



**STUDI PEMBENTUKAN *CHIPS* BAJA S45C PADA
PEMBUBUTAN DENGAN METODE MQL
(*MINIMUM QUANTITY LUBRICATION*)**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar, Sarjana, pada
program studi S1 Teknik Mesin*

SKRIPSI

Oleh

**Faricha Afifatul Nikmah
191910101075**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2023**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang dengan ikhlas dan kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai dengan waktu yang ditargetkan.
2. Kepada keluarga besar saya, terutama Bapak, Ibuk, dan Adik saya. Terimakasih atas segala bentuk kasih sayang dan juga semangat yang diberikan sehingga skripsi ini dapat selesai sesuai harapan.
3. Dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., dosen pembimbing anggota Bapak Ir. Sumarji, S.T., M.T., dan dosen pembimbing akademik Bapak Dr. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T. terimakasih atas bimbingan dan semangat yang telah diberikan selama ini sehingga skripsi ini dapat selesai sesuai harapan.
4. Seluruh jajaran Dosen Teknik Mesin Universitas Jember atas ilmu yang diberikan selama ini, semoga ilmu yang diberikan bermanfaat dan bisa saya gunakan untuk bekal masa depan.
5. Seluruh mahasiswa dan teman-teman yang sedang melaksanakan skripsi.

MOTTO

Bacalah!
(Anonim)

Don't just wait for what you want to happen. Act first.
(Haemin Sunim)

The more you know, the more you think you don't. The more you don't know, the more you think you do.
(Haemin Sunim)

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
QS. Al-Insyirah (94):6



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Faricha Afifatul Nikmah

NIM : 191910101075

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Studi Pembentukan Chips Baja S45C Pada Pembubutan Dengan Metode MQL (Minimum Quantity Lubrication)*

adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 14 Juni 2023

Yang menyatakan,

(Meterai)

Faricha Afifatul Nikmah

NIM. 191910101075

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Studi Pembentukan Chips Baja S45C Pada Pembubutan Dengan Metode MQL (Minimum Quantity Lubrication)* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 12 Juli 2023
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

1. Pembimbing Utama

Nama : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP : 196701231997021001

Tanda Tangan

(.....)

2. Pembimbing Anggota

Nama : Ir. Sumarji, S.T., M.T.
NIP : 196802021997021001

(.....)

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T.
NIP : 197003101997021001

(.....)

2. Penguji Anggota

Nama : Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T., IPM. (.....)
NIP : 196902091998021001

ABSTRACT

Applying cutting fluid is common in machining processes, as it can extend the tool life. However, excessive use can have negative impacts on operators and the environment. As an alternative, the use of minimum quantity lubrication (MQL) can reduce these negative effects while still providing maximum benefits from the use of cutting fluid. This study aims to determine the most optimal parameters in the turning process of S45C steel using the MQL method to observe chip formation and the degree of serration (DOS). The experimental design used was the Taguchi orthogonal array L9 (3^4). The varied parameters were depth of cut, cutting speed, cutting fluid, and feed rate. Based on the mean response value, it can be concluded that the most optimal results can be achieved by combining the following parameters: a depth of cut of 0.5 mm, cutting speed of 127.17 m/minute, the use of tamanu oil as the cutting fluid, and a feed rate of 0.117 mm/rev. Each parameter contributes to the resulting DOS value, with the feed rate, depth of cut, cutting fluid, and cutting speed contributing 19.71%, 13.45%, 13.39%, and 11.52%, respectively.

Keywords: MQL, chips shape, degree of serration

RINGKASAN

Studi Pembentukan Chips Baja S45C Pada Pembubutan Dengan Metode MQL (*Minimum Quantity Lubrication*); Faricha Afifatul Nikmah, 191910101075; 2023; 37 halaman, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penggunaan *cutting fluid* merupakan hal yang umum dalam proses pemesinan, karena dapat memperpanjang umur pahat. Namun, penggunaan yang berlebihan dapat menyebabkan dampak buruk pada operator dan lingkungan. Sebagai alternatif, penggunaan pelumasan dengan jumlah minimum (MQL) dapat mengurangi efek buruk namun tetap memberikan keuntungan maksimum dari penggunaan *cutting fluid*. Dalam proses permesinan tentunya menghasilkan material yang tidak dipakai atau terbuang yang disebut dengan *chips*. Dalam proses permesinan, material berlebih dari benda kerja dipisahkan melalui pembentukan *chips* untuk mendapatkan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena itu, penting untuk memahami mekanisme dasar yang mempengaruhi pembentukan chips guna mengembangkan alat atau pahat yang efisien. Penelitian tentang pembentukan chips dimulai sekitar Perang Dunia II dan terus mengalami perkembangan seiring dengan peningkatan penggunaan mesin pemotong, umumnya untuk pemotongan logam dengan kecepatan tinggi. Parameter utama dalam proses pembubutan, yaitu kecepatan pemotongan, feed rate, kedalaman potong, geometri pahat dan bahan pahat, memiliki pengaruh signifikan terhadap pengendalian pembentukan serpihan. Penggunaan *cutting fluid* juga memiliki dampak yang kuat pada pembentukan serpihan. Efek-efek dari parameter-parameter ini diteliti oleh para peneliti untuk mengembangkan parameter yang dioptimalkan untuk material-material tertentu.

Sifat dan tingkat interaksi permukaan pahat dan benda kerja dapat ditunjukkan oleh bentuk *chips* yang dihasilkan. Beberapa faktor juga mempengaruhi bentuk *chips* yang dihasilkan, diantaranya: bahan benda kerja, bahan dan geometri pahat, kecepatan pemotongan, kedalaman pemotongan (*depth*

of cut), kondisi lingkungan permesinan atau metode pendinginan (*cutting fluid*) yang mempengaruhi suhu pada gesekan antara pahat dan benda kerja.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bengkel dan Kerja Logam, Laboratorium Material Fakultas Teknik, serta Laboratorium Farmasetika Fakultas Farmasi Universitas Jember. Penelitian dilaksanakan dari bulan September 2022 sampai Juni 2023. Penelitian ini mengambil data berupa bentuk *chips* yang dihasilkan dan nilai degree of serration dari chip tersebut. Metode yang digunakan adalah metode Taguchi berdasarkan matriks orthogonal array L9 (3^4) dengan 3 kali replikasi untuk setiap kombinasinya.

Bentuk chip yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah *helical chip segment*, *flat helical chip*, dan *discontinuous chip*. Kontribusi faktor kendali pada nilai degree of serration yang signifikan dipengaruhi oleh faktor kendali yaitu *dept of cut* dengan kontribusi 13,45%, *cutting speed* 11,52%, *cutting fluid* 13,39 %, dan *feed rate* 19,71%.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan YME yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “*Studi Pembentukan Chips Baja S45C Pada Pembubutan Dengan Metode MQL (Minimum Quantity Lubrication)*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis tidak lupa berterimakasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

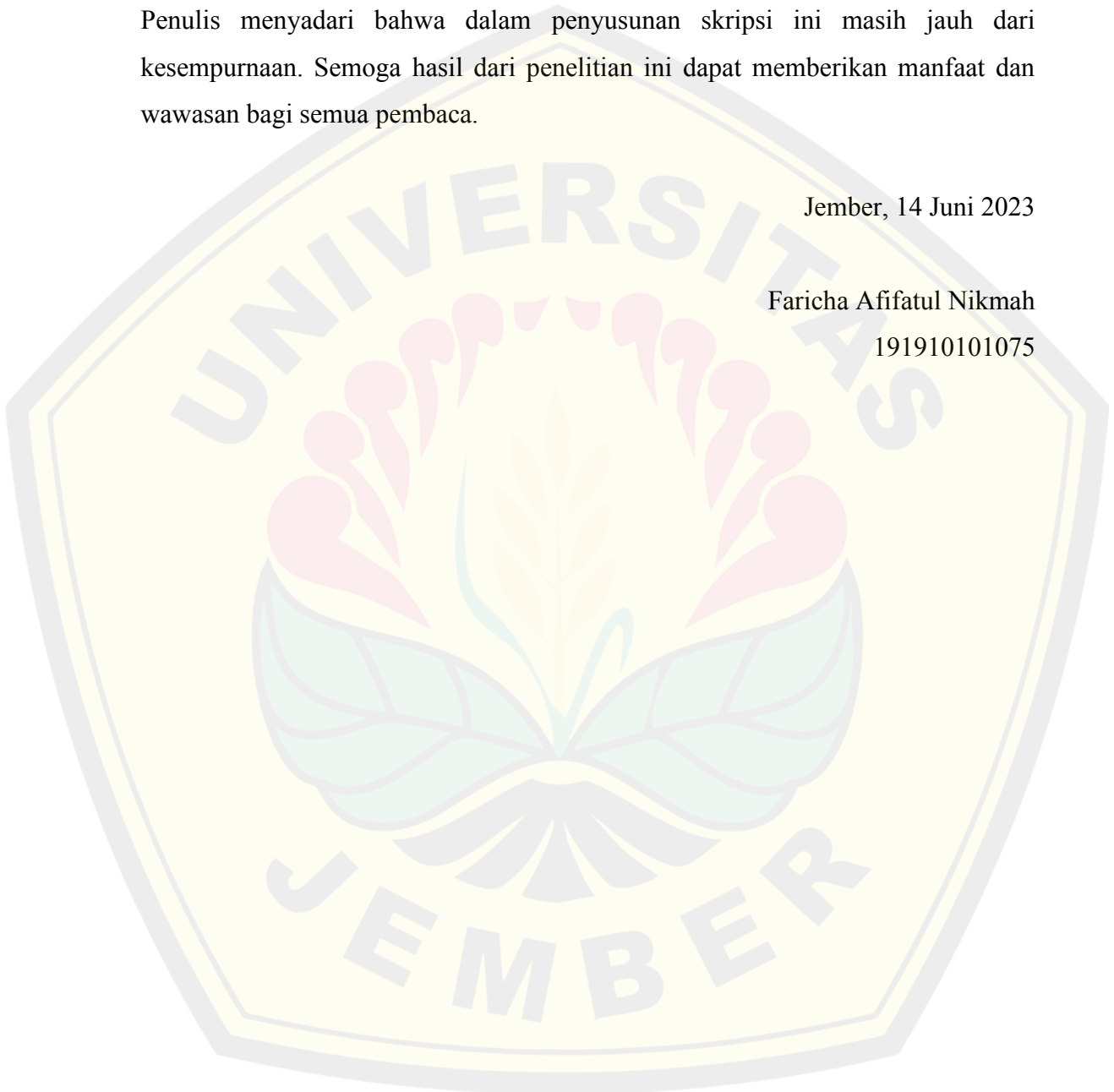
1. Bapak Ir. Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Salahudin Junus, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Jember yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah mendampingi dan membimbing saya selama 4 tahu menjadi mahasiswa universitas jember
4. Dosen, teknisi, dan seluruh karyawan Teknik Mesin Universitas Jember.
5. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen pembimbing utama dan bapak Ir. Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya untuk memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Robustus Sidartawan, S.T., M.T. IPM. selaku dosen penguji utama, dan bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T. IPM. selaku dosen penguji anggota yang telah banyak meluankan waktu, pikiran, dan perhatiannya untuk memberikan kritik saran untuk perbaikan skripsi ini.
7. Bapak, ibuk, adik, serta seluruh keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat selesai pada waktunya.

8. Teman-teman *research* MQL yang beranggotakan Muhammad Izzulhaq Fillah, Muhammad Dhika Dwianto, dan Noer Tsalis Abd.Fattah
9. Teman-teman *Feverything* dan FF4
10. Kepada pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi semua pembaca.

Jember, 14 Juni 2023

Faricha Afifatul Nikmah
191910101075



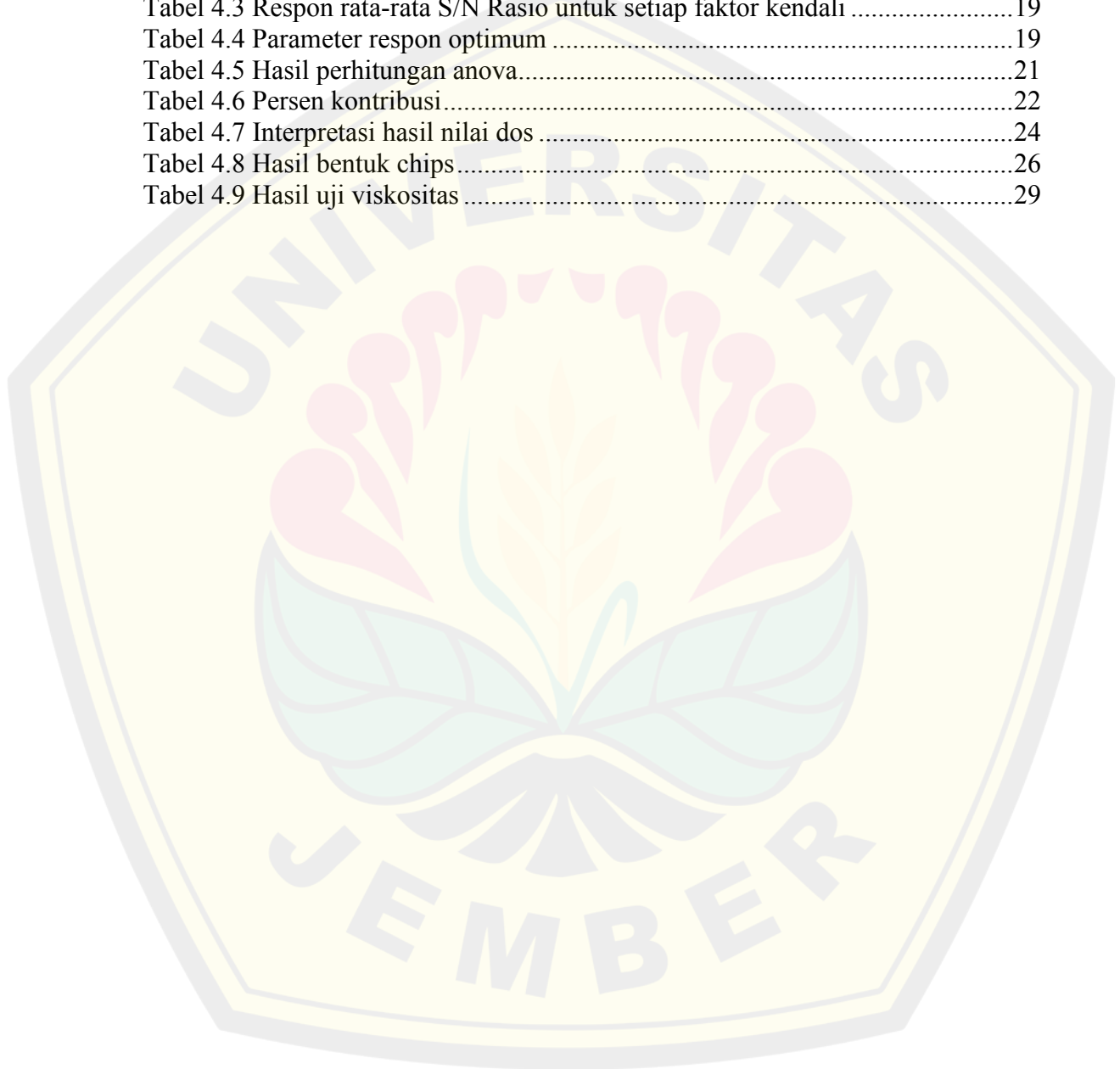
DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
1.3.1 Tujuan	3
1.3.2 Manfaat	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 <i>Cutting Fluid</i>	5
2.3 Pemesinan Bubut	6
2.3.1 Mesin Bubut.....	6
2.3.2 Parameter Mesin Bubut	6
2.4 Pembentukan <i>Chips</i>	6
2.4.1 Klasifikasi Bentuk Chips.....	8
2.4.2 Degree of Serration	8
2.5 Baja S45C	9
2.6 Metode Taguchi	9
2.6.1 Analisis Dalam Metode Taguchi	10
2.7 Hipotesis	10
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Metode Penelitian	11
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.3 Alat Dan Bahan.....	11
3.3.1 Alat.....	11

3.3.2 Bahan	12
3.4 Prosedur Penelitian	12
3.5 Variabel Penelitian.....	13
3.5.1 Variabel Bebas	13
3.5.2 Variabel Terikat	13
3.5.3 Variabel Kontrol	13
3.6 Pengambilan Data	13
3.7 Metode Analisis	13
3.8 Diagram Alir Penelitian	14
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Pengambilan Data	15
4.2 Hasil Pengujian	16
4.3 Perhitungan S/N Rasio	17
4.4 Hasil Optimasi	18
4.5 Analisis Varians (Anova).....	20
4.6 Prediksi Respon Optimal	22
4.7 Eksperimen Konfirmasi	24
4.8 Uji F	25
4.9 Pembahasan.....	26
BAB 5. PENUTUP.....	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
DAFTAR LAMPIRAN	33

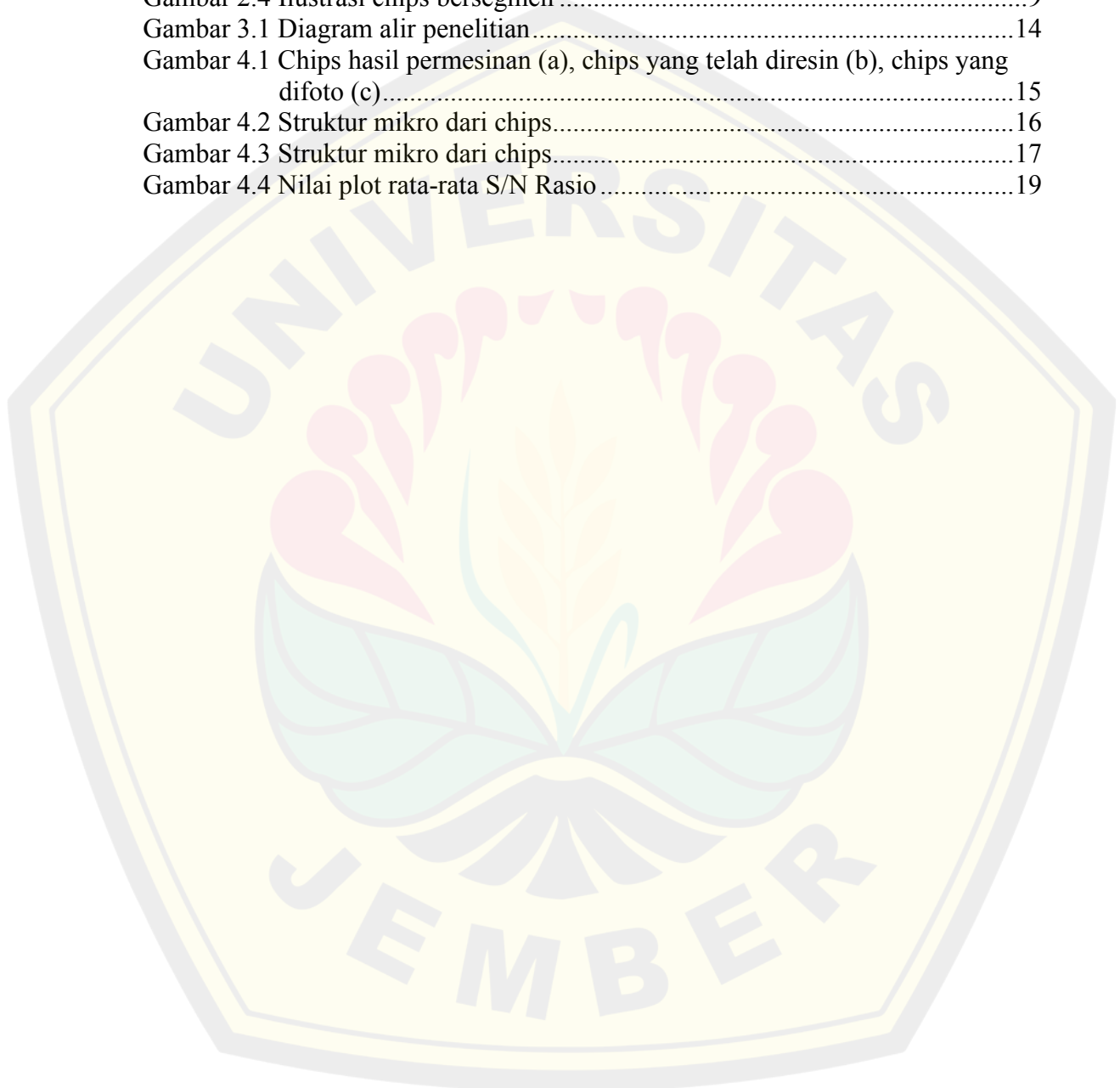
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi baja S45C	9
Tabel 3.1 Spesifikasi kerja Pahat	12
Tabel 3.2 Variabel bebas dan level	13
Tabel 4.1 Hasil Pengujian	16
Tabel 4.2 Data hasil perhitungan sn rasio	18
Tabel 4.3 Respon rata-rata S/N Rasio untuk setiap faktor kendali	19
Tabel 4.4 Parameter respon optimum	19
Tabel 4.5 Hasil perhitungan anova.....	21
Tabel 4.6 Persen kontribusi.....	22
Tabel 4.7 Interpretasi hasil nilai dos	24
Tabel 4.8 Hasil bentuk chips.....	26
Tabel 4.9 Hasil uji viskositas	29



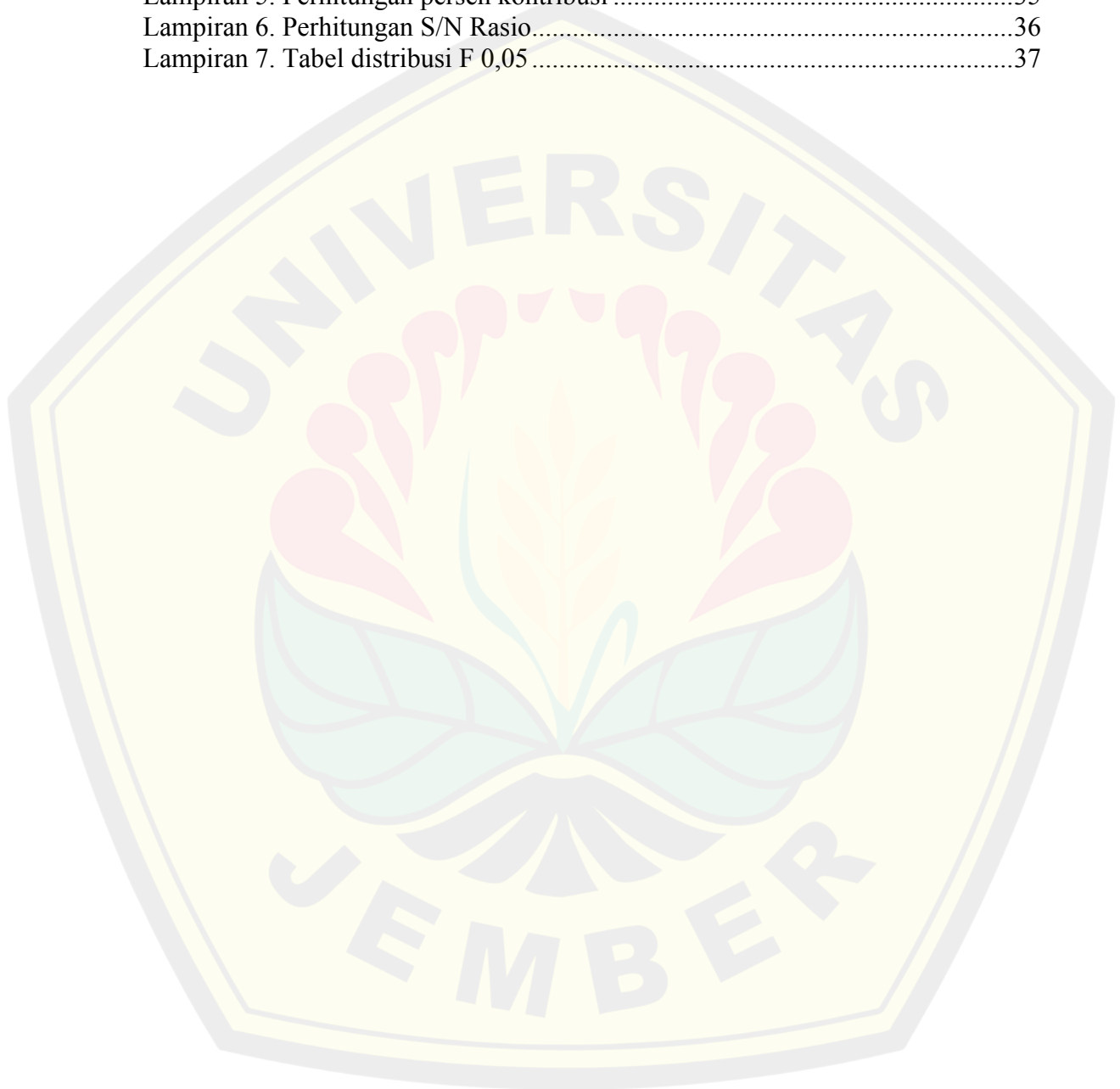
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Deformasi pada pemotongan logam (Sumber: Haider, 2014).....	7
Gambar 2.2 Formasi <i>chips</i> pada proses bubut menurut analogi kartu (Sumber: Buana, 2016)	7
Gambar 2.3 Klasifikasi bentuk <i>chips</i> (Sumber: Lotfi dkk, 2014).....	8
Gambar 2.4 Ilustrasi <i>chips</i> bersegmen	9
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	14
Gambar 4.1 <i>Chips</i> hasil permesinan (a), <i>chips</i> yang telah diresin (b), <i>chips</i> yang difoto (c).....	15
Gambar 4.2 Struktur mikro dari <i>chips</i>	16
Gambar 4.3 Struktur mikro dari <i>chips</i>	17
Gambar 4.4 Nilai plot rata-rata S/N Rasio	19



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai <i>Cutting Speed</i>	33
Lampiran 2. Perhitungan jumlah kuadrat karena faktor.....	33
Lampiran 3. Perhitungan rata-rata jumlah kuadrat	34
Lampiran 4. Perhitungan F-rasio.....	34
Lampiran 5. Perhitungan persen kontribusi	35
Lampiran 6. Perhitungan S/N Rasio.....	36
Lampiran 7. Tabel distribusi F 0,05	37



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur tentu tidak pernah lepas dengan adanya proses pemesinan. Proses pemesinan merupakan proses menghilangkan bagian benda kerja dengan cara memotong bagian yang tidak diperlukan dengan menggunakan pahat (*cutting tool*) sehingga komponen benda kerja terbentuk sesuai dengan yang diinginkan. Ada tiga kelompok dasar pemotongan logam dalam proses pemesinan yaitu proses pemotongan dengan metode pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*), dan metode penarikan (*drawing, elongating*). Proses permesinan konvensional yang menggunakan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), frais (*milling*), sekrap (*shaping*). Dari proses permesinan ini tentunya menghasilkan material yang tidak terpakai atau dibuang disebut juga sebagai *chips* (Rahdiyanta, 2010). Menurut kamus besar Bahasa Indonesia (KBBI) *chips* atau serpihan material hasil pemesinan yang disebut dengan tatal, akan tetapi pada beberapa penelitian mengenai *chips formation* digunakan istilah geram (Setiayana dkk, 2005) serta beram (Rahdiyanta, 2010). Dalam keseluruhan laporan ini untuk menyeragamkan istilah akan digunakan istilah *chips* untuk penyebutannya.

Chips terbentuk akibat logam yang pada umumnya memiliki sifat ulet (*ductile*) apabila memperoleh tekanan maka timbul tegangan (*stress*) di area sekitar konsentrasi gaya penekanan dari pahat. Tegangan pada logam atau benda kerja tersebut memiliki orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah yang akan terjadi tegangan geser (*shearing stress*) yang maksimum. Tegangan geser ini apabila melebihi kekuatan logam yang bersangkutan maka akan terjadi deformasi plastis atau perubahan bentuk yang menggeser dan memutuskan material benda kerja di ujung pahat pada suatu bidang geser (*shear plane*) (Mudjijanto, 2019).

Dalam proses permesinan, material berlebih dari benda kerja dipisahkan melalui pembentukan chips untuk mendapatkan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena itu, penting memahami mekanisme dasar yang mempengaruhi pembentukan chips guna mengembangkan alat atau pahat yang

efisien. Penelitian tentang pembentukan chips dimulai sekitar Perang Dunia II dan terus mengalami perkembangan seiring dengan peningkatan penggunaan mesin pemotong, umumnya untuk pemotongan logam kecepatan tinggi. Parameter utama dalam proses pembubutan, yaitu kecepatan pemotongan, feed rate, kedalaman potong, geometri pahat dan bahan pahat, memiliki pengaruh signifikan terhadap pengendalian pembentukan serpihan. Penggunaan cairan pendingin juga memiliki dampak yang kuat pada pembentukan serpihan. Efek-efek dari parameter-parameter ini diteliti oleh para peneliti untuk mengembangkan parameter yang dioptimalkan untuk material-material tertentu (Singh et al, 2019)

Penggunaan cairan pemotongan (*cutting fluid*) pada proses pemesinan yang kurang efisien dapat menyebabkan terjadinya panas sehingga mempercepat berkurangnya umur pahat karena terjadi keausan pada pahat yang digunakan saat proses pemakanan benda kerja berlangsung. Keausan pahat inilah yang akan mempengaruhi bentuk dari *chips* yang dihasilkan. Metode *minimum quantity lubrication* (MQL) dapat mencegah hal tersebut terjadi. MQL merupakan teknik pelumasan dimana *cutting fluid* disemprotkan ke kontak antara *tool* dengan benda kerja. Metode MQL ini juga merupakan teknologi baru dalam pemesinan yang sangat berguna untuk memperoleh keselamatan lingkungan serta keunggulan ekonomi, dengan cara mengurangi penggunaan *cutting fluid* dalam proses pemesinan. Penggunaan *cutting fluid* dalam MQL sangat kecil yaitu kurang dari 500 ml/jam sehingga pahat, benda kerja, tatal, mesin, dan lingkungannya tetap dalam keadaan yang relatif kering (Klocke, 2011).

Sebagai tambahan tingkat interaksi dan sifat permukaan benda kerja dan pahat dapat ditunjukkan oleh bentuk *chips* yang dihasilkannya. Beberapa faktor juga mempengaruhi bentuk *chips* yang dihasilkan, diantaranya: bahan dan geometri pahat, bahan benda kerja, kedalaman pemotongan (*depth of cut*), kecepatan pemotongan, metode pendinginan (*cutting fluid*) atau kondisi lingkungan pemesinan yang mempengaruhi suhu pada gesekan antara benda kerja dan pahat (Pathak, 2017:53). Penelitian untuk menganalisis pembentukan *chips* (*chips formation*) terhadap pengaruh proses pelumasan dengan metode MQL yang menggunakan minyak nyamplung sejauh ini masih sangat jarang dilakukan. Oleh

karena itu, peneliti melakukan penelitian dengan judul “Studi Pembentukan *Chips* Baja S45C Pada Pembubutan Dengan Metode MQL (*Minimum Quantity Lubrication*)”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dituliskan rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi parameter kedalaman pemakanan (*depth of cut*), kecepatan pemotongan (*cutting speed*), jenis *cutting fluid*, dan *feed rate* terhadap pembentukan *chips* dan nilai *degree of serration* yang dihasilkan dalam proses pembubutan dengan metode MQL.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dan manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.3.1 Tujuan

- a. Mengetahui bentuk *chips* yang dihasilkan dari proses pembubutan dengan parameter kedalaman pemakanan (*depth of cut*), kecepatan pemotongan (*cutting speed*), jenis *cutting fluid*, kecepatan pemakanan (*feed rate*) dengan metode MQL.
- b. Mengetahui nilai *degree of serration* (*dos*) dari bentuk *chips* hasil proses pembubutan dengan variasi parameter kedalaman pemakanan (*depth of cut*), kecepatan pemotongan (*cutting speed*), jenis *cutting fluid*, kecepatan pemakanan (*feed rate*) dengan metode MQL.

1.3.2 Manfaat

- a. Sebagai referensi penelitian selanjutnya untuk analisis pembentukan *chips* pada proses pemesinan bubut dengan menggunakan metode MQL dengan variasi *cutting fluid*.
- b. Untuk mengenal mekanisme dasar pemesinan yang mempengaruhi pembentukan *chips* agar dapat mengembangkan alat atau *insert tool* yang efisien.

- c. Bentuk dan pembentukan *chips* merupakan informasi penting dalam proses pemotongan, yang mencerminkan gaya potong, kualitas permukaan yang dikerjakan, dan keausan alat.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Suhu diasumsikan sama dengan suhu ruangan saat proses penelitian berlangsung.
- b. Faktor ekonomi tidak dibahas (tidak membahas tentang biaya).



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Nofa (2021) membahas tentang pembentukan chips pada proses pemesinan bubut dengan metode MQL. Kombinasi parameter terbaik yang digunakan adalah *depth of cut* 2,0 mm, *cutting speed* 200m/mm, metode pemberian *cutting fluid* dengan metode *flood* dan *feed rate* 0,107 mm/rev menghasilkan *chips* dengan nilai *degree of serration* yang tinggi sehingga berpeluang terbentuknya *discontinuous chips* yang semakin besar.

Qoryah, R. D. H. (2020) membahas tentang pengaruh variasi *depth of cut*, komposisi cairan pendingin dan metode pemberian cairan pendingin terhadap pembentukan *chips*. *Chips* yang dihasilkan kemudian dilakukan pengujian mikro serta pengukuran *degree of serration*. Hasilnya menunjukkan variasi *depth of cut* 1,8; komposisi cairan air dan dromus 5:5 serta metode berupa pemberian pendingin *flood* menghasilkan *degree of serration* tertinggi sehingga persentase terbentuknya *chips* patahan (*discontinuous chips*) semakin besar.

Ginting (2014) membahas tentang pengaruh proses pemesinan laju tinggi, keras dan kering pada bahan AISI 4140 menggunakan pahat CBN terhadap pembentukan *chips*. Hasil yang diperoleh berupa morfologi *chips* yang terbentuk seperti mata gergaji 6 (*sawtooth chips*). Apabila pemakanan dan kedalaman pemotongan naik maka tebal *chips* cenderung naik. Sebaliknya, semakin tinggi kecepatan pemotongan maka tebal *chips* akan cenderung menurun.

2.2 Cutting Fluid

Penggunaan *cutting fluid* atau cairan pemotongan sangatlah penting dalam proses permesinan karena hal ini berguna untuk meningkatkan efisiensi proses permesinan. Pada proses permesinan khususnya pembubutan logam, akan terjadi kenaikan temperatur yang tinggi pada area pemotongan akibat dari adanya gesekan antara pahat dan benda kerja yang dipotong. Jika temperatur yang tinggi pada benda kerja tidak dapat dikendalikan, maka dapat menyebabkan terjadinya penyimpangan dimensi, keausan pahat, dan merusak integritas permukaan hasil pemesinan (Dhar

dkk., 2007). Oleh karena itu pada proses permesinan dibutuhkan *cutting fluid* sebagai media pendinginan dan pelumasan untuk mengurangi temperatur akibat gesekan antara benda kerja dan pahat.

2.3 Pemesinan Bubut

Pengertian dari pemesinan adalah kegiatan dari suatu proses produksi menggunakan mesin perkakas dengan gerakan yang relatif antara benda kerja dan pahat sehingga dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan. Salah satu proses pemesinan yang paling banyak digunakan adalah proses pembubutan yang didefinisikan sebagai proses subtraktif dimana ada material yang dibuang dari benda kerja yang berputar sebagai bentuk *chips* dengan menggunakan alat pemotong titik tunggal.

Proses pembubutan adalah salah satu proses pembuatan yang paling kompleks untuk disimulasikan. Kemampuan untuk mensimulasikan proses pembubutan secara akurat bergantung pada ketersediaan properti material benda kerja yang akurat serta perubahan perilaku tegangan aliran benda kerja dengan parameter deformasi seperti regangan, laju regangan, dan suhu (Ebrahimi, 2019).

2.3.1 Mesin Bubut

Mesin bubut merupakan suatu permesinan yang paling banyak digunakan untuk mengerjakan benda yang berbentuk silindris. Prinsip kerja dari mesin bubut yaitu arah Gerakan yang melintang serta horizontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Y. Mesin bubut mampu mengurangi diameter serta menghaluskan permukaan benda kerja.

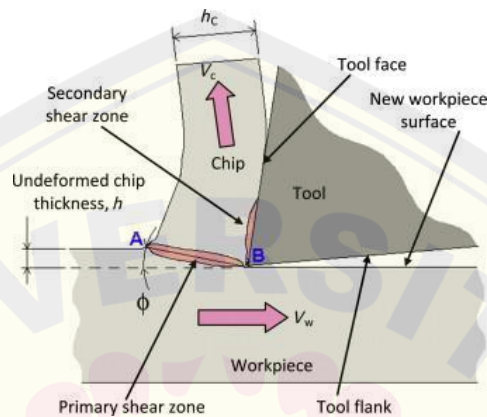
2.3.2 Parameter Mesin Bubut

Parameter permesinan khususnya mesin bubut meliputi beberapa parameter yaitu kecepatan potong (v), kedalaman potong (a), kecepatan pakan (v_f), *material removal rate* (Z), dan waktu pemotongan (t_c).

2.4 Pembentukan *Chips*

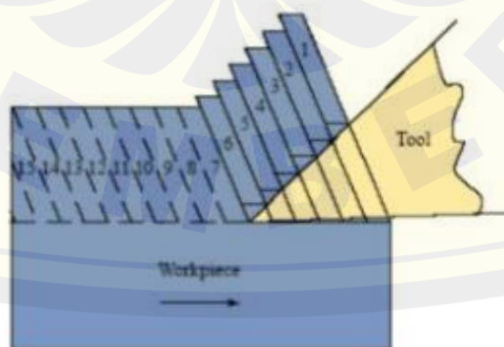
Pada gambar 2.1 mewakili model pembentukan chip dalam pemesinan. Pahat memotong benda kerja untuk melepas *chips* melalui deformasi plastik, benda

kerja bergerak dengan kecepatan V_w . Bahan yang terletak di depan *cutting edge* pertama-tama dikompresi dan dideformasi secara plastis sepanjang garis A–B; wilayah ini disebut zona geser primer (*primary shear zone*). Sebuah *chips* adalah dibentuk dari material yang dideformasi searah dengan sudut pemotongan (Haider, 2014)



Gambar 2.1 Deformasi pada pemotongan logam (Sumber: Haider, 2014)



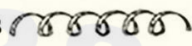





Dari Gambar 2.2 terlihat bahwa pembentukan *chips* dapat dianalogikan sebagai tumpukan kartu dengan posisi sedikit miring kemudian terdorong oleh papan yang membentuk sudut terhadap garis vertikal (sesuai dengan sudut *chips*) kemudian kartu akan tergeser ke atas diikuti kartu di belakangnya. Pergeseran ini berlangsung secara berurutan dan kartu terdorong melewati bidang diatas papan. Analogi kartu ini dapat menunjukkan kondisi sesungguhnya dari kristal logam (struktur butir metalograpia) yang terdeformasi sehingga lapisan tipis bergeser pada bidang geser (Buana, 2016).



Gambar 2.2 Formasi *chips* pada proses bubut menurut analogi kartu (Sumber: Buana, 2016)

2.4.1 Klasifikasi Bentuk Chips

Chips mempunyai bentuk yang berbeda-beda sesuai dengan klasifikasi CIRP pada gambar 2.3 terdapat 8 bentuk chips diantaranya: *ribbon chips*, *snearled chips*, *flat helical chips*, *log cylindrical helical chips*, *helical chip segment*, *spiral chips*, *spiral chips segment*, dan *discontinuous chips*.

1	ribbon chips		disadvantageous	
2	snearled chips			
3	flat helical chips			
4	long, cylindrical helical chips			
5	helical chip segments			favorable
6	spiral chips			
7	spiral chip segments			
8	discontinuous chips			usable

CIRP classification

Gambar 2.3 Klasifikasi bentuk chip (Sumber: Lotfi dkk, 2014)

2.4.2 Degree of Serration

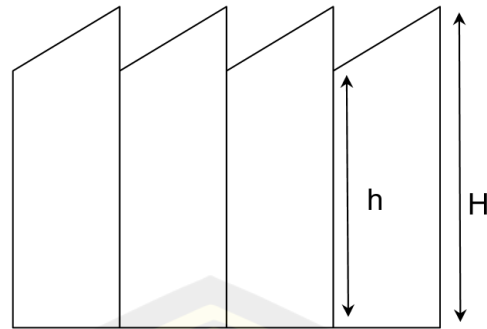
Chips yang memiliki tampilan seperti gigi gergaji karena adanya zona regangan geser rendah serta tinggi. Jenis *chips* ini terbentuk dalam suatu bahan yang kekuatan mekaniknya menurun dengan meningkatnya suhu dan yang memiliki konduktivitas termal yang rendah (Buana, 2016). Untuk menghitung tingkat pemisahan (*degree of serration*) pada jenis *chips* bersegmen atau mata gergaji dapat digunakan persamaan:

$$dos = (H - h) / H \times 100\% \tag{2.6}$$

Keterangan:

H = tinggi gunung

h = tinggi lembah



Gambar 2.4 Ilustrasi chips bersegmen

2.5 Baja S45C

Baja karbon S45C adalah baja karbon sedang. Komposisi baja karbon S45C adalah 0,45% unsur karbon, 0,15% unsur silikon dan sejumlah kecil mangan, fosfor dan belerang. Komposisi baja ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. Bahan ini sangat cocok untuk pembuatan kancing poros, kunci dan biasanya digunakan dalam minyak dan gas sebagai bahan utama dalam manufaktur *node shell* badan nosel. Keuntungan dari baja karbon S45C unggul dalam kemampuan las, *machinability* dan tidak ada efek dari berbagai pengujian perlakuan panas.

Tabel 2.1 Spesifikasi baja S45C

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mg	Ni+Cr
0,44	0,21	0,68	0,015	0,011	0,10	0,06	0,02	0,16

Sumber: PT. Intidaya Dinamika Sejati

2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metode baru dalam bidang teknik dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan juga menekan biaya serta sumber daya seminimal mungkin tetapi kualitas yang dihasilkan sebaik mungkin, sehingga memiliki kelebihan dalam merancang kualitas suatu produksi,

Metode Taguchi menitikberatkan pada suatu target tertentu dan mengurangi variasi suatu proses atau produk. Pencapaian ini dilakukan dengan menggunakan ilmu statistika. Dengan prinsip statistika pada metode Taguchi ini apabila terdapat sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses maka dapat diketahui seberapa besar pengaruh masing-masing parameter dalam mempengaruhi

hasil dari proses tersebut. Dengan metode Taguchi ini kesimpulan parameter yang dominan dapat ditarik, maka suatu optimasi dari parameter yang dominan tersebut dapat dilakukan, sehingga diperoleh proses yang optimum. Hasil dari proses tersebut dapat diperkirakan dengan metode Taguchi apabila digunakan kombinasi parameter yang berbeda dengan yang dilakukan pada pengujian, manfaat hasil prakiraan ini adalah untuk merencanakan suatu produksi.

2.6.1 Analisis Dalam Metode Taguchi

Analisis metode Taguchi yang merupakan implementasi terhadap desain kokoh (*robust design*), secara pokok terdiri dari beberapa tahapan, diantaranya:

- a. Perumusan masalah
- b. Perencanaan percobaan
- c. Melakukan percobaan dan pengumpulan data
- d. Analisis

2.7 Hipotesis

Proses pembubutan dengan metode MQL diprediksi dapat menghasilkan *chips discontinuous* karena menggunakan sistem penyemprotan secara terus menerus sehingga material mengalami pelumasan dan pendinginan secara langsung. Proses inilah yang menyebabkan *chips* yang mudah pecah, sehingga dihasilkan *nilai dos yang tinggi*.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode experimental dengan cara membandingkan parameter, yakni *depth of cut*, *cutting speed*, *cutting fluid*, serta *feed rate* terhadap nilai *dos* yang dihasilkan. Variasi *depth of cut* pada penelitian ini ada 3, yaitu 0,5 mm, 0,7 mm, dan 0,9 mm. *Cutting speed* sebesar 46,63 m/min, 82,66 m/min, dan 127,17 m/min. *Cutting fluid* berupa *tamanu oil*, *neat oil*, dan *soybean oil*. *Feed rate* sebesar 0,117 mm/rev, 0,135 mm/rev, dan 0,206 mm/rev.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2022 - Juni 2023 di Laboratorium Kerja Logam dan Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat Dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Alat

a. Mesin Bubut

Jenis mesin bubut yang digunakan pada penelitian kali ini adalah mesin bubut dengan spesifikasi kecepatan *spindle* sebesar 45-1800 rpm (16 langkah).

b. Kompresor

Kompresor digunakan untuk menyemprotkan *cutting fluid* saat proses permesinan berlangsung

c. Mesin Amplas

Amplas disini gunakan untuk menghaluskan hasil mounting sebelum hasil mounting yang berisikan chips diuji dengan mikroskop.

d. Mikroskop

Mikroskop yang digunakan adalah mikroskop dengan perbesaran maksimal 1000 kali.

3.3.2 Bahan

a. Baja S45C

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon sedang S45C dengan diameter 45 mm dan panjang 125 mm.

b. *Tamanu oil*, *neat oil*, dan *soybean oil*

c. Resin dan katalis resin

d. Pipa paralon

e. Larutan etsa (asam nitrat (HNO₃) 2% dan etanol (C₂H₅OH))

f. Amplas 100, 220, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000

g. Pahat Inset Carbide

Tabel 3.1 Spesifikasi kerja pahat

Spesifikasi Pahat	
ISO No	DCMT11T304
<i>Base Material</i>	<i>Carbide</i>
<i>Coating</i>	TiAlN PVD <i>coated</i>
<i>Feed Range</i>	0,07-0,25 mm/rev
<i>Depth of Cut Range</i>	0,50-2,50 mm
<i>Corner Radius</i>	0,4 mm

Sumber: Qoryah et al, 2021

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan pada saat penelitian, terdiri dari kegiatan persiapan penelitian, tahapan pengambilan data, tahap analisis data, hipotesis, kesimpulan dan saran.

a. Mempersiapkan mesin bubut.

b. Mempersiapkan compressor untuk penyemprotan MQL.

c. Mengumpulkan *chips* hasil pembubutan sesuai dengan nomer percobaan dan replikasinya.

d. Mengambil beberapa sampel *chips* dan di resin dengan cetakan pipa paralon.

e. Melakukan pengamplasan *chips* hasil mounting.

f. *Chips* yang telah di resin dan diberi larutan etsa dilihat menggunakan mikroskop dengan perbesaran 50-200 kali agar dapat diketahui tinggi gunung (H) dan tinggi lembah (h) pada penampang *chips* yang dihasilkan.

- g. Menghitung nilai *degree of serration* (dos) dari setiap sampel chips yang diperoleh.
- h. Melakukan pengujian mikro pada salah satu sampel chips.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel adalah faktor-faktor yang menjadi fokus dalam penelitian dan ditetapkan oleh peneliti dengan variasi pendukung penelitian yang dipelajari sehingga memperoleh informasi yang dibutuhkan dan dapat ditarik kesimpulan.

3.5.1 Variabel Bebas

Tabel 3.2 Variabel bebas dan level

Kode	Faktor	Level		
		1	2	3
A	<i>Depth of cut</i> (mm)	0,5	0,7	0,9
B	<i>Cutting Speed</i> (m/min)	46,63	82,66	127,17
C	<i>Cutting Fluid</i> (oil)	<i>Tamanu</i>	<i>Neat</i>	<i>Soybean</i>
D	<i>Feed Rate</i> (mm/rev)	0,117	0,135	0,206

3.5.2 Variabel Terikat

- a. Bentuk *chips* yang terjadi
- b. Nilai *degree of serration* (dos) pada *chips* yang terbentuk dari proses permesinan.

3.5.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan adalah metode MQL.

3.6 Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengamatan bentuk chips yang dihasilkan kemudian menghitung nilai *degree of serration*.

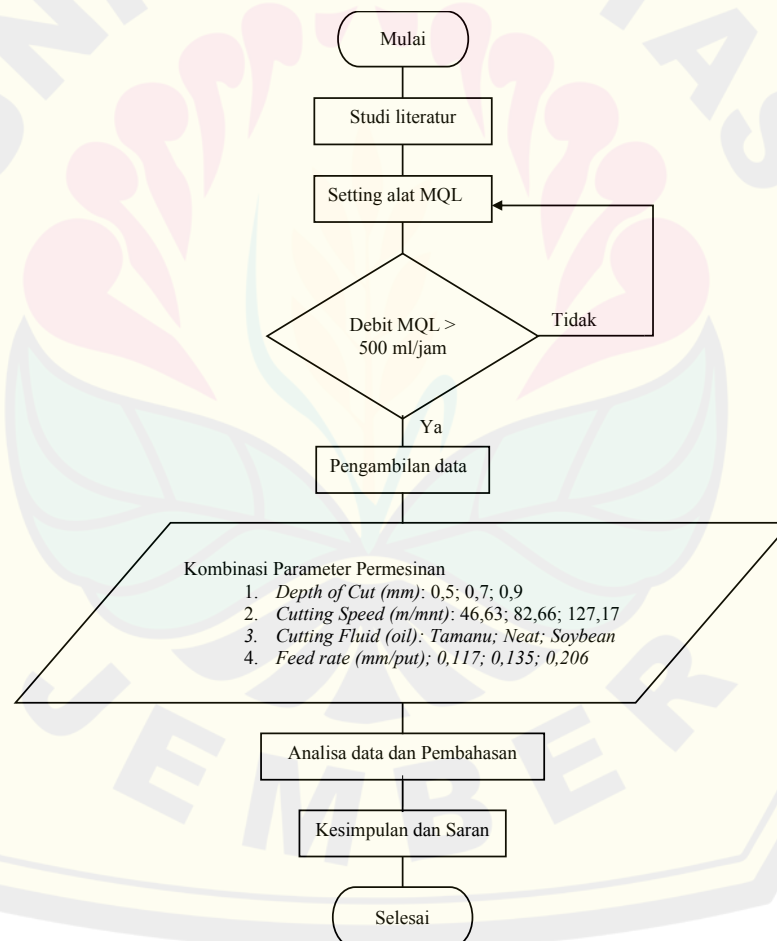
3.7 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

- a. Studi literatur.
- b. Pengambilan data
- c. Menganalisa data yang diperoleh menggunakan perhitungan:
 - 1) Rasio S/N

- 2) Analisis varian taguchi
- 3) Uji F Nilai
 - a) *Fhitung* yang lebih besar daripada *Ftabel* menunjukkan bahwa ada faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil *degree of serration*.
 - b) $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (Tidak ada pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)
 - c) $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (Adanya pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)
 - d. Interpretasi Hasil Eksperimen 1) Persen kontribusi 2) Interval Kepercayaan
 - e. Eksperimen konfirmasi

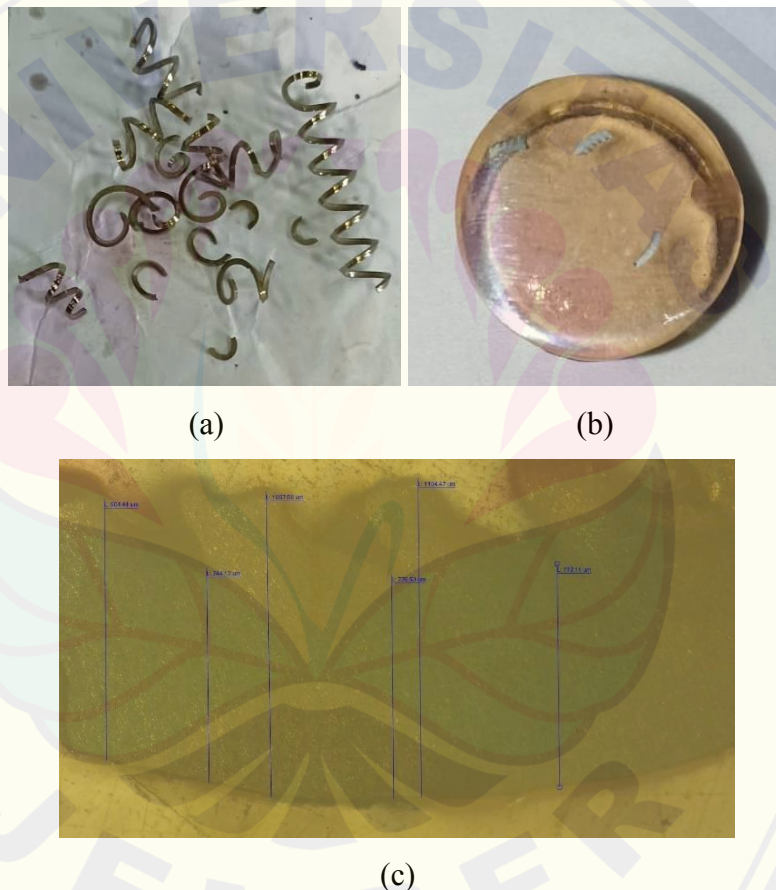
3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**4.1 Pengambilan Data**

Proses pengambilan data dilakukan dengan mengamati bentuk chips yang terjadi kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan *degree of serration (dos)* yang dijelaskan pada bab 2. *Chips* yang sudah diambil dipadatkan dengan resin kemudian difoto dengan mikroskop dan dilihat ukurannya menggunakan aplikasi *measurement* yang selanjutnya dilanjutkan dengan menghitung nilai *dos* pada *chips*.



Gambar 4.1 Chips hasil permesinan (a), chips yang telah diresin (b), chips yang difoto (c).

Bentuk *chips* yang kecil menyebabkan proses analisis menjadi sulit. Untuk memperoleh data yang valid setidaknya diambil minimal 3 nilai *dos* dari setiap replikasi, yang kemudian dirata-rata sebagai nilai *dos* akhir dari replikasi tersebut.

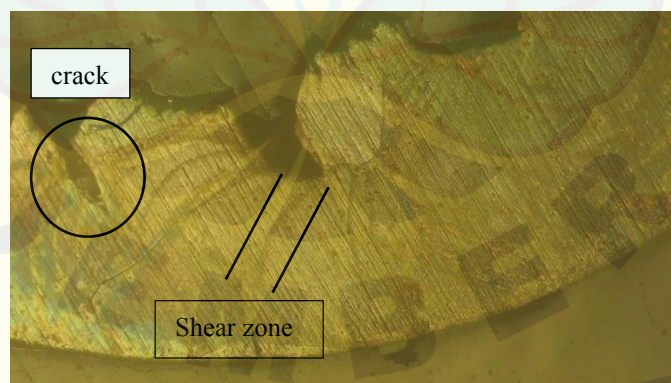
Perhitungan nilai *dos* menunjukkan perbandingan pengaruh tiga variable penelitian yang kemudian dimasukkan ke dalam tabel acuan untuk dilakukan analisis.

Tabel 4.1 Hasil pengujian

No	Faktor				Nilai <i>degree of serration</i> setiap replikasi (%)			Means
	<i>Depth Of Cut</i> (mm)	<i>Cutting Speed</i> (m/menit)	<i>Cutting Fluid</i> (oil)	<i>Feed Rate</i> (mm/rev)	1	2	3	
1.	0,5	46,63	Tamanu	0,117	66,70	52,64	44,38	54,57
2.	0,5	82,66	Neat	0,135	24,36	18,84	29,23	24,14
3.	0,5	127,17	Soybean	0,206	39,25	51,53	46,96	45,91
4.	0,7	46,63	Neat	0,206	41,20	34,21	25,15	33,52
5.	0,7	82,66	Soybean	0,117	31,68	34,35	22,41	29,48
6.	0,7	127,17	Tamanu	0,135	30,99	34,36	35,38	33,57
7.	0,9	46,63	Soybean	0,135	27,09	21,64	33,18	27,30
8.	0,9	82,66	Tamanu	0,206	45,61	35,09	25,88	35,53
9.	0,9	127,17	Neat	0,117	32,71	35,71	36,61	35,01

4.2 Hasil Pengujian

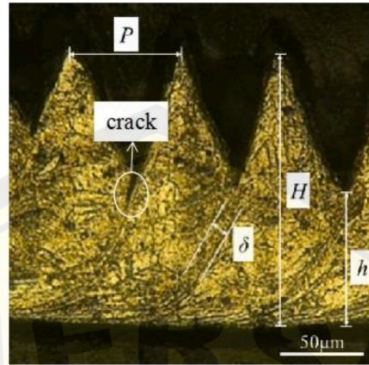
Gambar 4.2 menunjukkan sebuah penampang melintang dari potongan *chips*. Tampak bahwa *chips* yang terbentuk adalah berbentuk *serrated* (bergerigi) atau *segmented* (bersegmen). Akibat adanya pergeseran material karena desakan pahat dan terbentuk zona deformasi atau zona pergeseran material (*shear zone*).



Gambar 4.2 Struktur mikro dari chips

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa terbentuknya chips dapat dianalogikan dengan tumpukan kartu seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 sebelumnya. Pada

dasarnya, chips terbentuk karena adanya pergeseran yang terlokalisasi dalam suatu daerah yang sangat kecil / sempit sehingga menyebabkan terjadinya deformasi plastis dengan laju regangan yang sangat tinggi.



Gambar 4.3 Struktur mikro chips (Sumber: Zhao et all, 2020)

Pada penelitian (Zhao et all, 2020) pada proses pengefraisan material NiTi SMAs, mekanisme pembentukan serpihan diklasifikasikan karena lokalisasi pergeseran adiabatik atau inisiasi dan propagasi retakan. Sebagian besar peneliti cenderung mendukung teori pergeseran adiabatik. Selama proses pengefraisan, regangan dan laju regangan yang besar dalam deformasi material, dan suhu tinggi yang dihasilkan menyebabkan ketidakstabilan pergeseran adiabatik. Akibatnya, terbentuklah zona pergeseran adiabatik di dalam chips bergerigi. Pembentukan zona geser adiabatik mengakibatkan deformasi yang sangat tidak merata di dalam serpihan. Dan tingkat deformasi antara zona shear adiabatik dan wilayah di sekitar zona shear adiabatik sangat berbeda.

4.3 Perhitungan S/N Rasio

Metode Taguchi menggunakan perhitungan rasio signal to noise untuk eksa gangguan terhadap variasi yang terjadi. Perhitungan S/N rasio tergantung pada kondisi respon yang dicapai. Dalam metode taguchi terdapat tiga pilihan karakteristik respon yaitu *smaller the better*, *nominal is the best*, dan *larger the better*. Dalam penelitian ini, semakin tinggi persentase nilai *dos* yang dihasilkan, maka semakin baik. Oleh karena itu yang digunakan untuk mengoptimasi data ialah jenis *larger the better*. Untuk optimasi jenis ini, persamaan S/N rasio yang digunakan adalah:

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

Dari data yang telah diperoleh pada tabel 4.1 selanjutnya dihitung nilai S/N Rasio pada setiap percobaan. Contoh nilai S/N Rasio dari percobaan 1 dengan tiga nilai dos adalah sebagai berikut:

$$\eta_1 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{66,70^2} + \frac{1}{52,64^2} + \frac{1}{44,38^2} \right) \right)$$

$$\eta_1 = 34,38$$

Nilai S/N Rasio dari setiap percobaan disajikan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan S/N Rasio

No	Faktor				Means	S/N Rasio
	<i>Depth Of Cut</i> (mm)	<i>Cutting Speed</i> (m/menit)	<i>Cutting Fluid</i> (oil)	<i>Feed Rate</i> (mm/rev)		
1.	0,5	46,63	<i>Tamanu</i>	0,117	54,57	34,38
2.	0,5	82,66	<i>Neat</i>	0,135	24,14	27,23
3.	0,5	127,17	<i>Soybean</i>	0,206	45,91	33,07
4.	0,7	46,63	<i>Neat</i>	0,206	33,52	29,96
5.	0,7	82,66	<i>Soybean</i>	0,117	29,48	28,93
6.	0,7	127,17	<i>Tamanu</i>	0,135	33,57	30,48
7.	0,9	46,63	<i>Soybean</i>	0,135	27,30	28,33
8.	0,9	82,66	<i>Tamanu</i>	0,206	35,53	30,32
9.	0,9	127,17	<i>Neat</i>	0,117	35,01	30,85

4.4 Hasil Optimasi

Desain eksperimental taguchi sebagai matriks orthogonal yang dapat mengelompokkan pengaruh dari setiap parameter ke berbagai level. Contoh rata-rata respon *depth of cut* level 1 yaitu pada percobaan 1, 2, 3.

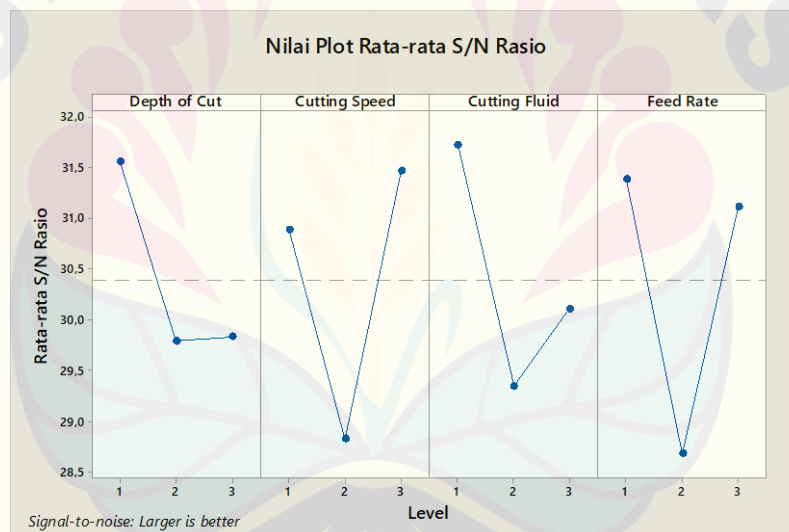
$$\bar{A}_1 = \frac{(34,38) + (27,23) + (33,07)}{3} = 31,56$$

Hasil perhitungan rata-rata untuk setiap faktor kendali dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Respon rata-rata S/N Rasio untuk setiap faktor kendali

SIMBOL	FAKTOR KENDALI	RATA-RATA		
		LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3
A	<i>Depth Of Cut</i> (mm)	31,56	29,79	29,84
B	<i>Cutting Speed</i> (m/mnt)	30,89	28,83	31,47
C	Cutting Fluid	31,73	29,35	30,11
D	<i>Feed Rate</i> (mm/rev)	31,39	28,68	31,12
RATA-RATA TOTAL		30,40		

Pada gambar 4.4 menunjukkan kombinasi parameter optimal untuk menghasilkan nilai degree of serration yang tinggi pada masing-masing nilai plot dari parameter penelitian. Untuk plot S/N Rasio nilai tertinggi *dos* untuk parameter *depth of cut* sebesar 31,56 pada level 1, parameter *cutting speed* sebesar 31,47 pada level 3, pada parameter jenis *cutting fluid* sebesar 31,73 di level 1, untuk *feed rate* di level 1 menghasilkan nilai sebesar 31,39.



Gambar 4.4 Nilai plot rata-rata S/N Rasio

Ditinjau dari gambar 4.4 tersebut dapat disimpulkan kombinasi parameter respons optimum pada penelitian ini disajikan pada tabel 4.4 dibawah.

Tabel 4.4 Tabel parameter respons optimum

Parameter	Level	Nilai
Depth of cut (mm)	1	0,5
Cutting speed (m/menit)	3	127,17
Cutting fluid (oil)	1	Tamanu
Feed rate (mm/rev)	1	0,117

4.5 Analisis Varians (Anova)

Anova merupakan teknik analisa yang digunakan untuk memperkirakan nilai secara kuantitatif pengaruh dari setiap faktor pada semua pengukur respon. Berikut ini merupakan perhitungan anova:

- a. \bar{y} = Rata-rata eksperimen keseluruhan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{66,70+52,64+44,38+\dots+36,61}{27}$$

$$\bar{y} = 35,45$$

- b. ST = Jumlah kuadrat total

$$ST = \sum y^2$$

$$= 66,70^2 + 52,64^2 + 44,38^2 + 24,36^2 + \dots + 36,61^2$$

$$= 36941,50$$

- c. Sm = Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$Sm = n \bar{y}^2$$

$$= 27 \cdot 35,45^2$$

$$= 33929,6$$

- d. Jumlah kuadrat karena faktor

Jumlah kuadrat untuk faktor A (Depth Of Cut)

$$S_A = \frac{[Total A1]^2}{n_1} + \frac{[Total A2]^2}{n_2} + \frac{[Total A3]^2}{n_3} - \frac{[Total A]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_A = \frac{[139792,54]^2}{9} + \frac{[83937,70]^2}{9} + \frac{[86155,30]^2}{9} - \frac{[916099,12]^2}{9+9+9}$$

$$= 502,13$$

Untuk jumlah kuadrat faktor B,C,D dapat dilihat pada lampiran.

- e. Se = Jumlah kuadrat error

$$ST = Sm + SA + SB + SC + SD + Se$$

$$Se = ST - Sm - SA - SB - SC - SD$$

$$= 36941,5 - 33929,6 - 502,13 - 444,08 - 500,56 - 690,76$$

$$= 874,37$$

- f. St = Jumlah total kuadrat karena faktor

$$St = SA + SB + SC + SD + Se$$

$$= 502,13 + 444,08 + 500,56 + 690,76 + 874,37$$

$$= 3011,90$$

g. Rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata jumlah kuadrat dihitung dari pembagian jumlah kuadrat faktor dengan derajat kebebasan faktor

Untuk faktor A (Depth of Cut)

$$MA = \frac{SA}{DKA}$$

$$= \frac{251,06}{2}$$

$$= 251,06$$

Untuk faktor B,C,D, dan Error dapat dilihat pada lampiran

h. F-hitung

F-hitung dihitung dari pembagian rata-rata jumlah kuadrat faktor dengan jumlah kuadrat error.

Untuk faktor A:

$$FA = \frac{MA}{M_{error}}$$

$$FA = \frac{251,06}{48,58}$$

$$= 5,17$$

Untuk faktor B,C,D, dan Error dapat dilihat pada lampiran

Tabel 4.5 ini merupakan hasil dari perhitungan anova faktor kendali terhadap respon nilai *degree of serration*.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan anova

Sumber	DK	S	M	F-hitung
A (Depth of Cut)	2	502,13	251,06	5,17
B (Cutting Speed)	2	444,08	222,04	4,57
C (Cutting Fluid)	2	500,56	250,28	5,15
D (Feed Rate)	2	690,76	345,38	7,11
Error	18	874,37	48,58	1
St	26	3011,90	115,84	-
Mean	1	33929,60	-	-
ST	27	36941,50	-	-

Persen kontribusi dari tiap faktor kendali yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada tabel 4.6 dengan contoh perhitungannya.

$$SA' = SA - DKA (ME)$$

$$SA' = 502,13 - 2 (48,58)$$

$$SA' = 404,98$$

$$\rho A = \frac{SA'}{St} \times 100\%$$

$$\rho A = \frac{404,98}{3011,9} \times 100\%$$

$$\rho A = 13,45 \%$$

Perhitungan persen kontribusi untuk faktor B,C,D dapat dilihat dilampiran.

Untuk error:

$$Se' = St - SA' - SB' - SC' - SD'$$

$$= 3011,9 - 404,98 - 346,93 - 403,41 - 593,6$$

$$= 1262,98$$

$$\rho \text{ Error} = \frac{Se'}{St} \times 100\%$$

$$\rho \text{ Error} = \frac{1262,98}{3011,9} \times 100\%$$

$$\rho \text{ Error} = 41,93 \%$$

Tabel 4.6 Persen kontribusi

Simbol	Parameter	Persen kontribusi
A	Depth of cut	13,45%
B	Cutting speed	11,52%
C	Cutting fluid	13,39%
D	Feed rate	19,71%
E	Error	41,93%
TOTAL		100%

4.6 Prediksi Respon Optimal

Nilai *dos* pembentukan *chips* yang optimal didasarkan pada kombinasi nilai rata-rata pada setiap tingkat parameter yang diteliti. Untuk setiap parameter yang memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai *dos* yang optimal adalah sebagai berikut:

1. *Depth of Cut* pada level 1
2. *Cutting Speed* pada level 3
3. *Jenis Cutting Fluid* pada level 1
4. *Feed Rate* pada level 1

nilai prediksi S/N Rasio dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\mu \text{ prediksi} = \bar{y} + (\bar{A} - \bar{y}) + (\bar{B} - \bar{y}) + (\bar{C} - \bar{y}) + (\bar{C} - \bar{y})$$

$$\mu \text{ prediksi} = 30,40 + ((31,56 - 30,40) + (31,47 - 30,40) + (31,73 - 30,40) + (31,39 - 30,40))$$

$$\mu \text{ prediksi} = 34,96$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai rata-rata prediksi untuk kombinasi parameter respon optimum sebesar 34,96

Penentuan interval kepercayaan rata-rata nilai degree of freedom prediksi dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$N_{eff} = \frac{\text{jumlah eksperimen}}{1 + \text{derajat kebebasan}}$$

$$N_{eff} = \frac{9 \times 3}{1 + (2 + 2 + 2 + 2)}$$

$$N_{eff} = 3$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{0,05;1;DKe} (Me)}{N_{eff}}}$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{0,05;1;18} (48,58)}{3}}$$

$$CI = \sqrt{\frac{4,41(48,58)}{3}}$$

$$CI = \sqrt{\frac{214,2378}{3}}$$

$$CI = \pm 8,45$$

Dengan demikian diperoleh nilai dari interval kepercayaan rata-rata nilai degree of serration terhadap proses pembentukan chips sebesar 95% adalah:

$$\mu \text{ prediksi} - CI \leq \mu \text{ prediksi} \leq \mu \text{ prediksi} + CI$$

$$34,96 - 8,45 \leq 34,96 \leq 34,96 + 8,45$$

$$26,51 \leq 34,96 \leq 43,41$$

4.7 Eksperimen Konfirmasi

Setelah diketahui hasil optimal dari setiap parameter maka langkah selanjutnya adalah melakukan eksperimen konfirmasi menggunakan parameter-parameter yang paling optimum yaitu *depth of cut* 0,5 mm, *cutting speed* 127,17 m/min, *cutting fluid tamanu oil* serta *feed rate* sebesar 0,117 mm/rev. Eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak 3 kali replikasi untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Tabel 4.7 merupakan data hasil eksperimen konfirmasi.

Tabel 4.7 Interpretasi hasil optimal

Faktor Kendali				Nilai <i>dos</i> setiap replikasi (%)			Means	S/N Rasio
<i>Depth Of Cut</i> (mm)	<i>Cutting Speed</i> (m/menit)	<i>Cutting Fluid</i>	<i>Feed Rate</i> (mm/rev)	1	2	3		
0,5	127,17	Tamanu	0,117	28,21	21,18	24,79	24,73	27,69

Berdasarkan tabel 4.7 dapat diketahui bahwa nilai S/N Rasio eksperimen konfirmasi adalah 27,69

Penentuan interval kepercayaan rata-rata nilai degree of freedom eksperimen konfirmasi dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$N_{eff} = \frac{\text{jumlah eksperimen}}{1 + \text{derajat kebebasan}}$$

$$N_{eff} = \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2+2)}$$

$$N_{eff} = 3$$

$$CI = \sqrt{F_{(0,05;V1;DKE)} ME \left[\left(\frac{1}{N_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]}$$

$$CI = \sqrt{F_{(0,05;1;18)} 48,58 \left[\left(\frac{1}{3} \right) + \left(\frac{1}{3} \right) \right]}$$

$$CI = \sqrt{4,41 \times 48,58 \left[\frac{2}{3} \right]}$$

$$CI = \sqrt{142,8252}$$

$$CI = \pm 11,95$$

Dengan demikian diperoleh nilai dari interval kepercayaan rata-rata nilai degree of serration terhadap proses pembentukan chips sebesar 95% adalah:

$$\text{eksperimen konfirmasi} - CI \leq \text{eksperimen konfirmasi} \leq \text{eksperimen konfirmasi} + CI$$

$$27,69 - 11,95 \leq 27,69 \leq 27,69 + 11,95$$

$$15,74 \leq 27,69 \leq 39,64$$

4.8 Uji F

Uji F merupakan uji validitas data dengan sebuah data dengan cara membandingkan F-ratio dengan F-tabel. Jika F-ratio < F-tabel maka H₀ diterima, jika F-ratio > F-tabel maka H₁ diterima. Pada perhitungan ini:

H₀ : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (Tidak ada pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

H₁ : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (Adanya pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

Pada penelitian ini menggunakan nilai signifikansi sebesar 0,05. Jadi F-tabel yang digunakan menggunakan F-tabel 0,05 ($F_{(0,05;2;18)}$). Pengujian F parameter kendali dapat dilakukan sebagai berikut.

a. Hipotesa untuk faktor A

H₀ : Tidak ada pengaruh variasi faktor A terhadap nilai dos

H₁ : Ada pengaruh variasi faktor A terhadap nilai dos

F-hitung > F-tabel : 5,17 > 3,55

Kesimpulan: DoC memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai dos

b. Hipotesis untuk faktor B

H₀ : Tidak ada pengaruh variasi faktor B terhadap nilai dos

H₁ : Ada pengaruh variasi faktor B terhadap nilai dos

F-hitung > F-tabel : 4,57 > 3,55

Kesimpulan: *Cutting speed* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai dos

c. Hipotesis untuk faktor C

H₀ : Tidak ada pengaruh variasi faktor C terhadap nilai dos

H₁ : Ada pengaruh variasi faktor C terhadap nilai dos

F-hitung > F-tabel : 5,15 > 3,55

Kesimpulan: *Cutting fluid* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai dos

d. Hipotesis untuk faktor D

H₀ : Tidak ada pengaruh variasi faktor terhadap nilai dos

H₁ : Ada pengaruh variasi faktor D terhadap nilai dos

F-hitung > F-tabel : 7,11 > 3,55



Kesimpulan: *Feed rate* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai dos.





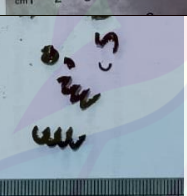


4.9 Pembahasan

a. Analisis pembentukan chips

Baja S45C adalah baja karbon menengah dengan keuletan yang baik. Pada proses pemesinan benda kerja akan mengalami tekanan oleh pahat yang menimbulkan tegangan. Pada tegangan tersebut terjadi fenomena tegangan geser yang berakibat terjadinya deformasi plastis karena tegangan geser melebihi kekuatan material sehingga menggeser dan memutus benda kerja di ujung pahat dan terbentuklah *chips* (Mudjijanto et al, 2019). *Chips* yang terbentuk memiliki bentuk yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan percobaan 1-9 kombinasi faktor (parameter) dan level yang digunakan berbeda-beda. Sehingga kombinasi tersebut juga menyebabkan *chips* yang dihasilkan juga berbeda. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 hasil bentuk chips

No	Faktor				Hasil chips	Kategori bentuk chips
	<i>Depth Of Cut</i> (mm)	<i>Cutting Speed</i> (m/menit)	<i>Cutting Fluid</i> (oil)	<i>Feed Rate</i> (mm/rev)		
1.	0,5	46,63	Tamanu	0,117		<i>Helical chip segment</i>
2.	0,5	82,66	Neat	0,135		<i>Discontinuous chip</i>

3.	0,5	127,17	Soybean	0,206		<i>Discontinuous chip</i>
4.	0,7	46,63	Neat	0,206		<i>Helical chip segment</i>
5.	0,7	82,66	Soybean	0,117		<i>Helical chip segment</i>
6.	0,7	127,17	Tamanu	0,135		<i>Flat helical chips</i>
7.	0,9	46,63	Soybean	0,135		<i>Helical chip segment</i>
8.	0,9	82,66	Tamanu	0,206		<i>Helical chip segment</i>
9.	0,9	127,17	Neat	0,117		<i>Flat helical chip</i>

b. *Depth of cut*

Pada penelitian ini nilai *doc* pada level 1 merupakan parameter yang paling optimal dan menghasilkan nilai *dos* semakin besar. Nilai kontribusinya sebesar 13,45%. Pada parameter *doc* level 1 chips yang yang dihasilkan juga berbentuk *discontinuous chips* yang mana nilai *dos*nya besar. Hal ini dikarenakan pada *depth of cut* yang lebih kecil, menyebabkan ketebalan chips juga semakin mengecil sehingga chips mudah patah dan menghasilkan nilai *dos* yang besar. Penurunan ketebalan *chips* memberikan keuntungan berupa gaya pemotongan yang lebih rendah yang dibutuhkan untuk memotong serpihan dari bahan benda kerja (Suresh et al, 2012).

Pada penelitian Natasha et al (2014) *depth of cut* yang lebih rendah menghasilkan serpihan yang lebih tipis yang mengakibatkan rasio pemotongan yang lebih tinggi, sehingga menurunkan koefisien gesek.

c. *Cutting speed*

Nilai kontribusi parameter *cutting speed* sebesar 11,52%. *Cutting speed* level 3 merupakan parameter yang paling optimal untuk menghasilkan *dos* yang tinggi dalam penelitian ini. Secara umum, ketebalan chip berkurang dengan peningkatan kecepatan pemotongan, dan hal ini juga disebabkan oleh peningkatan sudut geser (Xu et al, 2014). Kecepatan pemotongan meningkat selama proses pemesinan, gaya pemotongan meningkat dengan cepat karena beban pemotongan yang lebih besar dan energi pemotongan menjadi lebih tinggi untuk menghilangkan material pada benda kerja (Li et al, 2017). Pada penelitian NiTi SMAs oleh Zhao et al (2020), ketebalan chip cenderung menurun seiring dengan meningkatnya *cutting speed*. Pengurangan ketebalan chip inilah yang menyebabkan meningkatkan nilai *dos*. Sehingga semakin cepat *cutting speed*, nilai *dos* semakin besar.

d. *Cutting fluid*

Parameter *cutting fluid* memiliki kontribusi sebesar 13,39%. Pada penelitian ini minyak tamanu (level 1) yang menghasilkan nilai paling optimum dibanding minyak yang lainnya karena nilai *dos* yang dihasilkan besar. Setelah dilakukan pengujian viskositas pada suhu 40° dan 100° didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil uji viskositas

<i>Cutting fluid</i>	40°	100°
<i>Tamanu oil</i>	110 mPa.S	15 mPa.S
<i>Neat oil</i>	26 mPa.S	2 mPa.S
<i>Soybean oil</i>	130 mPa.S	32 mPa.S

Penggunaan *tamanu oil* bisa menghasilkan dos yang tinggi karena adanya pelumasan yang baik sehingga mengurangi gesekan pahat dan benda kerja (Sani et al, 2021). Pada penelitian Wulandari et al (2020) penggunaan *tamanu oil* dalam proses permesinan dapat menghasilkan kinerja yang lebih baik, pahat tidak mudah aus dan mengurangi suhu gesekan antara alat dan benda kerja sehingga hasil permesinan menjadi lebih baik.

e. *Feed rate*

Feed rate pada penelitian ini menghasilkan nilai kontribusi yang besar yaitu 19,71%. Nilai optimalnya berada di level 1 karena menghasilkan nilai dos yang lebih besar daripada level lainnya. Pada *feed rate* yang kecil, material menghasilkan chips yang mirip dengan puing-puing terfragmentasi, sementara pada *feed rate* yang tinggi menghasilkan chips yang panjang dan kontinu. Pada *feed rate* yang lebih kecil, chips *discontinuous* dihasilkan, sementara *feed rate* yang tinggi lebih banyak menghasilkan chips yang panjang dan kontinu (Rahman et al, 2021).

f. *Error*

Pada penelitian ini hasil perolehan data menggunakan metode Taguchi menunjukkan adanya *error* sebesar 41,93% yang berarti melebihi batas normal yang dianjurkan, yaitu sebesar 15%. *Error* ini terjadi karena pada saat proses pengamplasan permukaan *chips* yang diresin tidak sama rata antar replikasi satu dengan lainnya. Sehingga menyebabkan beberapa gigi *chips* terkikis. Jika nilai persen kontribusi *error* kurang dari 15% berarti tidak ada pengaruh faktor yang diabaikan. Jika persen kontribusi *error* 15% sampai 50% berarti ada pengaruh faktor akan tetapi diabaikan dalam penelitian ini. Dimana nilai *error* pada penelitian ini mencapai 41,93%. Data yang diperoleh akan dianggap masih bisa digunakan selama nilai *error* tidak melebihi 50% (Soejanto, 2019).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

- a. Bentuk chips yang dihasilkan dalam penelien ini adalah *helical chip segment* sebanyak 5 percobaan (55,55%), *flat helical chip* 2 percobaan (22,22 %), dan *discontinuous chip* 2 percobaan (22,22%).
- b. Kombinasi parameter *depth of cut* 0,5 mm, *cutting speed* 127,17 m/min, *cutting fluid* minyak tamanu dan *feed rate* 0,117 mm/rev adalah kombinasi parameter terbaik untuk menghasilkan nilai dos yang tinggi. Sedangkan untuk kontribusi setiap faktor adalah 13,45% untuk *depth of cut*, 11,52% untuk *cutting speed*, 13,39% untuk *cutting fluid*, dan 19,71 untuk *feed rate*.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka pada penelitian kali ini terdapat beberapa saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik:

- a. Perlu diperhatikan kembali apakah pengaturan parameter permesinan sudah sesuai ketentuan dan spesifikasi baik itu alat atau bahan yang digunakan.
- b. Sebaiknya replikasi chips diresin satu-persatu untuk menghindari gigi chips terkikis karena permukaan yang tidak sama rata akibat chips diresin bersama-sama.
- c. Penggunaan APD saat proses pembubutan agar tidak terkena chips yang terlempar.

DAFTAR PUSTAKA

- Buana, F. 2016. Analisa pembentukan geram pada proses pembubutan baja AISI 4340. Medan: Sekolah Tinggi Teknik Harapan.
- Darsin, M., N. K. Pratama, R. Dwi, H. Qoryah, dan Y. Hermawan. 2022. Study of chip formation in turning of aisi 4340 under minimum quantity lubrication (mql). *Gongcheng Kexue Yu Jishu/Advanced Engineering Sciences*. 54(02):1007–1020.
- Dhar, N. R., S. Islam, M. Kamruzzaman. 2007. Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4340 steel. *G.U. Journal of Science*. 20(2): 23-32.
- Ebrahimi, S. M, A. Araee, & dan M. Hadad. 2019. Investigation of the effects of constitutive law on numerical analysis of turning processes to predict the chip morphology, tool temperature, and cutting force. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 105:4245-4264.
- Ginting, B. 2014. Study pengaruh parameter pemotongan terhadap geometri geram pada pemesinan laju tinggi, keras dan kering. *Dinamis*. II(1):23–31.
- Haider, J. 2014. Health and Environmental Impacts in Metal Machining Processes. Dublin:Elsevier
- Klocke, F. 2011. Manufacturing Processes 1 RWTH edition. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg.
- Li, A., J. Zhao, G. Hou. 2017. Effect of cutting speed on chip formation and wear mechanisms of coated carbide tools when ultra-high-speed face milling titanium alloy Ti-6Al-4V. *Advances in Mechanical Engineering* Vol. 9(7):1–13
- Lotfi, M., A.A Farid, H. Soleimanimehr. 2014. The effect of chip breaker geometry on chip shape, bending moment, and cutting force: FE analysis and experimental study. *Int J Adv Manuf Technology* (78):917–925
- Mudjijanto, E. Sutarto, Sarip. 2019. Analisis Karakteristik Geram Dan Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut Kecepatan Rendah Terhadap Baja Karbon. *SIMETRIS* (13):1
- Natasha, A.R., H. Othman, J.A. Ghani, C.H.C. Haron, dan J. Syarif. 2014. Chip Formation and Coefficient of Friction in Turning S45C Medium Carbon Steel. *IJMME-IJENS* (14):06

- Pathak, K. 2017:53. Manufacturing process II total book from IIT kharagpur. Kharagpur: Indian Institute of Technology.
- Qoryah, R. D. H., A. W. Azizi, dan M. Darsin. 2020. A Study of Chip Formation on Turning with Minimum Quantity Lubrication Method (MQL). *EMITTER International Journal of Engineering Technology*. 2020.
- Rahdiyanta. 2010. Materi kuliah proses pemesinan. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rahman, M.A., M.S. Bhuiyan, S. Sharma. 2021. Influence of Feed Rate Response (FRR) on Chip Formation in Micro and Macro Machining of Al Alloy. *Metals* (11): 159
- Sani, A.S.A., S. Baharon, N.A. Mamat. 2021. Comparative evaluation of crude Tamanu oil performance as metalworking fluids. *Materials Today: Proceedings xxx (xxxx) xxx*
- Setiyana, Rusnaldy, Nuryanto. 2005. Pengaruh kecepatan potong pada proses pemesinan kecepatan tinggi terhadap geometri dan kekerasan geram untuk beberapa logam dengan variasi nilai kekuatan tarik. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Singh, B.K., H. Roy, B. Mondal, S.S. Roy, dan N. Mandal. 2019. Measurement of chip morphology and multi criteria optimization of turning parameters for machining of AISI 4340 steel using Y-ZTA cutting insert. *Measurement* (142):181-194
- Soejanto. I. 2019. Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Wulandari, W. N., M. Darsin, dan R. K. K. Wibowo. 2020. Study on characteristics of calophyllum inophyllum oil as a new alternative cutting fluid. *AIP Conference Proceedings*. 26 October 2020. AIP Publishing:020010
- Xu, Daochun., P. Feng, W. Li, Y. Ma, B. Liu. 2014. Research on chip formation parameters of aluminum alloy 6061-T6 based on high-speed orthogonal cutting model (72):955–962
- Zhao, Y., J. Li., K. Guo, V. Sivalingan, dan J. Sun. 2020. Study on chip formation characteristics in turning NiTi shape memory alloys. *Journal of Manufacturing Processes*(58):787-795

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai *Cutting Speed*

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

- a. Kecepatan spindle 330

$$V_c = \frac{3,14 \cdot 45 \cdot 330}{1000} = 46,63 \text{ m/mnt}$$

- b. Kecepatan spindle 585

$$V_c = \frac{3,14 \cdot 45 \cdot 585}{1000} = 82,66 \text{ m/mnt}$$

- c. Kecepatan spindle 900

$$V_c = \frac{3,14 \cdot 45 \cdot 900}{1000} = 127,17 \text{ m/mnt}$$

Lampiran 2. Perhitungan jumlah kuadrat karena faktor

Faktor B (Cutting Speed)

$$S_B = \frac{[Total B1]^2}{n_1} + \frac{[Total B2]^2}{n_2} + \frac{[Total B3]^2}{n_3} - \frac{[Total B]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_B = \frac{[119851,63]^2}{9} + \frac{[71528,81]^2}{9} + \frac{[117982,65]^2}{9} - \frac{[916099,12]^2}{9+9+9}$$

$$= 444,08$$

Faktor C (Cutting Fluid)

$$S_C = \frac{[Total C1]^2}{n_1} + \frac{[Total C2]^2}{n_2} + \frac{[Total C3]^2}{n_3} - \frac{[Total C]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_C = \frac{[137658,09]^2}{9} + \frac{[77293,05]^2}{9} + \frac{[94920,29]^2}{9} - \frac{[916099,12]^2}{9+9+9}$$

$$= 500,56$$

Faktor D (Feed Rate)

$$S_D = \frac{[Total D1]^2}{n_1} + \frac{[Total D2]^2}{n_2} + \frac{[Total D3]^2}{n_3} - \frac{[Total D]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_D = \frac{[127574,94]^2}{9} + \frac{[65054,04]^2}{9} + \frac{[118954]^2}{9} - \frac{[916099,12]^2}{9+9+9}$$

$$= 690,76$$

Lampiran 3. Perhitungan rata-rata jumlah kuadrat

Faktor B (Cutting Speed)

$$\begin{aligned} MB &= \frac{SB}{DKB} \\ &= \frac{444,08}{2} \\ &= 222,04 \end{aligned}$$

Faktor C (Cutting Fluid)

$$\begin{aligned} MC &= \frac{SC}{DKC} \\ &= \frac{500,56}{2} \\ &= 250,28 \end{aligned}$$

Faktor D (Feed Rate)

$$\begin{aligned} MD &= \frac{SD}{DKD} \\ &= \frac{690,76}{2} \\ &= 345,38 \end{aligned}$$

Faktor Error

$$\begin{aligned} ME &= \frac{SE}{DKE} \\ &= \frac{874,37}{18} \\ &= 48,58 \end{aligned}$$

Lampiran 4. Perhitungan F-rasio

Faktor B (Cutting Speed)

$$\begin{aligned} FB &= \frac{MB}{M_{error}} \\ &= \frac{222,04}{48,58} \\ &= 4,57 \end{aligned}$$

Faktor C (Cutting Fluid)

$$\begin{aligned} FC &= \frac{MC}{M_{error}} \\ &= \frac{250,28}{48,58} \\ &= 5,15 \end{aligned}$$

Faktor D (Feed Rate)

$$FD = \frac{MD}{M_{error}}$$

$$FD = \frac{345,38}{48,58}$$

$$= 7,11$$

Lampiran 5. Perhitungan persen kontribusi

Faktor B (Cutting Speed)

$$SB' = SB - DKB \text{ (ME)}$$

$$SB' = 444,08 - 2 (48,58)$$

$$SB' = 346,93$$

$$\rho B = \frac{SB'}{St} \times 100\%$$

$$\rho B = \frac{346,93}{3011,9} \times 100\%$$

$$\rho B = 11,52 \%$$

Faktor C (Cutting Speed)

$$SC' = SC - DKC \text{ (ME)}$$

$$SC' = 500,56 - 2 (48,58)$$

$$SC' = 403,41$$

$$\rho C = \frac{SC'}{St} \times 100\%$$

$$\rho C = \frac{403,41}{3011,9} \times 100\%$$

$$\rho C = 13,39 \%$$

Faktor D (Feed Rate)

$$SD' = SD - DKD \text{ (ME)}$$

$$SD' = 690,76 - 2 (48,58)$$

$$SD' = 593,61$$

$$\rho D = \frac{SD'}{St} \times 100\%$$

$$\rho D = \frac{593,61}{3011,9} \times 100\%$$

$$\rho D = 19,71 \%$$

Lampiran 6. Perhitungan S/N Rasio

$$\eta_2 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{24,36^2} + \frac{1}{18,84^2} + \frac{1}{29,23^2} \right) \right)$$

$$\eta_2 = 27,23$$

$$\eta_3 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{39,25^2} + \frac{1}{51,53^2} + \frac{1}{46,96^2} \right) \right)$$

$$\eta_3 = 33,07$$

$$\eta_4 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{41,20^2} + \frac{1}{34,21^2} + \frac{1}{25,15^2} \right) \right)$$

$$\eta_4 = 29,96$$

$$\eta_5 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{31,68^2} + \frac{1}{34,35^2} + \frac{1}{22,41^2} \right) \right)$$

$$\eta_5 = 28,93$$

$$\eta_6 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{30,99^2} + \frac{1}{34,36^2} + \frac{1}{35,38^2} \right) \right)$$

$$\eta_6 = 30,48$$

$$\eta_7 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{27,09^2} + \frac{1}{21,64^2} + \frac{1}{33,18^2} \right) \right)$$

$$\eta_7 = 28,33$$

$$\eta_8 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{45,61^2} + \frac{1}{35,09^2} + \frac{1}{25,88^2} \right) \right)$$

$$\eta_8 = 30,32$$

$$\eta_9 = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{32,71^2} + \frac{1}{35,71^2} + \frac{1}{36,61^2} \right) \right)$$

$$\eta_9 = 30,85$$

Lampiran 7. Tabel distribusi F 0,05

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89