

TUGAS AKHIR - TM 148435

**STUDI ANALISIS PENGARUH TIPE ABRASIF DAN
VARIABEL PROSES GERINDA PERMUKAAN TERHADAP
GAYA POTONG PADA BAJA SKD 11 MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA**

SALAHUDDIN AL AYYUBI

NRP 0211184000046

Dosen Pembimbing

Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D

NIP. 198204142010121001

Program Studi S-1 Teknik Mesin

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - TM148435

**STUDI ANALISIS PENGARUH TIPE ABRASIF DAN
VARIABEL PROSES GERINDA PERMUKAAN TERHADAP
GAYA POTONG PADA BAJA SKD 11 MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA**

SALAHUDDIN AL AYYUBI

NRP 02111840000046

Dosen Pembimbing

Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D

NIP. 198204142010121001

Program Studi S-1 Teknik Mesin

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - TM148435

**STUDY ANALYSIS OF THE EFFECT OF ABRASIVE TYPES
AND VARIABLES OF SURFACE GRINDING PROCESS ON
CUTTING FORCES IN SKD 11 STEEL USING THE FINITE
ELEMENT METHOD**

SALAHUDDIN AL AYYUBI

NRP 02111840000046

Advisor

Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D

NIP. 198204142010121001

Undergraduated Study Program of Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Ten November Institute of Technology Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ANALISIS PENGARUH TIPE ABRASIF DAN VARIABEL PROSES GERINDA PERMUKAAN TERHADAP GAYA POTONG PADA BAJA SKD 11 MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **SALAHUDDIN AL AYYUBI**
NRP. 0211184000046

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
NIP 198204142010121001

(Pembimbing)

2. Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP 198905132019032013

(Penguji 1)

3. Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197303222001121001

(Penguji 2)

4. Ir. Sampurno, M.T.
NIP 196504041989031002

(Penguji 3)

SURABAYA

Juli, 2022

APPROVAL SHEET

STUDY ANALYSIS OF THE EFFECT OF ABRASIVE TYPES AND VARIABLES OF SURFACE GRINDING PROCESS ON CUTTING FORCES IN SKD 11 STEEL USING THE FINITE ELEMENT METHOD

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **SALAHUDDIN AL AYYUBI**
NRP. 0211184000046

Approved by Final Project Advisor:

1. Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. (Advisor)
NIP 198204142010121001
2. Dinny Harnany, S.T., M.Sc. (Examiner 1)
NIP 198905132019032013
3. Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D. (Examiner 2)
NIP 197303222001121001
4. Ir. Sampurno, M.T. (Examiner 3)
NIP 196504041989031002



SURABAYA

July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa / NRP : Salahuddin Al Ayyubi / 0211184000046
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing / NIP : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
/198204142010121001

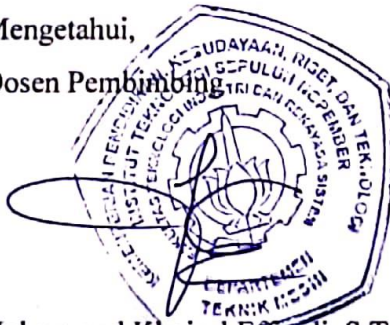
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Studi Analisis Pengaruh Tipe Abrasif dan Variabel Proses Gerinda Permukaan Terhadap Gaya Potong Pada Baja SKD11 Menggunakan Metode Elemen Hingga” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 29 Juli 2022

Mengetahui,

Dosen Pembimbing



Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
NIP. 198204142010121001

Mahasiswa,

Salahuddin Al Ayyubi
NRP. 0211184000046

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of Student / NRP : Salahuddin Al Ayyubi / 0211184000046
Department : Mechanical Engineering
Supervisor / NIP : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
/198204142010121001

hereby declare that the Final Project with the title of “Analysis Study of the Effect of Abrasive Type and Surface Grinding Process Variables on Cutting Force on SKD11 Steel Using Finite Element Method” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 29 2022

Acknowledged,
Supervisor

Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
NIP. 198204142010121001

Student,

Salahuddin Al Ayyubi
NRP. 0211184000046

**STUDI ANALISIS PENGARUH TIPE ABRASIF DAN VARIABEL PROSES
GERINDA PERMUKAAN TERHADAP GAYA POTONG PADA BAJA SKD11
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Nama Mahasiswa : Salahuddin Al Ayyubi
NRP : 0211184000046
Departemen : Teknik Mesin, FT-IRS ITS
Dosen Pembimbing : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D

Abstrak

Proses gerinda permukaan merupakan salah satu proses dalam permesinan yang bertujuan untuk membuang material pada benda kerja dengan tingkat akurasi dan tingkat kehalusan permukaan benda yang tidak bisa dicapai oleh proses pemesinan lainnya. Pada prinsipnya proses gerinda menggunakan bahan abrasif berupa batu gerinda yang berputar dengan kecepatan yang sangat tinggi, dan proses pemakanan akan terjadi ketika benda kerja bersentuhan dengan bahan abrasif yang berputar. Parameter utama proses gerinda adalah pemilihan tipe abrasif dan variabel proses gerinda permukaan yakni kecepatan makan dan kedalaman potong. Apabila pemilihan parameter tidak tepat, maka bisa memberikan dampak yang merugikan terhadap integritas permukaan benda kerja (IPBK), seperti kekasaran permukaan benda kerja yang buruk, permukaan yang terbakar (*surface burning*), bahkan bisa terjadi kerusakan pada benda kerja.

Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah penelitian dengan uji simulasi untuk mempelajari pengaruh tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap gaya potong pada proses gerinda permukaan dengan material uji baja perkakas SKD 11 (*AISI D2 Steel*) dengan dimensi (40 mm x 10 mm x 5 mm). Pada penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen dengan menggunakan 2 variasi tipe batu abrasif A46HV dan GC46HV dengan dimenasi (200 mm x 32 mm x 25 mm), divariasikan dengan 3 variasi kecepatan makan (150 mm/s, 200 mm/s, 250 mm/s), dan 3 variasi kedalaman potong (0.01 mm, 0.03 mm, 0.06 mm) pada kecepatan putar 3000 RPM. Untuk langkah selanjutnya, uji simulasi proses gerinda permukaan ini di lakukan menggunakan *software* ANSYS. Diharapkan hasilnya mendapatkan perbedaan rata rata error di bawah <10% jika di dibandingkan dengan uji eksperimen.

Dari hasil simulasi proses gerinda permukaan pada batu gerinda A46HV dan GC46HV terhadap baja perkakas SKD 11 didapatkan perbedaan resultan gaya potong antara simulasi dengan eksperimen yang valid dan dapat diterima karena perbedaan resultan gaya potong antara uji eksperimen dan simulasi kurang dari 10%. Variabel yang berpengaruh signifikan pada besar kecilnya resultan gaya potong proses gerinda permukaan adalah tipe abrasif, kedalaman potong serta kecepatan makan dan agar perbedaan hasil eksperimen dan simulasi <10%, maka ada 6 parameter ANSYS yang harus di perhatikan yakni; *engineering data, mesh, stiffness behavior, setting* kontak, *setting* pergerakan, kecepatan makan serta kedalaman potong, penentuan titik pengamatan dan *end time* simulasi.

Kata kunci: Proses Gerinda, Tipe Abrasif, Kecepatan Makan, Kedalaman Potong, *Software* ANSYS

STUDY ANALYSIS OF THE EFFECT OF ABRASIVE TYPES AND VARIABLES OF SURFACE GRINDING PROCESS ON CUTTING FORCES IN SKD11 STEEL USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Student Name : Salahuddin Al Ayyubi
NRP : 0211184000046
Departemen : Mechanical Engineering, FT-IRS ITS
Advisor : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D

Abstract

The surface grinding process is one of the processes in machining that aims to remove material on the workpiece with a level of accuracy and surface smoothness that cannot be achieved by other machining processes. In principle, the grinding process uses an abrasive material in the form of a grinding stone that rotates at a very high speed, and the feeding process will occur when the workpiece is in contact with the rotating abrasive. The main parameters of the grinding process are the selection of the type of abrasive and the surface grinding process variables, namely feeding speed and depth of cut. If the parameter selection is not appropriate, it can have an adverse impact on the integrity of the workpiece surface (IPBK), such as poor workpiece surface roughness, surface burning, and even damage to the workpiece.

Therefore, it is necessary to conduct research with simulation test to study the effect of abrasive type, feeding speed and depth of cut on the cutting force on the surface grinding process with the test material of SKD 11 tool steel (AISI D2 Steel) with dimensions (40 mm x 10 mm x 5 mm). This study uses an experimental design using 2 variations of abrasive stone types A46HV and GC46HV with dimensions (200 mm x 32 mm x 25 mm), varied with 3 variations of feeding speed (150 mm/s, 200 mm/s, 250 mm/s) and 3 variations of depth of cut (0.01 mm, 0.03 mm, 0.06 mm) at a rotating speed of 3000 RPM. For the next step, the simulation test of the surface grinding process is carried out using the ANSYS software. It is expected that the results will get an average difference of error below <10% when compared to the experimental test.

From the simulation results of the surface grinding process on A46HV and GC46HV grinding stones against SKD 11 tool steel, the resultant difference in cutting force between simulation and experiment is valid and acceptable because the resultant difference in cutting force between experimental and simulation tests is less than 10%. Variables that have a significant effect on the size of the resultant cutting force of the surface grinding process are abrasive type, depth of cut and feeding speed and so that the difference between experimental and simulation results is <10%, there are 6 ANSYS parameters that must be considered, namely; engineering data, mesh, stiffness behavior, contact settings, movement settings, feeding speed and depth of cut, determination of observation points and end time simulation.

Keywords: Grinding Process, Abrasive Type, Feeding Speed, Depth of Cut, ANSYS Software

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, kemudahan, serta senantiasa memberikan yang terbaik kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik, insyaallah.

Tugas akhir ini berjudul “Studi Analisis Pengaruh Tipe Abrasif dan Variabel Proses Gerinda Permukaan Terhadap Gaya Potong Pada Baja SKD 11 Menggunakan Metode Elemen Hingga”. Penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan program studi S-1 Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Secara singkat, tugas akhir ini membahas mengenai optimasi proses gerinda permukaan menggunakan *software* ANSYS, proses simulasi gerinda permukaan ini bertujuan agar hasil yang di dapatkan sesuai dengan eksperimen. Penulis berharap, tugas akhir ini dapat menambah wawasan dan ilmu bagi penulis maupun pembaca mengenai perkembangan studi optimasi struktur di bidang lepas pantai khususnya untuk bangunan lepas pantai terpancang.

Tugas akhir ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Penulis sangat menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka dengan segala bentuk kritik maupun saran untuk meningkatkan pengetahuan dan pemahaman yang lebih baik lagi bagi penulis dan peneliti selanjutnya. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan simulasi gerinda permukaan di berbagai aspek khususnya di bidang manufaktur.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Surabaya, Juli 2022

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
STATEMENT OF ORIGINALITY	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Proses Gerinda	6
2.3 Batu Gerinda	7
2.4 <i>Balancing and Dressing</i>	10
2.5 Material Abrasif Batu Gerinda	11
2.6 Baja Perkakas SKD 11	12
2.7 Proses Pengikisan Material	12
2.8 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Elemen Method</i>)	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Observasi dan Belajar	18
3.3 Peninjauan Masalah	18
3.4 Studi Literatur	18
3.5 Pengumpulan Data	18
3.6 Peralatan Penelitian	20
3.7 Desain Batu Gerinda dan Material Uji pada Solidworks	22
3.8 Simulasi pada <i>Software</i> ANSYS	24
3.8.1 Impor Geometri Model CAD ke <i>Software</i> ANSYS	25
3.8.2 Pendefinisian Material pada <i>Engineering Data</i>	25
3.8.3 <i>Mesh</i>	26
3.8.4 Pemasukan Data Variabel Proses	27
BAB 4 ANALISA PEMBAHASAN	33
4.1 Perbandingan Hasil Resultan Gaya Potong Eksperimen dan Simulasi pada Proses Gerinda Permukaan	33
4.2 Pembahasan Pengaruh Variabel Proses Terhadap Resultan Gaya Potong	34
4.3 Pembahasan Hasil Simulasi Tingkat Error >10%	41
4.4 Pembahasan Setting Parameter Simulasi ANSYS	42
BAB 5 KESIMPULAN	45

5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	49
UCAPAN TERIMAKASIH	71
BIODATA PENULIS.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Gerinda Rata Permukaan	6
Gambar 2.2	Proses Gerinda.....	7
Gambar 2.3	Struktur Batu Gerinda	10
Gambar 2.4	Ilustrasi <i>Balancing</i> Pada Roda Gerinda.....	10
Gambar 2.5	Ilustrasi <i>Dressing</i> Pada Roda Gerinda.....	11
Gambar 2.6	Pengikisan Material Pada Proses Gerinda.....	12
Gambar 2.7	Tiga Fase dari Butiran Abrasif	13
Gambar 2.8	Komponen Gaya Gerinda	13
Gambar 2.9	Lingkaran Gaya Pemotongan	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	17
Gambar 3.2	Mesin Gerinda Permukaan Model KGS818AHD	21
Gambar 3.3	Dinamometer Kistler 9272	21
Gambar 3.4	Material Benda Uji Baja SKD 11	22
Gambar 3.5	Batu Gerinda GC46HV dan A46HV	23
Gambar 3.6	Gambar <i>Assembly</i> dan dimensi Batu Gerinda dengan Baja SKD11.....	23
Gambar 3.7	<i>Assembly</i> Batu Gerinda dengan Baja SKD 11.....	23
Gambar 3.8	Diagram Alir Simulasi Software ANSYS	24
Gambar 3.9	<i>Input</i> Geometri Model CAD ke Software ANSYS	25
Gambar 3.10	<i>Meshing Tetrahedons</i> pada Batu Gerinda	26
Gambar 3.11	<i>Meshing Tetrahedons</i> pada Baja SKD 11	26
Gambar 3.12	ANSYS <i>Mesh Quality</i>	27
Gambar 3.13	Pegecekan <i>Mesh Quality Skewness dan Orthogonal</i>	27
Gambar 3.14	Pendefinisian Material Baja sebagai Benda <i>Flexible</i>	28
Gambar 3.15	Pendefinisian Grinding Wheel A46HV sebagai Benda Kerja <i>Flexible</i>	28
Gambar 3.16	Pendefinisian Grinding Wheel A46HV sebagai Benda Kerja <i>Flexible</i>	29
Gambar 3.17	Pengaturan Kontak antara Batu Gerinda dan Baja SKD 11	29
Gambar 3.18	<i>Frictional Setting</i> pada Batu Gerinda A46HV	29
Gambar 3.19	<i>Frictional Setting</i> pada Batu Gerinda GC46HV	30
Gambar 3.20	<i>Displacement</i> batu gerinda A46HV–Baja SKD 11	30
Gambar 3.21	<i>Setting</i> Kecepatan Pemakanan A46HV–Baja SKD 11.....	30
Gambar 3.22	<i>Displacement</i> Batu Gerinda GC46HV–Baja SKD 11	31
Gambar 3.23	<i>Setting</i> Kecepatan Pemakanan GC46HV–Baja SKD 11	31
Gambar 3.24	Penentuan Titik Pengamatan pada Simulasi ANSYS.....	32
Gambar 3.25	<i>Analysis Setting</i> pada Simulasi sebelum Proses <i>Running</i>	32
Gambar 4.1	Hasil Simulasi GC46HV pada Kecepatan Makan 200 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm	34
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda A46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 150 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.....	35
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda A46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 200 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.....	36

Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda A46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 250 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.	36
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda GC46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 150 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.	37
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda GC46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 200 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.	38
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda GC46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 250 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh Bentuk Bentuk Batu Gerinda	8
Tabel 2.2 Contoh Kodifikasi Batu Gerinda.....	8
Tabel 2.3 Ukuran Grit Batu Gerinda.....	9
Tabel 2.4 Nilai Kekasaran Batu Gerinda	9
Tabel 2.5 Jenis Bahan Pengikat Batu Gerinda	10
Tabel 3.1 Komposisi Kimia SKD 11	19
Tabel 3.2 Sifat Mekanik SKD 11	19
Tabel 3.3 Spesifikasi Batu Gerinda.....	20
Tabel 3.4 Data Eksperimen Proses Gerinda.....	20
Tabel 3.5 Spesifikasi Dinamometer Kistler 9272	22
Tabel 3.6 Pendefinisian Material Pada Simulasi.....	25
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Resultan Gaya Potong Eksperimen dan Simulasi pada Proses Gerinda Permukaan	33
Tabel 4.2 <i>One Sample Test</i> Perbedaan Hasil Uji Eksperimen 1 dan 2 terhadap Uji ANSYS	34
Tabel 4.3 ANAVA Variabel Proses Terhadap Resultan Gaya Potong	39
Tabel 4.4 Kesimpulan Pengaruh Variabel Proses Terhadap Resultan Gaya Potong	40
Tabel 4.5 Hasil Uji Tukey pada Jenis Batu Abrasif.....	40
Tabel 4.6 Hasil Uji Tukey pada Kecepatan Makan	40
Tabel 4.7 Hasil Uji Tukey pada Kedalaman Potong.....	41
Tabel 4.8 Setting Parameter Simulasi ANSYS	42

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses gerinda permukaan bisa disebut sebagai metode pemrosesan permukaan tertua yang di gunakan di dunia. Proses ini telah digunakan sejak hari-hari awal peradaban. Pada saat itu telah di teliti bahwa beberapa bahan alami menggaruk bahan yang lain dan mengakibatkan keausan bahan lain ketika mereka digeser satu sama lain di bawah tekanan. Bahan keras ini digunakan untuk tindakan mekanikal yang disebut "abrasif" dan sejalan dengan perkembangan teknologi, abrasif dan proses abrasif juga dikembangkan. Abrasif disebut dengan nama yang berbeda tergantung pada tujuan penggunaannya dan properti. (Demir et al., 2010)

Gerinda permukaan adalah proses yang paling umum digunakan di sektor manufaktur untuk memperoleh hasil akhir yang halus pada permukaan yang rata. Proses gerinda permukaan dilakukan agar menghasilkan akurasi dimensi yang tinggi, kekasaran permukaan yang rendah dan dapat diaplikasikan untuk material yang telah dikeraskan. Oleh karena itu proses gerinda ini sering digunakan pada geometri, dimensi dan toleransi dari benda kerja tidak dapat dicapai dengan proses pemesinan yang lain, seperti proses bubut, freis dan sekrup. Kualitas permukaan dan tingkat penghilangan logam adalah dua karakteristik kinerja penting yang harus dipertimbangkan dalam proses gerinda permukaan. (A. Kumar, 2013)

Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) adalah kondisi permukaan benda kerja setelah mengalami proses pemesinan. Terdapat dua karakteristik dari IPBK, yaitu karakteristik lapisan permukaan dan karakteristik topografi. Karakteristik lapisan permukaan terdiri dari deformasi plastis, tegangan sisa, *surface burning* dan retak mikro. Karakteristik tersebut dapat berubah selama proses pemesinan, sedangkan karakteristik topografi terdiri dari kekasaran permukaan, gelombang dan kesalahan bentuk. Kualitas permukaan benda kerja akan berhubungan dengan kualitas dari permukaan yang diproses. (Shaw, 1994)

Dalam melakukan proses gerinda, jenis roda gerinda memiliki peranan utama dalam proses ini, maka dari itu roda gerinda harus dipilih dengan baik, meliputi bentuk, dimensi, maupun jenisnya. Jenis roda gerinda sangat beragam tergantung pada kebutuhan proses gerinda. Serbuk abrasif merupakan bagian yang aktif yang berfungsi sebagai mata potong yang tersebar diseluruh permukaan roda gerinda. Saat ini ada empat macam serbuk gerinda yang biasa digunakan, yaitu jenis oksida aluminium, karbida silikon, karbida, dan intan. Jenis roda gerinda juga berpengaruh pada *grindability* dan tegangan sisa. Dengan menggunakan material roda gerinda jenis oksida aluminium yang diproduksi dengan teknik sol gel (Metode sintesis nanopartikel yang menggunakan dua tahapan fase yaitu sol dan gel), maka *grindability* akan meningkat dan tegangan sisa akan menurun jika dibandingkan dengan material roda gerinda jenis oksida aluminium yang diproduksi dengan cara konvensional. (Ben Fathallah et al., 2009)

Proses gerinda permukaan menghasilkan berbagai macam bentuk geram, sama halnya dengan proses pemesinan lainnya. bentuk geram terbentuk tergantung pada material benda kerja, jenis proses pemesinan dan kondisi pemotongan yang digunakan. Performa dari proses gerinda dapat dievaluasi berdasarkan mekanisme pembentukan geram, dengan melakukan pengamatan dan analisis terhadap geram yang telah terbentuk. Bentuk geram yang terjadi utamanya dipengaruhi oleh material benda kerja, kecepatan makan, ukuran butir-butir abrasif (*grain*), roda gerinda dan metode pendinginan yang digunakan. (Dhar, 2005)

Pada zaman digital seperti sekarang teknologi pada komputer semakin berkembang sangat pesat, khususnya dalam bidang *engineering*, Penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh tipe abrasif dan parameter proses gerinda terhadap gaya potong pada proses gerinda permukaan baja perkakas SKD 11 (*AISI D2 Steel*) menggunakan perangkat lunak ANSYS.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka diperoleh rumusan masalah untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana *setting* parameter pada ANSYS agar perbedaan hasil simulasi dan eksperimen bisa <10%?
2. Bagaimana perbandingan antara pengaruh variabel proses gerinda permukaan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap resultan gaya potong hasil simulasi perangkat lunak ANSYS dengan hasil eksperimen yang didapat dari referensi?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara *setting* parameter pada ANSYS agar perbedaan hasil simulasi dan eksperimen <10%.
2. Mengetahui perbandingan antara pengaruh variabel proses gerinda permukaan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap resultan gaya potong hasil simulasi perangkat lunak ANSYS dengan hasil eksperimen yang didapat dari referensi utama.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, supaya penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah, sehingga diperoleh tujuan yang diinginkan, maka diperlukan batasan pada masalah sebagai berikut:

1. Perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS 21.1.
2. Jenis batu gerinda atau tipe abrasif yang digunakan adalah A46HV dan GC46HV, huruf A dan GC merupakan jenis dari batu abrasif yakni *Aluminium Oxide* dan *Green Silicone*, angka 46 merupakan ukuran grit dari batu gerinda yang termasuk dalam kategori tingkat ukuran grit sedang, huruf H mengartikan nilai kekerasan batu gerinda yakni *soft* dan V mengartikan jenis pengikat serbuk abrasif yakni *vitrified bond*
3. Dimensi roda gerinda = 200 mm x 32 mm x 25 mm.
4. Kecepatan putar batu gerinda = 3000 rpm
5. Benda kerja menggunakan material Baja SKD 11 (*AISI D2 Steel*) dengan dimensi = 40 mm x 10 mm x 5 mm
6. Data eksperimen didapatkan dari thesis “Pengaruh Tipe Abrasif dan Parameter Proses Gerinda Terhadap Gaya Potong, Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) dan Mode Pembentukan Geram (MPG) pada Proses Gerinda Permukaan Baja Perkakas SKD-11” oleh Fipka Bisono pada tahun 2014
7. Hasil simulasi akan dianggap valid jika perbedaan dengan hasil eksperimen < 10%

1.5. Manfaat Penelitian

Dari tugas akhir ini, maka diperoleh manfaat adalah sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk penelitian yang lebih lanjut yang berkaitan dengan proses gerinda dengan pengaruh tipe abrasif dan variabel proses gerinda permukaan terhadap gaya potong.
2. Sebagai referensi bagi pengguna untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan simulasi grinding dengan perangkat lunak ANSYS, yang sulit diselesaikan apabila menggunakan cara matematis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Pada era revolusi industri keempat atau yang bisa disebut dengan era manufaktur digital saat ini, dunia industri menuntut perpaduan dunia fisik dan digital untuk pengembangan proses manufaktur digital yang berkelanjutan. Keberlanjutan di bidang manufaktur bertujuan untuk meningkatkan produktivitas sumber daya dengan mengidentifikasi tantangan lingkungan dan digitalisasi sebagai peluang (Kannan & Nara, 2018). Kemajuan dalam dunia industri manufaktur tidak bisa terlepas dari proses gerinda sebagai salah satu tahapan akhir dari sebuah proses produksi. Proses gerinda sebagian besar dilakukan untuk memberikan permukaan akhir yang diinginkan pada produk, hal ini membuat proses ini sangat penting dalam rangkaian proses manufaktur (S. Kumar et al., 2021).

Gerinda permukaan adalah sebuah proses manufaktur di mana batu gerinda menyentuh permukaan datar dan menghilangkan sejumlah kecil material untuk membuat permukaan datar sambil menggerakkan batu gerinda relatif terhadap permukaan di permukaan datar. Istilah gerinda permukaan mengacu pada proses pemesinan atau pengikisan permukaan secara akurat (W. B. Rowe, 2014). Untuk operasi gerinda permukaan, parameter proses, yaitu meliputi pemakanan linier, pemakanan silang, dan kedalaman potong, yang memiliki pengaruh langsung terhadap kekasaran permukaan (El Wakil, 2012).

Prinsip dasar dari proses gerinda permukaan adalah menghilangkan material pada permukaan benda. Dalam proses gerinda, terdapat bahan *abrasive* yang mengikis benda kerja. Biasanya berbentuk bagian melingkar yang menyerupai piringan. Bahan abrasif ini sering disebut sebagai batu asah atau *grinding wheel* (A. Kumar, 2013) (Ohnishi et al., 2015). Batu gerinda ini memiliki fungsi yang sama dengan pahat untuk proses gundi dan *milling*. Pengikisan benda kerja terjadi ketika batu gerinda diputar dengan kecepatan yang sangat tinggi dan bergesekan dengan benda kerja, dan butiran abrasif dari batu gerinda secara bertahap mengikis material benda kerja (A. Kumar, 2013). Dengan hasil permukaan yang sangat halus dan memiliki ketelitian sangat tinggi, proses gerinda dan proses *finishing* dengan cepat menjadi pilihan standar pemesinan, terutama di area sektor industri otomotif dan dirgantara yang berkembang pesat (Jackson, 2011).

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pada thesis dengan judul “Pengaruh Tipe Abrasif dan Parameter Proses Gerinda Terhadap Gaya Potong, Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) dan Mode Pembentukan Geram (MPG) pada Proses Gerinda Permukaan Baja Perkakas SKD-11” oleh Fipka Bisono pada tahun 2014. Pada penelitian tersebut variabel proses yang digunakan adalah gaya potong, integritas permukaan benda kerja yang meliputi; surface burning, kekasaran permukaan, kepadatan retakan dan mode pembentukan geram. Dalam penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengaruh dari variabel proses terhadap gaya potong adalah kedalaman potong yang tinggi mengakibatkan gaya potong bertambah besar dan tipe abrasif dengan kekerasan yang tinggi mengakibatkan gaya potong bertambah besar. Sedangkan pengaruh dari variabel proses terhadap kekasaran permukaan adalah kedalaman potong yang tinggi menyebabkan kekasaran permukaan benda kerja bertambah tinggi, dan kecepatan makan yang tinggi menyebabkan kekasaran permukaan benda kerja makin rendah (Bisono, 2014) (Hernández González et al., 2018).

Pada penelitian thesis yang berjudul “Pengaruh Tipe Abrasif Dan Variabel Proses Gerinda Terhadap Gaya Potong, Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) Dan Mode Pembentukan Geram (MPG) Pada Proses Gerinda Permukaan Baja Perkakas DAC Yang Telah Dikeraskan” yang dilakukan Saiful Arif pada 2015, penelitian tersebut dilakukan untuk

mempelajari pengaruh tipe abrasif (A64K dan GC64K) terhadap gaya potong, integritas permukaan benda kerja yang meliputi ; *surface burning*, kekasaran permukaan, kepadatan retakan dan mode pembentukan geram. Hasil penelitian tersebut di jelaskan bahwa proses gerinda permukaan yang berpengaruh signifikan terhadap gaya potong adalah kedalaman potong, sedangkan terhadap kekasaran permukaan adalah tipe abrasif dan kedalaman potong (Arif, 2015) (Hernández González et al., 2018).

2.2. Proses Gerinda

Proses gerinda adalah proses *finishing* yang paling umum yang di gunakan dalam dunia industri manufaktur untuk komponen yang membutuhkan akurasi dan kualitas permukaan yang tinggi (Kundrak et al., 2014). Proses ini dikerjakan dengan mesin gerinda menggunakan pahat berupa batu gerinda berbentuk piringan (*grinding wheel / disk*) yang terbuat dari campuran serbuk abrasif dan bahan pengikat dengan komposisi dan struktur tertentu (A. Kumar, 2013). Pada proses gerinda secara umum digolongkan menjadi 2 jenis, berdasarkan pada bentuk permukaan yang dihasilkan, yaitu:

1. Proses gerinda permukaan (*surface grinding*), yaitu proses gerinda yang menghasilkan permukaan benda kerja yang rata/datar.
2. Proses gerinda silindrik (*cylindrical grinding*), adalah proses gerinda yang menghasilkan permukaan benda kerja berbentuk silindrik

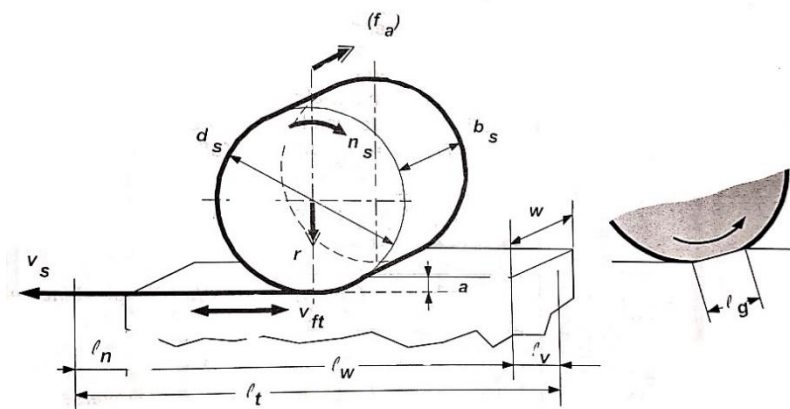
Batu gerinda yang dipasang pada *spindle* akan berputar dengan kecepatan tertentu yang tergantung pada diameter batu gerinda dan putarannya. Kecepatan periferal pada tepi luar batu gerinda dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Rochim, 1993):

$$v_s = \frac{\pi d_s n_s}{60000} ; m/s \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

- v_s : Kecepatan periferal batu gerinda (m/s)
- d_s : Diameter batu gerinda (mm)
- n_s : Putaran batu gerinda (r/m)

Proses gerinda permukaan mempunyai parameter-parameter yang berpengaruh pada hasil pemesinan. Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Rochim, 1993):

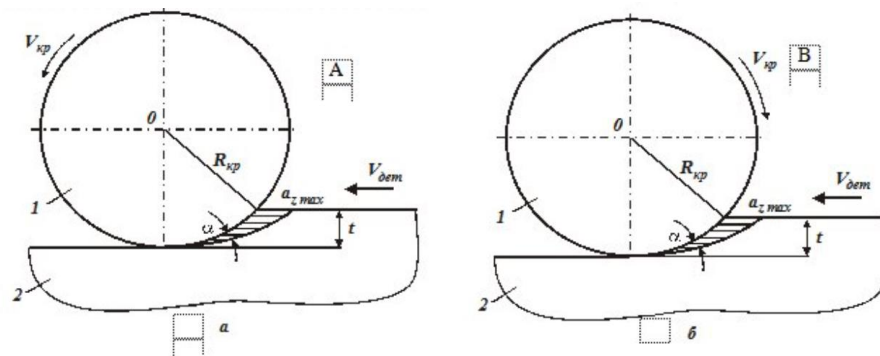


Gambar 2.1 Proses Gerinda Rata Permukaan (Rochim, 1993)

- v_s : Kecepatan periferal batu gerinda (m/s)
- v_{ft} : Kecepatan makan tangensial (mm/s)
- f_r : Gerak makan radial (mm/langkah)
- f_a : Gerak makan aksial (mm/langkah)
- l_t : Jarak gerak melintang (mm)
- l_g : Panjang kontak (mm)
- l_v : Panjang langkah pengawalan (mm)
- l_w : Panjang penggerindaan (mm)
- l_n : Panjang langkah pengakhiran (mm)
- d_s : Diameter batu gerinda (mm)
- n_s : Putaran batu gerinda (r/m)
- b_s : Lebar batu gerinda (mm)
- a : Kedalaman penggerindaan (mm)
- w : Lebar benda kerja (mm)

Berdasarkan arah penggerindaan, proses gerinda dibagi menjadi dua yaitu *up grinding* dan *down grinding*. *Up grinding*, sebagai mode yang lebih umum dipakai, banyak digunakan untuk pemesinan presisi yang menggunakan material bahan logam dan non-logam. *Up grinding* menghasilkan gaya penggerindaan yang lebih rendah dan suhu permukaan maksimum yang lebih rendah daripada *down grinding*.

Sedangkan pada arah *down grinding* bisa menjaga ketajaman pahat dan mengurangi kemungkinannya kenaikan gaya seiring bertambahnya waktu selama proses gerinda. *Down grinding* juga bisa menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih halus serta menjaga roda gerinda agar tidak cepat aus (W. B. Rowe, 2014). Adapun ilustrasi dari *up grinding* dan *down grinding* dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Essa, 2018).

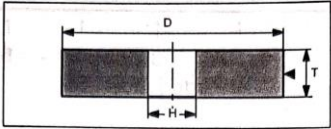
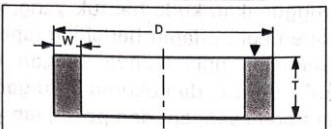
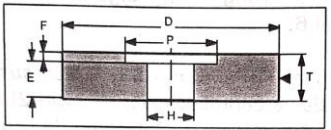
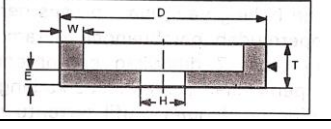
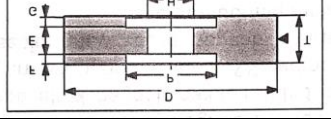
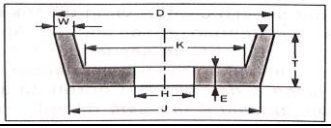
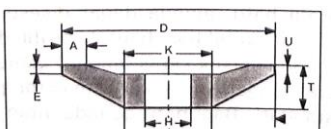


Gambar 2.2 Proses Gerinda (a) Up Grinding (b) Down Grinding (Essa, 2018)

2.3. Batu Gerinda

Batu gerinda atau *grinding wheel* adalah pahat khusus proses gerinda yang digunakan sebagai pemotong, pengikis dan pengasah suatu material. Batu gerinda terbuat dari campuran serbuk abrasif dengan bahan pengikat, dari kombinasi dua elemen tersebut menghasilkan jenis-jenis batu gerinda dengan fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan fungsinya masing masing (Dhar, 2005). Berikut beberapa contoh bentuk bentuk batu gerinda yang umum di gunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini (Rochim, 1993) :

Tabel 2.1 Contoh Bentuk Batu Gerinda (Rochim, 1993)

Gambar Batu Gerinda	Tipe Batu Gerinda
	Type 1 Lurus (<i>Straight Wheel</i>) Sisi aktif pada selubung (<i>peripheral</i>)
	Type 2 Silinder (<i>Cylinder Wheel</i>) Sisi aktif pada muka (<i>side</i>)
	Type 5 Lurus bertekuk satu (<i>Recessed One Side</i>) Sisi aktif pada selubung (silinder luar)
	Type 6 Mangkok lurus (<i>Straight Cup Wheel</i>) Sisi aktif pada muka
	Type 7 Lurus bertekuk dua (<i>Recessed Two Side</i>) Sisi aktif pada selubung
	Type 11 Mangkok konus (<i>Cone Cup Wheel</i>) Sisi aktif pada muka
	Type 12 Cakram (<i>Dish Wheel</i>) Sisi aktif pada muka dan selubung

Untuk memilih batu gerinda yang tepat dapat dilakukan dengan mengacu pada ISO 525-1999 (*International Organization for Standardization*), di jelaskan bahwa setiap batu gerinda memiliki kode tersendiri dimana memiliki informasi tentang spesifikasi dari batu gerinda dalam kode huruf dan angka. Bentuk umum dari kodifikasi batu gerinda berdasarkan ISO dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Contoh Kodifikasi Batu Gerinda Berdasarkan ISO 525-1999

Urutan Spesifikasi	0	1	2	3	4	5	6	7
Contoh	51	A	36	L	5	V	23	50

Keterangan :

0. Spesifikasi serbuk abrasif: sesuai dengan klasifikasi lebih lanjut dari pabrik pembuat.

1. Jenis serbuk abrasif: jenis serbuk abrasif yang umum dipakai adalah *aluminum oxide, silicon carbide, cubic boron nitride, diamond* .
2. Ukuran grit: angka yang besar menunjukkan bahwa ukuran serbuknya kecil. Ukuran grit berdasarkan ISO dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Ukuran Grit Batu Gerinda ISO 525-1999

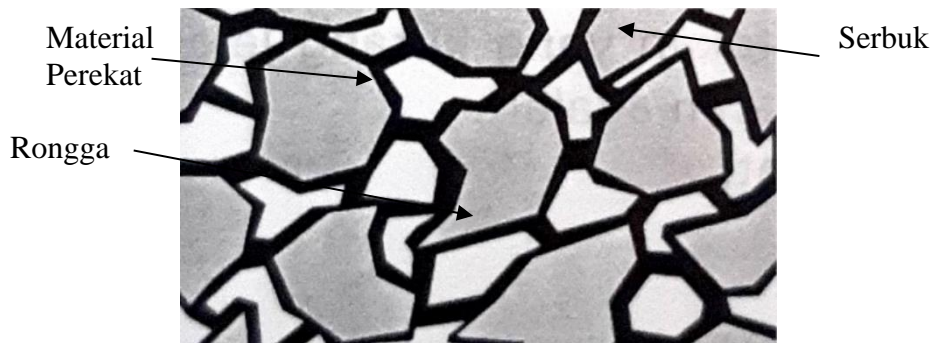
<i>Macrogrits</i>			<i>Microgrits</i>
Kasar	Sedang	Halus	Sangat Halus
4	30	70	230
5	36	80	240
6	40	90	280
7	46	100	320
8	54	120	360
10	60	150	400
12	-	180	500
14		220	600
16		-	800
20			1000
22			1200
24			-

3. Nilai kekerasan batu gerinda atau bisa di sebut dengan kekuatan ikatan serbuk abrasif: dimana nilai kekerasan diidentifikasi dari urutan huruf dari A-Z secara berurutan dengan tingkat kekerasan makin tinggi. Menurut standar ISO. Nilai kekerasan batu gerinda dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.4 Nilai Kekerasan Batu Gerinda ISO 525-1999

A	B	C	D	<i>Extremely soft</i>
E	F	G	-	<i>Very soft</i>
H	I	J	K	<i>Soft</i>
L	M	N	O	<i>Medium</i>
P	Q	R	S	<i>Hard</i>
T	U	V	W	<i>Very hard</i>
X	Y	Z	-	<i>Extremely hard</i>

4. Struktur batu gerinda: menyatakan kerapatan serbuk abrasif persatuan luas. Struktur dalam batu gerinda terdiri dari butiran abrasif, bahan pengikat dan rongga. Struktur tersebut diidentifikasi dengan menggunakan angka 0 - 30. Angka yang kecil dapat di artikan batu gerinda mempunyai kerapatan serbuk yang tinggi. Gambar ilustrasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Rochim, 1993).



Gambar 2.3 Struktur Batu Gerinda (Rochim, 1993)

5. Jenis bahan pengikat serbuk abrasif: menurut ISO jenis bahan pengikat diidentifikasi pada tabel sebagai berikut:

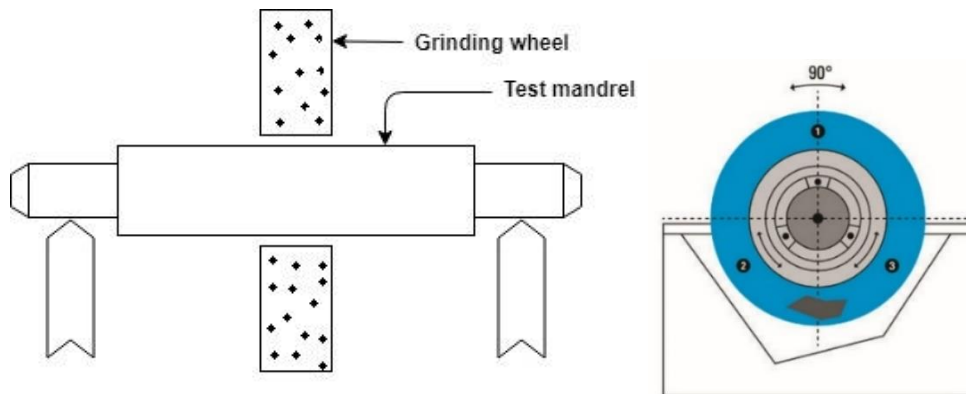
Tabel 2.5 Jenis Bahan Pengikat Batu Gerinda ISO 525-1999

V	<i>Vitrified bond</i>
R	<i>Rubber bond</i>
RF	<i>Reinforced rubber bond</i>
B	<i>Resinoid and other thermosetting organic bonds</i>
BF	<i>Resinoid bond fiber reinforced</i>
E	<i>Shellac bond</i>
MG	<i>Magnesite Bond</i>
PL	<i>Plastic Bond</i>

6. Spesifikasi bahan pengikat batu gerinda: berupa angka dan hanya dicantumkan jika di perlukan, sesuai dengan jenis dan modifikasi yang dilakukan oleh pabrik pembuat.
7. Kecepatan periferal maksimum batu gerinda: dengan satuan m/s.

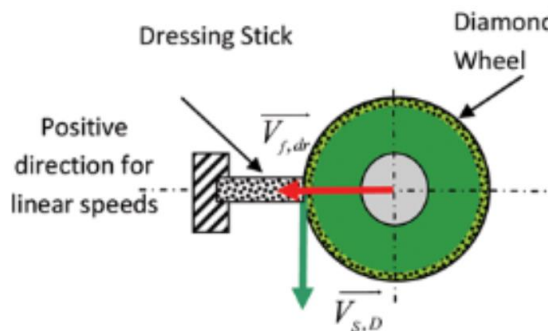
2.4. *Balancing and Dressing*

Proses pemasangan batu gerinda pada mesin gerinda harus seimbang, tidak boleh miring, ketidak seimbangan batu gerinda dapat menyebabkan permukaan benda kerja menjadi kasar, mempercepat kerusakan bantalan pada mesin gerinda, menyebabkan batu gerinda pecah pada putaran yang tinggi, sehingga dapat merusak mesin dan dapat membahayakan operator. Proses *balancing* ini dilakukan pada kecepatan putaran batu gerinda yang rendah dan akurasi menengah, dengan cara statis menggunakan spindel tiruan, yang dapat memutar dan mengetahui posisi seimbang batu gerinda (W. B. Rowe, 2014) (Kundrak et al., 2014). Gambar ilustrasi proses *balancing* dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Lefebvre et al., 2013):



Gambar 2.4 Ilustrasi *Balancing* Pada Roda Gerinda (Lefebvre, 2013)

Pada proses gerinda apabila batu gerinda dipakai terus menerus, maka lama lama akan tidak tajam lagi, sehingga dapat menyebabkan proses gerinda menjadi tidak optimal. Untuk kembali mengoptimalkan proses gerinda maka perlu dilakukan proses *dressing* pada batu gerinda tersebut (W. B. Rowe, 2014). Gambar ilustrasi proses *dressing* dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Lefebvre et al., 2013):



Gambar 2.5 Ilustrasi *Dressing* Pada Batu Gerinda (Lefebvre, 2013)

Fungsi dari proses *dressing* batu gerinda ini adalah :

1. Agar bisa mendapatkan sisi potong yang tajam dan menyeluruh pada ujung batu gerinda.
2. Agar dapat mengikis perekat disekitar serbuk abrasif, sehingga serbuk abrasif lebih terbuka pada permukaan batu gerinda.
3. Agar dapat mengikis lapisan batu gerinda yang memuat material benda kerja.

2.5. Material Abrasif Batu Gerinda

Batu gerinda atau *grinding wheel* adalah pahat mesin gerinda yang terbuat dari campuran serbuk abrasif dengan bahan pengikat. Pada saat ini ada empat macam tipe abrasif yang umum di pakai yakni; Oksida Aluminium dan Karbida Silikon yang termasuk jenis *conventional-abrasive* serta Karbida atau Nitrida Boron dan Intan yang termasuk jenis *super-abrasive*. Masing masing dari jenis ini dapat di klasifikasikan lebih lanjut berdasarkan kemurnian, kegetasan atau pelapisnya.

Oksida Aluminium (*Aluminium Oxide*, Al_2O_3) terbuat dari hasil pemurnian biji bauksit di dalam dapur listrik. Agar menjadi oksida aluminium yang murni dan sangat keras, setelah proses pemurnian tadi dilakukan pemanasan dengan mencampurkan batu bara dan besi yang kemudian di masukkan ke dalam dapur listrik, kemudian digiling dan di saring dengan ukuran yang di inginkan.

Batu gerinda dengan butiran aluminium oksida secara umum digunakan untuk menggerinda benda kerja yang mempunyai tegangan tarik tinggi, contohnya baja karbon, besi tempa, baja paduan, perunggu dan HSS (*High Speed Steel*). Warna dan ketangguhan material abrasif ditentukan oleh jumlah *impurities* (pengotor) seperti besi oksida, titanium oksida dan silika. Aluminium oksida grit murni pada umumnya berwarna putih dan mengandung lebih dari 99% alumina murni. Abrasif ini memiliki karakteristik pemotongan dan penggerindaan yang sangat cepat dan dingin, sehingga cocok untuk menggerinda baja yang dikeraskan atau berkecepatan tinggi dalam berbagai posisi penggerindaan presisi.

Karbida Silikon (*Silicone Carbide*, SiC) terbuat dari hasil pencampuran silika putih, batubara, garam dan serbuk kayu yang di panaskan dalam dapur listrik. Proses ini bisa disebut dengan proses sintesa atau penggabungan silika dengan karbon, kemudian bahan akan di giling dan di saring sesuai ukuran yang di inginkan. Tipe abrasif silikon karbida ini memiliki sifat keras tetapi juga lebih rapuh dari aluminium oksida. Ada dua jenis silikon karbida yaitu silikon karbida hitam "C" dan silikon karbida hijau "GC". Pada silikon karbida warna hitam, kandungan SiC setidaknya mencapai 98% dan sisanya adalah campuran, sedangkan pada silikon karbida warna hijau kandungan SiC mencapai 99%. Batu gerinda karbida silikon ini cocok jika digunakan untuk menggerinda material besi tuang, kuningan, perunggu, tembaga, aluminium, batu, karet dan plastik (Rochim, 1993).

2.6. Baja Perkakas SKD 11

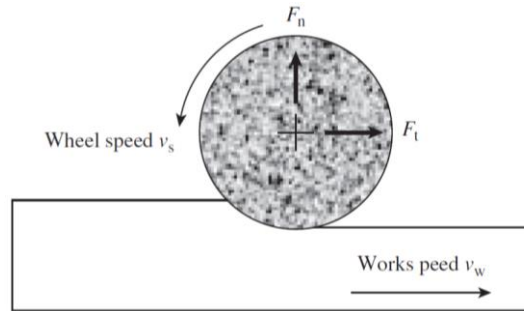
Baja merupakan logam paduan antara besi dan karbon dimana kadar karbonnya maksimum sekitar 1,5 %. Sedangkan untuk yang kadar karbonnya antara 2% sampai dengan 6,67% disebut dengan besi cor, fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan, krom, vanadium, dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (K & Napitupulu, 2013).

Baja perkakas SKD 11 adalah jenis baja tahan karat berkualitas tinggi yang merupakan baja perkakas dan banyak dipergunakan dalam industri karena memiliki sifat kekerasan yang tinggi dan tahan aus. Komposisi kimia dari baja perkakas SKD11 yaitu, C 1,55%, Cr 11,60%, Mo 0,80%, Mn 0,30%, Si 0,30% (Hermawan, 2015) . Baja perkakas SKD 11 merupakan baja paduan *chrome*. Penambahan unsur paduan ini menyebabkan baja mempunyai angka kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon tinggi. Pada baja perkakas SKD 11 angka kekerasan rata ratanya sebesar 211,3 HV (K & Napitupulu, 2013).

2.7. Proses Pengikisan Material

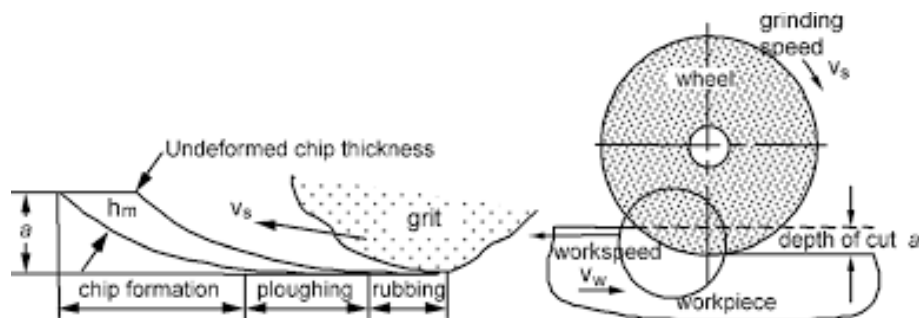
Performa dari proses gerinda dapat dievaluasi berdasarkan proses pengikisan material yakni dengan mengamati mekanisme pembentukan geram, dengan melakukan pengamatan dan analisis terhadap geram yang terbentuk. Bentuk geram yang terjadi utamanya dipengaruhi oleh material benda kerja, ukuran butir-butir abrasif (*grain*) roda gerinda, kecepatan makan dan metode pendinginan yang digunakan (Bisono & Setiawan, 2018).

Pengikisan material pada proses gerinda terjadi saat roda gerinda memotong material benda kerja ketika benda kerja tepat berada di bawahnya. Gaya normal dan tangensial dihasilkan karena terjadi kontak antara roda gerinda dan benda kerja, gaya yang terjadi mengakibatkan butiran abrasif dari roda gerinda masuk kedalam benda kerja. Ilustrasinya bisa dilihat pada gambar di bawah ini (W. B. Rowe, 2014):



Gambar 2.6 Pengikisan Material Pada Proses Gerinda (Rowe, 2014)

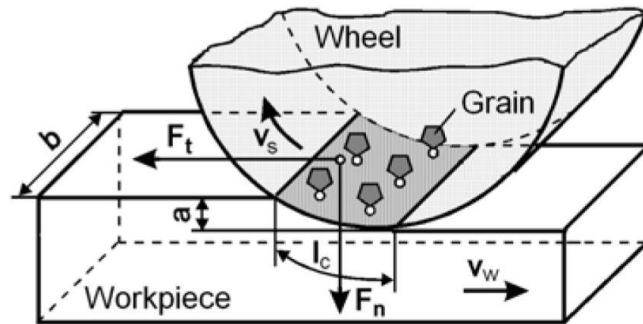
Pada proses gerinda permukaan, setiap butiran abrasif yang menempel pada batu gerinda bekerja seperti pahat potong. Susunan dari butiran abrasif ini tidak teratur/acak yang berarti tidak semua butiran abrasif memotong sempurna benda kerja. Terdapat 3 macam fase dari butiran abrasif dalam proses gerinda permukaan, yaitu: *cutting*, *ploughing* dan *rubbing*. *Cutting* atau *chip formation* adalah proses pemotongan sempurna dimana butiran abrasif menggaruk benda kerja dengan sangat panjang, *ploughing* adalah kondisi dimana ada butiran abrasif ringan yang menggesek tidak sempurna dan mengakibatkan aus ringan sehingga sulit di deteksi. sedangkan *rubbing* adalah kondisi dimana butiran abrasif menyentuh permukaan benda kerja tetapi tidak menggesek permukaan benda kerja, sehingga tidak terjadi pengikisan sama sekali (W. B. Rowe, 2014). Ilustrasi dari ketiga fase tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah ini (Chen & Opoz, 2010).



Gambar 2.7 Tiga Fase dari Butiran Abrasif (Chen & Opoz, 2010)

Gaya gerinda (*Grinding force*) adalah gaya yang terjadi pada proses gerinda, yaitu pada saat terjadinya kontak antara batu gerinda dan benda kerja. Umumnya pada proses gerinda ini akan menghasilkan gaya potong, gaya ini terbagi menjadi beberapa komponen dan arah. Dalam proses gerinda permukaan gaya potong yang di dihasilkan dibagi menjadi gaya tangensial (F_t) dan gaya normal (F_n). Gaya tangensial berada searah dengan garis singgung permukaan roda gerinda dan kontak benda kerja, sedangkan gaya normal berada pada permukaan roda gerinda dan benda kerja. Karena diameter roda jauh lebih besar daripada kedalaman potong, dapat diasumsikan bahwa gaya tangensial dan gaya normal terlentang pada bidang horizontal atau vertical (Gostimirović et al., 2015).

Ilustrasi nya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.8 Komponen Gaya Gerinda (Gostimirović et al., 2015)

Hubungan gaya normal dan tangensial dari gaya gerinda didefinisikan sebagai rasio gaya gerinda:

$$\lambda = \frac{F_n}{F_t} = \frac{Fn'}{F_t'} : \dots\dots\dots(2.2)$$

Karena lebar permukaan berpengaruh, maka gaya gerinda spesifik adalah;

$$F_t' = \frac{F_t}{b} \text{ dan } F_b' = \frac{F_b}{b} \dots\dots\dots(2.3)$$

Gaya pada proses gerinda permukaan mempunyai prinsip yang sama dengan proses pemesinan konvensional yang lain. Menurut teori *Merchant*, gaya dilihat hanya pada satu bidang saja, sehingga gaya total dapat dibagi menjadi dua komponen gaya yang saling tegak lurus (Rochim, 1993). Penguraian gaya dalam hal ini dapat dikemukakan dalam tiga cara, yaitu:

1. Gaya Total (F)

Jika ditinjau dari proses deformasi material dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:

- F_s : Gaya geser yang mendeformasikan material pada suatu bidang geser sehingga melampaui batas elastis.
- F_{sn} : Gaya normal pada bidang geser yang menyebabkan pahat tetap; menempel pada benda kerja.

2. Gaya Total (F)

Dapat mengetahui arah dan besarnya gaya dengan menggunakan dinamometer. Komponen gaya yang diukur adalah:

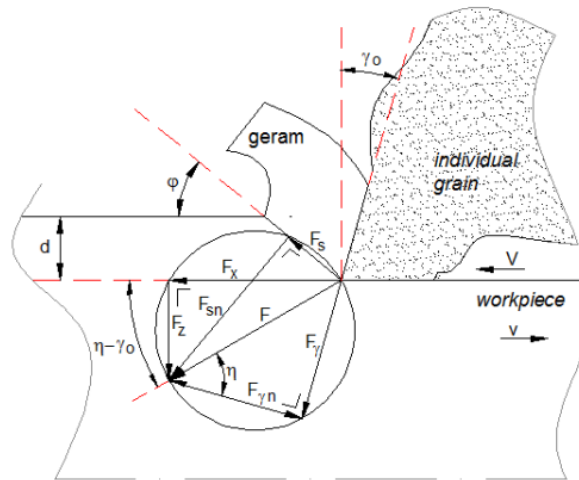
- F_v : Gaya potong yang searah dengan kecepatan potong.
- F_f : Gaya makan yang searah dengan kecepatan makan.

3. Gaya Total (F)

Gaya yang bereaksi pada bidang geram dan dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:

- F_γ : Gaya gesek pada bidang geram.
- $F_{\gamma n}$: Gaya normal pada bidang geram.

Teori *Merchant* membuat sebuah ilustrasi dimana gaya-gaya tersebut digambarkan pada suatu lingkaran berdiameter sama dengan gaya total, karena berasal dari satu gaya, yaitu gaya total (F). Gambar di bawah ini mengilustrasikan lingkaran gaya pemotongan pada sudut geram positif (Rochim, 1993).



Gambar 2.9 Lingkaran Gaya Pemotongan (Rochim, 1993)

Berdasarkan analisa geometrik dari lingkaran gaya (*Merchant*) dapat diturunkan rumus dasar gaya potong pada gerinda F_v (Rochim, 1993).

Dari $F_v = F_{\cos} (\eta - \gamma_o)$ dan $F_s = F_{\cos} (\phi + \eta - \gamma_o)$(2.4)

maka ; $F_v = \frac{F_s \cos (\eta - \gamma_o)}{\cos (\phi + \eta - \gamma_o)}$(2.5)

Gaya geser F_s dapat digantikan dengan penampang bidang geser dan tegangan geser yang terjadi padanya yaitu :

- $F_s = A_{shi} \cdot \tau_{shi}$; N. Dimana,
- τ_{shi} : Tegangan geser dinamis; N/mm²,
- A_{shi} : Penampang bidang geser,
: $A / \sin \Phi$; mm²,
- A : Penampang geram sebelum terpotong,
: $b \cdot h$; mm².

Dengan demikian rumus gaya potong adalah;

$$F_v = \tau_{shi} b \cdot h \frac{\cos (\eta - \gamma_o)}{\sin \phi \cos (\phi + \eta - \gamma_o)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana,

F_v	: Gaya potong teoritis (N)
τ_{shi}	: Tegangan geser dinamis; N/mm ²
η	: Sudut gesek (°)
γ_o	: Sudut geram orthogonal (°)
h	: Tebal geram sebelum terpotong
b	: Lebar pemotongan (mm)
ϕ	: Sudut geser (°)

2.8. Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*)

Metode Elemen Hingga adalah sebuah metode numerik yang di ciptakan dengan tujuan untuk memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan differensial parsial. Konsep Metode Elemen Hingga ini diciptakan oleh Clough pada awal 1960-an, pada awalnya penerapan MEH ini digunakan untuk analisis struktur pesawat dan bisa disebut sebagai salah satu kontribusi kunci dalam pengembangan MEH saat itu, namun kini metode ini telah diterapkan dalam berbagai permasalahan teknik, seperti kinematika, statika, dinamika fluida, struktur, perpindahan panas maupun elektromagnetik.

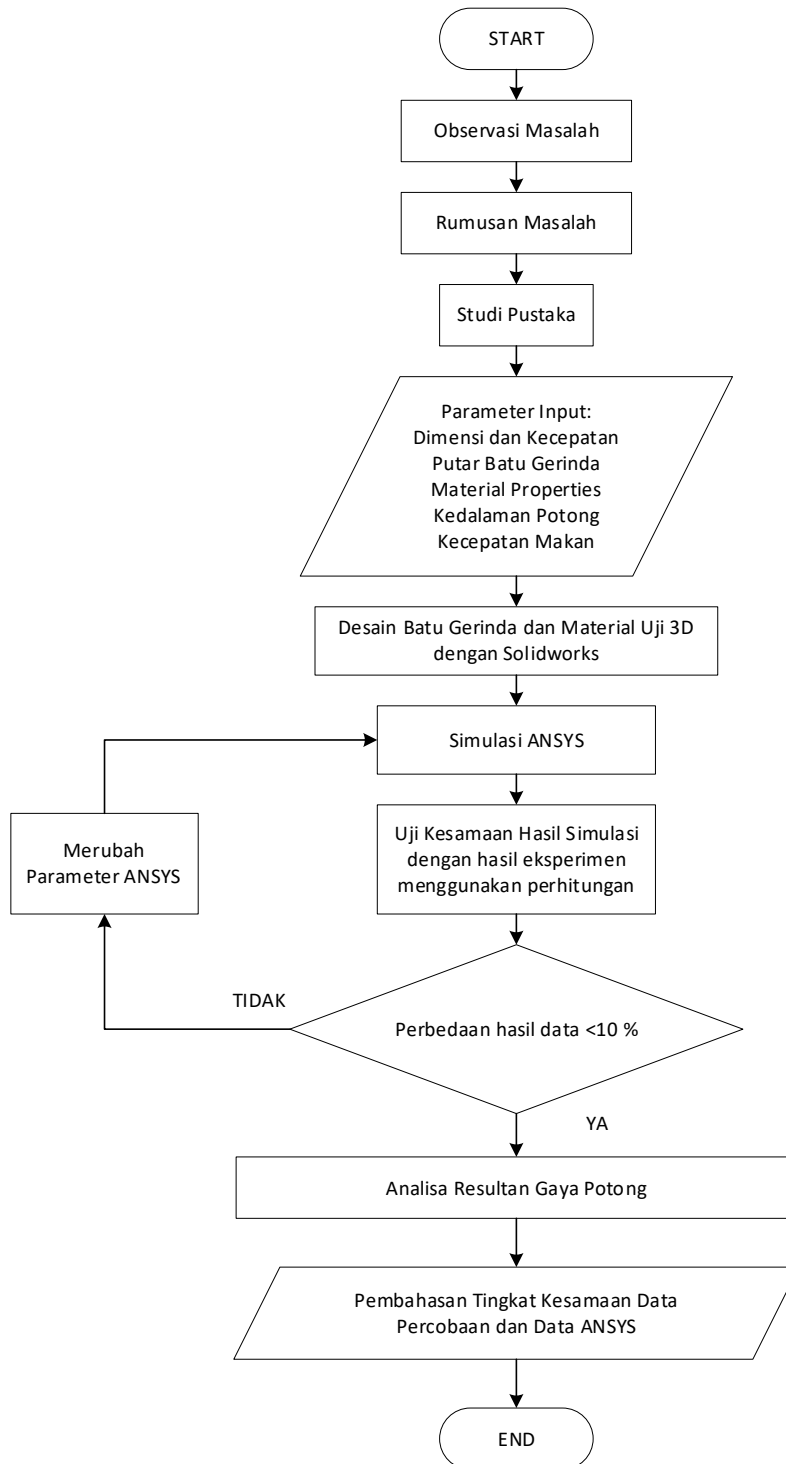
Finite Elemen Method adalah teknik komputasi yang digunakan untuk mendapatkan solusi perkiraan masalah nilai limit dalam *engineering*. Untuk kenyamanan, prosedur FEM memungkinkan kontinum untuk didiskritisasi menjadi sejumlah bagian (atau elemen) yang terbatas dan menekankan bahwa karakteristik domain kontinu dapat diperkirakan dengan merakit sifat-sifat serupa dari elemen yang didiskritkan per node. Akibatnya, FEM telah diimplementasikan secara ketat untuk memecahkan berbagai masalah dalam sains dan teknik terapan dan telah berkembang pesat selama bertahun-tahun (Pradhan, 2018).

Permodelan pada proses gerinda permukaan menggunakan pendekatan numerik dengan MEH dapat dilakukan dengan mensimulasikan proses gerinda permukaan dengan menggunakan *software*. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk melakukan pemodelan pada proses gerinda permukaan ini adalah *software* ANSYS. ANSYS dibagi menjadi menjadi beberapa metode, dan salah satu metodenya adalah ANSYS *explicit dynamics*. Simulasi gerinda permukaan ini dianggap cocok menggunakan metode *explicit dynamics* karena analisa gaya potong hanya dilakukan secara singkat, yaitu saat batu gerinda dan material mengalami kontak. Waktu kontak ini sangatlah singkat, hanya selang sepersekian detik saja, maka simulasi ini dinilai cocok memakai ANSYS *explicit dynamics*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan secara umum yang akan dilakukan pada penelitian tugas akhir ini akan disajikan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Observasi dan Belajar

Observasi dan belajar 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 dan juga mempelajari *software ANSYS* karena *software* ini cukup awam bagi penulis. Dalam penelitian ini, penulis melakukan perbandingan antara gaya potong antara 2 tipe abrasif batu gerinda (A46HV dan GC46 HV) dengan material uji baja SKD 11 (*AISI D2 Steel*) dengan kekerasan 32 HRC menggunakan simulasi ANSYS dengan hasil eksperimen yang didapat dari referensi utama penelitian ini.

3.3 Peninjauan Masalah

Langkah berikutnya yang dilakukan pada penelitian ini adalah peninjauan permasalahan. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana perbandingan gaya potong antara 2 tipe abrasif batu gerinda (A46HV dan GC46HV) dengan material uji baja SKD 11 (*AISI D2 Steel*) dengan kekerasan 32 HRC menggunakan simulasi *software ANSYS* dengan hasil eksperimen yang didapat dari referensi utama. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini merupakan hal yang umum di butuhkan pada dunia manufaktur dimana pembentukan suatu produk akan semakin baik ketika variabel-variabel nya tepat sehingga dapat menghasilkan sebuah produk yang terbaik.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan berikutnya setelah peneliti 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 pembentukan produk logam terutama dengan proses gerinda permukaan, dan buku yang menjelaskan tentang karakteristik material baja SKD 11 (*AISI D2 Steel*). Selain itu, peneliti juga melakukan studi literatur melalui jurnal-jurnal penelitian sebelumnya yang membahas tentang pemodelan gerinda permukaan yang di simulasikan dengan *software ANSYS*.

3.5 Pengumpulan Data

Tahapan berikutnya yang dilakukan penulis pada penelitian adalah mengumpulkan data. Data awal yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah dimensi kedua batu gerinda, jenis material batu gerinda, material benda uji, dimensi benda uji dan data eksperimen dari Thesis Fipka Bisono. Data-data tersebut didapatkan oleh penulis melalui jurnal-jurnal penelitian yang ada sebelumnya. Jenis batu gerinda yang digunakan ada 2, yaitu material *Aluminium Oxide* (A46HV) dan *Green Silicone* (GC46HV), detail geometri kedua batu gerinda akan di tampilkan di bawah.

Data komposisi kimia dan sifat mekanik baja SKD 11 (*AISI D2 Steel*) serta spesifikasi roda gerinda dan material uji yang digunakan untuk melakukan simulasi ANSYS ditunjukkan pada Tabel 3.1 - 3.3 di bawah ini (Bisono, 2014) :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia SKD 11 (Bisono, 2014)

Jenis Kimia	Persentase (%)
Carbon	1.59
Silicon	0.38
Manganese	0.35
Phosphorus	0.024
Chromium	11.68
Nickel	0.36
Molybdenum	0.67
Sulphur	0.015
Copper	0.03
Vanadium	0.39

Tabel 3.2 Sifat Mekanik SKD 11 (Bisono, 2014)

Properties	Nilai
Ultimate Tensile (MPa)	1850
Yield Strength (MPa)	1530
Elongation (%)	3.6

Tabel 3.3 Spesifikasi Roda Gerinda (Bisono, 2014)

Kodifikasi	A46HV	GC46HV
Jenis	<i>Alluminum Oxide</i>	<i>Green Silicone</i>
Ukuran grit	46	46
Dimensi:		
Diameter luar (mm)	200	200
Diameter dalam (mm)	32	32
Tebal (mm)	25	25
Maksimum putaran (RPM)	3350	3200

Data eksperimen gaya potong batu gerinda tipe abrasif A46HV dan GC46HV terhadap material baja perkakas SKD 11 (*AISI D2 Steel*) Thesis Fipka Bisono yang digunakan sebagai referensi utama dan verifikasi pada simulasi ANSYS FEM nantinya ditampilkan pada Tabel 3.4 di bawah ini (Bisono, 2014).

Tabel 3.4 Data Eksperimen Proses Gerinda (Bisono, 2014)

Variabel proses			Respon		
Tipe Abrasif	Kecepatan Makan (mm/s)	Kedalaman Potong (mm)	Resultan Gaya (N)		
			F		
			Replikasi 1	Replikasi 2	Rerata
<i>Aluminum Oxide</i>	150	0.01	119.50	121.78	120.63
		0.03	226.02	226.59	226.30
		0.06	362.06	362.90	362.48
	200	0.01	110.67	112.12	111.39
		0.03	221.15	213.39	217.26
		0.06	412.32	390.24	401.28
	250	0.01	122.28	121.77	122.01
		0.03	253.83	250.42	252.13
		0.06	390.97	389.05	390.01
<i>Green Silicone</i>	150	0.01	99.10	99.19	99.14
		0.03	193.45	204.47	198.96
		0.06	314.73	320.36	317.53
	200	0.01	81.56	91.09	86.33
		0.03	184.00	185.13	184.56
		0.06	333.74	336.16	334.95
	250	0.01	92.98	89.55	91.25
		0.03	194.76	190.28	192.52
		0.06	299.73	292.04	295.88

3.6 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian eksperimen yang di jadikan sebagai referensi utama ini adalah mesin gerinda permukaan, Mesin tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mesin Gerinda Permukaan

Mesin gerinda permukaan yang digunakan pada penelitian eksperimen adalah mesin gerinda permukaan yang berada di Laboratorium Proses Manufaktur Departemen Teknik Mesin ITS, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Mesin tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut (Bisono, 2014):

Merk dan model	: Krisbow KGS818AHD
Jenis mesin	: <i>Surface Grinding</i>
Sertifikasi	: CE, ISO 9001
Dimensi meja kerja	: 200 mm x 500 mm
Kecepatan meja longitudinal	: 80 mm/s – 330 mm/s
Kedalaman potong minimal	: 0.01 mm
Kecepatan putaran roda gerinda	: 3000 rpm
Ukuran roda gerinda	: 200 mm x 32 mm x 25 mm



Gambar 3.2 Mesin Gerinda Permukaan Model KGS818AHD (Bisono, 2014)

2. Dinamometer

Dinamometer yang digunakan pada penelitian eksperimen yang di gunakan sebagai referensi utama adalah dinamometer merek Kistler tipe 9272 yang memiliki sensor *piezoelectric*. Dinamometer ini digunakan untuk pengukuran gaya normal dan gaya tangensial (F_z dan F_x) pada saat proses gerinda berlangsung. Gambar dinamometer Kistler 9272 ditunjukkan pada Gambar 3.3, sedangkan untuk spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 3.5. (Bisono, 2014)



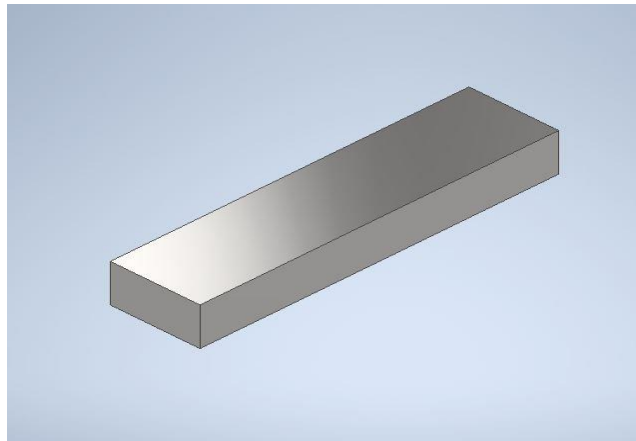
Gambar 3.3 Dinamometer Kistler 9272 (Bisono, 2014)

Tabel 3.5 Spesifikasi Dinamometer Kistler 9272 (Bisono, 2014)

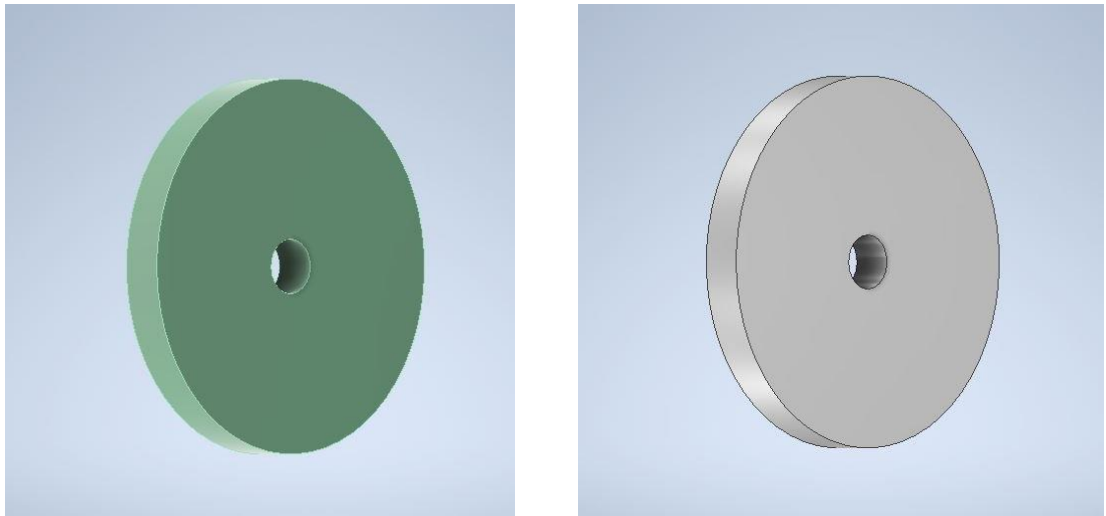
Spesifikasi	Simbol	Satuan	Ukuran
Jarak Pengukuran	Fx, Fy	kN	±5
	Fz	kN	-5...20
	Mz	N.m	±200
Sensitifitas	Fx, Fy	pC/N	≈-7.8
	Fz	pC/N	≈-3.5
	Mz	pC/N.cm	≈-1.6
Frekuensi Pribadi	f _{nx} , f _{ny}	kHz	≈3.1
	f _{nz}	kHz	≈6.3
	f _n (Mz)	kHz	≈4.2
Temperatur Pengukuran		°C	0...70
Tinggi		Mm	70
Diameter Luar		Mm	100
Diameter Dalam		Mm	15
Berat		Kg	4.2

3.7 Desain Batu Gerinda dan Material Uji pada Solidworks

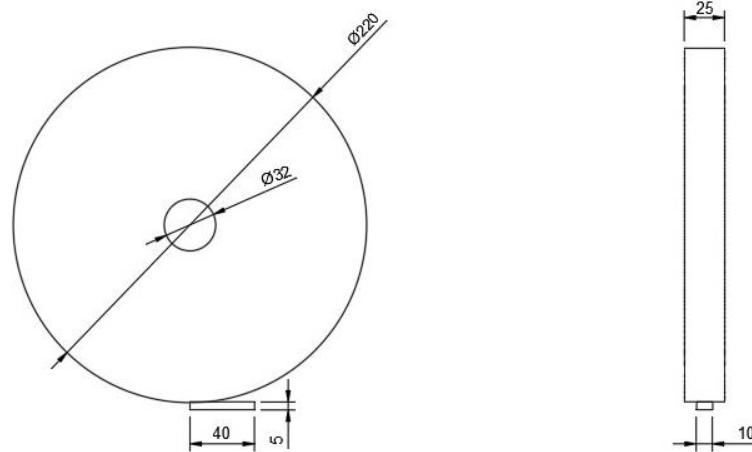
Pada tahapan berikutnya, penulis membuat gambar desain tiga dimensi kedua batu gerinda dan material uji yang telah diketahui dimensinya dari studi literatur yang telah dilakukan. Proses pembuatan desain tiga dimensi ini menggunakan *software* Solidworks 2018. Hasil dari desain tiga dimensi batu gerinda yang telah penulis buat sesuai dengan data yang ada pada referensi utama ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



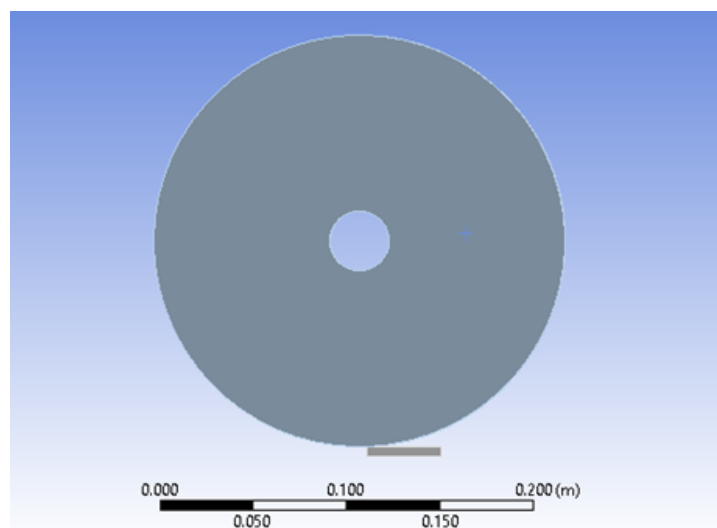
Gambar 3.4 Material Benda Uji Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)



Gambar 3.5 Batu Gerinda GC46HV dan A46HV (ANSYS 21.1)



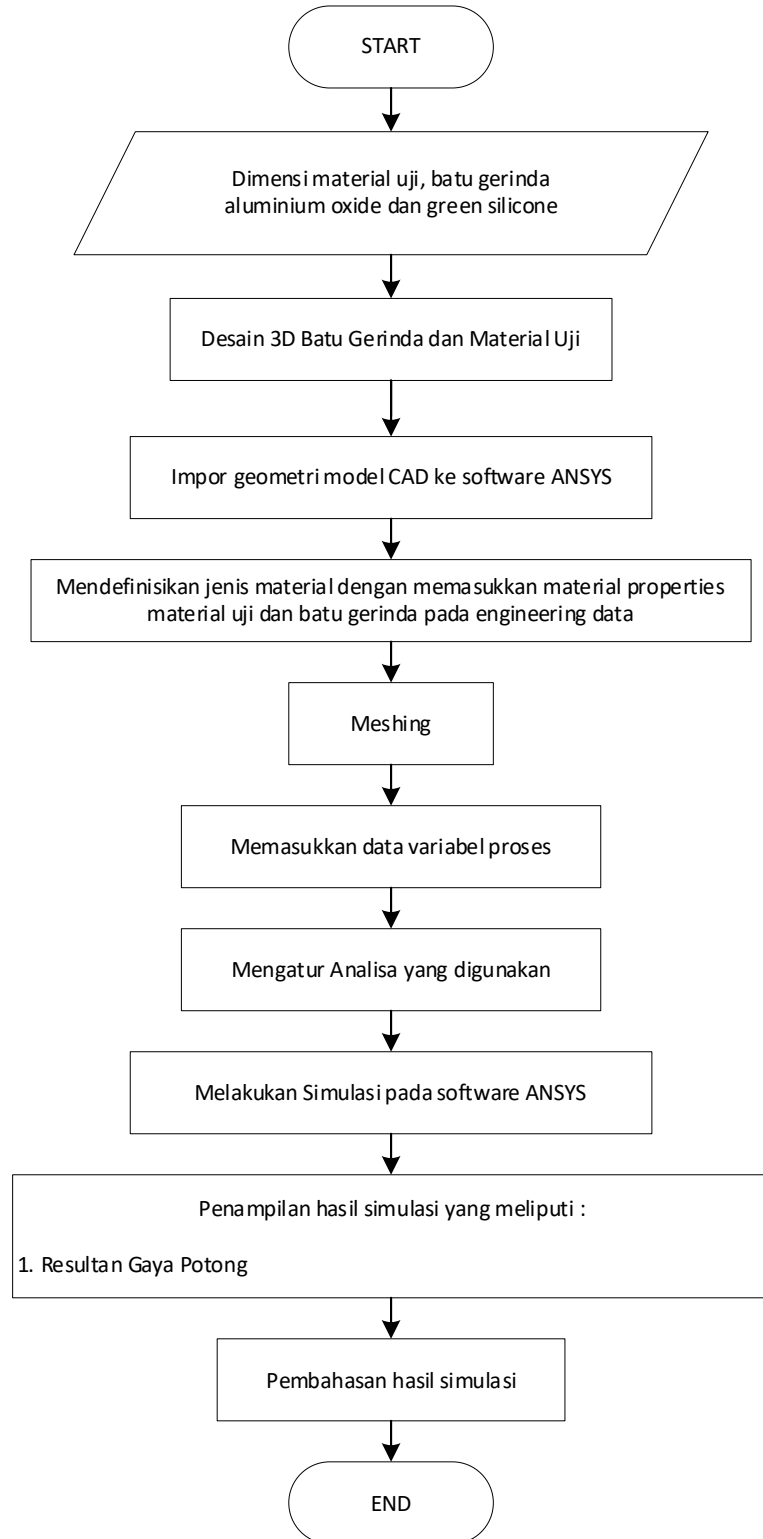
Gambar 3.6 Gambar *Assembly* dan Dimensi Batu Gerinda dengan Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)



Gambar 3.7 Gambar *Assembly* Batu Gerinda dengan Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)

3.8 Simulasi pada *Software ANSYS*

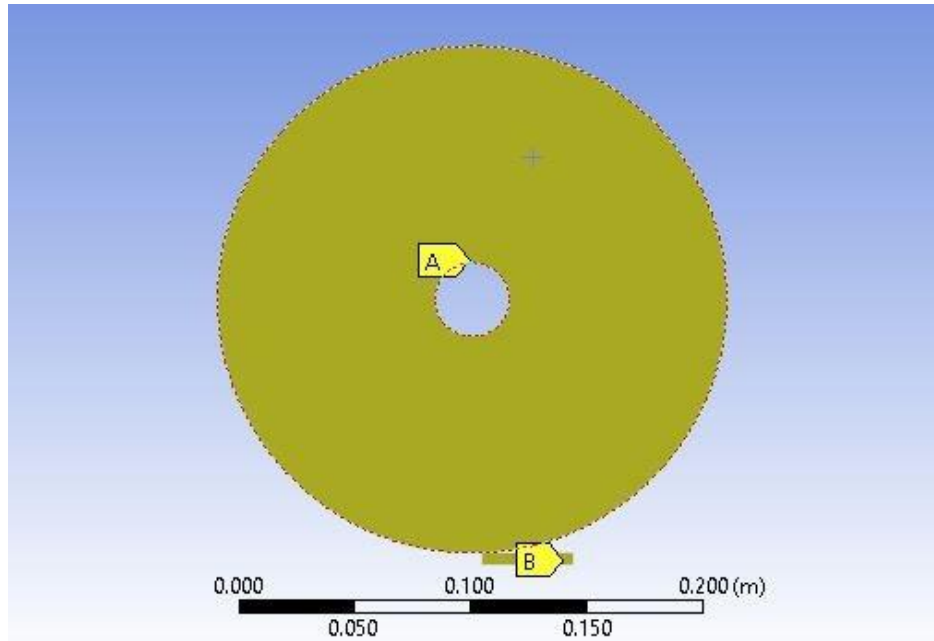
Secara umum tahapan yang akan dilakukan pada penelitian untuk menyelesaikan tugas akhir ini disajikan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram Alir Simulasi

3.8.1 Impor Geometri Model CAD ke *Software ANSYS*

Langkah pertama pada simulasi ini adalah pendefinisian model dengan mengimpor model desain dari *software* Solidworks ke dalam *software* ANSYS. Berikut merupakan impor geometri model CAD kedalam ANSYS pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Input Geometri Model CAD ke *Software ANSYS* (ANSYS 21.1)

3.8.2 Pendefinisian Material pada Engineering Data

Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan jenis material pada model batu gerinda dan material uji pada menu *engineering data* pada *software* ANSYS. Jenis *material properties* yang di perlukan pada simulasi gerinda permukaan ini adalah *Young Modulus*, *Hardness*, *Yield Strength*, *Poisson's Ratio*, *Density*, dan *Fracture Toughness*, seperti yang di tampilkan dalam tabel 3.5 di bawah ini (Bisono, 2014) (Praveen et al., 2017) (Ji et al., 2013):

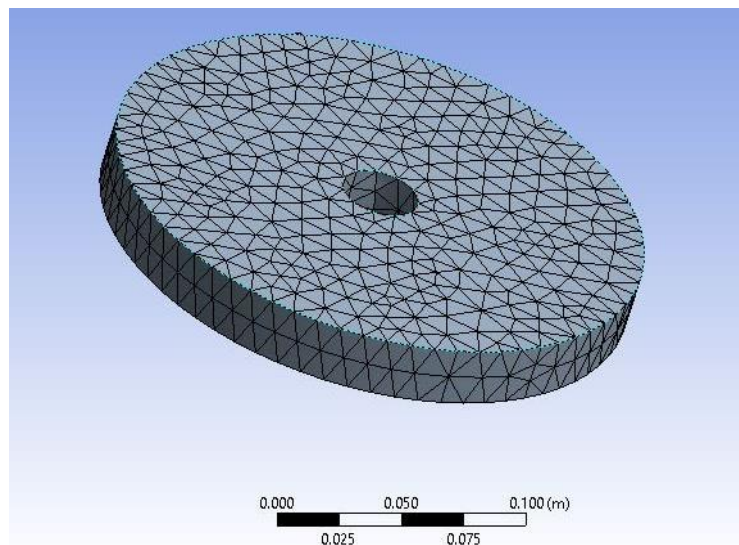
Tabel 3.5 Pendefinisian Material pada Simulasi

<i>Material</i>	<i>Young Modulus (GPa)</i>	<i>Hardness (HRC)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Poisson's Ratio</i>	<i>Density (Kg/m³)</i>	<i>Fracture Toughness (MPa)</i>
SKD 11	200	32	1530	0.29	7.7	35.28
<i>Aluminum Oxide</i>	413	20	1540	0.21	3.89	5
<i>Green Silicone</i>	450	26	2100	0.25	3.02	2.4

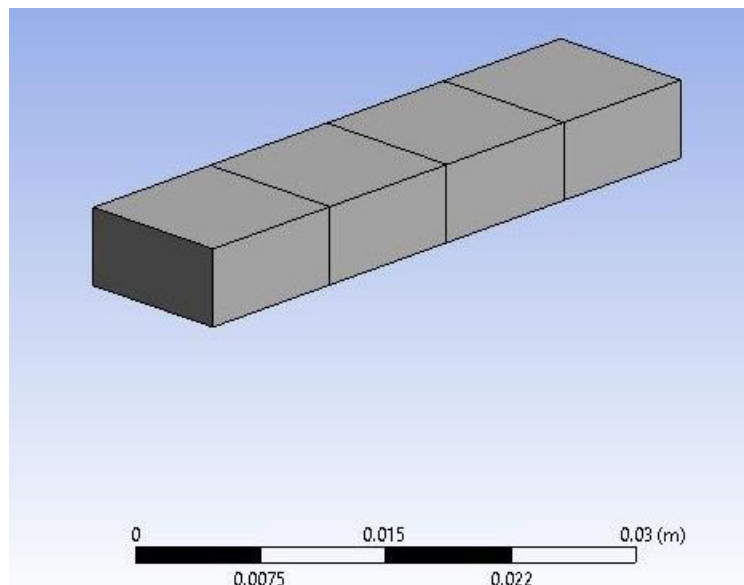
3.8.3 Mesh

Setelah mendefinisikan semua model maka proses selanjutnya adalah proses *meshing*. Proses ini mempresentasikan domain atau model fisis dengan elemen elemen hingga. Pada software ANSYS terdapat beberapa bentuk *mesh* yang dapat digunakan diantara lain; *tetrahedons*, *hex dominant*, *sweep* dan *multizone*. Jumlah dan ukuran tiap elemen juga dapat diatur sedemikian rupa dengan mengubah parameter seperti *size function*, *element size*, *relevance center* atau *span angle*.

Pada penelitian ini menggunakan *mesh tetrahedons* dengan ukuran 10 mm untuk mendapatkan hasil yang konvergen pada kedua material, karena pada jenis mesh ini cocok untuk bentuk geometri yang tidak rumit dan tidak banyak sudut tajam. Hasil *meshing* ditunjukkan pada gambar 3.10 dan 3.11

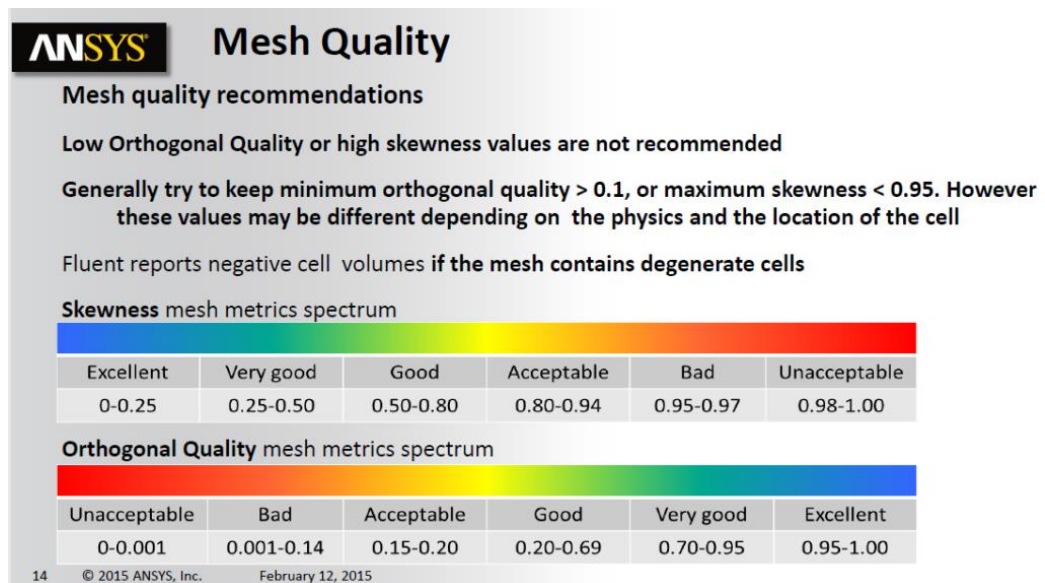


Gambar 3.10 *Meshing Tetrahedons* pada Batu Gerinda (ANSYS 21.1)

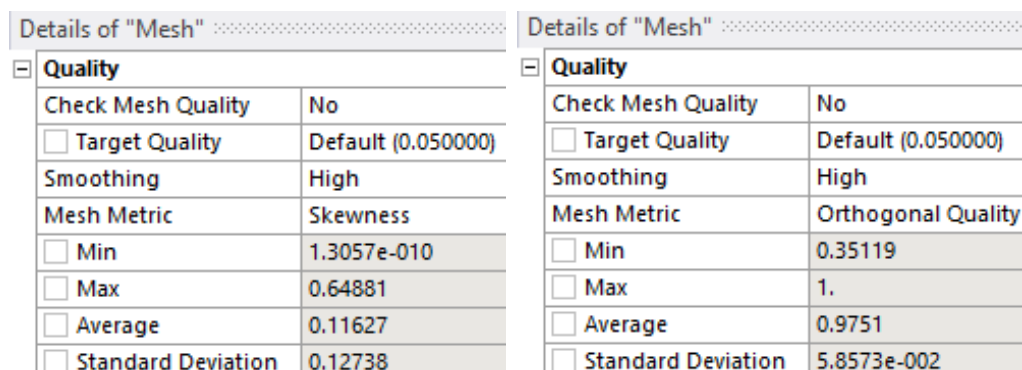


Gambar 3.11 *Meshing Tetrahedons* pada Baja SKD11 (ANSYS 21.1)

Agar mengetahui kualitas *meshing* yang di gunakan pada simulasi, perlu menggunakan ANSYS *Mesh Quality*, seperti yang di tunjukkan oleh gambar 3.12. Terdapat 2 standar penilaian mesh dalam *software* ANSYS ini, yang pertama adalah *orthogonal quality* dan *skewness quality*, dalam penilaian *orthogonal* semakin besar nilainya maka semakin bagus kualitas mesh, sedangkan dalam *skewness* semakin kecil nilainya maka semakin bagus kualitas mesh. Hasil pengecekan *quality mesh* yang di dapatkan dari ke 2 benda untuk simulasi ini dapat dilihat pada gambar 3.13 yang mendapatkan nilai 0.11 untuk *skewness quality* dan 0.97 untuk *orthogonal quality* yang berarti ke 2 benda mendapatkan kualitas *excellent*.



Gambar 3.12 ANSYS *Mesh Quality* (ANSYS 21.1)

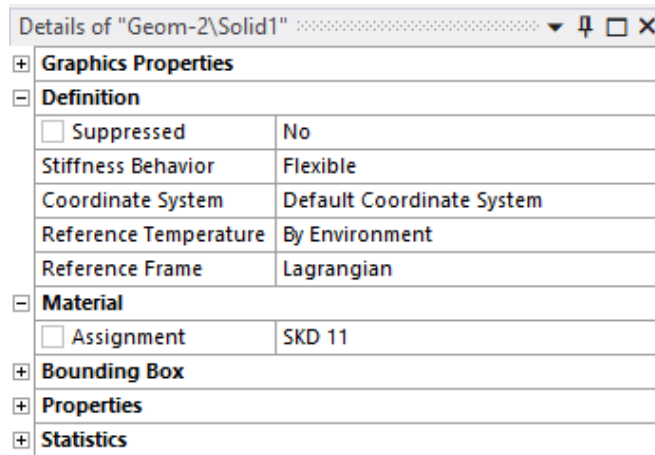


Gambar 3.13 Pengecekan *Mesh Quality Skewness* dan *Orthogonal* (ANSYS 21.1)

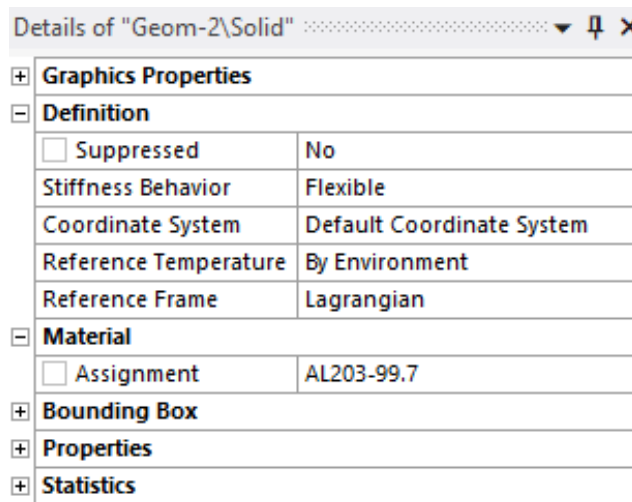
3.8.4 Pemasukan Data Variabel Proses

Tahap selanjutnya setelah model didefinisikan dengan elemen-elemen hingga melalui proses *meshing* adalah proses *setup* untuk mengatur pendefinisian apa saja yang harus ada pada simulasi gerinda ini. Dalam proses *setup* ini penulis mengatur beberapa hal sebelum menjalankan simulasi, agar hasil dari simulasi ini sesuai dengan apa yang diharapkan untuk menjawab permasalahan yang ada.

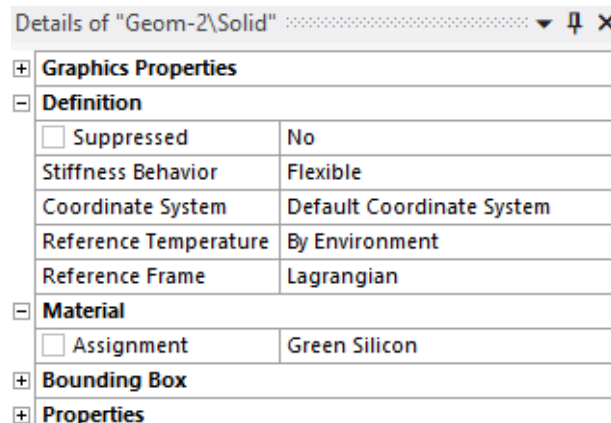
1) Pendefinisian batu gerinda dan benda kerja.



Gambar 3.14 Mendefinisikan Baja SKD 11 sebagai Benda *Flexible* (ANSYS 21.1)



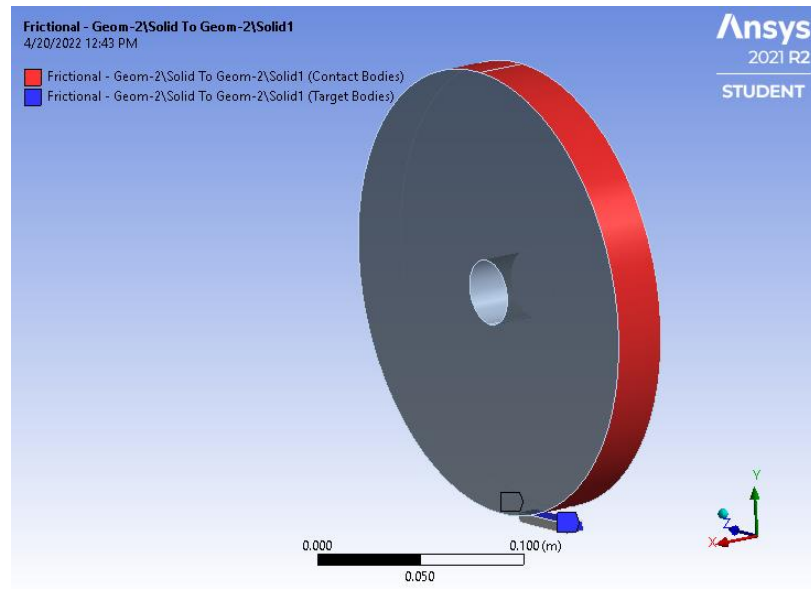
Gambar 3.15 Mendefinisikan *Grinding Wheel A46HV* sebagai Benda *Flexible* (ANSYS 21.1)



Gambar 3.16 Mendefinisikan *Grinding Wheel GC46HV* sebagai Benda *Flexible* (ANSYS 21.1)

Pendefinisian *stiffness behavior* material dan batu gerinda ini bertujuan agar pada saat simulasi berjalan, kedua geometri yang mengalami deformasi terfokus sebagai benda kerja dan pahat yang akan diamati agar mendapatkan hasil *output* yang sesuai dengan yang diharapkan.

- 2) Mendefinisikan dan *setting* kontak yang terjadi antara batu gerinda dan baja diatur menjadi *frictional* dengan nilai koefisien gesek 0.61 untuk batu gerinda A46HV dan 0.46 untuk batu gerinda GC46HV. Nilai dari kedua koefisien gesek ini dipertimbangkan untuk merepresentasikan kondisi gesekan antara batu gerinda dengan baja pada proses *cold forming*, dan untuk menjalankan simulasi dengan batas kondisi yang mendekati dengan keadaan sebenarnya (Bajpai et al., 2020) (Bian & Wu, 2015).



Gambar 3.17 Pengaturan Kontak antara Batu Gerinda dan Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)

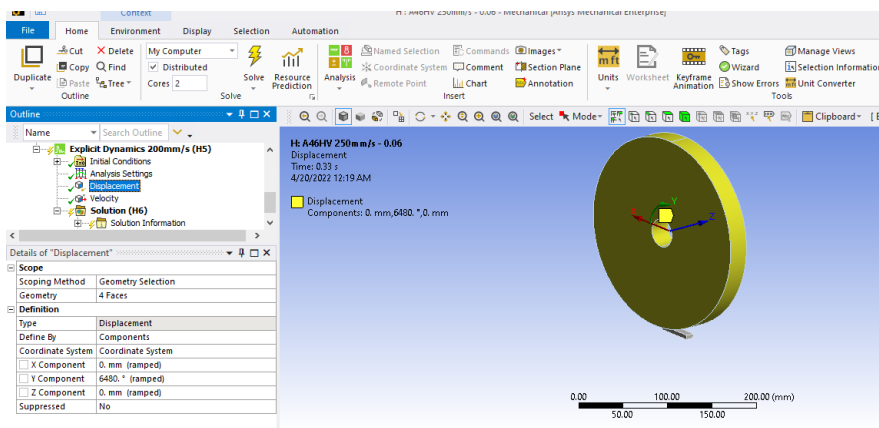
Details of "Frictional - Geom-2\Solid To Geom-2\Solid1"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	3 Faces
Contact Bodies	Geom-2\Solid
Target Bodies	Geom-2\Solid1
Protected	No
[-] Definition	
Type	Frictional
Friction Coefficient	0.61

Gambar 3.18 *Frictional Setting* pada Batu Gerinda A46HV (ANSYS 21.1)

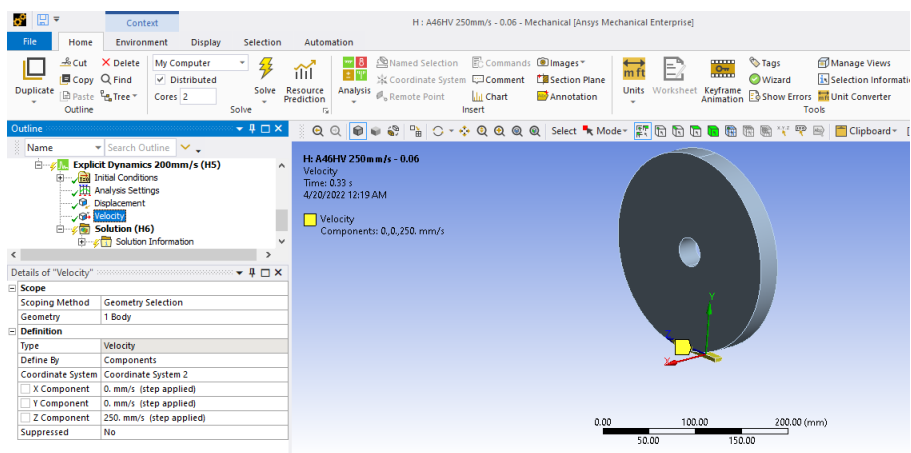
Details of "Frictional - Geom-2\Solid To Geom-2\Solid1"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	3 Faces
Contact Bodies	Geom-2\Solid
Target Bodies	Geom-2\Solid1
Protected	No
Definition	
Type	Frictional
Friction Coefficient	0.46

Gambar 3.19 *Frictional Setting* pada Batu Gerinda GC46HV (ANSYS 21.1)

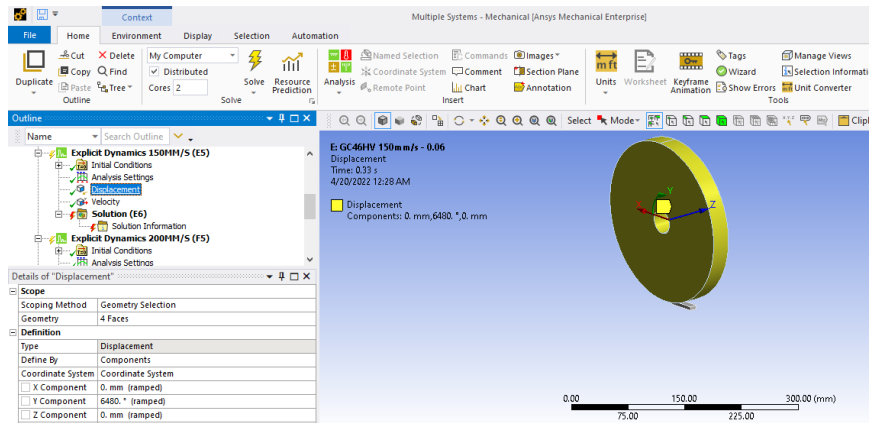
- 3) Mendefinisikan pergerakan dan *setting* kecepatan pemakanan batu gerinda terhadap baja SKD 11. Pendefinisian pergerakan batu gerinda terhadap baja bisa dilakukan dengan cara *input remote displacement*, sedangkan *setting* kecepatan pemakanan bisa dilakukan dengan *input velocity*.



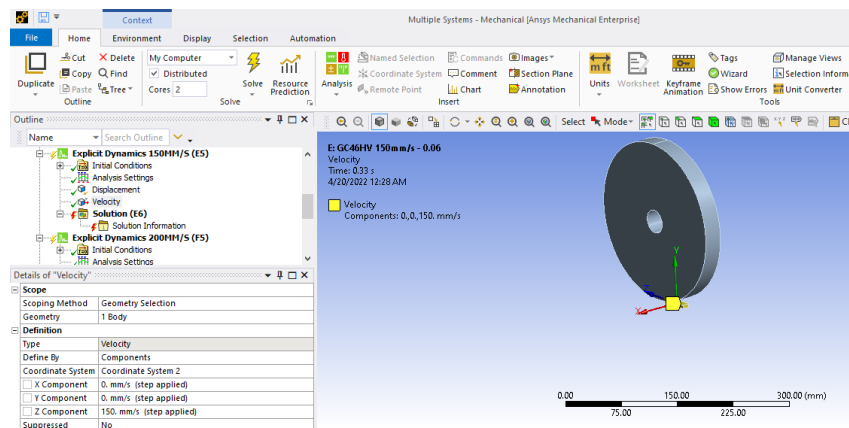
Gambar 3.20 *Displacement* batu gerinda A46HV–Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)



Gambar 3.21 *Setting* Kecepatan Pemakanan A46HV–Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)

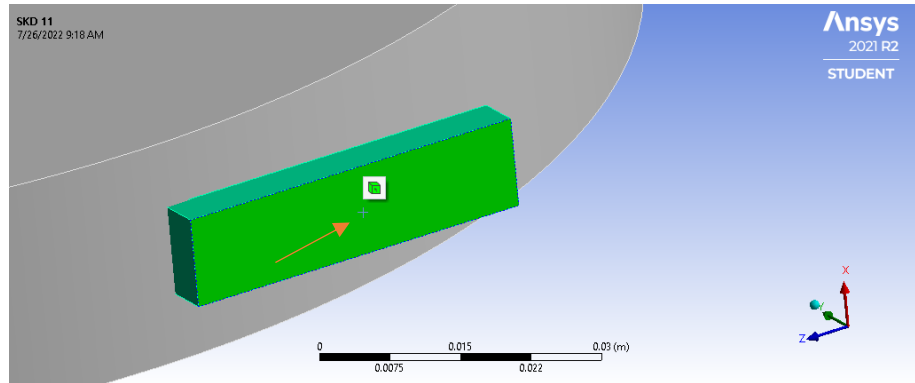


Gambar 3.22 Displacement Batu Gerinda GC46HV–Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)



Gambar 3.23 Setting Kecepatan Pemakanan GC46HV–Baja SKD 11 (ANSYS 21.1)

- 4) Pada langkah terakhir yang perlu di perhatikan adalah analisis simulasi yang terkait dengan penentuan titik pengamatan simulasi dan penentuan *end time* atau durasi simulasi. Penentuan titik pengamatan di perlukan untuk mengatur lokasi penerimaan gaya potong yang sesuai dengan kondisi eksperimen. Pada kondisi eksperimen titik lokasi pengamatan di *setting* berada pada bawah permukaan spesimen uji dan diatas dinamometer, maka pada simulasi ANSYS titik pengamatan di samakan yakni di bawah spesimen uji. Sedangkan *end time* adalah penentuan waktu lama proses simulasi yang di kaitkan dengan waktu proses eksperiment yang nantinya akan berbeda sesuai dengan *variable* kecepatan makan. Untuk kecepatan 250 mm/s *end time* di atur 0,4 detik, pada kecepatan 200 mm/s *end time* di atur 0,5 detik dan pada kecepatan 150 mm/s *end time* di atur 0,67 detik.



Gambar 3.24 Penentuan Titik Pengamatan pada Simulasi ANSYS (ANSYS 21.1)

Details of "Analysis Settings" ▾ 🔍 □ ×

Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
Step Controls	
Number Of Steps	1
Current Step Number	1
Load Step Type	Explicit Time Integration
End Time	0.33
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
Maximum Energy Error	0.1
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0.9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	
Solve Units	mm, mg, ms
Beam Solution Type	Bending
Beam Time Step Safety Factor	0.5
Hex Integration Type	Exact
Shell Sublayers	3
Shell Shear Correction Factor	0.8333
Shell BWC Warp Correction	Yes
Shell Thickness Update	Nodal

Gambar 3.25 Analysis Setting pada Simulasi sebelum Proses Running (ANSYS 21.1)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data yang diambil pada tugas akhir ini didapatkan dari simulasi pada *software* ANSYS 21.1. Simulasi pada ANSYS menghasilkan *output* berupa resultan gaya potong pada proses gerinda permukaan. Setelah dilakukan simulasi pada semua data dan menghasilkan *output* resultan gaya potong maka dibandingkan dengan referensi yang mana berfungsi sebagai validasi dari tugas akhir. Tabel 4.1 dibawah merupakan data perbandingan hasil simulasi dan eksperimen pada proses gerinda permukaan, data hasil *one sample test* dari perbandingan 2 replikasi uji eksperimen terhadap uji ANSYS dan dan Gambar 4.1 merupakan salah satu hasil dari simulasi gerinda permukaan ANSYS.

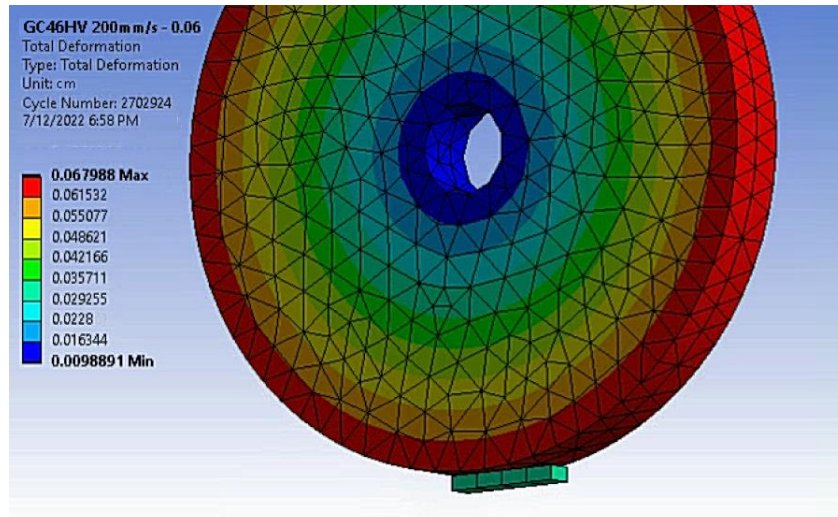
4.1 Perbandingan Hasil Resultan Gaya Potong Eksperimen dan Simulasi pada Proses Gerinda Permukaan

Tabel 4.1 Data Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen Proses Gerinda Permukaan

<i>Abrasive Type</i>	<i>Table Speed (mm/s)</i>	<i>Depth of cut (mm)</i>	Eks 1 (N)	Eks 2 (N)	ANSYS (N)	<i>Error</i>	<i>P-Value</i>	<i>Note</i>
A46HV	150	0.01	119.5	120.78	111.32	8.36%	0.046	Bigger
		0.03	226.02	226.59	215.6	4.96%	0.017	Bigger
		0.06	362.06	362.9	379.89	4.58%	0.015	Bigger
	200	0.01	110.67	112.12	119.04	6.42%	0.06	Smaller
		0.03	221.15	213.39	233.91	7.11%	0.146	Smaller
		0.06	412.32	390.24	384.1	4.47%	0.364	Smaller
	250	0.01	122.28	121.77	130.27	6.34%	0.02	Bigger
		0.03	253.83	250.42	271.43	7.11%	0.056	Smaller
		0.06	390.97	389.05	415.66	6.17%	0.024	Bigger
GC46HV	150	0.01	99.1	99.19	87.08	13.84%	0.002	Bigger
		0.03	193.45	204.47	183.23	8.20%	0.214	Smaller
		0.06	314.73	320.36	291.14	9.06%	0.068	Smaller
	200	0.01	81.56	91.09	93.71	7.87%	0.365	Smaller
		0.03	184	185.13	192.8	4.27%	0.044	Bigger
		0.06	333.74	336.16	309.2	7.68%	0.03	Bigger
	250	0.01	92.98	89.55	100.42	9.13%	0.118	Smaller
		0.03	194.76	190.28	208.67	7.73%	0.088	Smaller
		0.06	299.73	292.04	331.8	10.69%	0.068	Smaller

Besar resultan gaya potong yang terjadi selama poses gerinda permukaan selalu berubah setiap saat, terdapat hasil uji simulasi yang lebih besar daripada hasil uji eksperimen dan sebaliknya. Maka dari itu di perlukan uji *one sample test* pada hasil uji eksperimen replikasi 1 dan replikasi 2 terhadap hasil uji simulasi untuk mengetahui perbedaan diantara ketiga data tersebut apakah berbeda secara signifikan atau tidak. Terdapat 2 hipotesa yang di gunakan dalam uji *one sample test* ini yakni: $H_0: \frac{\mu - \mu_0}{\mu_0} \leq 10\%$ dan $H_1: \frac{\mu - \mu_0}{\mu_0} > 10\%$.

P-value adalah *probability of value* yang menunjukkan hasil perbandingan antara gaya potong eksperimen 1 dan 2 di bandingkan gaya potong ANSYS, dalam uji ini (α) yang dipakai bernilai 5%. *P-value* yang lebih kecil dari *level of significant* (α) mengindikasikan bahwa data uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji simulasi ANSYS memiliki perbedaan yang signifikan dan di beri keterangan (*bigger*) sedangkan jika *p-value* lebih besar dari (α) maka mengindikasikan bahwa data uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji simulasi ANSYS tidak memiliki perbedaan yang signifikan dan di beri keterangan (*smaller*).



Gambar 4.1 Hasil Simulasi GC46HV pada Kecepatan Makan 200 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm.

Setelah di lakukannya *one sample test* pada tiap data hasil uji ANSYS, perlu di lakukan uji lagi berdasarkan jumlah replikasi agar mengetahui apakah perbedaan antara ke 3 data tersebut. 3, karena jika hanya dilihat hanya dari tingkat error yang di bandingkan dengan rerata hasil uji eksperimen dirasa tidak cukup mengingat adanya beberapa perbedaan yang cukup besar pada hasil eksperimen replikasi 1 dan 2. Hasil dari uji *one sample test* untuk perbandingan hasil uji eksperimen replikasi 1 dan replikasi 2 terhadap hasil uji simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *One Sample Test* Perbedaan Hasil Uji Eksperimen 1 dan 2 terhadap Uji ANSYS

Source	Mean	Std Deviation	Std Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	P-Value
				Lower	Upper			
Eks 1 - ANSYS	-2.5788	17.6504	4.1602	-11.3562	6.1984	-0.62	17	0.544
Eks 2 - ANSYS	-3.5411	19.2246	4.5312	-13.1013	6.0190	-0.78	17	0.445

P-value menunjukkan hasil perbandingan antara gaya potong eksperimen 1 dan 2 di bandingkan gaya potong ANSYS. *P-value* yang lebih kecil dari *level of significant* (α) mengindikasikan bahwa data uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji simulasi ANSYS memiliki

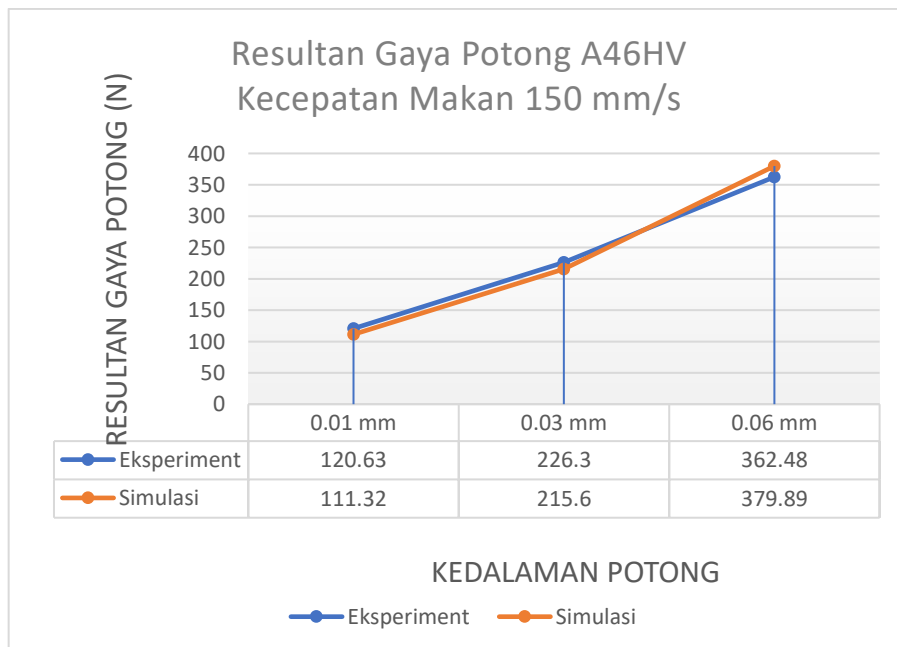
perbedaan yang signifikan dan jika p -value lebih besar dari (α) maka mengindikasikan bahwa data uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji simulasi ANSYS tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Dalam uji ini (α) yang dipakai bernilai 5%.

Terdapat 2 hipotesa yang di gunakan dalam uji *one sample test* ini yakni; H0 yang berarti data uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji ANSYS tidak berbeda signifikan dan H1 yang berarti data uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji ANSYS berbeda signifikan. Hasil dari p -value yang lebih besar dari 0.05 mengindikasikan bahwa antara uji eksperimen replikasi 1 dan 2 terhadap uji simulasi ANSYS tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Penarikan kesimpulan menggunakan p -value untuk perbedaan uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji ANSYS adalah:

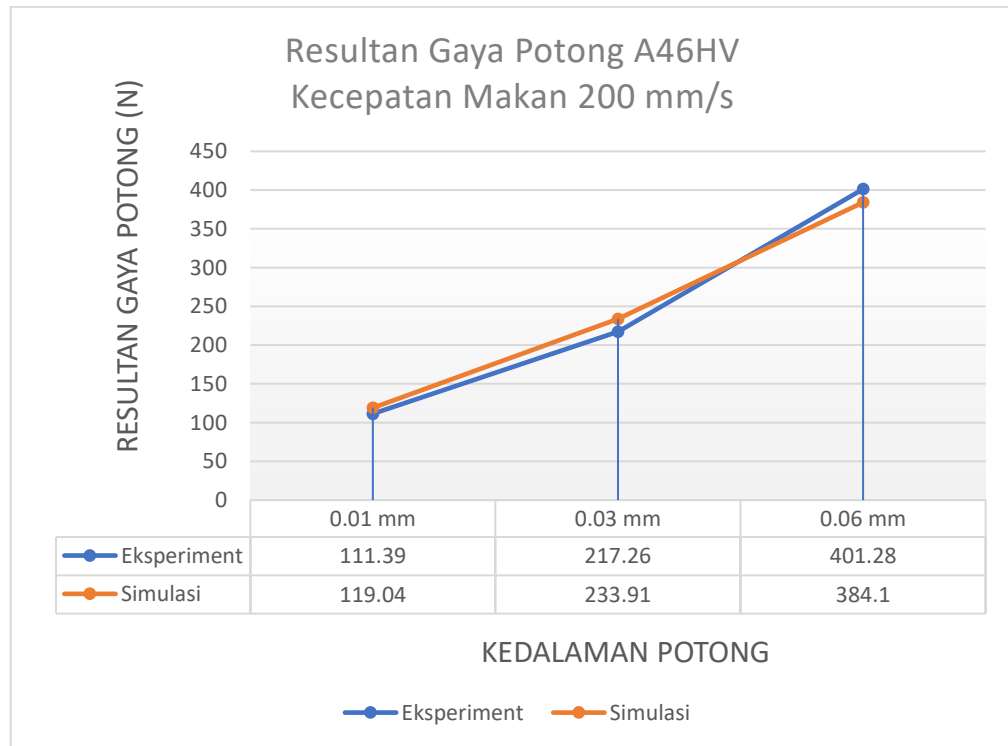
1. Untuk perbedaan data uji eksperimen 1 terhadap uji simulasi ANSYS, p -value = 0.544 > α = 0.05, maka H0 diterima dan H1 ditolak, artinya tidak ada perbedaan yang signifikan pada data uji eksperimen 1 terhadap uji simulasi ANSYS.
2. Untuk perbedaan data uji eksperimen 2 terhadap uji simulasi ANSYS, p -value = 0.445 > α = 0.05, maka H0 diterima dan H1 ditolak, artinya tidak ada perbedaan yang signifikan pada data uji eksperimen 2 terhadap uji simulasi ANSYS.

4.2 Pembahasan Pengaruh Variabel Proses Terhadap Resultan Gaya Potong

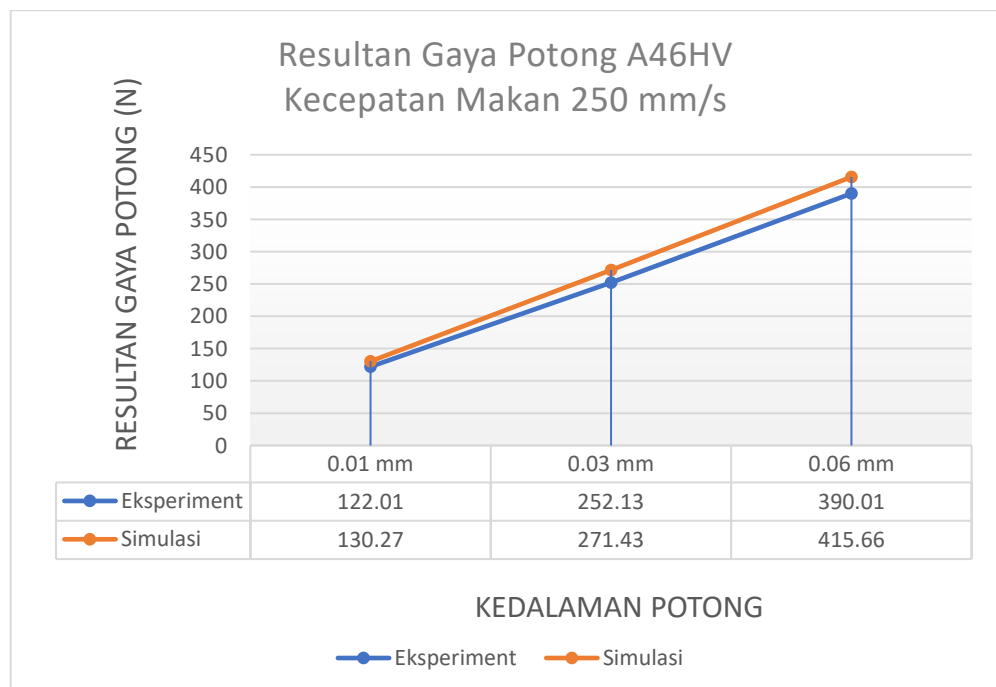
Terdapat grafik resultan gaya potong dengan variasi kecepatan makan dan kedalaman potong pada proses gerinda permukaan hasil eksperimen dan simulasi ANSYS menggunakan batu gerinda A46HV dan GC46HV menghasilkan data perbandingan resultan gaya potong ditunjukkan pada gambar 4.2 hingga gambar 4.7



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda A46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 150 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.

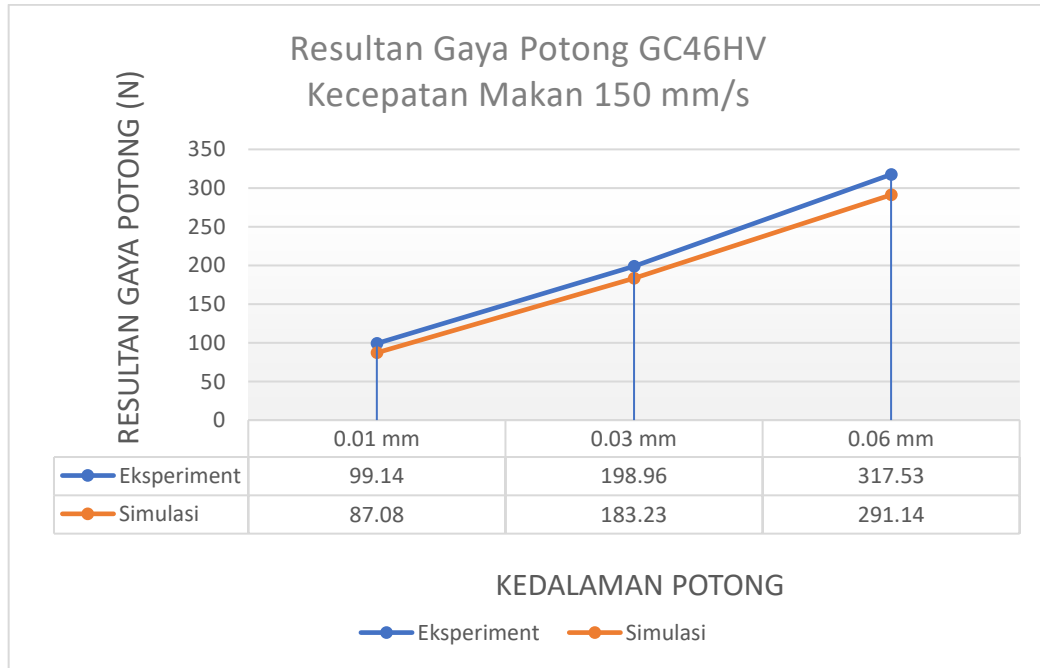


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda A46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 200 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.

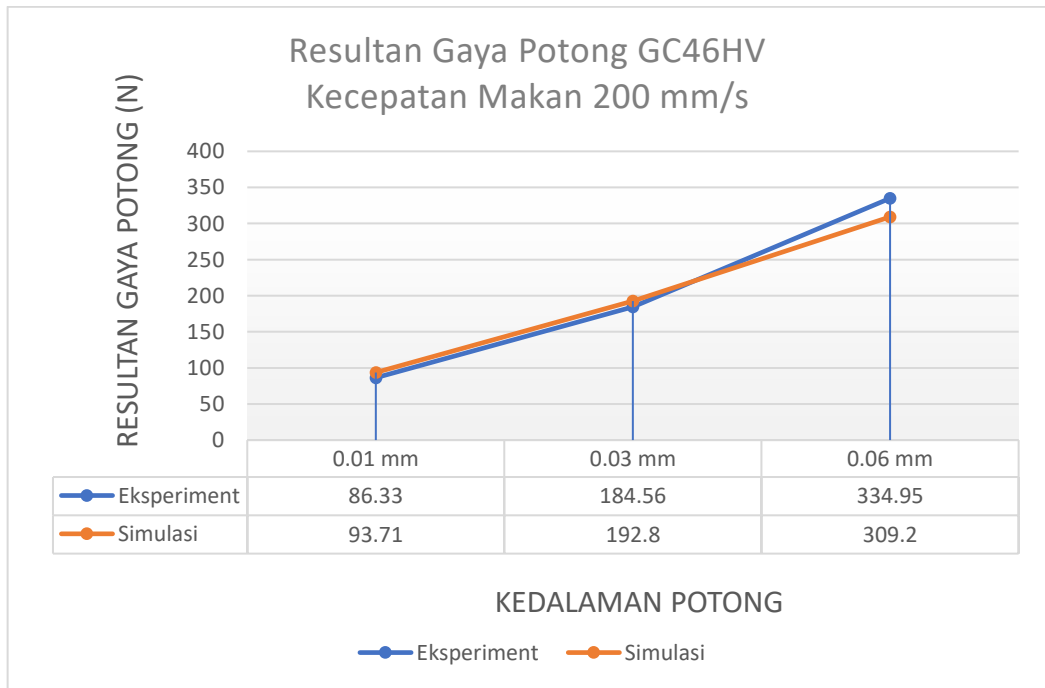


Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda A46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 250 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.

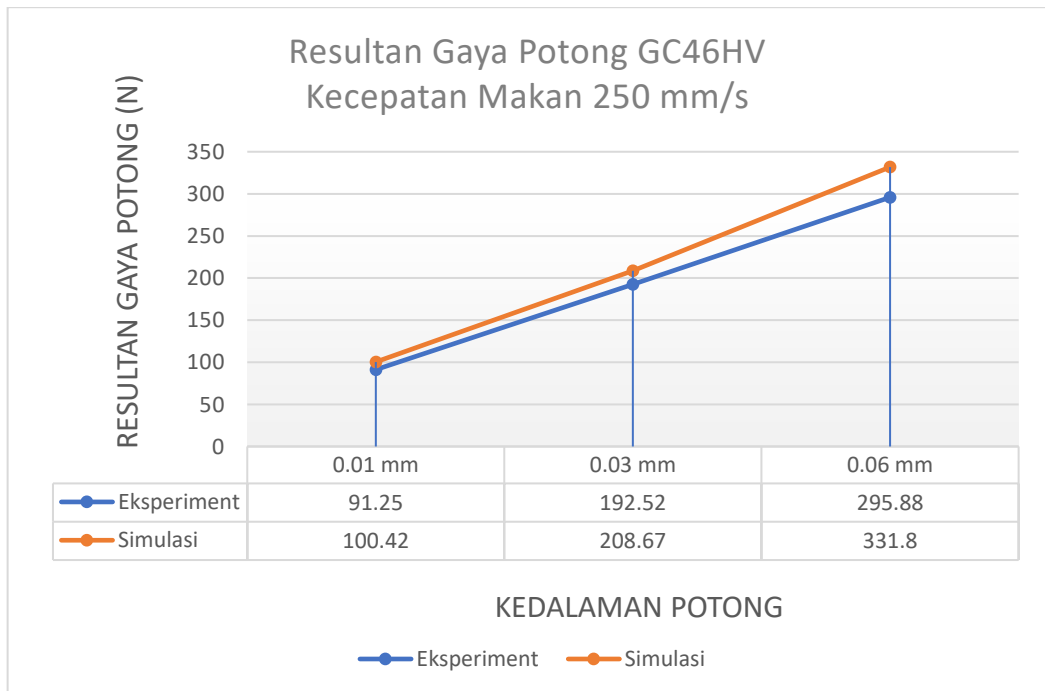
Dari ketiga grafik diatas didapatkan bahwa resultan gaya potong batu gerinda A46HV terendah terdapat pada variasi kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.01 mm memiliki resultan gaya potong sebesar 120.63 N pada eksperimen dan 111.32 N pada simulasi dengan tingkat *error* sebesar 8.36 %. Sedangkan resultan gaya potong tertinggi pada batu gerinda A46HV terdapat pada variasi kecepatan makan 250 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm memiliki resultan gaya potong sebesar 390.01 N pada eksperimen dan 415.66 N pada simulasi dengan tingkat *error* sebesar 6.17 %.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda GC46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 150 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda GC46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 200 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Resultan Gaya Potong Batu Gerinda GC46HV dengan Variasi Kecepatan Makan 250 mm/s dan Kedalaman Potong 0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm.

Dari ketiga grafik diatas didapatkan bahwa resultan gaya potong batu gerinda GC46HV terendah terdapat pada variasi kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.01 mm memiliki resultan gaya potong sebesar 99.14 N pada eksperimen dan 87.08 N pada simulasi dengan tingkat error sebesar 13.84 %. Sedangkan resultan gaya potong tertinggi pada batu gerinda GC46HV terdapat pada variasi kecepatan makan 250 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm memiliki resultan gaya potong sebesar 295.88 N pada eksperimen dan 331.8 N pada simulasi dengan tingkat error sebesar 10.69 %.

Pada kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman potong dan semakin besar kecepatan makan yang digunakan pada proses gerinda permukaan ini, maka akan menimbulkan resultan gaya potong yang besar. Hal ini berlaku pada eksperimen maupun simulasi ANSYS, apabila terdapat kenaikan dari kedalaman potong dan kecepatan makan. maka terdapat kenaikan juga pada resultan gaya potong pada proses gerinda permukaan tersebut. (Hidayatullah, 2017). Gambar 4.1 hingga Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada kecepatan makan yang sama gaya potong akan naik dengan bertambahnya kedalaman potong. Pada kedua grafik tersebut juga menunjukkan bahwa penggunaan tipe abrasif *green silicone* menghasilkan gaya potong yang lebih rendah daripada tipe abrasif *aluminum oxide*.

Hasil simulasi ANSYS menunjukkan bahwa variabel proses kedalaman potong mempengaruhi resultan gaya potong. Kedalaman potong yang tinggi menyebabkan bidang geser bertambah lebar. Hal ini membuat gaya potong semakin besar. Variabel proses kedua yang mempengaruhi resultan gaya potong adalah tipe abrasif. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan penggunaan roda gerinda dengan tipe abrasif *green silicone*, resultan gaya potong tipe abrasif *green silicone* lebih rendah dibandingkan tipe abrasif *aluminium oxide* disebabkan oleh *fracture toughness* roda gerinda dengan tipe abrasif *green silicone* lebih rendah dibandingkan kekerasan roda gerinda dengan tipe abrasif *aluminum oxide*. Dengan *fracture toughness* yang lebih rendah maka resultan gaya potong yang di hasilkan juga lebih rendah. Sebaliknya, dengan *fracture toughness* yang lebih tinggi maka butiran abrasif tidak mudah lepas tetapi akan aus, sehingga membuat gaya potong bertambah besar.

Besar resultan gaya potong yang terjadi selama poses gerinda permukaan selalu berubah setiap saat karena pengaruh dari variabel-variabel proses yang digunakan. Maka dari itu di perlukan analisis variansi (ANAVA) untuk mengetahui variabel proses mana yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap resultan gaya potong yang di hasilkan. Hasil dari analisis variansi (ANAVA) untuk resultan gaya potong ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 ANAVA Variabel Proses Terhadap Resultan Gaya Potong

Source	DS	SS	MS	F	P-value
Jenis Batu Abrasif	1	11918.136	11918.136	45.535	0.000
Kecepatan Makan	2	3111.344	1555.672	5.944	0.016
Kedalaman Potong	2	180625.626	90312.813	345.057	0.000
Error	12	3140.796	261.733		
Total	18				

P-value memiliki arti *probability of value* yang menunjukkan variabel proses mana yang mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap resultan gaya potong. *P-value* yang lebih kecil dari *level of significant* (α) mengindikasikan bahwa variabel proses tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Dalam penelitian ini α yang dipakai bernilai 5%. Terdapat 2 hipotesa yang di gunakan dalam ANAVA ini yakni H0 yang mengartikan jenis variabel proses yang terkait tidak memberi pengaruh secara signifikan dan H1 yang mengartikan jenis variabel proses yang terkait memberikan pengaruh secara signifikan. Penarikan kesimpulan menggunakan *p-value* untuk resultan gaya potong adalah:

1. Untuk variabel proses jenis batu abrasif, $p\text{-value} = 0.000 < \alpha = 0.05$, maka H0 ditolak dan H1 diterima, artinya ada pengaruh yang signifikan pada variabel proses jenis batu abrasif terhadap resultan gaya potong.
2. Untuk variabel proses kecepatan makan. $p\text{-value} = 0.016 < \alpha = 0.05$, maka H0 ditolak dan H1 diterima, artinya ada pengaruh yang signifikan pada variabel proses kecepatan makan terhadap resultan gaya potong.
3. Untuk variabel proses kedalaman potong. $p\text{-value} = 0.000 < \alpha = 0.05$, maka H0 ditolak dan H1 diterima, artinya ada pengaruh yang signifikan pada variabel proses kedalaman potong terhadap resultan gaya potong

Berdasarkan *P-value*, maka diketahui ketiga variabel proses tersebut mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap resultan gaya potong. Jika di urut, variabel proses yang paling berpengaruh terhadap resultan gaya potong adalah jenis batu abrasif dan kedalaman potong karena memiliki *p-value* 0.000 dan berikutnya adalah kecepatan makan yang memiliki *p-value* 0.016. Kesimpulan untuk masing-masing variabel proses terhadap resultan gaya potong ditunjukkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Kesimpulan Pengaruh Variabel Proses Terhadap Resultan Gaya Potong

Sumber Variasi	Kesimpulan
Jenis Batu Abrasif	Berpengaruh
Kecepatan Makan	Berpengaruh
Kedalaman Potong	Berpengaruh

Untuk mengetahui level dari tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong yang memberikan pengaruh yang berbeda terhadap gaya potong, maka dilakukan uji Tukey. Tabel 4.5 sampai dengan Tabel 4.7 menunjukkan hasil uji Tukey pada tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong.

Tabel 4.5 Hasil Uji Tukey pada Kecepatan Makan

Kecepatan Makan	N	Mean	Grouping
150 mm/s	6	211.3767	A
200 mm/s	6	222.1267	A
250 mm/s	6	243.0417	B

Tabel 4.6 Hasil Uji Tukey pada Jenis Batu Abrasif

Jenis Batu Abrasif	N	Mean	Grouping
A46HV	9	251.2467	A
GC46HV	9	199.7833	B

Tabel 4.7 Hasil Uji Tukey Pada Kedalaman Potong

Kedalaman Potong	N	Mean	Grouping
0.01 mm	6	106.9733	A
0.03 mm	6	217.6067	B
0.06 mm	6	351.9650	C

Hasil uji Tukey pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa pada ketiga level kecepatan makan menghasilkan resultan gaya potong yang berbeda, namun untuk kecepatan makan 200 mm/s berada pada kolom *grouping* yang sama dengan kecepatan makan 150 mm/s, hal ini mengartikan bahwa pada kecepatan makan 150 mm/s dan 200 mm/s tidak memberikan perbedaan yang signifikan dalam menghasilkan resultan gaya potong, namun apabila kecepatan makan 150 mm/s di bandingkan dengan kecepatan makan 250 mm/s dan kecepatan makan 200 mm/s di bandingkan kecepatan makan 250 mm/s terdapat perbedaan yang signifikan dalam menghasilkan resultan gaya potong, hal tersebut membuat kecepatan makan 250 mm/s terpisah dalam kolom *grouping* yang berbeda. Tabel 4.6 menunjukkan bahwa resultan gaya potong yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan pada penggunaan jenis batu abrasif A46HV dan GC46HV, oleh karena itu pada kolom *grouping*, jenis batu abrasif di pisah dalam 2 kategori yang berbeda.. Tabel 4.7 menunjukkan bahwa tiap level kedalaman potong yang berbeda menghasilkan resultan gaya potong yang berbeda, yang berarti tiap level dari kedalaman potong memiliki pengaruh yang signifikan dalam menghasilkan resultan gaya potong

4.3 Pembahasan Hasil Simulasi Tingkat Error Data >10 %

Berdasarkan hasil resultan gaya potong simulasi ANSYS terdapat 2 data yang memiliki tingkat *error* data >10%, yakni pada simulasi dengan batu gerinda GC46HV dengan kecepatan makan 150 mm/s, kedalaman pemotongan 0.01 mm, pada eksperimen memiliki resultan gaya potong sebesar 99.14 N, sedangkan pada hasil simulasi memiliki resultan gaya potong sebesar 87.08 N yang jika dihitung memiliki tingkat *error* 13,84%, dan simulasi batu gerinda GC46HV dengan kecepatan makan 250 mm/s, kedalaman pemotongan 0.06 pada eksperimen memiliki resultan gaya potong sebesar 295.88 N, sedangkan pada hasil simulasi memiliki resultan gaya potong sebesar 331.80 N yang jika dihitung memiliki tingkat *error* 10,69%.

Perbedaan hasil yang cukup besar ini tentunya tidak dapat di terima karena pada batasan masalah penelitian ini di jelaskan bahwa data hasil simulasi dapat diterima jika memiliki tingkat *error* <10%. Setelah diteliti lebih lanjut, karena berdasarkan teori semakin besar kecepatan makan dan semakin besar kedalaman potong tentunya semakin tinggi resultan gaya potong, sedangkan pada data eksperimen nilai resultan gaya potong justru menurun, dengan kedalaman potong yang sama dan bertambahnya kecepatan makan, dan telah di lakukan juga uji *one sample test* dengan hasil bahwa antara uji eksperimen 1 dan 2 terhadap uji simulasi ANSYS tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Dengan demikian ke 2 data hasil simulasi yang memiliki tingkat *error* >10% maka dapat diterima atau valid.

4.4 Pembahasan Setting Parameter Simulasi ANSYS

Uji eksperimen dan uji simulasi merupakan 2 hal yang sangat berbeda, agar hasil simulasi dapat mendekati hasil uji eksperimen maka harus di perhatikan betul parameter yang di pakai pada simulasi agar mendapatkan perbedaan hasil data tingkat error <10% atau hasil data sesuai dengan yang di inginkan. Berikut penjelasan cara setting parameter pada *software* ANSYS untuk simulasi gerinda permukaan:

Tabel 4.8 *Setting* Parameter Simulasi ANSYS

No	Parameter ANSYS	Penjelasan Cara <i>Setting</i>
1	<i>Engineering Data</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mendefinisikan jenis material pada model CAD yang telah di <i>import</i> kedalam <i>software</i> ANSYS. • Input jenis <i>material properties</i> yang perlu di masukkan kedalam <i>Engineering Data</i> ANSYS seperti : <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Hardness</i> 2. <i>Yield Strength</i> 3. <i>Poisson's Ratio</i> 4. <i>Density</i> 5. <i>Fracture Toughness</i>, dll.
2	<i>Mesh</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses ini mempresentasikan domain atau model fisis elemen hingga. • Jenis <i>meshing</i> yang dapat di pakai di ANSYS: <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Tetrahedons</i> 2. <i>Hex dominant</i> 3. <i>Sweep</i> 4. <i>Multizone</i> • Pemilihan jenis <i>meshing</i> tergantung pada model atau bentuk dari geometri benda, di harapkan pemilihan jenis <i>meshing</i> sesuai dengan bentuk geometri, karena akan berefek pada hasil akhir. • Agar mendapatkan hasil yang konvergen perlu di perhatikan dalam penentuan ukuran <i>meshing</i>, semakin kecil nilai <i>meshing</i> maka akan semakin baik dalam perhitungan elemen pada benda dan akan mendapatkan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya, dan durasi <i>running</i> nantinya akan semakin lama juga karena terkait banyaknya jumlah elemen yang akan di proses.
3	Pendefinisian <i>Stiffness Behavior</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pendefinisian ini terkait dengan perilaku benda kerja saat simulasi. • Batu gerinda dan material uji di atur <i>flexible</i> karena ke 2 benda tersebut bergerak, batu gerinda bergerak sesuai porosnya dan material uji bergerak dari kiri ke kanan
4	Pengaturan <i>Setting</i> Kontak	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Setting</i> kontak pada ke 2 material di atur menjadi <i>frictional</i> • <i>Input</i> nilai koefisien gesek dari 2 material yang akan kontak, nilai dapat di temukan pada referensi atau jurnal yang membahas kontak antara ke 2 material tersebut

		<ul style="list-style-type: none"> • Pada kontak antara <i>aluminium oxide</i> dan <i>steel</i> di dapatkan nilai 0.61 sedangkan pada <i>green silicone</i> dan <i>steel</i> di dapatkan nilai 0.46 • Pada kontak antara batu gerinda dan material uji <i>setting</i> kedalaman potong sesuai dengan yang di inginkan (0.01 mm, 0.03 mm dan 0.06 mm)
5	Pendefinisian Pergerakan dan <i>setting</i> kecepatan pemakanan	<ul style="list-style-type: none"> • Pengaturan pergerakan batu gerinda terhadap material uji dapat di lakukan dengan cara <i>input remote displacement</i> • Pergerakan batu gerinda di atur memutar sesuai poros searah jarum jam dengan kecepatan putar 3000 RPM • Pergerakan material uji di atur bergerak horizontal mengikuti kecepatan makan yang di inginkan (150 mm/s, 200 mm/s, 250 mm/s)
6	Penentuan titik pengamatan simulasi dan Pengaturan <i>end time</i> simulasi	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan titik pengamatan di perlukan untuk mengatur lokasi penerimaan gaya potong yang sesuai dengan kondisi eksperimen. Pada kondisi eksperimen titik lokasi pengamatan di <i>setting</i> berada pada bawah permukaan spesimen uji dan diatas dinamometer, maka pada simulasi ANSYS titik pengamatan di samakan yakni di bawah spesimen uji. • Pengaturan <i>end time</i> dilakukan pada tab <i>Analysis Setting</i> • <i>End time</i> di atur sesuai durasi atau lama kontak antara batu gerinda dengan material uji terkait dengan kecepatan makan tiap simulasi. Untuk kecepatan makan 150 mm/s diatur <i>end time</i> selama 0,67 detik, untuk kecepatan makan 200 mm/s diatur <i>end time</i> selama 0,5 detik dan untuk kecepatan makan 250 mm/s diatur <i>end time</i> selama 0,4 detik

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS yang telah dilakukan, maka penelitian yang berjudul “Studi Analisis Pengaruh Tipe Abrasif dan Variabel Proses Gerinda Permukaan Terhadap Gaya Potong Pada Baja SKD 11 Menggunakan Metode Elemen Hingga” dapat ditarik kesimpulan:

1. Secara umum agar perbedaan hasil eksperimen dan simulasi $<10\%$, maka ada 6 parameter ANSYS yang harus di perhatikan yakni; *engineering data*, *mesh*, *stiffness behavior*, *setting* kontak, *setting* pergerakan, kecepatan makan serta kedalaman potong, penentuan titik pengamatan simulasi dan *setting end time* simulasi.
2. Variabel proses yang paling berpengaruh secara signifikan pada besar kecilnya resultan gaya potong proses gerinda permukaan adalah jenis abrasif dan kedalaman potong lalu variabel kecepatan makan.
3. Hasil simulasi *software* ANSYS dapat diterima karena perbedaan resultan gaya potong antara uji eksperimen dan simulasi kurang dari 10%.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian tugas akhir ini sebagai evaluasi pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini penggunaan cairan pendingin pada proses gerinda permukaan tidak digunakan, untuk penelitian selanjutnya mungkin bisa ditambahkan cairan pendingin agar proses simulasi bias lebih menyerupai kondisi eksperimen yang sebenarnya.
2. Pada penelitian ini hanya meninjau gaya potong sebagai tujuan penelitian, diharapkan kedepannya dapat melakukan penelitian simulasi yang memiliki cakupan penelitian lebih luas seperti kekasaran permukaan, dan mode pembentukan geram dapat di tampilkan di simulasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, S. (2015). *Pengaruh Tipe Abrasif Dan Variabel Proses Gerinda Terhadap Gaya Potong, Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) Dan Mode Pembentukan Geram (MPG) Pada Proses Gerinda Permukaan Baja Perkakas DAC Yang Telah Dikeraskan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Bajpai, A., Saxena, P., & Kunze, K. (2020). Tribo-Mechanical Characterization of Carbon Fiber-Reinforced Cyanate Ester Resins Modified With Fillers. *Polymers*, *12*, 1725. <https://doi.org/10.3390/polym12081725>
- Ben Fathallah, B., Ben Fredj, N., Sidhom, H., Braham, C., & Ichida, Y. (2009). Effects of abrasive type cooling mode and peripheral grinding wheel speed on the AISI D2 steel ground surface integrity. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *49*(3), 261–272. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.10.005>
- Bian, G., & Wu, H. (2015). Friction and surface fracture of a silicon carbide ceramic brake disc tested against a steel pad. *Journal of the European Ceramic Society*, *35*. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2015.07.009>
- Bisono, F. (2014). *Studi Analisis Pengaruh Tipe Abrasif dan Variabel Proses Gerinda Permukaan Terhadap Gaya Potong Pada Baja SKD11 Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bisono, F., & Setiawan, T. (2018). ANALISIS PENGARUH PARAMETER PROSES PADA PENGGERINDAAN BAJA PERKAKAS UNTUK KOMPONEN PERMESINAN SISTEM PENGGERAK KAPAL. *Jurnal Teknologi Maritim*, *1*, 27–36. <https://doi.org/10.35991/jtm.v1i2.434>
- Chen, X., & Opoz, T. (2010). Simulation of Grinding Surface Creation – A Single Grit Approach. *Advanced Materials Research*, *126–128*, 23–28. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.23>
- Demir, H., Gullu, A., Çiftçi, İ., & Şeker, U. (2010). An Investigation into the Influences of Grain Size and Grinding Parameters on Surface Roughness and Grinding Forces when Grinding. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, *56*, 447–454.
- Dhar, N. (2005). *MQL Applications in Grinding of 16MnCr5 Steel: A Comparison with Wet and Dry Grinding*.
- El Wakil, S. D. (2012). 3 - Grinding processes for polymer matrix composites. In H. B. T.-M. T. for C. M. Hocheng (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering* (pp. 65–74). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857095145.1.65>
- Essa, M. (2018). Improvement of Abrasive and Edge Cutting Machining Efficiency through Theoretical Analysis of Physical Conditions. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, *8*, 249–262. <https://doi.org/10.24247/ijmperdapr201828>
- Gostimirović, M., Rodić, D., Kovac, P., Ješić, D., & Kulundžić, N. (2015). INVESTIGATION OF THE CUTTING FORCES IN CREEP-FEED SURFACE GRINDING PROCES. *Journal of Production Engineering*, *18*, 21–24.
- Hermawan. (2015). *Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Komponen Stud Pin Winder Baja SKD-11 Yang Mengalami Perlakuan Panas Disertai Pendinginan Nitrogen*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hernández González, L., Pérez, R., Quesada-Estrada, A., & Dumitrescu, L. (2018). Effects of cutting parameters on surface roughness and hardness in milling of AISI 304 steel. *DYNA*, *85*, 57–63. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.64798>

- Hidayatullah, A. H. (2017). *Studi Eksperimental Proses Gerinda Permukaan Material SKD 61 dengan Pendinginan Minimum Quantity Lubrication*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jackson, M. J. (2011). 4 - *Grinding and finishing processes* (J. B. T.-M. M. T. Paulo Davim (ed.); pp. 305–333). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857094940.305>
- Ji, R., Liu, Y., Zhang, Y., Cai, B., Li, X., & Zheng, C. (2013). Effect of machining parameters on surface integrity of silicon carbide ceramic using end electric discharge milling and mechanical grinding hybrid machining. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27. <https://doi.org/10.1007/s12206-012-1215-8>
- K, B., & Napitupulu, R. A. M. (2013). Perbedaan Nilai Kekerasan Pada Proses Hardening dan Double Tempering Baja Perkakas SKD 11. *SINTERIN*.
- Kannan, K., & Nara, A. (2018). A Digital Twin for Grinding Wheel - An Information Sharing Platform for Sustainable Grinding Process. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 141. <https://doi.org/10.1115/1.4042076>
- Kumar, A. (2013). Optimization of Process Parameters in Surface Grinding Using Response Surface Methodology. *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, 3, 245–252.
- Kumar, S., Park, H., & Nedelcu, D. (2021). Development of Real-time Grinding Process Monitoring and Analysis System. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 22. <https://doi.org/10.1007/s12541-021-00539-5>
- Kundrak, J., Fedorovich, V., Markopoulos, A., Pyzhov, I., & Kryukova, N. (2014). Improvements of the Dressing Process of Super Abrasive Diamond Grinding Wheels. *Manufacturing Technology*, 14, 545–554. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2014/a/1213-2489/MT/14/4/545>
- Lefebvre, A., Sinot, O., & Torrance, A. A. (2013). Optimization of dressing conditions for a resin-bonded diamond wheel by topography analysis. *Machining Science and Technology*, 17, 312–324. <https://doi.org/10.1080/10910344.2013.781364>
- Ohnishi, O., Suzuki, H., Uhlmann, E., Schröer, N., Sammler, C., Spur, G., & Weismiller, M. (2015). Chapter 4 - *Grinding* (I. D. Marinescu, T. K. Doi, & E. B. T.-H. of C. G. and P. Uhlmann (eds.); pp. 133–233). William Andrew Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7858-4.00004-2>
- Pradhan, K. (2018). *Computational Structural Mechanics: Static and Dynamic Behaviors*.
- Praveen, D., Reddy, K., Narayana, V., & Naik, M. (2017). Investigation of Effect of Stirring Speed on Mechanical and Corrosive Properties of AMMC. *International Journal of Engineering Research And*, V6. <https://doi.org/10.17577/IJERTV6IS100099>
- Rochim, T. (1993). *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Institut Teknologi Bandung.
- Rowe, W. B. (2014). 11 - *Grinding Process Control* (W. B. B. T.-P. of M. G. T. (Second E. Rowe (ed.); pp. 221–240). William Andrew Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-24271-4.00011-7>
- Shaw, M. C. (1994). A production engineering approach to grinding temperatures. *Journal of Materials Processing Technology*, 44(3), 159–169. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0924-0136\(94\)90428-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0924-0136(94)90428-6)

LAMPIRAN

A. UJI DATA, ANOVA dan *One Simple Test*

Tests of Normality							
	Tipe Abrasif	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Gaya Potong Uji ANSYS	1.00	.192	9	.200*	.891	9	.202
	2.00	.186	9	.200*	.897	9	.237

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality							
	Kecepatan Makan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Gaya Potong Uji ANSYS	150.00	.151	6	.200*	.956	6	.792
	200.00	.156	6	.200*	.959	6	.813
	250.00	.158	6	.200*	.964	6	.852

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality							
	Kedalaman Potong	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Gaya Potong Uji ANSYS	.01	.157	6	.200*	.972	6	.905
	.03	.192	6	.200*	.940	6	.660
	.06	.217	6	.200*	.940	6	.658

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Oneway → Abrasi

Descriptives

Gaya Potong Uji ANSYS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1.00	9	251.2467	119.84516	39.94839	159.1255	343.3678	111.32	415.66
2.00	9	199.7833	94.85177	31.61726	126.8738	272.6929	87.08	331.80
Total	18	225.5150	108.13823	25.48843	171.7391	279.2909	87.08	415.66

Test of Homogeneity of Variances

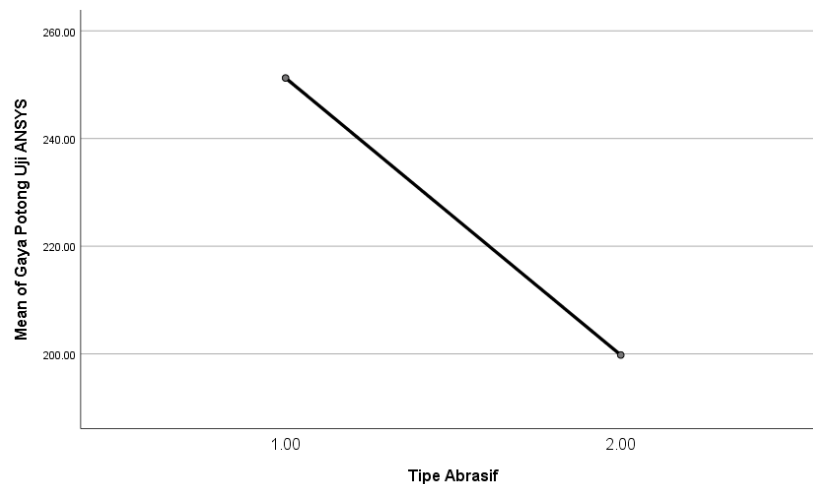
		Levene	df1	df2	Sig.
		Statistic			
Gaya Potong Uji ANSYS	Based on Mean	.833	1	16	.375
	Based on Median	.647	1	16	.433
	Based on Median and with adjusted df	.647	1	15.368	.434
	Based on trimmed mean	.822	1	16	.378

ANOVA

Gaya Potong Uji ANSYS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11918.136	1	11918.136	1.020	.327
Within Groups	186877.766	16	11679.860		
Total	198795.902	17			

Means Plots



T-Test

Group Statistics

	Tipe Abrasif	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Gaya Potong Uji	1.00	9	251.2467	119.84516	39.94839
ANSYS	2.00	9	199.7833	94.85177	31.61726

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Gaya Potong Uji	Equal variances assumed	.833	.375	1.010	16	.327	51.46333	50.94629	-56.53798	159.46464
ANSYS	Equal variances not assumed			1.010	15.198	.328	51.46333	50.94629	-57.00300	159.92967

Mann-Whitney Test

Ranks

	Tipe Abrasif	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Gaya Potong Uji	1.00	9	11.00	99.00
ANSYS	2.00	9	8.00	72.00
	Total	18		

Test Statistics^a

	Gaya Potong Uji	ANSYS
Mann-Whitney U		27.000
Wilcoxon W		72.000
Z		-1.192
Asymp. Sig. (2-tailed)		.233
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]		.258 ^b

Oneway → Kcepatan Makan

Descriptives

Gaya Potong Uji ANSYS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
150.00	6	211.3767	110.48077	45.10359	95.4342	327.3191	87.08	379.89
200.00	6	222.1267	111.29576	45.43630	105.3289	338.9244	93.71	384.10
250.00	6	243.0417	120.59919	49.23441	116.4806	369.6028	100.42	415.66
Total	18	225.5150	108.13823	25.48843	171.7391	279.2909	87.08	415.66

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Gaya Potong	Based on Mean	.074	2	15	.929
	Based on Median	.072	2	15	.931
Uji ANSYS	Based on Median and with adjusted df	.072	2	14.935	.931
	Based on trimmed mean	.074	2	15	.929

ANOVA

Gaya Potong Uji ANSYS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3111.344	2	1555.672	.119	.888
Within Groups	195684.558	15	13045.637		
Total	198795.902	17			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Gaya Potong Uji ANSYS

Tukey HSD

(I) Kecepatan Makan	(J) Kecepatan Makan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
150.00	200.00	-10.75000	65.94350	.985	-182.0363	160.5363
	250.00	-31.66500	65.94350	.882	-202.9513	139.6213
200.00	150.00	10.75000	65.94350	.985	-160.5363	182.0363
	250.00	-20.91500	65.94350	.946	-192.2013	150.3713

250.00	150.00	31.66500	65.94350	.882	-139.6213	202.9513
	200.00	20.91500	65.94350	.946	-150.3713	192.2013

Homogeneous Subsets

Gaya Potong Uji ANSYS

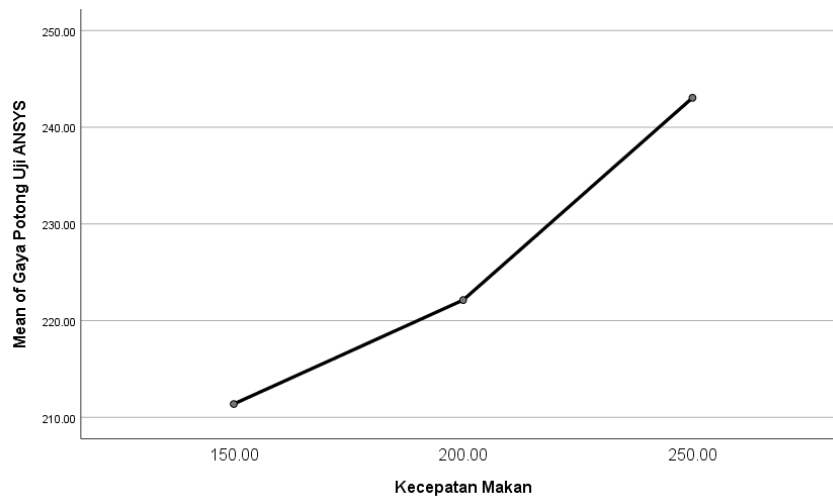
Tukey HSD^a

		Subset for alpha =	
		0.05	
Kecepatan Makan	N	1	
150.00	6	211.3767	
200.00	6	222.1267	
250.00	6	243.0417	
Sig.		.882	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Means Plots



Oneway → Kedalaman Potong

Descriptives

Gaya Potong Uji ANSYS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
.01	6	106.9733	16.25939	6.63787	89.9101	124.0365	87.08	130.27
.03	6	217.6067	31.76088	12.96632	184.2757	250.9377	183.23	271.43
.06	6	351.9650	48.58944	19.83656	300.9735	402.9565	291.14	415.66
Total	18	225.5150	108.1382	25.48843	171.7391	279.2909	87.08	415.66

Test of Homogeneity of Variances

		Levene	df1	df2	Sig.
		Statistic			
Gaya Potong Uji ANSYS	Based on Mean	4.988	2	15	.022
	Based on Median	4.466	2	15	.030
	Based on Median and with adjusted df	4.466	2	11.238	.037
	Based on trimmed mean	4.868	2	15	.023

ANOVA

Gaya Potong Uji ANSYS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	180625.626	2	90312.813	74.555	.000
Within Groups	18170.276	15	1211.352		
Total	198795.902	17			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Gaya Potong Uji ANSYS

Tukey HSD

(I) Kedalaman Potong	(J) Kedalaman Potong	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.01	.03	-110.63333*	20.09438	.000	-162.8279	-58.4388
	.06	-244.99167*	20.09438	.000	-297.1862	-192.7971
.03	.01	110.63333*	20.09438	.000	58.4388	162.8279
	.06	-134.35833*	20.09438	.000	-186.5529	-82.1638
.06	.01	244.99167*	20.09438	.000	192.7971	297.1862
	.03	134.35833*	20.09438	.000	82.1638	186.5529

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

Gaya Potong Uji ANSYS

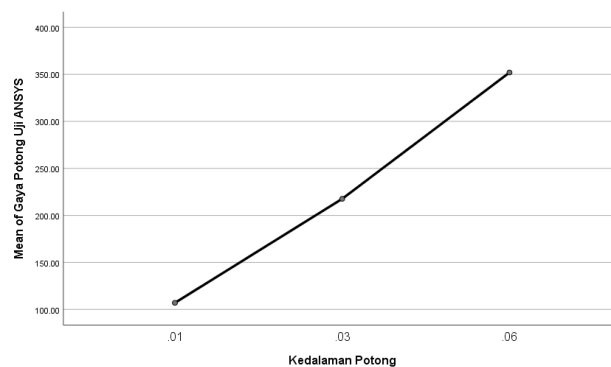
Tukey HSD^a

Kedalaman Potong	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
.01	6	106.9733		
.03	6		217.6067	
.06	6			351.9650
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Means Plots



Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
Tipe Abrasif	1.00	9
	2.00	9
Kecepatan Makan	150.00	6
	200.00	6
	250.00	6
Kedalaman Potong	.01	6
	.03	6
	.06	6

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Gaya Potong Uji ANSYS

Tipe Abrasif	Kecepatan Makan	Kedalaman Potong	Mean	Std. Deviation	N	
1.00	150.00	.01	111.3200	.	1	
		.03	215.6000	.	1	
		.06	379.8900	.	1	
		Total		235.6033	135.39779	3
	200.00	.01	119.0400	.	1	
		.03	233.9100	.	1	
		.06	384.1000	.	1	
		Total		245.6833	132.92163	3
	250.00	.01	130.2700	.	1	
		.03	271.4300	.	1	
		.06	415.6600	.	1	
		Total		272.4533	142.69775	3
Total		.01	120.2100	9.52902	3	
		.03	240.3133	28.46049	3	
		.06	393.2167	19.55015	3	
		Total	251.2467	119.84516	9	
2.00	150.00	.01	87.0800	.	1	
		.03	183.2300	.	1	
		.06	291.1400	.	1	
		Total		187.1500	102.08646	3
	200.00	.01	93.7100	.	1	
		.03	192.8000	.	1	
		.06	309.2000	.	1	

		Total	198.5700	107.86081	3
	250.00	.01	100.4200	.	1
		.03	208.6700	.	1
		.06	331.8000	.	1
		Total	213.6300	115.76972	3
	Total	.01	93.7367	6.67004	3
		.03	194.9000	12.84935	3
		.06	310.7133	20.37220	3
		Total	199.7833	94.85177	9
Total	150.00	.01	99.2000	17.14027	2
		.03	199.4150	22.88905	2
		.06	335.5150	62.75573	2
		Total	211.3767	110.48077	6
	200.00	.01	106.3750	17.91101	2
		.03	213.3550	29.06916	2
		.06	346.6500	52.96230	2
		Total	222.1267	111.29576	6
	250.00	.01	115.3450	21.10714	2
		.03	240.0500	44.37802	2
		.06	373.7300	59.29797	2
		Total	243.0417	120.59919	6
	Total	.01	106.9733	16.25939	6
		.03	217.6067	31.76088	6
		.06	351.9650	48.58944	6
		Total	225.5150	108.13823	18

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: Gaya Potong Uji ANSYS

F	df1	df2	Sig.
.	17	0	.

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + TipeAbrasi + KecepatanMakan + KedalamanPotong

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Gaya Potong Uji ANSYS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	195655.106 ^a	5	39131.021	149.507	.000
Intercept	915426.274	1	915426.274	3497.558	.000
TipeAbrasisif	11918.136	1	11918.136	45.535	.000
KecepatanMakan	3111.344	2	1555.672	5.944	.016
KedalamanPotong	180625.626	2	90312.813	345.057	.000
Error	3140.796	12	261.733		
Total	1114222.176	18			
Corrected Total	198795.902	17			

a. R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .978)

UJI TUKEY → Kecepatan Makan

Post Hoc Tests

Kecepatan Makan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Gaya Potong Uji ANSYS

Tukey HSD

(I) Kecepatan Makan	(J) Kecepatan Makan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
150.00	200.00	-10.7500	9.34047	.503	-35.6691	14.1691
	250.00	-31.6650*	9.34047	.014	-56.5841	-6.7459
200.00	150.00	10.7500	9.34047	.503	-14.1691	35.6691
	250.00	-20.9150	9.34047	.105	-45.8341	4.0041
250.00	150.00	31.6650*	9.34047	.014	6.7459	56.5841
	200.00	20.9150	9.34047	.105	-4.0041	45.8341

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 261.733.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

Gaya Potong Uji ANSYS

Tukey HSD^{a,b}

Kecepatan Makan	N	Subset	
		1	2
150.00	6	211.3767	
200.00	6	222.1267	222.1267
250.00	6		243.0417
Sig.		.503	.105

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 261.733.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

UJI TUKEY KEDALAMAN POTONG

Kedalaman Potong

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Gaya Potong Uji ANSYS

Tukey HSD

(I) Kedalaman Potong	(J) Kedalaman Potong	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.01	.03	-110.6333*	9.34047	.000	-135.5524	-85.7142
	.06	-244.9917*	9.34047	.000	-269.9108	-220.0726
.03	.01	110.6333*	9.34047	.000	85.7142	135.5524
	.06	-134.3583*	9.34047	.000	-159.2774	-109.4392
.06	.01	244.9917*	9.34047	.000	220.0726	269.9108
	.03	134.3583*	9.34047	.000	109.4392	159.2774

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 261.733.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

Gaya Potong Uji ANSYS

Tukey HSD^{a,b}

Kedalaman Potong	N	Subset		
		1	2	3
.01	6	106.9733		
.03	6		217.6067	
.06	6			351.9650
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

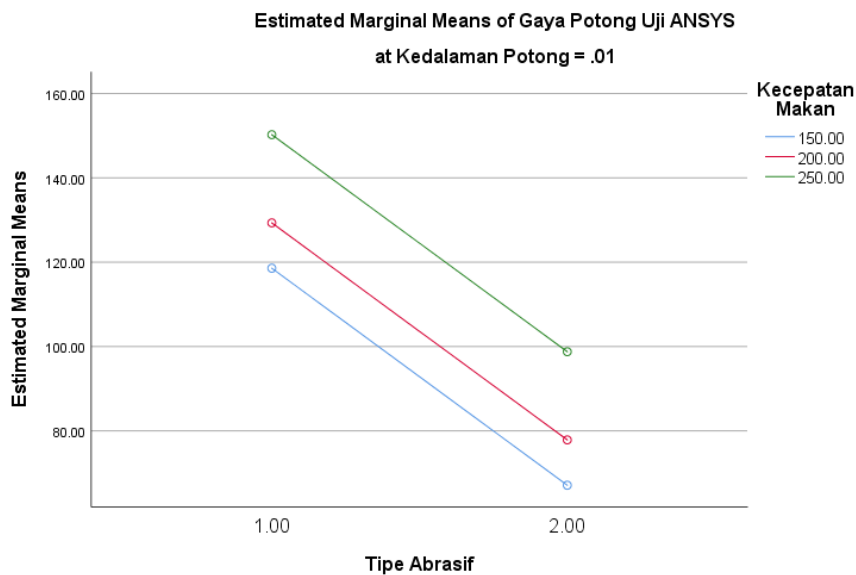
The error term is Mean Square(Error) = 261.733.

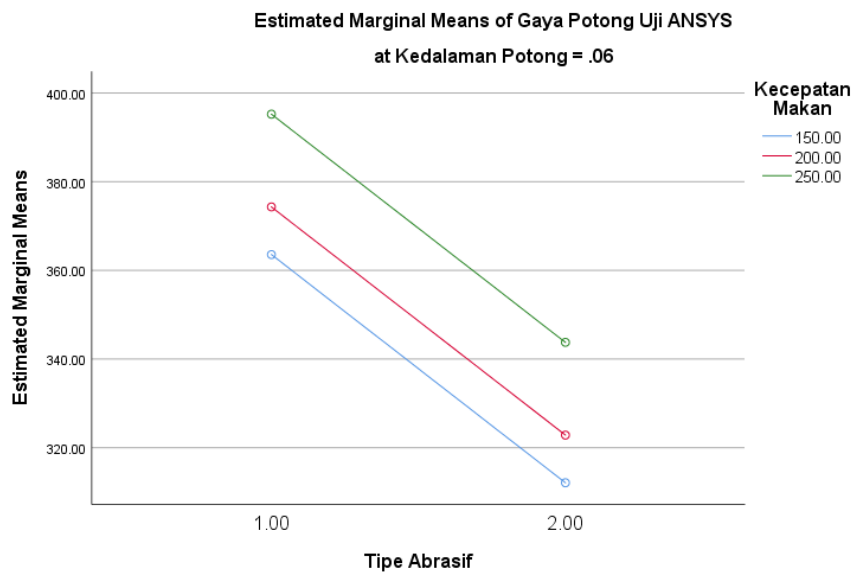
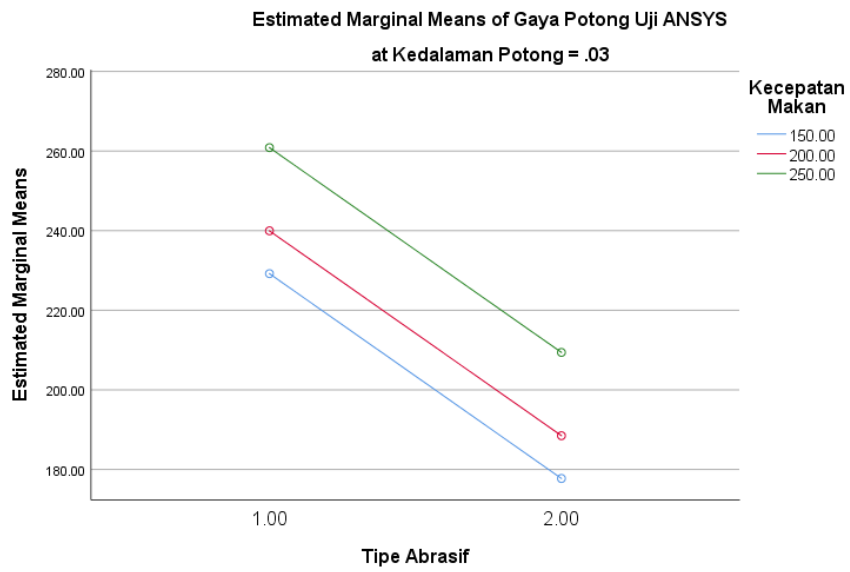
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

Profile Plots

Tipe Abrasif * Kecepatan Makan * Kedalaman Potong





T-Test

Group Statistics

	Tipe Abrasif	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Gaya Potong	1.00	9	251.2467	119.84516	39.94839
Uji ANSYS	2.00	9	199.7833	94.85177	31.61726

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Gaya Potong Uji ANSYS	Equal variances assumed	.833	.375	1.010	16	.327	51.46333	50.94629	-56.53798	159.46464
	Equal variances not assumed			1.010	15.198	.328	51.46333	50.94629	-57.00300	159.92967

NPar Tests

Mann-Whitney Test

Ranks

	Tipe Abrasif	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Gaya Potong Uji ANSYS	1.00	9	11.00	99.00
	2.00	9	8.00	72.00
	Total	18		

Test Statistics^a

	Gaya Potong Uji ANSYS
Mann-Whitney U	27.000
Wilcoxon W	72.000
Z	-1.192
Asymp. Sig. (2-tailed)	.233
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.258 ^b

- a. Grouping Variable: Tipe Abrasif
- b. Not corrected for ties.

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residual for GayaPotongUjiANSYS
N		18
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0000
	Std. Deviation	13.59238
Most Extreme Differences	Absolute	.116
	Positive	.116
	Negative	-.101
Test Statistic		.116
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}

- a. Test distribution is Normal.
- b. Calculated from data.
- c. Lilliefors Significance Correction.
- d. This is a lower bound of the true significance.

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 1	2	120.1400	.90510	.64000

One-Sample Test

Test Value = 111.32

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 1	13.781	1	.046	8.82000	.6880	16.9520

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 2	2	226.3050	.40305	.28500

One-Sample Test

Test Value = 215.6

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 2	37.561	1	.017	10.70500	7.0837	14.3263

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 3	2	362.4800	.59397	.42000

One-Sample Test

Test Value = 379.89

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 3	-41.452	1	.015	-17.41000	-22.7466	-12.0734

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 4	2	111.3950	1.02530	.72500

One-Sample Test

Test Value = 119.04

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 4	-10.545	1	.060	-7.64500	-16.8570	1.5670

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 5	2	217.2700	5.48715	3.88000

One-Sample Test

Test Value = 233.91

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 5	-4.289	1	.146	-16.64000	-65.9401	32.6601

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 6	2	401.2800	15.61292	11.04000

One-Sample Test

Test Value = 384.1

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 6	1.556	1	.364	17.18000	-123.0965	157.4565

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 7	2	122.0250	.36062	.25500

One-Sample Test

Test Value = 130.27

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 7	-32.333	1	.020	-8.24500	-11.4851	-5.0049

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 8	2	252.1250	2.41123	1.70500

One-Sample Test

Test Value = 271.43

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 8	-11.323	1	.056	-19.30500	-40.9691	2.3591

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 9	2	390.0100	1.35765	.96000

One-Sample Test

Test Value = 415.66

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 9	-26.719	1	.024	-25.65000	-37.8480	-13.4520

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 10	2	99.1450	.06364	.04500

One-Sample Test

Test Value = 87.08

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 10	268.111	1	.002	12.06500	11.4932	12.6368

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 11	2	198.9600	7.79232	5.51000

One-Sample Test

Test Value = 183.23

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 11	2.855	1	.214	15.73000	-54.2812	85.7412

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 12	2	317.5450	3.98101	2.81500

One-Sample Test

Test Value = 291.14

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 12	9.380	1	.068	26.40500	-9.3630	62.1730

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 13	2	86.3250	6.73873	4.76500

One-Sample Test

Test Value = 93.71

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 13	-1.550	1	.365	-7.38500	-67.9301	53.1601

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 14	2	184.5650	.79903	.56500

One-Sample Test

Test Value = 192.8

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 14	-14.575	1	.044	-8.23500	-15.4140	-1.0560

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 15	2	334.9500	1.71120	1.21000

One-Sample Test

Test Value = 309.2

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 15	21.281	1	.030	25.75000	10.3755	41.1245

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 16	2	91.2650	2.42538	1.71500

One-Sample Test

Test Value = 100.42

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 16	-5.338	1	.118	-9.15500	-30.9461	12.6361

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 17	2	192.5200	3.16784	2.24000

One-Sample Test

Test Value = 208.67

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 17	-7.210	1	.088	-16.15000	-44.6119	12.3119

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Data 18	2	295.8850	5.43765	3.84500

One-Sample Test

Test Value = 331.8

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Data 18	-9.341	1	.068	-35.91500	-84.7704	12.9404

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Gaya Potong Uji Eksperimen 1	.157	18	.200*	.929	18	.190
Gaya Potong Uji Eksperimen 2	.162	18	.200*	.914	18	.101
Gaya Potong Uji ANSYS	.144	18	.200*	.930	18	.194

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Gaya Potong Uji Eksperimen 1	222.9361	18	108.42456	25.55591
	Gaya Potong Uji ANSYS	225.5150	18	108.13823	25.48843
Pair 2	Gaya Potong Uji Eksperimen 2	221.9739	18	105.54610	24.87745
	Gaya Potong Uji ANSYS	225.5150	18	108.13823	25.48843

Paired Samples Test

		Paired Differences							
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	Gaya Potong Uji Eksperimen 1 - Gaya Potong Uji ANSYS	-2.57889	17.65043	4.16025	-11.35624	6.19846	-.620	17	.544
Pair 2	Gaya Potong Uji Eksperimen 2 - Gaya Potong Uji ANSYS	-3.54111	19.22465	4.53129	-13.10130	6.01908	-.781	17	.445

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis selama menempuh perkuliahan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, diantaranya adalah:

1. Kedua orang tua penulis Ayah Dwi Wahjuli Djumantoro dan Ibu Ruhana Tri Amini, S.Ag, kakak Wildanun Mukholladun, S.Sn, serta keluarga besar Bojonegoro yang menjadi motivasi penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
2. Nurul Aini Hidayati, A.Md. Fis yang selalu menemani, memberi semangat, mensupport dan menjadi tempat untuk berkeluh kesah bagi penulis.
3. Kemdikbudristek yang telah memberikan bantuan beasiswa pendidikan selama perkuliahan.
4. Bapak Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D dan Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan ilmu dan bimbingan serta semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan nasihat dan bimbingan selama perkuliahan.
6. Bapak ibu dosen Teknik Mesin FTIRS ITS yang memberi ilmu penulis selama perkuliahan.
7. Rekan rekan 1 bimbingan Bapak Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng.
8. David Verrel Juliano, S.T, Benedictus H.K.E, S.T, Samuel Arista, S.T yang selalu menemani, membimbing dan membantu penulis selama menyusun Tugas Akhir.
9. Teman teman Teknik Mesin ITS 2018 yang berjuang Bersama untuk lulus tepat waktu.
10. Teman D13 Maritime Challenge, Dhany, Aura, Balqis, Anggie, Ma'ruf, Afif, Ubed, Agung, Fates, serta D13 Maritime Challenge lainnya yang selalu menghibur dan memberikan banyak nasihat kepada penulis.

BIODATA PENULIS



Salahuddin Al Ayyubi merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang lahir di Bojonegoro, 21 April 1999. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Wonokromo IV/624, SMPN 16 Surabaya, dan SMKN 7 Surabaya. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat sarjana di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN pada Tahun 2018 dengan NRP 02111840000046. Dalam menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana, penulis mengambil Bidang Keahlian Manufaktur yang berkonsentrasi pada Optimasi Proses Pemesinan. Penulis aktif dalam berbagai kegiatan pelatihan, kepanitiaan, organisasi, dan kegiatan sosial baik di dalam maupun luarkampus.

Beberapa pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis yaitu, LKMM Pra TD FTIRS ITS, Sekolah Kaderisasi LMB ITS, Sekolah Kapal UKM Maritime Challenge, dan beberapa pelatihan *software* seperti DECIMO CAD, Autodesk Inventor, Auto CAD, dll. Di bidang kepanitiaan, penulis pernah menjadi anggota Departemen Sponsorship Indonesia Maritime Challenge 2019. Dalam hal organisasi, penulis dipercaya menjadi Kepala Divisi PSDA UKM Maritime Challenge Tahun Kepengurusan 2019 dan Koordinator UKM Maritime Challenge Tahun Kepengurusan 2020. Penulis memiliki pengalaman *grader* mata kuliah Algoritma Pemrograman pada semester genap tahun 2021 dan 2022. Penulis memiliki pengalaman menjadi ketua dalam kegiatan sosial berupa KKN Abdi Masyarakat di Desa Oro Oro Ombo, Kecamatan Batu, Kota Batu, Jawa Timur pada tahun 2021. Penulis dengan senang hati menerima kritik, saran, dan diskusi melalui email penulis. Semoga tugas akhir ini menjadi berkah dan memberikan manfaat bagi banyak orang.

Email: Didin199971@gmail.com