat menghemat biaya operasional yang diperlukan pada proses eksperimen.

### **3.3 Perumusan Permasalahan**

Langkah berikutnya pada penelitian ini adalah peninjauan permasalahan. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana menentukan parameter dari proses *turning* yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil permesinan yang baik. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini sesuai dengan keadaan dunia manufaktur dimana pembentukan suatu produk akan semakin baik ketika proses pembentukan produk tersebut dilakukan secara optimal.

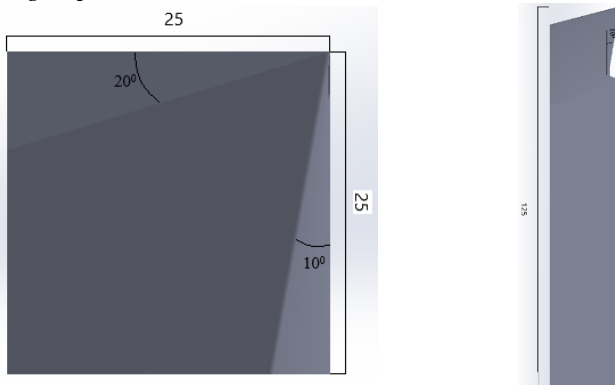


### 3.4 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan berikutnya setelah merumuskan permasalahan pada penelitian ini. Studi literatur bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini. Peneliti melakukan studi literatur dengan mencari buku yang menjelaskan tentang proses pemesinan *orthogonal turning* dan teori mengenai metode elemen hingga. Selain itu, peneliti juga melakukan studi literatur melalui jurnal-jurnal penelitian sebelumnya yang membahas tentang pemodelan dan analisa proses pemesinan *orthogonal cutting* dengan menggunakan metode elemen hingga.

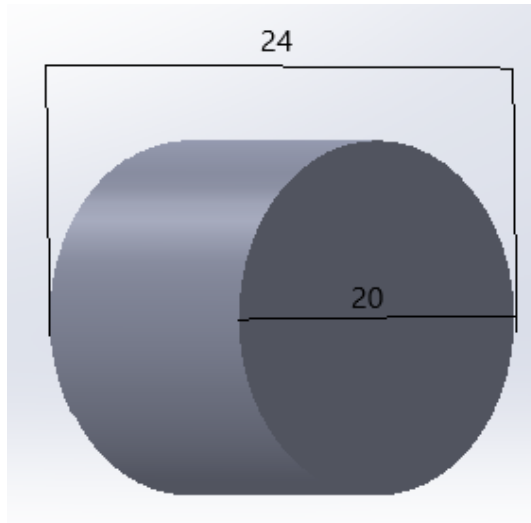
### 3.5 Dimensi dan Material

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah dimensi pahat, dimensi benda kerja, material benda kerja dan material properties yang ada pada material yang digunakan. Data – data tersebut didapat melalui jurnal - jurnal penelitian sebelumnya dan katalog yang sudah ada. Gambar 3.2 menunjukkan dimensi dari pahat *single point cutting tool*, Gambar 3.3 menunjukkan dimensi dari benda kerja. Material yang digunakan untuk benda kerja adalah *AISI 1018* dan material yang digunakan untuk pahat adalah *High Speed Steel M2*.



**Gambar 3. 2** Desain pahat *Single Point Cutting Tool*.

Standartasi pahat menggunakan Pahat DIN 4980 yaitu digunakan untuk proses pembubutan memanjang dengan hasil sudut bidangnya (plane angle) sebesar  $90^\circ$ . Selain pahat, didapatkan juga dimensi dari benda kerja yang ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Desain benda kerja.

### **3.6 Penentuan Besar *Spindle Speed, Feed Rate, rake angle* dan *depth of cut***

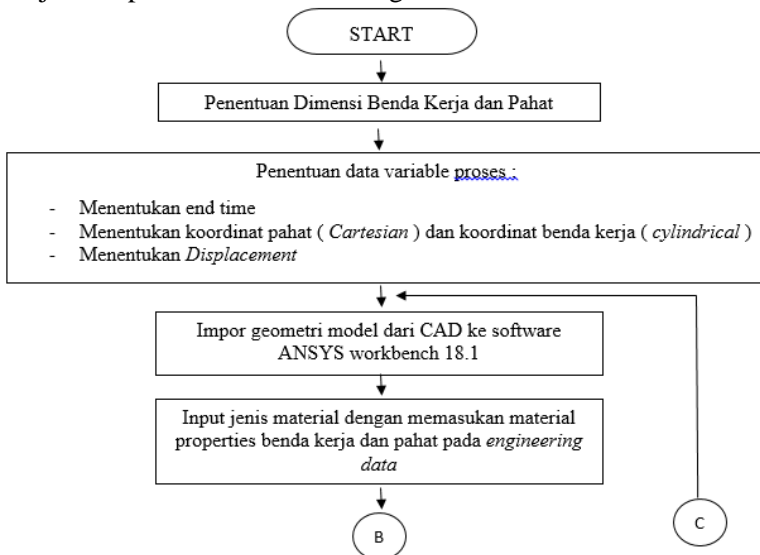
Penelitian ini menggunakan beberapa parameter yang divariasikan pada proses simulasi *orthogonal cutting*. Variasi tersebut terletak pada kecepatan poros, *rake angle*, dan laju gerak makan pada proses *orthogonal cutting*. Variasi ini diambil dari jurnal yang menjadi referensi pada penelitian ini. Pada jurnal tersebut telah disebutkan bahwa variasi – variasi tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil dari proses simulasi *orthogonal cutting* tersebut. Variasi – variasi tersebut ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut ini.

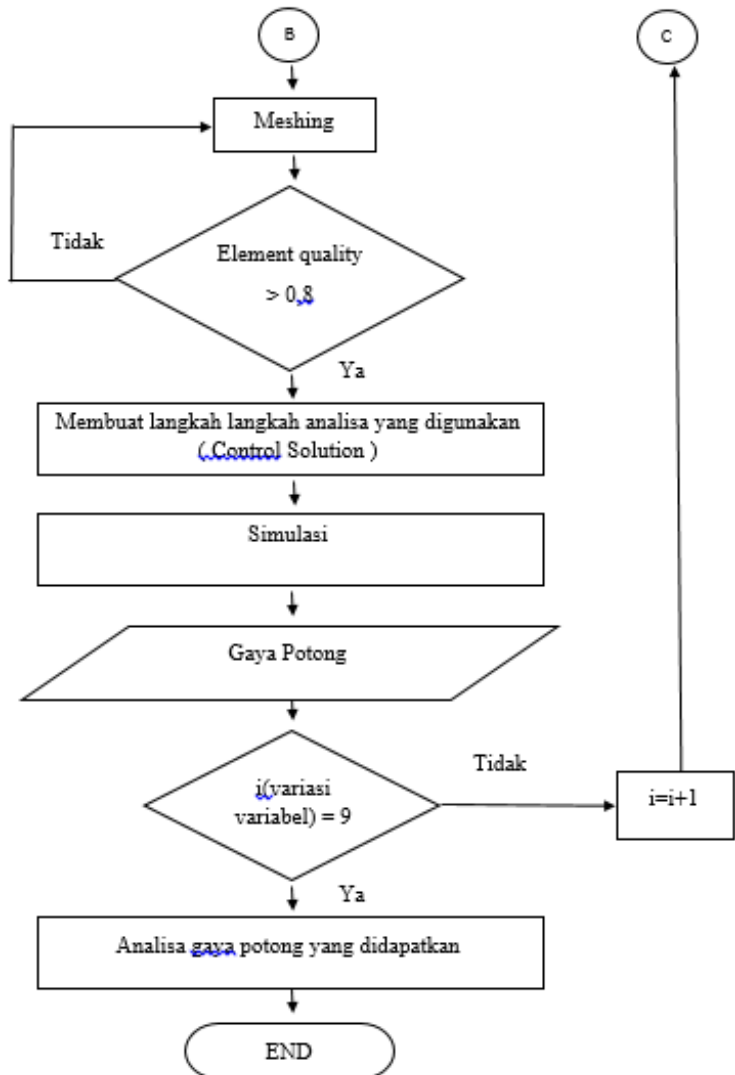
**Tabel 3.1** Parameter *input* yang divariasikan pada proses simulasi *orthogonal cutting*.

<i>Tool Type</i>	<i>Spindle Speed, n (rev/min)</i>	<i>Rake Angle</i>	<i>Feed Rate (mm/rev)</i>	<i>Depth Of Cut (mm)</i>
<i>Single Point Cutting Tool</i>	1150	0°	0,122	1
			0,156	
			0,215	
		10°	0,122	
			0,156	
			0,215	
18°	0,122			
	0,156			
	0,215			

### 3.7 Diaram Alir Simulasi

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan simulasi pada ANSYS disajikan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut:





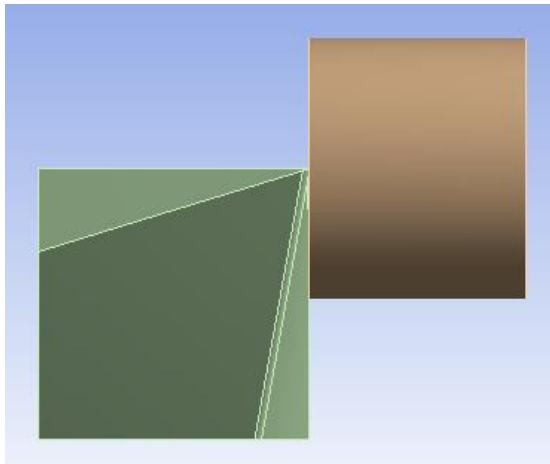
Gambar 3.4 Diagram alir simulasi ANSYS.

### 3.8. Proses *Set Up* Simulasi

Pada penelitian ini, penulis melakukan simulasi menggunakan software finite element analysis yaitu ANSYS Wokrbench 18.1 dengan metode explicit dynamics. Dalam melakukan analisis, perlu dilakukan pengaturan sebelum dilakukan simulasi antara lain:

#### 3.8.1 Pendefinisian Model

Langkah pertama pada simulasi ini adalah pendefinisian model dengan mengimpor model desain dari *software* CAD (SOLIDWORKS 2019) ke dalam *software* elemen hingga (ANSYS).



Gambar 3.5 Impor model desain ke ANSYS

Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan jenis material pada model. Pada simulasi *turning* ini, material yang digunakan didefinisikan sebagai berikut:

Tabel 3.2 Data properties material standar

Material	Young modulus (Mpa)	Poisson ratio	Shear Modulus (Pa)	Bulk Modulus (Pa)	Density Kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat (J/Kg.C)
AISI 1018	205000	0.29	$8 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{11}$	7800	486
HSS M2	225000	0.29	$8.7 \times 10^{10}$	$1.78 \times 10^{11}$	8100	420

Tabel 3.3 Nilai dari parameter material untuk pemodelan Johnson-Cook

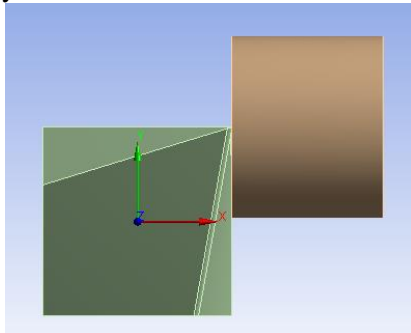
Material	AISI 1018Steel
$A$ (MPa)	520
$B$ (MPa)	269
$N$	0.282
$C$	0.0476
$M$	0.053
$T_{melt}$ (°C)	1520

Pada Tabel 3.2 ditunjukkan data *material properties* yang digunakan dalam simulasi ini, dan pada Tabel 3.3 merupakan parameter Johnson-Cook dari material AISI 1018 *steel* yang digunakan sebagai material dari silinder benda kerja. Sementara itu, *High Speed Steel M2* digunakan sebagai material dari pahat. Menggunakan *Multi-Linear Isentropic* sebagai model plastisitas material karena dapat mempresentasikan *stress-strain* diberbagai titik dan memodelkan persamaan *johnsoon-cook* dibutuhkan persamaan parabola

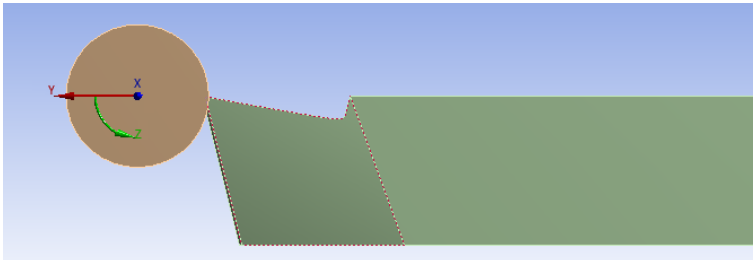
### 3.8.2 Coordinate System

Dalam mekanisme ANSYS, sistem koordinat berada di *Model Tree* antara *Geometry* dan *Connections*. Setelah menentukan

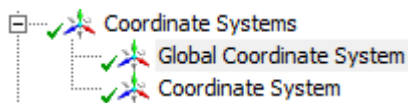
sistem koordinat, sistem tersebut tersedia untuk digunakan dengan objek lain yang dapat menggunakan sistem koordinat. Ini memungkinkan untuk menentukannya sekali, lalu menggunakannya berkali-kali.



Gambar 3.6 *Cartesian Coordinate System* pada simulasi ini



Gambar 3.7 *Cylindrical Coordinate System* pada simulasi ini

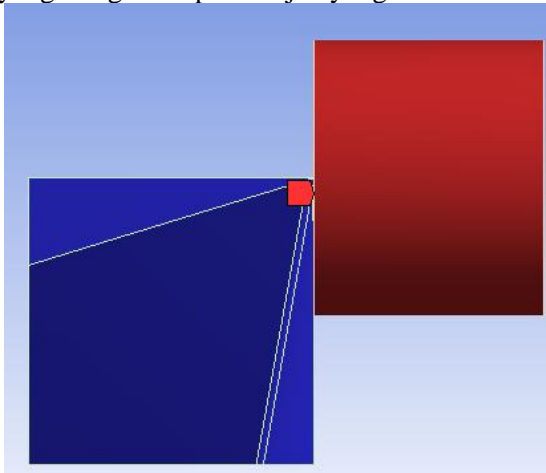


Gambar 3.8 *Coordinate System* simulasi ini pada ANSYS

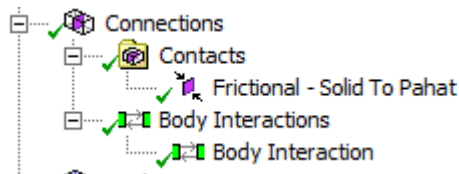
### 3.8.3 Connections

Langkah selanjutnya adalah menentukan *connections* pada simulasi ini, langkah ini bertujuan untuk mendefinisikan kontak dan

interaksi yang diinginkan pada objek yang akan disimulasikan.



Gambar 3.9 Penentuan *contacts*



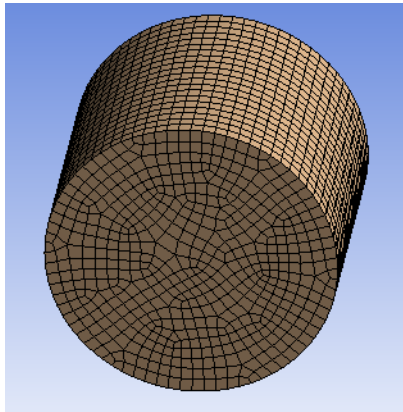
Gambar 3.10 *Connections* pada penelitian ini

### 3.8.4 Meshing

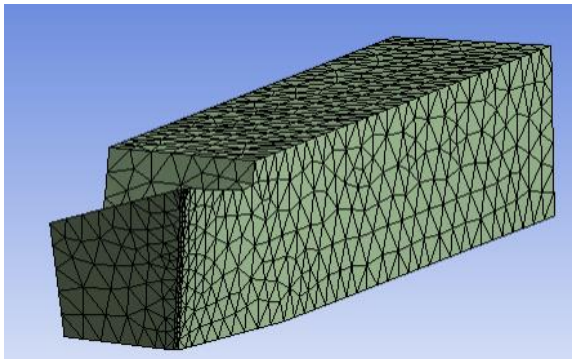
Meshing adalah bagian integral dari proses simulasi teknik di mana geometri kompleks dibagi menjadi elemen sederhana yang dapat digunakan sebagai pendekatan lokal diskrit dari domain yang lebih besar. Jala mempengaruhi akurasi, konvergensi dan kecepatan simulasi. Selain itu, karena meshing biasanya menghabiskan sebagian besar waktu yang diperlukan



untuk mendapatkan hasil simulasi, semakin baik dan lebih otomatis alat meshing, semakin cepat dan akurat solusinya. Jumlah dan ukuran tiap elemen juga dapat diatur sedemikian rupa dengan mengubah parameter – parameter seperti *size function*, *relevance center*, *element size*, atau *span angle center*. Pada penelitian ini digunakan metode *mesh multizone* pada benda kerja dan metode *mesh tetrahedrons* untuk pahat. Hasil *meshing* ditunjukkan pada Gambar 3.11, dan Gambar 3.12.



Gambar 3.11 *Mesh* pada benda kerja



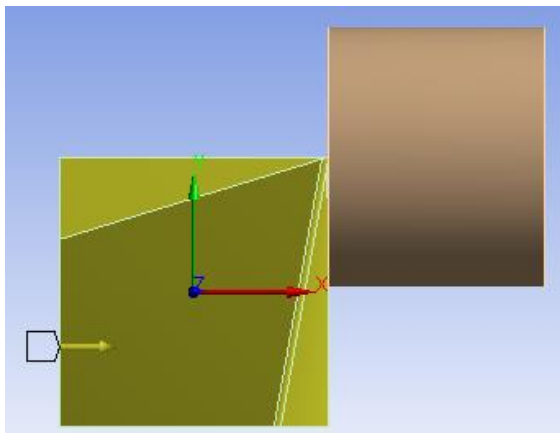
Gambar 3.12 *Mesh* pada pahat

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	High
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,30082
<input type="checkbox"/> Max	0,99955
<input type="checkbox"/> Average	0,89765
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,11207

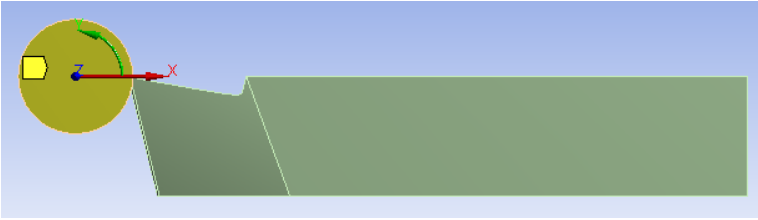
Gambar 3.13 *Element Quality* pada hasil *Meshing*

### 3.8.5 Displacement

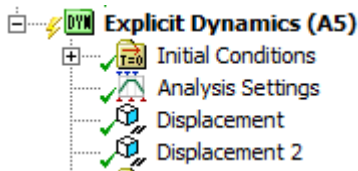
Langkah selanjutnya adalah memberikan *displacement* pada pahat dan benda kerja agar pahat dapat bergerak memotong benda kerja, dan agar benda kerja dapat berotasi.



Gambar 3.14 *Displacement* pada pahat



Gambar 3.15 *Displacement* pada benda kerja



Gambar 3.16 *Displacement* pada ANSYS untuk penelitian ini

### 3.8.6 Step Control

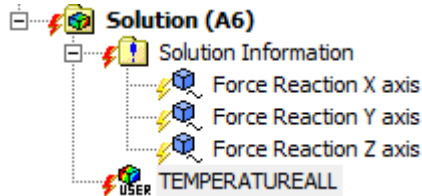
Langkah ini dilakukan untuk menentukan beberapa parameter input yang diinginkan dengan banyaknya variable yang ingin disimulasikan dapat membedakan hasil akhir dari simulasi yang dijalankan.

[-] Analysis Settings Preference	
Type	Program Control...
[-] Step Controls	
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
End Time	5,e-004 s
Maximum Energy Error	2,
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Control...
Minimum Time Step	Program Control...
Maximum Time Step	Program Control...

Gambar 3.17 *Analysis Settings* pada ANSYS

### 3.8.7 Solution

Hasil akhir yang akan dipecahkan oleh program tergantung pada hasil yang ingin diamati dari simulasi yang dilakukan. Pada percobaan ini



Gambar 3.18 *Solution* pada penelitian ini

### 3.9 Analisis Simulasi

Setelah dilakukan simulasi, akan didapatkan hasil output berupa *Force Reaction* pada sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Dimana gaya pada sumbu x merupakan gaya pada arah axial pada benda kerja, gaya pada sumbu y merupakan gaya pada arah tangensial pada benda kerja, dan gaya pada sumbu z merupakan gaya pada arah radial. *Output Force Reaction* tiap sumbu pada ANSYS ditunjukkan pada gambar 3.19 ; gambar 3.20 ; dan gambar 3.21

Options	
Result Selection	X Axis
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
Results	
Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	396,53 N

Gambar 3.19 *Output Force Reaction*  
 Pada Sumbu x ( feed rate 0,156 mm/rev dan rake angle 0°)

Options	
Result Selection	Y Axis
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
Results	
Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> Y Axis	298,77 N

Gambar 3.20 *Output Force Reaction*  
 Pada Sumbu y ( feed rate 0,156 mm/rev dan *rake angle* 0<sup>0</sup>)

Options	
Result Selection	Z Axis
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
Results	
Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> Z Axis	272,49 N

Gambar 3.21 *Output Force Reaction*  
 Pada Sumbu z ( feed rate 0,156 mm/rev dan *rake angle* 0<sup>0</sup>)

Analisis simulasi akan dilakukan berdasarkan hasil output *Force reaction* pada masing masing sumbu melalui simulasi menggunakan ANSYS dan terdapat 9 variasi simulasi yang akan dilakukan dengan hasil akhir berupa nilai *Force Reaction* pada benda kerja dengan perbedaan 9 variasi yang nantinya akan dibandingkan hasil besar *Force Reaction* yang dihasilkan pada tiap tiap variasi dan juga untuk tiap sumbu pengamatan

## **BAB IV PEMBAHASAN**

### **4.1 Perbandingan Hasil Gaya Potong Maksimum Uji Simulasi dengan Uji Eksperimen Proses Pembubutan AISI 1045**

Pada proses pemesinan *orthogonal turning*, untuk membentuk suatu geometri produk yang baik, tentunya dibutuhkan ketepatan geometri pada proses pembentukannya. Proses pemotongan yang terjadi antara pahat bubut dengan benda kerja tentunya menimbulkan gaya karena terjadinya proses benturan antara pahat dan benda kerja. Besar kecilnya gaya potong dapat mempengaruhi kualitas geometri dari produk itu sendiri. Selain itu, gaya potong yang timbul bisa membuat kondisi pahat menjadi tidak seperti sebelumnya dan kualitasnya menjadi menurun. Dengan menurunnya kualitas dari pahat itu sendiri tentunya akan berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, analisis gaya potong ini perlu dilakukan untuk melihat apakah pahat yang digunakan masih dalam keadaan optimal atau sudah mengalami keausan.

Gaya potong yang terjadi pada proses pemesinan *orthogonal turning* bisa didapatkan melalui suatu uji eksperimen atau uji simulasi. Hasil uji eksperimen didapat dari jurnal terdahulu yang melakukan eksperimen uji *orthogonal cutting* untuk menentukan gaya potongnya. Uji simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ANSYS Workbench Explicit Dynamics*. Dimana hasil gaya potong maksimum uji eksperimen ditunjukkan pada tabel 4.1 dan untuk hasil gaya potong maksimum uji simulasi ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.1 Hasil gaya potong maksimum uji eksperimen

	Kecepatan Poros (RPM)	Depth Of Cut (mm)	Rake Angle	Laju Gerak Makan (mm/rev)	Fx Maks (N)	Fy Maks (N)	Fz Maks (N)
1.	1150	0	0°	0,122	294,3	235,44	215,82
2.				0,156	353,16	274,68	245,25
3.				0,215	412,02	313,92	279,58
4.			10°	0,122	168,73	66,70	98,1
5.				0,156	229,55	80,44	122,625
6.				0,215	253,09	116,73	153,036
7.			18°	0,122	86,32	52,97	68,67
8.				0,156	153,03	70,63	90,25
9.				0,215	231,516	100,06	122,62

Tabel 4.2 Hasil gaya potong maksimum uji simulasi

	Kecepatan Poros (RPM)	Depth Of Cut (mm)	Rake Angle	Laju Gerak Makan (mm/rev)	Fx Maks (N)	Fy Maks (N)	Fz Maks (N)
1.	1150	0	0°	0,122	341,40	281,04	238,72
2.				0,156	396,53	298,77	272,49
3.				0,215	445,09	359,87	322,60
4.			10°	0,122	187,41	78,84	107,39
5.				0,156	253,98	91,24	132,07
6.				0,215	273,48	132,77	167,12
7.			18°	0,122	99,76	59,09	81,55
8.				0,156	172,41	76,93	104,98
9.				0,215	253,69	117,11	139,04

Setelah didapatkan hasil gaya potong maksimum dari uji simulasi, maka hasil gaya potong maksimum uji simulasi dibandingkan dengan hasil gaya potong maksimum uji eksperimen untuk memvalidasi hasil gaya potong maksimum tersebut apakah sudah mendekati hasil dari uji eksperimen atau belum dengan

maksimal toleransi 20%. Jika hasilnya sudah di bawah 20% artinya *set up* yang dibuat di perangkat lunak sudah benar dan gaya potong maksimum pada proses *orthogonal turning* bisa didapatkan melalui uji simulasi. Perbandingan hasil gaya potong maksimum uji simulasi dengan hasil gaya potong maksimum uji eksperimen ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Perbandingan hasil gaya potong maksimum uji eksperimen dan uji simulasi

		Fx maks (N)		Fy maks (N)		Fz maks (N)	
		Eksperimen	Simulasi	Eksperimen	Simulasi	Eksperimen	Simulasi
0°	0,122	294,3	341,40	235,44	281,04	215,82	238,72
	0,156	353,16	396,53	274,68	298,77	245,25	272,49
	0,215	412,02	445,09	313,92	359,87	279,58	322,60
10°	0,122	168,73	187,41	66,70	78,84	98,1	107,39
	0,156	229,55	253,98	80,44	91,24	122,625	132,07
	0,215	253,09	273,48	116,73	132,77	153,036	167,12
18°	0,122	86,32	99,76	52,97	59,09	68,67	81,55
	0,156	153,03	172,41	70,63	76,93	90,25	104,98
	0,215	231,516	253,69	100,06	117,11	122,62	139,04

Setelah dibandingkan, maka didapatkan error dari masing – masing gaya potong maksimum pada arah x,y, dan z dari masing – masing variasi yang ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 *Error* hasil gaya potong maksimum uji eksperimen dan uji simulasi

		<i>Error (%)</i>		
		Fx maks (N)	Fy maks (N)	Fz maks (N)
0°	0,122	16	19,36	10,61
	0,156	12,28	8,7	11,10
	0,215	8,02	12,72	15,38
10°	0,122	11,07	18,2	9,46
	0,156	10,64	13,42	7,7
	0,215	8,05	13,74	9,2
18°	0,122	15,56	11,55	18,75
	0,156	12,66	8,91	16,32
	0,215	9,5	17,03	13,39



*Error* yang didapatkan dari hasil gaya potong maksimum uji eksperimen dengan uji simulasi dengan sembilan variasi dimana dibagi menjadi tiga variasi untuk masing – masing *rake angle*. Untuk tipe yang pertama adalah *rake angle*  $0^0$  dimana untuk *error* pada gaya potong maksimum arah x didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 16%; 0,156 mm/rev sebesar 12,28%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 8,02%. Untuk *error* pada gaya potong maksimum arah y didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 19,36%; 0,156 mm/rev sebesar 8,7%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 12,72%. Untuk *error* pada gaya potong maksimum arah z didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 10,61%; 0,156 mm/rev sebesar 11,10%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 15,38%. Dari keseluruhan *error* yang didapat pada gaya potong maksimum arah x, y, dan z untuk variasi *rake angle* tidak ada *error* yang besarnya melebihi 20%. Artinya *set up* yang dibuat di perangkat lunak sudah benar dan gaya potong maksimum arah x,y, dan z pada proses *orthogonal turning* dengan *rake angle*  $0^0$  bisa didapatkan melalui uji simulasi.

Untuk variasi yang kedua adalah *rake angle*  $10^0$  dimana untuk *error* pada gaya potong maksimum arah x didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 11,07%; 0,156 mm/rev sebesar 10,64%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 8,05%. Untuk *error* pada gaya potong maksimum arah y didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 18,2%; 0,156 mm/rev sebesar 13,42%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 13,74%. Untuk *error* pada gaya potong maksimum arah z didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 9,46%; 0,156 mm/rev sebesar 7,7%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 9,2%. Dari keseluruhan *error* yang didapat pada gaya potong maksimum arah x, y, dan z untuk variasi *rake angle*  $10^0$  tidak ada *error* yang besarnya melebihi 20%. Artinya *set up* yang dibuat di perangkat lunak sudah benar dan gaya potong maksimum arah x,y, dan z pada proses *orthogonal turning* dengan *rake angle*  $10^0$  bisa didapatkan melalui uji simulasi.

Untuk variasi yang ketiga adalah *rake angle*  $18^0$  dimana untuk *error* pada gaya potong maksimum arah x didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 15,56%; 0,156 mm/rev sebesar 12,66%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 9,5%. Untuk *error* pada gaya potong maksimum arah y didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 11,55%; 0,156 mm/rev sebesar 8,91%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 17,03%. Untuk *error* pada gaya potong maksimum arah z didapatkan masing – masing pada variasi laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 18,75%; 0,156 mm/rev sebesar 16,32%; dan untuk 0,215 mm/rev sebesar 13,39%. Dari keseluruhan *error* yang didapat pada gaya potong maksimum arah x, y, dan z untuk variasi *rake angle*  $18^0$  tidak ada *error* yang besarnya melebihi 20%. Artinya *set up* yang dibuat di perangkat lunak sudah benar dan gaya potong maksimum arah x,y, dan z pada *orthogonal turning* dengan *rake angle*  $18^0$  bisa didapatkan melalui uji simulasi.

Besar kecilnya *error* yang dihasilkan cenderung fluktuatif, *error* terkecil terdapat pada variasi *rake angle*  $10^0$  dan laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 7,7%. Untuk *error* terbesar terdapat pada variasi *rake angle*  $0^0$  dan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 19,36%. Hal ini bisa terjadi karena penentuan titik koordinat pengamatan untuk menganalisa gaya potong yang terjadi berbeda dengan uji eksperimen yang sudah dilakukan, perbedaan *mechanical properties* material yang digunakan pada eksperimen dan simulasi dan juga penggunaan *meshing* yang kurang tepat.

#### **4.2 Pengaruh Besarnya Gaya Potong terhadap Variasi *Rake Angle***

Gaya potong terjadi karena adanya proses pemotongan antara pahat dan benda kerja. Besar kecilnya gaya potong dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi besar kecilnya gaya potong adalah besar *rake angle*. Gaya potong dibagi ke tiga arah yang berbeda, yaitu gaya potong arah normal yang diwakilkan dengan sumbu x, gaya potong arah tangensial yang diwakilkan dengan sumbu y, dan gaya potong

arah radial yang diwakilkan dengan sumbu z.

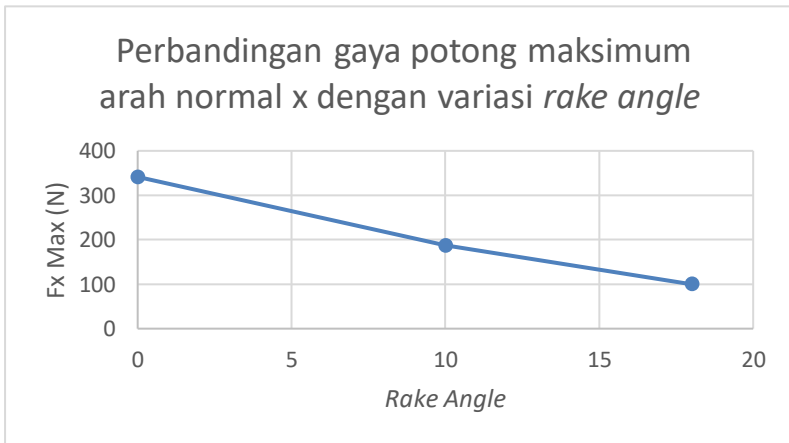
#### 4.2.1 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada Arah Normal (X) terhadap Variasi *Rake Angle*

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ , dan  $18^{\circ}$  dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan laju gerak makan sebesar 0,122 mm/rev didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal yang diwakilkan dengan koordinat x ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Gaya potong maksimum arah normal x dengan variasi *rake angle*

<i>Rake Angle</i>	Fx Maksimum (N)
$0^{\circ}$	341,40
$10^{\circ}$	187,41
$18^{\circ}$	99,76

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah normal x pada proses pemesinan *orthogonal turning* dengan *rake angle*  $0^{\circ}$  sebesar 341,40 N, *rake angle*  $10^{\circ}$  sebesar 187,41 N, dan *rake angle*  $18^{\circ}$  sebesar 99,76 N. Setelah mendapatkan gaya potong maksimum arah normal x dari variasi *rake angle* yang diberikan, maka selanjutnya perlu untuk membuat grafik antara gaya potong maksimum arah normal x dengan *rake angle* proses *orthogonal cutting* itu sendiri. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana pengaruh besar *rake angle* pada pahat terhadap besarnya gaya potong maksimum arah normal x tersebut. Berdasarkan data pada tabel 4.5, didapatkan grafik perbandingan antara gaya potong maksimum arah normal terhadap variasi besarnya *rake angle* pada pahat yang ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah normal x dengan variasi *rake angle*

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.1, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum arah normal x memiliki *trendline* turun seiring dengan bertambah besarnya *Rake Angle* dari pahat dan juga *series rake angle* yang menunjukkan variasi dari besar *rake angle* yaitu sebesar  $0^0$  untuk *series pertama*,  $10^0$  untuk *series kedua* dan  $18^0$  untuk *series ketiga*. Artinya, semakin besar *rake angle* pada proses *orthogonal turning* maka gaya potong maksimum pada arah normal x nya semakin kecil. Dengan *rake angle*  $0^0$  gaya potong maksimum yang timbul sebesar 341,40 N. Untuk *rake angle*  $10^0$  gaya potong maksimum yang timbul semakin kecil, yaitu sebesar 187,41 N. Untuk *rake angle*  $18^0$  gaya potong maksimum yang timbul semakin kecil, yaitu sebesar 99,76 N.

Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin besar *rake angle* dari kontak antara pahat dengan benda kerja maka akan semakin kecil gaya yang dibutuhkan supaya proses pemesinan *orthogonal turning* bisa terjadi. Hasil uji eksperimen *orthogonal turning* yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu juga menunjukkan hasil yang sama dimana semakin besar *rake angle* dari kontak antara pahat dengan benda kerja, maka gaya potong maksimum arah

normal x nya akan semakin kecil.

#### 4.2.2 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada arah Tangensial (Y) terhadap Variasi *Rake Angle*

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *rake angle* sebesar  $0^0$ ,  $10^0$ , dan  $18^0$  dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan laju gerak makan sebesar 0,122 mm/rev didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal yang diwakilkan dengan koordinat y ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Gaya potong maksimum arah tangensial y dengan variasi *rake angle*

<i>Rake Angle</i>	Fy Maksimum (N)
$0^0$	281,04
$10^0$	78,84
$18^0$	59,09

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah tangensial y pada proses pemesinan *orthogonal turning* dengan rake angle  $0^0$  sebesar 281,04 N, rake angle  $10^0$  sebesar 78,84 N, dan rake angle  $18^0$  sebesar 59,09 N. Setelah mendapatkan gaya potong maksimum arah tangensial y dari variasi *rake angle* yang diberikan, maka selanjutnya perlu untuk membuat grafik antara gaya potong maksimum arah tangensial y dengan *rake angle* proses *orthogonal cutting* itu sendiri. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana pengaruh besar *rake angle* pada pahat terhadap besarnya gaya potong maksimum arah tangensial y tersebut. Berdasarkan data pada tabel 4.5, didapatkan grafik perbandingan antara gaya potong maksimum arah normal terhadap variasi besarnya *rake angle* pada pahat yang ditunjukkan pada gambar 4.2

berikut:



Gambar 4.2 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah tangensial y dengan variasi *rake angle*

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.2, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum arah tangensial y memiliki *trendline* turun seiring dengan bertambah besarnya *Rake Angle* dari pahat dan juga *series rake angle* yang menunjukkan variasi dari besar *rake angle* yaitu sebesar  $0^0$  untuk *series pertama*,  $10^0$  untuk *series kedua* dan  $18^0$  untuk *series ketiga*. Artinya, semakin besar *rake angle* pada proses *orthogonal turning* maka gaya potong maksimum pada arah tangensial y nya semakin kecil. Dengan *rake angle*  $0^0$  gaya potong maksimum yang timbul sebesar 281,04 N. Untuk *rake angle*  $10^0$  gaya potong maksimum yang timbul semakin kecil, yaitu sebesar 78,84 N. Untuk *rake angle*  $18^0$  gaya potong maksimum yang timbul semakin kecil, yaitu sebesar 59,09 N.

Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin besar *rake angle* dari kontak antara pahat dengan benda kerja maka akan semakin kecil gaya yang dibutuhkan supaya proses pemesinan *orthogonal turning* bisa terjadi. Hasil uji eksperimen *orthogonal turning* yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu juga menunjukkan hasil

yang sama dimana semakin besar *rake angle* dari kontak antara pahat dengan benda kerja, maka gaya potong maksimum arah tangensial  $y$  nya akan semakin kecil.

#### 4.2.3 Pengaruh Besarnya Gaya Potong Maksimum pada arah Radial ( $Z$ ) terhadap Variasi *Rake Angle*

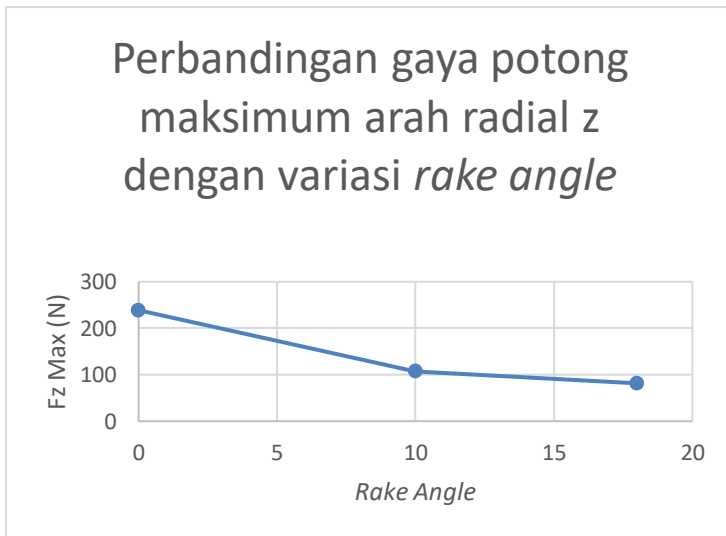
Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ , dan  $18^{\circ}$  dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan laju gerak makan sebesar 0,122 mm/rev didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal yang diwakilkan dengan koordinat  $y$  ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Gaya potong maksimum arah radial  $z$  dengan variasi *rake angle*

<i>Rake Angle</i>	Fz Maksimum (N)
$0^{\circ}$	238,72
$10^{\circ}$	107,39
$18^{\circ}$	81,55

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah tangensial  $y$  pada proses pemesinan *orthogonal turning* dengan *rake angle*  $0^{\circ}$  sebesar 238,72 N, *rake angle*  $10^{\circ}$  sebesar 107,39 N, dan *rake angle*  $18^{\circ}$  sebesar 81,55 N. Setelah mendapatkan gaya potong maksimum arah radial  $z$  dari variasi *rake angle* yang diberikan, maka selanjutnya perlu untuk membuat grafik antara gaya potong maksimum arah radial  $z$  dengan *rake angle* proses *orthogonal cutting* itu sendiri. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana pengaruh besar *rake angle* pada pahat terhadap besarnya gaya potong maksimum arah radial  $z$  tersebut.

Berdasarkan data pada tabel 4.7, didapatkan grafik perbandingan antara gaya potong maksimum arah normal terhadap variasi besarnya *rake angle* pada pahat yang ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah radial z dengan variasi *rake angle*

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.3, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum arah tangensial y memiliki *trendline* turun seiring dengan bertambah besarnya *Rake Angle* dari pahat dan juga *series rake angle* yang menunjukkan variasi dari besar *rake angle* yaitu sebesar  $0^{\circ}$  untuk *series pertama*,  $10^{\circ}$  untuk *series kedua* dan  $18^{\circ}$  untuk *series ketiga*. Artinya, semakin besar *rake angle* pada proses *orthogonal turning* maka gaya potong maksimum pada arah tangensial y nya semakin kecil. Dengan *rake angle*  $0^{\circ}$  gaya potong maksimum yang timbul sebesar 281,04 N. Untuk *rake angle*  $10^{\circ}$  gaya potong maksimum yang timbul semakin kecil, yaitu sebesar 78,84 N. Untuk *rake angle*  $18^{\circ}$  gaya potong maksimum yang timbul semakin kecil, yaitu sebesar 59,09 N.



Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin besar *rake angle* dari kontak antara pahat dengan benda kerja maka akan semakin kecil gaya yang dibutuhkan supaya proses pemesinan *orthogonal turning* bisa terjadi. Hasil uji eksperimen *orthogonal turning* yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu juga menunjukkan hasil yang sama dimana semakin besar *rake angle* dari kontak antara pahat dengan benda kerja, maka gaya potong maksimum arah tangensial y nya akan semakin kecil.

### **4.3 Pengaruh Besarnya Gaya Potong terhadap Variasi *Feed Rate* ( Laju Makan )**

Gaya potong terjadi karena adanya proses pemotongan antara pahat dan benda kerja. Besar kecilnya gaya potong dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi besar kecilnya gaya potong adalah laju gerak makan yang digunakan untuk memotong benda kerja itu sendiri. Laju gerak makan adalah laju gerak pemakanan benda kerja yang bergerak memotong menuju pahat yang berputar atau biasa diwakilkan dengan satuan mm/rev. Gaya potong dibagi ke tiga arah yang berbeda, yaitu gaya potong arah normal yang diwakilkan dengan sumbu x, gaya potong arah tangensial yang diwakilkan dengan sumbu y, dan gaya potong arah aksial yang diwakilkan dengan sumbu z.

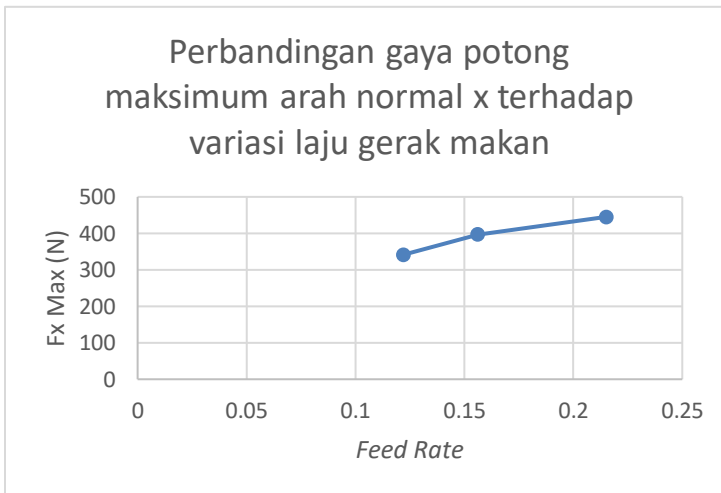
#### **4.3.1 Pengaruh Besarnya Gaya Potong pada Arah Normal (X) terhadap Variasi Laju Makan**

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $0^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal yang diwakilkan dengan koordinat x ditunjukkan pada tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Gaya potong maksimum arah normal x variasi laju gerak makan

Laju Gerak Makan (mm/rev)	Fx Maksimum (N)
0,122	341,40
0,156	396,53
0,215	445,09

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah normal x pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 341,40 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 396,53 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 445,09 N. Setelah mendapatkan gaya potong maksimum arah normal x dari variasi laju gerak makan yang diberikan, maka selanjutnya perlu untuk membuat grafik antara gaya potong maksimum arah normal x dengan laju gerak makan dari proses *orthogonal turning* itu sendiri. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana pengaruh besar laju gerak makan pada benda kerja terhadap besarnya gaya potong maksimum arah normal x tersebut. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara gaya potong maksimum arah normal terhadap variasi besarnya laju gerak makan pada benda kerja yang ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah normal x terhadap variasi laju gerak makan

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.4, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum arah normal x memiliki *trendline* naik seiring dengan bertambah besarnya laju gerak makan pada benda kerja. Artinya, semakin besar laju gerak makan pada benda kerja maka gaya potong maksimum pada arah normal x nya akan semakin besar pula. Dengan *series feed rate* yang menunjukkan variasi dari besar *feed rate* yaitu sebesar 0,122 mm/rev untuk *series pertama*, 0,156 mm/rev untuk *series kedua* dan 0,215 mm/rev untuk *series ketiga*. Menggunakan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$  Dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul sebesar 341,40 N. Untuk laju gerak makan 0,156 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul semakin besar sebesar 396,53 N. Untuk laju gerak makan 0,215 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul lebih besar dari laju gerak makan 0,122 mm/rev dan 0,156 mm/rev yaitu sebesar 445,09 N.

Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin besar laju gerak makan dari benda kerja maka akan semakin besar gaya yang dibutuhkan pada proses pemesinan *orthogonal turning*. Hasil uji

eksperimen *orthogonal turning* yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu juga menunjukkan hasil yang sama dimana semakin besar laju gerak makan pada benda kerja maka gaya potong maksimum arah normal  $x$  nya akan semakin besar. Hal ini bisa terjadi karena semakin cepat benda kerja bergerak menuju pahat sampai terjadinya proses pemotongan dengan kecepatan putar dan kecepatan potong yang sama, luas penampang geram yang dihasilkan akan semakin besar sehingga gaya yang dibutuhkan untuk memotong benda kerja yang bergerak juga akan semakin besar.

#### 4.3.2 Pengaruh Besarnya Gaya Potong pada Arah Tangensial (Y) terhadap Variasi Laju Makan

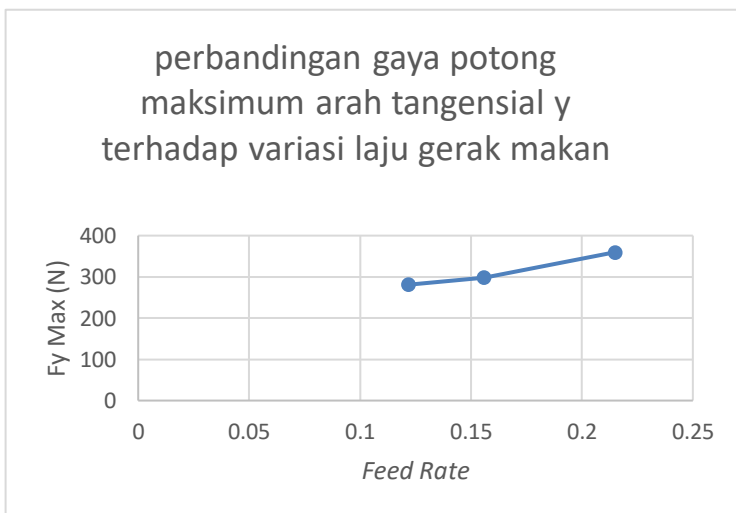
Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1 mm, dan *rake angle* sebesar  $0^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah tangensial yang diwakilkan dengan koordinat  $y$  ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Gaya potong maksimum arah tangensial  $y$  variasi laju gerak makan

Laju Gerak Makan (mm/rev)	Fy Maksimum (N)
0,122	281,04
0,156	298,77
0,215	359,87

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah tangensial  $y$  pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle*

sebesar  $0^0$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 281,04 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 298,77 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 359,87 N. Setelah mendapatkan gaya potong maksimum arah tangensial y dari variasi laju gerak makan yang diberikan, maka selanjutnya perlu untuk membuat grafik antara gaya potong maksimum arah tangensial y dengan laju gerak makan dari proses *orthogonal turning* itu sendiri. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana pengaruh besar laju gerak makan pada benda kerja terhadap besarnya gaya potong maksimum arah tangensial y tersebut. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara gaya potong maksimum arah tangensial terhadap variasi besarnya laju gerak makan pada benda kerja yang ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah tangensial y terhadap variasi laju gerak makan

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.5, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum arah tangensial y memiliki *trendline* naik

seiring dengan bertambah besarnya laju gerak makan pada benda kerja. Artinya, semakin besar laju gerak makan pada benda kerja maka gaya potong maksimum pada arah tangensial nya akan semakin besar pula. Dengan *series feed rate* yang menunjukkan variasi dari besar *feed rate* yaitu sebesar 0,122 mm/rev untuk *series pertama*, 0,156 mm/rev untuk *series* kedua dan 0,215 mm/rev untuk *series* ketiga. Menggunakan *rake angle* sebesar  $0^0$  Dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul sebesar 281,04 N. Untuk laju gerak makan 0,156 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul semakin besar sebesar 298,77 N. Untuk laju gerak makan 0,215 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul lebih besar dari laju gerak makan 0,122 mm/rev dan 0,156 mm/rev yaitu sebesar 359,87 N.

Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin besar laju gerak makan dari benda kerja maka akan semakin besar gaya yang dibutuhkan pada proses pemesinan *orthogonal turning*. Hasil uji eksperimen *orthogonal turning* yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu juga menunjukkan hasil yang sama dimana semakin besar laju gerak makan pada benda kerja maka gaya potong maksimum arah tangensial nya akan semakin besar. Hal ini bisa terjadi karena semakin cepat benda kerja bergerak menuju pahat sampai terjadinya proses pemotongan dengan kecepatan putar dan kecepatan potong yang sama, luas penampang geram yang dihasilkan akan semakin besar sehingga gaya yang dibutuhkan untuk memotong benda kerja yang bergerak juga akan semakin besar.

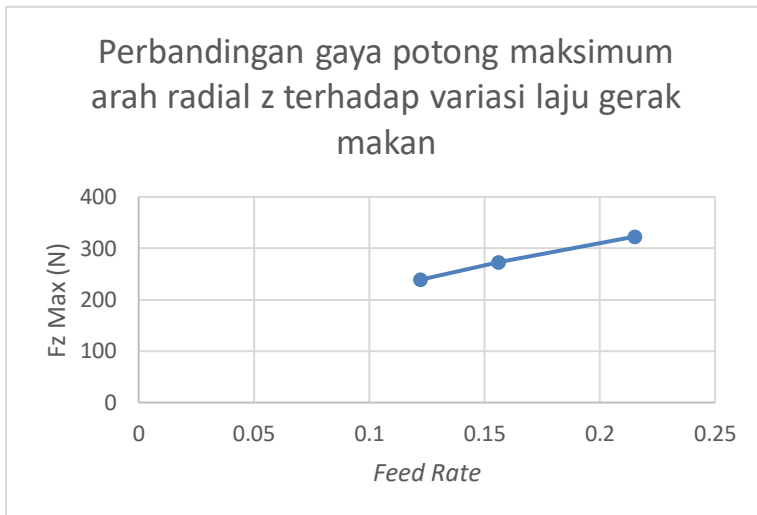
#### 4.3.3 Pengaruh Besarnya Gaya Potong pada Arah Radial (Z) terhadap Variasi Laju Makan

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1 mm, dan *rake angle* sebesar  $0^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah tangensial yang diwakilkan dengan koordinat y ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Gaya potong maksimum arah radial z variasi laju gerak makan

Laju Gerak Makan (mm/rev)	Fz Maksimum (N)
0,122	238,72
0,156	272,49
0,215	322,60

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah radial z pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 238,72 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 272,49 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 322,60 N. Setelah mendapatkan gaya potong maksimum arah radial z dari variasi laju gerak makan yang diberikan, maka selanjutnya perlu untuk membuat grafik antara gaya potong maksimum arah radial z dengan laju gerak makan dari proses *orthogonal turning* itu sendiri. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana pengaruh besar laju gerak makan pada benda kerja terhadap besarnya gaya potong maksimum arah radial z tersebut. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara gaya potong maksimum arah radial terhadap variasi besarnya laju gerak makan pada benda kerja yang ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Grafik perbandingan gaya potong maksimum arah radial z terhadap variasi laju gerak makan

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.6, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum arah tangensial y memiliki *trendline* naik seiring dengan bertambah besarnya laju gerak makan pada benda kerja. Artinya, semakin besar laju gerak makan pada benda kerja maka gaya potong maksimum pada arah radial z nya akan semakin besar pula. Dengan *series feed rate* yang menunjukkan variasi dari besar *feed rate* yaitu sebesar 0,122 mm/rev untuk *series pertama*, 0,156 mm/rev untuk *series kedua* dan 0,215 mm/rev untuk *series ketiga*. Menggunakan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$  Dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul sebesar 238,72 N. Untuk laju gerak makan 0,156 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul semakin besar sebesar 272,49 N. Untuk laju gerak makan 0,215 mm/rev gaya potong maksimum yang timbul lebih besar dari laju gerak makan 0,122 mm/rev dan 0,156 mm/rev yaitu sebesar 322,60 N.

Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin besar laju gerak makan dari benda kerja maka akan semakin besar gaya yang



dibutuhkan pada proses pemesinan *orthogonal turning*. Hasil uji eksperimen *orthogonal turning* yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu juga menunjukkan hasil yang sama dimana semakin besar laju gerak makan pada benda kerja maka gaya potong maksimum arah radial z nya akan semakin besar. Hal ini bisa terjadi karena semakin cepat benda kerja bergerak menuju pahat sampai terjadinya proses pemotongan dengan kecepatan putar dan kecepatan potong yang sama, luas penampang geram yang dihasilkan akan semakin besar sehingga gaya yang dibutuhkan untuk memotong benda kerja yang bergerak juga akan semakin besar.

#### 4.4 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu aksial, tangensial, dan juga radial

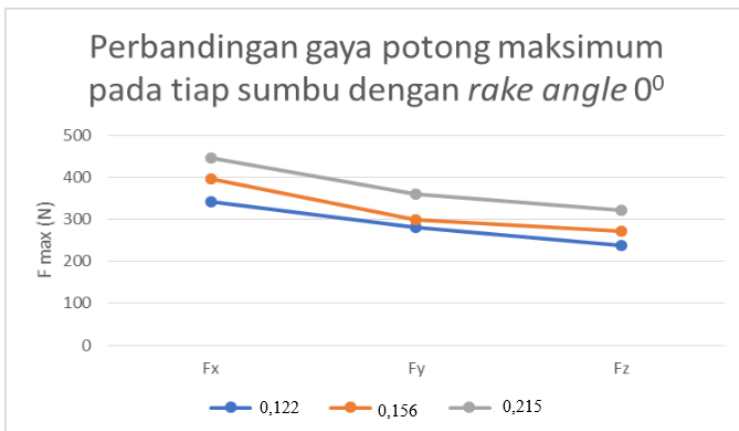
##### 4.4.1 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu aksial, tangensial, dan juga radial dengan *rake angle* $0^0$

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $0^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah aksial, tangensial, dan juga radial dengan nilai yang berbeda beda pula ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Gaya potong maksimum arah aksial, tangensial dan radial untuk variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $0^0$

Feed Rate (mm/rev)	F <sub>x</sub> Maksimum (N)	F <sub>y</sub> Maksimum (N)	F <sub>z</sub> Maksimum (N)
0,122	341,40	281,04	238,72
0,156	396,53	298,77	272,49
0,215	445,09	359,87	322,60

dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 341,40 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 396,53 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 445,09 N. hasil gaya potong arah tangensial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $0^0$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 396,53 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 298,77 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 272,49 N. hasil gaya potong arah radial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $0^0$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 238,72 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 272,49 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 322,60 N. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana perbandingan besar gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu. Diiketahui bahwa gaya potong terbesar terjadi pada arah aksial, lalu diikuti dengan gaya potong di arah tangensial, dan gaya potong yang terkecil terjadi pada arah radial. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu yang ditunjukkan pada gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7 Grafik perbandingan gaya potong maksimum pada tiap sumbu dengan *rake angle*  $0^0$

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.7, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum pada sumbu aksial memiliki nilai paling

besar dibandingkan dengan hasil gaya potong pada sumbu tangensial dan juga radial. Lalu nilai gaya potong terbesar kedua terjadi pada sumbu tangensial dan gaya potong terkecil terjadi pada sumbu radial. Untuk tiap kenaikan nilai feed rate, gaya potong pada tiap sumbu pun memiliki *trendline* naik, untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu aksial dari *feed rate* 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 341,40 N ke 445,09 N; untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu tangensial dari *feed rate* 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 281,04 N ke 359,87 N; untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu radial dari *feed rate* 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 238,72 N ke 322,60 N.

#### 4.4.2 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu aksial, tangensial, dan juga radial dengan *rake angle* $10^0$

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $10^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah aksial, tangensial, dan juga radial dengan nilai yang berbeda beda pula ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu aksial, tangensial, dan juga radial dengan *rake angle*  $10^0$

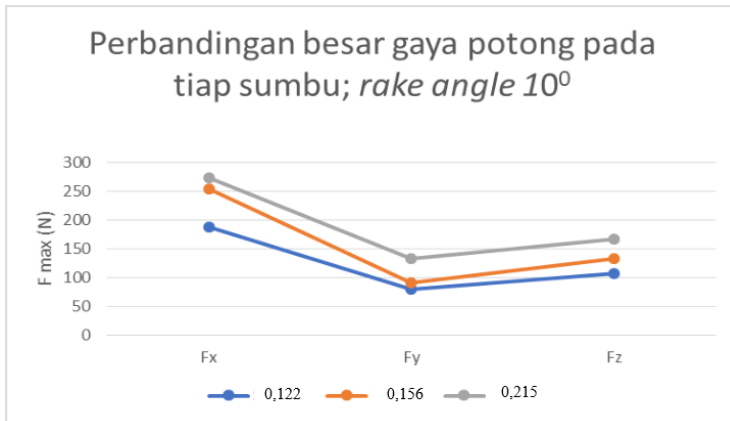
Feed Rate (mm/rev)	F <sub>x</sub> Maksimum (N)	F <sub>y</sub> Maksimum (N)	F <sub>z</sub> Maksimum (N)
0,122	187,41	78,84	107,39
0,156	253,98	91,24	132,07
0,215	273,48	132,77	167,12

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $10^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah

aksial, tangensial, dan juga radial dengan nilai yang berbeda beda pula ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Gaya potong maksimum arah aksial, tangensial dan radial untuk variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $10^0$

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $10^0$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 187,41 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 253,98 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 273,48 N. hasil gaya potong arah tangensial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $10^0$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 78,84 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 91,24 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 132,77 N. hasil gaya potong arah radial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $10^0$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 107,39 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 132,07 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 167,12 N. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana perbandingan besar gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu. Diiketahui bahwa gaya potong terbesar terjadi pada arah aksial, lalu diikuti dengan gaya potong di arah radial, dan gaya potong yang terkecil terjadi pada arah tangensial. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu yang ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.8 Grafik perbandingan gaya potong maksimum pada tiap sumbu dengan rake angle  $10^0$

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.8, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum pada sumbu aksial memiliki nilai paling besar dibandingkan dengan hasil gaya potong pada sumbu tangensial dan juga radial. Lalu nilai gaya potong terbesar kedua terjadi pada sumbu radial dan gaya potong terkecil terjadi pada sumbu tangensial. Untuk tiap kenaikan nilai feed rate, gaya potong pada tiap sumbu pun memiliki *trendline* naik, untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu aksial dari feed rate 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 187,41 N ke 273,48 N; untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu tangensial dari feed rate 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 78,84 N ke 132,77 N; untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu radial dari feed rate 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 107,39 N ke 167,12 N.

#### 4.4.3 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu aksial, tangensial, dan juga radial dengan rake angle $18^0$

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan feed rate sebesar 0,122 mm/rev, dengan kecepatan putar

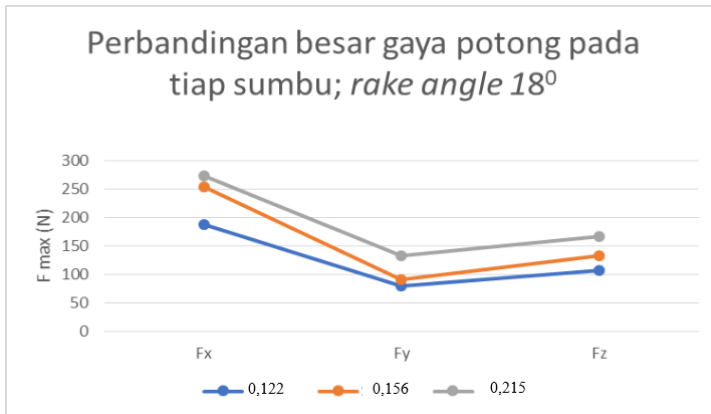
sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $18^{\circ}$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah aksial, tangensial, dan juga radial dengan nilai yang berbeda beda pula ditunjukkan pada tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Gaya potong maksimum arah aksial, tangensial dan radial untuk variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $18^{\circ}$

Feed Rate (mm/rev)	Fx Maksimum (N)	Fy Maksimum (N)	Fz Maksimum (N)
0,122	99,76	59,09	81,55
0,156	172,41	76,93	104,98
0,215	253,69	117,11	139,04

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $18^{\circ}$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 99,76 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 172,41 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 253,69 N. hasil gaya potong arah tangensial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $18^{\circ}$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 59,09 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 76,93 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 117,11 N. hasil gaya potong arah radial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $18^{\circ}$  dengan laju gerak makan 0,122 mm/rev sebesar 81,55 N, laju gerak makan 0,156 mm/rev sebesar 104,98 N, dan laju gerak makan 0,215 mm/rev sebesar 139,04 N. Dari grafik tersebut akan dapat diketahui bagaimana perbandingan besar gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu. Diiketahui bahwa gaya potong terbesar terjadi pada arah aksial, lalu diikuti dengan gaya potong di arah radial, dan gaya potong yang terkecil terjadi pada arah tangensial. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar gaya potong yang terjadi pada tiap sumbu yang ditunjukkan pada

gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 Grafik perbandingan gaya potong maksimum pada tiap sumbu dengan *rake angle*  $18^{\circ}$

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.9, didapatkan hasil dimana gaya potong maksimum pada sumbu aksial memiliki nilai paling besar dibandingkan dengan hasil gaya potong pada sumbu tangensial dan juga radial. Lalu nilai gaya potong terbesar kedua terjadi pada sumbu radial dan gaya potong terkecil terjadi pada sumbu tangensial. Untuk tiap kenaikan nilai feed rate, gaya potong pada tiap sumbu pun memiliki *trendline* naik, untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu aksial dari *feed rate* 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 99,76 N ke 253,69 N; untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu tangensial dari *feed rate* 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 59,09 N ke 117,11 N; untuk kenaikan gaya potong maksimum pada sumbu radial dari *feed rate* 0,122 mm/rev ke 0,215 mm/rev yaitu meningkat dari 81,55 N ke 139,04 N.

#### 4.5 Analisa perbandingan besar gaya potong pada hasil eksperimen dan hasil simulasi

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, *feed rate* 0,122 mm/s, 0,156 mm/s, dan 0,215 mm/s *rake*

*angle* sebesar  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ , dan  $18^{\circ}$  didapatkan hasil gaya potong maksimum antara hasil eksperimen dan hasil simulasi yang berbeda.

4.5.1 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu aksial hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan variasi *feed rate*.

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1 mm, dan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal antara hasil eksperimen dan hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.14 berikut:

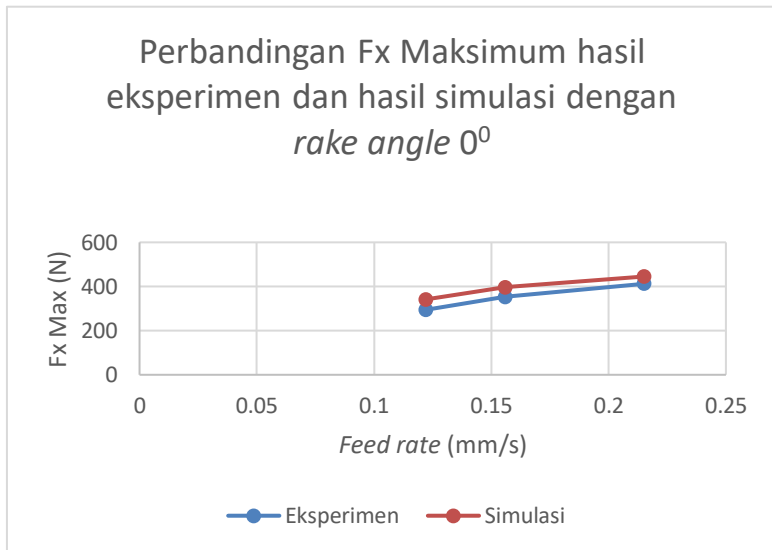
Tabel 4.14 Perbandingan  $F_x$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi

Laju Gerak Makan (mm/rev)	$F_x$ Maksimum (N)	
	Eksperimen	Simulasi
0,122	294,33	341,4
0,156	353,16	396,53
0,215	412,02	445,09

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$  dengan variasi laju gerak makan. Didapatkan perbedaan  $F_x$  maksimum sebesar 47,07 N saat *feed rate* sebesar 0,122 mm/s. Perbedaan  $F_x$  maksimum sebesar 43,37 N saat *feed rate* sebesar 0,156 mm/s. Perbedaan  $F_x$  maksimum sebesar 33,07 N saat *feed*



*rate* sebesar 0,215 mm/s. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar  $F_x$  maksimum yang terjadi pada hasil eksperimen dan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.10 berikut:



Gambar 4.10 Grafik perbandingan  $F_x$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan *rake angle*  $0^0$

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.10, didapatkan hasil  $F_x$  maksimum yang berbeda antara hasil eksperimen dan hasil simulasi. Hasil  $F_x$  maksimum pada hasil simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Namun, dari *trendline* antara hasil pada eksperimen dan simulasi memiliki pola yang sama yaitu  $F_x$  maksimum cenderung naik pada saat kenaikan *feed rate*. Hal ini sudah sesuai teori dimana makin besar *feed rate* yang terjadi maka hasil gaya potong yang dihasilkan pun juga akan makin besar. Hal ini terjadi karena makin besar kecepatan makan akan menghasilkan gaya potong yang makin besar pula. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan

hasil  $F_x$  maksimum pada eksperimen dan simulasi dapat disebabkan antara lain yaitu, lokasi pengamatan gaya pada simulasi yang kurang cocok dengan lokasi gaya yang diukur pada hasil eksperimen, perbedaan *mechanical properties* yang digunakan pada eksperimen dan simulasi, dan juga faktor pelubricasi yang dapat mempengaruhi perbedaan besar gaya yang dihasilkan antara eksperimen dengan simulasi.

#### 4.5.2 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu tangensial hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan variasi *feed rate*.

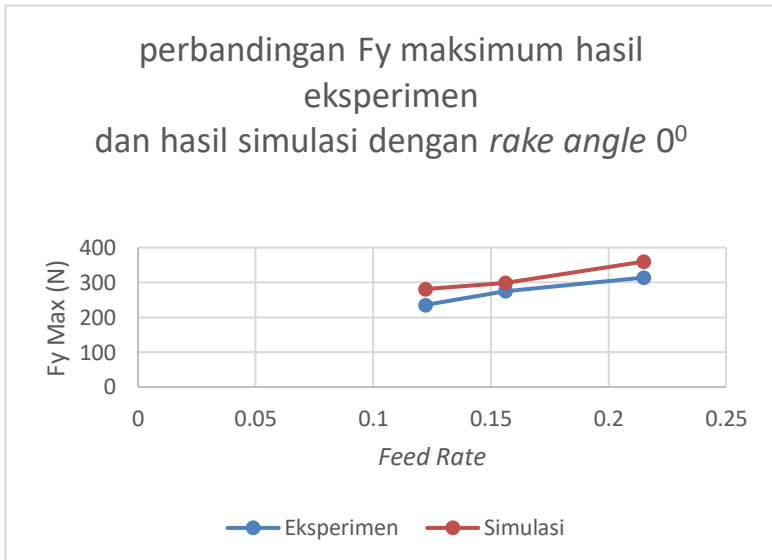
Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1 mm, dan *rake angle* sebesar  $0^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah tangensial antara hasil eksperimen dan hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15 Perbandingan  $F_y$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi

Laju Gerak Makan (mm/rev)	$F_y$ Maksimum (N)	
	Eksperimen	Simulasi
0,122	235,44	281,04
0,156	274,68	298,77
0,215	313,92	359,87

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $0^0$  dengan variasi laju gerak makan. Didapatkan perbedaan  $F_y$

maksimum sebesar 45,6 N saat *feed rate* sebesar 0,122 mm/s. Perbedaan  $F_y$  maksimum sebesar 24,09 N saat *feed rate* sebesar 0,156 mm/s. Perbedaan  $F_y$  maksimum sebesar 45,95 N saat *feed rate* sebesar 0,215 mm/s. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar  $F_y$  maksimum yang terjadi pada hasil eksperimen dan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.11 Grafik perbandingan  $F_y$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan *rake angle*  $0^0$

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.11, didapatkan hasil  $F_y$  maksimum yang berbeda antara hasil eksperimen dan hasil simulasi. Hasil  $F_y$  maksimum pada hasil simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Namun, dari *trendline* antara hasil pada eksperimen dan simulasi memiliki pola yang sama yaitu  $F_y$  maksimum cenderung naik pada saat kenaikan *feed rate*. Hal ini sudah sesuai teori dimana makin besar *feed rate* yang terjadi maka hasil gaya potong yang dihasilkan pun juga akan makin besar. Hal ini terjadi karena makin besar

kecepatan makan akan menghasilkan gaya potong yang makin besar pula. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil  $F_y$  maksimum pada eksperimen dan simulasi dapat disebabkan antara lain yaitu, lokasi pengamatan gaya pada simulasi yang kurang cocok dengan lokasi gaya yang diukur pada hasil eksperimen, perbedaan *mechanical properties* yang digunakan pada eksperimen dan simulasi, dan juga faktor pelumasan yang dapat mempengaruhi perbedaan besar gaya yang dihasilkan antara eksperimen dengan simulasi.

#### 4.5.3 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu radial hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan variasi *feed rate*.

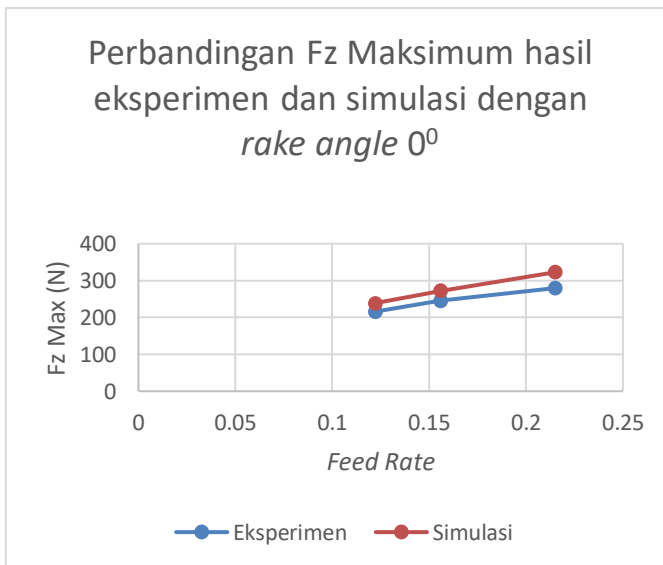
Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 mm/rev, 0,156 mm/rev, dan 0,215 mm/rev dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1 mm, dan *rake angle* sebesar  $0^\circ$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah radial antara hasil eksperimen dan hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.16 berikut:

Tabel 4.16 Perbandingan  $F_z$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi

Laju Gerak Makan (mm/rev)	Fz Maksimum (N)	
	Eksperimen	Simulasi
0,122	215,82	238,72
0,156	245,25	272,49

0,215	279,58	322,6
-------	--------	-------

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *rake angle* sebesar  $0^0$  dengan variasi laju gerak makan. Didapatkan perbedaan  $F_z$  maksimum sebesar 22,9 N saat *feed rate* sebesar 0,122 mm/s. Perbedaan  $F_z$  maksimum sebesar 27,24 N saat *feed rate* sebesar 0,156 mm/s. Perbedaan  $F_z$  maksimum sebesar 43,02 N saat *feed rate* sebesar 0,215 mm/s. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar  $F_z$  maksimum yang terjadi pada hasil eksperimen dan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.12 berikut:



Gambar 4.12 Grafik perbandingan  $F_z$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan *rake angle*  $0^0$

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.12, didapatkan hasil Fz maksimum yang berbeda antara hasil eksperimen dan hasil simulasi. Hasil Fz maksimum pada hasil simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Namun, dari *trendline* antara hasil pada eksperimen dan simulasi memiliki pola yang sama yaitu Fz maksimum cenderung naik pada saat kenaikan *feed rate*. Hal ini sudah sesuai teori dimana makin besar *feed rate* yang terjadi maka hasil gaya potong yang dihasilkan pun juga akan makin besar. Hal ini terjadi karena makin besar kecepatan makan akan menghasilkan gaya potong yang makin besar pula. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil Fz maksimum pada eksperimen dan simulasi dapat disebabkan antara lain yaitu, lokasi pengamatan gaya pada simulasi yang kurang cocok dengan lokasi gaya yang diukur pada hasil eksperimen, perbedaan *mechanical properties* yang digunakan pada eksperimen dan simulasi, dan juga faktor pelumasan yang dapat mempengaruhi perbedaan besar gaya yang dihasilkan antara eksperimen dengan simulasi.

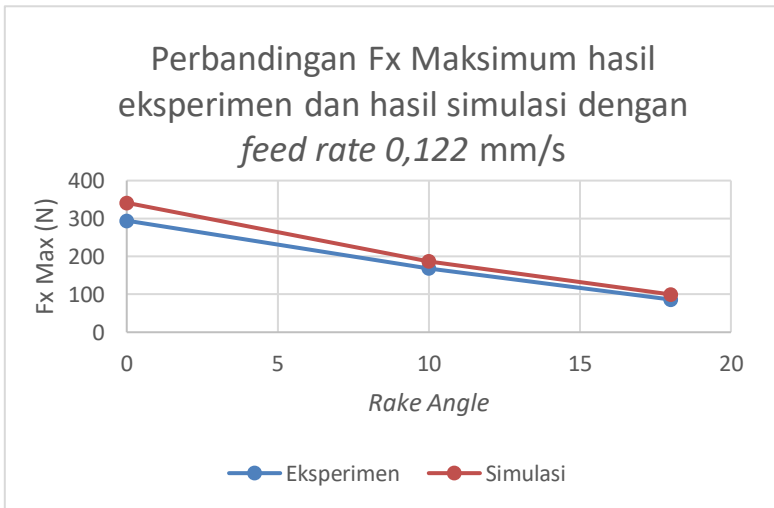
#### 4.5.4 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu aksial hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan variasi *rake angle*.

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $18^{\circ}$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal antara hasil eksperimen dan hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.17 berikut:

Tabel 4.17 Perbandingan Fx maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi, *feed rate* 0,122 mm/s

<i>Rake angle</i>	Fx Maksimum (N)	
	Eksperimen	Simulasi
0 <sup>0</sup>	294,33	341,4
10 <sup>0</sup>	168,73	187,41
18 <sup>0</sup>	86,32	99,76

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *feed rate* sebesar 0,122 mm/s dengan variasi *rake angle*. Didapatkan perbedaan Fx maksimum sebesar 47,07 N saat *feed rate* sebesar 0,122 mm/s. Perbedaan Fx maksimum sebesar 18,68 N saat *feed rate* sebesar 0,156 mm/s. Perbedaan Fx maksimum sebesar 13,44 N saat *feed rate* sebesar 0,215 mm/s. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar Fx maksimum yang terjadi pada hasil eksperimen dan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.13 berikut:



Gambar 4.13 Grafik perbandingan Fx maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan *feed rate* 0,122 mm/s

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.13, didapatkan hasil Fx maksimum yang berbeda antara hasil eksperimen dan hasil simulasi. Hasil Fx maksimum pada hasil simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Namun, dari *trendline* antara hasil pada eksperimen dan simulasi memiliki pola yang sama yaitu Fx maksimum cenderung turun pada saat kenaikan *rake angle*. Hal ini sudah sesuai teori dimana makin besar *rake angle* yang terjadi maka hasil gaya potong yang dihasilkan pun juga akan makin kecil, tetapi hingga batasan titik *rake angle tertentu*. Hal ini terjadi karena makin besar sudut pemotongan akan menghasilkan gaya potong yang makin kecil pula. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil Fx maksimum pada eksperimen dan simulasi dapat disebabkan antara lain yaitu, lokasi pengamatan gaya pada simulasi yang kurang cocok dengan lokasi gaya yang diukur pada hasil eksperimen, perbedaan *mechanical properties* yang digunakan pada eksperimen dan simulasi, dan juga faktor pelumasan yang dapat mempengaruhi perbedaan besar gaya yang dihasilkan antara eksperimen dengan simulasi.



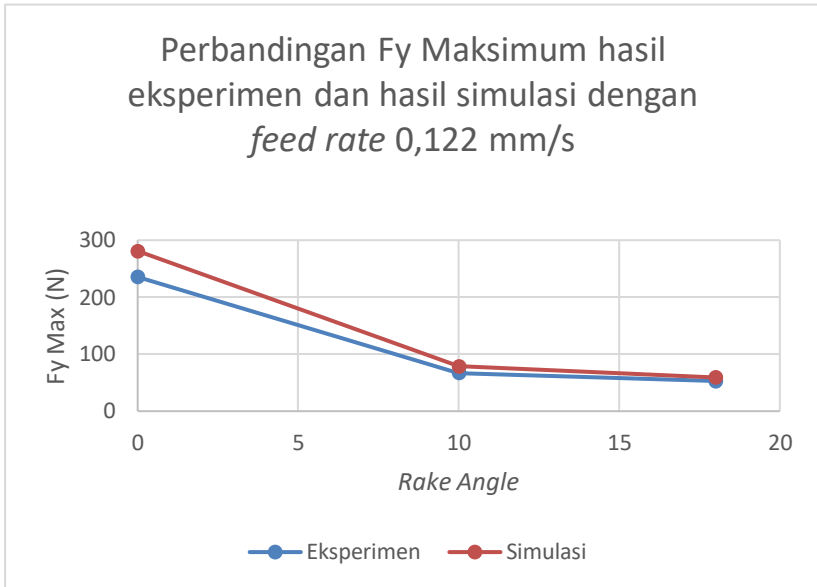
4.5.5 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu tangensial hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan variasi *rake angle*.

Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $0^0$ ,  $10^0$ ,  $18^0$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal antara hasil eksperimen dan hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.18 berikut:

Tabel 4.18 Perbandingan  $F_y$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi, *feed rate* 0,122 mm/s

<i>Rake angle</i>	$F_y$ Maksimum (N)	
	Eksperimen	Simulasi
$0^0$	235,44	281,04
$10^0$	66,7	78,84
$18^0$	52,97	59,09

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *feed rate* sebesar 0,122 mm/s dengan variasi *rake angle*. Didapatkan perbedaan  $F_y$  maksimum sebesar 45,6 N saat *feed rate* sebesar 0,122 mm/s. Perbedaan  $F_y$  maksimum sebesar 12,14 N saat *feed rate* sebesar 0,156 mm/s. Perbedaan  $F_y$  maksimum sebesar 6,12 N saat *feed rate* sebesar 0,215 mm/s. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar  $F_y$  maksimum yang terjadi pada hasil eksperimen dan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.14 berikut:



Gambar 4.14 Grafik perbandingan Fy maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan *feed rate* 0,122 mm/s

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.14, didapatkan hasil Fy maksimum yang berbeda antara hasil eksperimen dan hasil simulasi. Hasil Fy maksimum pada hasil simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Namun, dari *trendline* antara hasil pada eksperimen dan simulasi memiliki pola yang sama yaitu Fy maksimum cenderung turun pada saat kenaikan *rake angle*. Hal ini sudah sesuai teori dimana makin besar *rake angle* yang terjadi maka hasil gaya potong yang dihasilkan pun juga akan makin kecil, tetapi hingga batasan titik *rake angle tertentu*. Hal ini terjadi karena makin besar sudut pemotongan akan menghasilkan gaya potong yang makin kecil pula. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil Fy maksimum pada eksperimen dan simulasi dapat disebabkan antara lain yaitu, lokasi pengamatan gaya pada simulasi yang kurang cocok dengan lokasi gaya yang diukur pada hasil eksperimen, perbedaan *mechanical*

*properties* yang digunakan pada eksperimen dan simulasi, dan juga faktor pelubrikan yang dapat mempengaruhi perbedaan besar gaya yang dihasilkan antara eksperimen dengan simulasi.

4.5.6 Analisa perbandingan besar gaya potong pada sumbu radial hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan variasi *rake angle*.

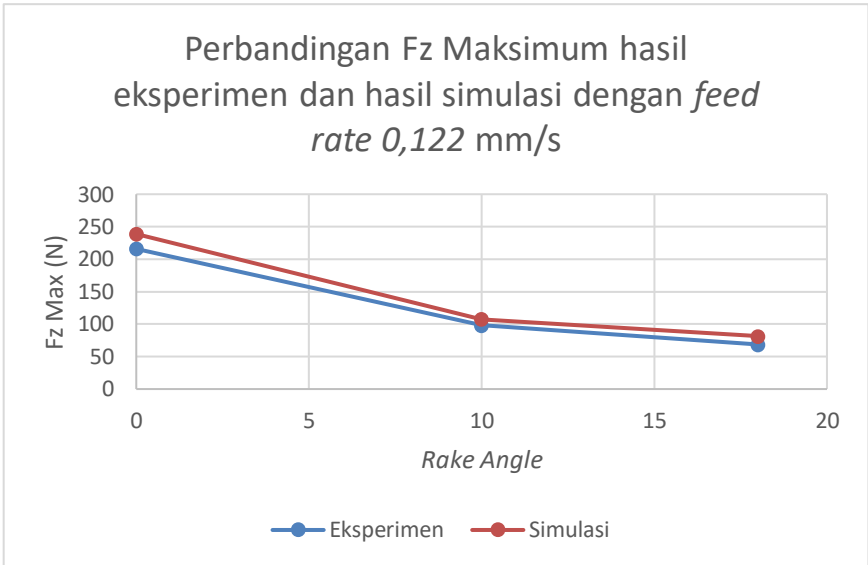
Berdasarkan uji simulasi proses pemesinan *orthogonal turning* dengan variasi *feed rate* sebesar 0,122 dengan kecepatan putar sebesar 1150 RPM, kedalaman potong 1mm, dan *rake angle* sebesar  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $18^{\circ}$  didapatkan hasil gaya potong maksimum pada arah normal antara hasil eksperimen dan hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.19 berikut:

Tabel 4.19 Perbandingan  $F_y$  maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi, *feed rate* 0,122 mm/s

<i>Rake angle</i>	Fz Maksimum (N)	
	Eksperimen	Simulasi
$0^{\circ}$	215,82	238,72
$10^{\circ}$	98,1	107,39
$18^{\circ}$	68,67	81,55

Dari tabel didapatkan hasil gaya potong arah aksial pada proses pemesinan *orthogonal turning* menggunakan *feed rate* sebesar 0,122 mm/s dengan variasi *rake angle*. Didapatkan perbedaan  $F_z$  maksimum sebesar 22,9 N saat *feed rate* sebesar 0,122 mm/s. Perbedaan  $F_z$  maksimum sebesar 9,29 N saat *feed rate* sebesar 0,156 mm/s. Perbedaan  $F_y$  maksimum sebesar 12,88 N saat *feed rate* sebesar 0,215 mm/s. Berdasarkan data pada tabel, didapatkan grafik perbandingan antara besar  $F_z$  maksimum yang terjadi pada

hasil eksperimen dan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.15 berikut:



Gambar 4.15 Grafik perbandingan Fz maksimum hasil eksperimen dan hasil simulasi dengan *feed rate* 0,122 mm/s

Pada grafik yang terlihat pada gambar 4.15, didapatkan hasil Fz maksimum yang berbeda antara hasil eksperimen dan hasil simulasi. Hasil Fz maksimum pada hasil simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Namun, dari *trendline* antara hasil pada eksperimen dan simulasi memiliki pola yang sama yaitu Fz maksimum cenderung turun pada saat kenaikan *rake angle*. Hal ini sudah sesuai teori dimana makin besar *rake angle* yang terjadi maka hasil gaya potong yang dihasilkan pun juga akan makin kecil, tetapi hingga batasan titik *rake angle tertentu*. Hal ini terjadi karena makin besar sudut pemotongan akan menghasilkan gaya potong yang makin kecil pula. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil Fy maksimum pada eksperimen dan simulasi dapat disebabkan antara lain yaitu, lokasi

pengamatan gaya pada simulasi yang kurang cocok dengan lokasi gaya yang diukur pada hasil eksperimen, perbedaan *mechanical properties* yang digunakan pada eksperimen dan simulasi, dan juga faktor lubrikasi yang dapat mempengaruhi perbedaan besar gaya yang dihasilkan antara eksperimen dengan simulasi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari Hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan bahwa perbedaan nilai *rake angle* dan juga *feed rate* pada proses *orthogonal turning* mempengaruhi besar nilai dari gaya potong. Semakin besar nilai *rake angle* yang digunakan, maka nilai gaya potong yang dihasilkan makin kecil, Untuk gaya potong pada sumbu aksial dengan *rake angle*  $0^0$  hingga gaya potong pada sumbu aksial dengan *rake angle*  $18^0$  mengalami penurunan dari 341,40 N hingga 99,76 N. Penurunan nilai gaya potong juga terjadi pada sumbu tangensial dan juga radial saat kenaikan *rake angle*.

Selain itu, semakin besar nilai *feed rate* yang diberikan, maka semakin besar pula nilai gaya potong yang terjadi. Untuk gaya potong pada sumbu aksial dengan *rake angle*  $0^0$  dengan menggunakan *feed rate* dari 0,122 hingga 0,215 didapatkan hasil gaya potong yang makin besar juga yaitu dari 341,40 N menjadi 445,09 N. Peningkatan nilai gaya potong juga terjadi pada sumbu tangensial dan juga radial saat kenaikan *feed rate*.

2. Hasil perbandingan nilai gaya potong pada tiap sumbu pada *rake angle*  $0^0$  adalah nilai gaya potong terbesar terjadi pada sumbu aksial, lalu sumbu tangensial dan gaya potong terkecil terjadi pada sumbu radial. Pada *rake angle*  $10^0$ , nilai gaya potong terbesar terjadi pada sumbu aksial, lalu sumbu radial, dan gaya potong terkecil pada sumbu tangensial. Pada *rake angle*  $18^0$ , nilai gaya potong terbesar terjadi pada sumbu aksial, lalu sumbu radial, dan gaya potong terkecil pada sumbu tangensial.

3. Hasil perbandingan antara eksperimen dan simulasi memiliki perbedaan yang cukup besar yaitu sebesar 19,36 % yang terjadi pada sumbu tangensial saat *rake angle* sebesar  $0^0$  dan besar *feed rate* 0,122 mm/s. Perbedaan hasil terkecil terjadi pada sumbu radial pada saat *rake angle* sebesar  $10^0$  dan *feed rate* sebesar 0,156 mm/s yaitu sebesar 7,7 %. Hasil perbedaan ini dapat disebabkan oleh

beberapa faktor antara lain : titik lokasi pengukuran gaya yang berbeda antara proses dalam eksperimen dengan proses dalam simulasi yang mengakibatkan perbedaan hasil gaya potong pula, perbedaan *mechanical properties* yang digunakan dalam eksperimen yang juga tidak jarang berbeda dengan nilai *mechanical properties* yang dimasukkan dalam simulasi, dan juga faktor pelubrikan yang berbeda antara eksperimen dengan simulasi.

## 5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini, untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya perbandingan dari hasil simulasi *orthogonal turning* menggunakan software ANSYS *explicit dynamics* ini, dengan menggunakan *software* lainnya seperti ABAQUS, ataupun DEFORM, sebagai pembandingan dari hasil yang didapatkan.
2. Perlu dipelajari lebih jauh lagi dalam menggunakan preferensi ataupun metode *mesh* yang lain, untuk mendapatkan hasil yang lebih konsisten, dan juga *quality meshing* yang lebih baik pula.
3. Perlu dipelajari lebih lagi penentuan titik ataupun luasan objek yang akan diamati gaya potongnya agar hasil lebih sesuai dengan hasil yang telah dilakukan pada eksperimen.
4. Variasi *rake angle* dan *feed rate* yang digunakan bisa lebih diperbanyak supaya perbedaan antar variasi dapat lebih terlihat

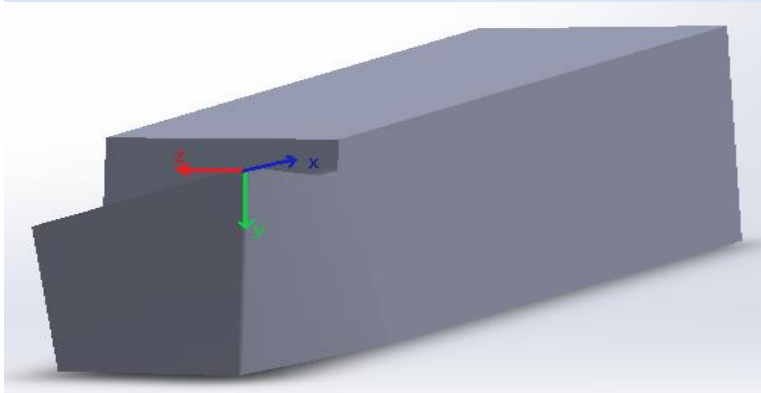
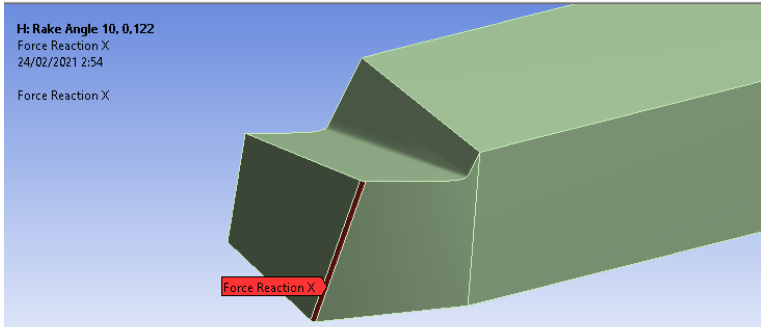
## DAFTAR PUSTAKA

- Batwara, A. (2018). Analysis The Residual Stress In Single Point Cutting Tool During Turning Operation On Aisi 1006: Fem An Artificial Neural Network Methodology. *International Journal of Recent Advances in Mechanical Engineering (IJMECH)* Vol.7, No.1/2, May 2018.
- Drucker, D., *An Analysis Of The Mechanics Of Metal Cutting*, Journal of Applied Physics, 20,1013, 1949.
- Grazka, M. (2012). Identification of Johnson-Cook Equation Constants Using FInite Element Method. *Engineering Transactions, Polish Academy of Sciences (215-223)*, 1-9.
- Kalpakjian S., S. S. (2013). *Manufacturing Engineering and Technology Seventh Edition*.
- Kiliçaslan, C. (2009). *Modelling And Simulation Of Metal Cutting By Finite Element Method*. İzmir Institute of Technology.
- Madency E., G. I. (2015). *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS Second Edition*. Springer International.
- Moaveni. (1999). *Finite Element Analysis, Theory and Application with ANSYS*. Prentice Hall.
- Mohammed, O. E. S. K. (2019). *Literature Review On Turning Operation* . Nile Valley University.
- M'hamdi, M. (2011). *Effect Of Cutting Parameters On The Chip Formation In Orthogonal Cutting*. AIP Publishing ( 1101 – 1106),1-7.



- Nayak, R. (2012). *Experimental and Finite Element Analysis on Chip Formation Mechanism in Machining of Elastomers*. Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 2, No. 2.
- Paulo, J. D. (2014). *Machinability of Advanced Materials*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- Pradeesh, A. (2016). *Effect of Rake Angles on Cutting Forces for A Single Point Cutting Tool*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 3 (2592 - 2600), 1 - 9
- Rochim, T. (1993). *Proses Pemesinan*. Institut Teknologi Bandung.
- Yan, H. (2005). *Numerical Simulation Of Finish Hard Turning For AISI H13 Die Steel*. Science and Technology of Advanced Materials 6 (2005) 540–547.
- Zouhar, J. (2008). *Modelling The Orthogonal Machining Process Using Cutting Tools With Different Geometry*. MM Science Journal.

# LAMPIRAN



## BIODATA PENULIS



**Anzelmus Marcellius Hartanto Purnomo** dilahirkan di Jember, 1 April 1998. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDK Maria Fatima Jember pada tahun 2004-2010. Setelah itu melanjutkan pendidikan di SMPK Maria Fatima Jember pada tahun 2010-2013. Kemudian melanjutkan ke SMAK Santo Paulus Jember, pada tahun 2013–2016. Lalu penulis melanjutkan ke jenjang perkuliahan strata satu (S1) Departemen Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis mempunyai motto hidup “*Selesaikan apa yang harus kita selesaikan*” yang membuat penulis lebih bersemangat untuk memotivasi diri sendiri menjadi kepribadian yang lebih baik lagi. Untuk semua informasi dan masukan kritik atau saran terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [anzmarc78@gmail.com](mailto:anzmarc78@gmail.com)

