



**STUDI PEMBENTUKAN TATAL PADA PERMESINAN BUBUT  
DENGAN METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL)**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Agil Widhy Azizi**

**NIM. 151910101089**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**STUDI PEMBENTUKAN TATAL PADA PERMESINAN BUBUT  
DENGAN METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL)**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Agil Widhy Azizi**

**NIM. 151910101089**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## 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 rahmatNya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai dengan waktu yang ditargetkan.
2. Kepada keluarga saya, Ayah Edy Sudarsono, Ibuk Wiji Rukhani, Mbak Widhy Roviantika, S.T., Mas Adiansyah To'at Saputro dan Adik Fazwa Islahi Widhy. Terimakasih atas segala bentuk kasih sayang dan juga semangat yang diberikan sehingga skripsi ini dapat selesai sesuai harapan.
3. Sabrina Amalia Elhatsa, S.Sn. Terimakasih atas segala bentuk perhatian dan kasih sayang yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat selesai.
4. Dosen Pembimbing Utama, Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T., Dosen Pembimbing Anggota, Bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Dosen Pembimbing Akademik, Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. Terimakasih Atas bimbingan dan semangat yang telah diberikan selama ini sehingga skripsi ini dapat selesai sesuai harapan.
5. Seluruh jajaran dosen Teknik Mesin Universitas Jember Atas Ilmu yang telah diberikan selama ini, semoga ilmu yang telah Bapak/Ibu berikan dapat bermanfaat dan bisa saya gunakan sebagai bekal masa depan.
6. Saudara seperjuangan kelompok skripsi MQL. Dicky Aprilian Nugraha, Allen Luvandy, Gerry Gardika Surya Dinata dan Maulana Muhammad Firdaus. Semoga persaudaraan ini bisa berlangsung selamanya dan tali silaturahmi tetap terjaga.
7. Seluruh Mahasiswa Teknik Mesin Unej 2015.

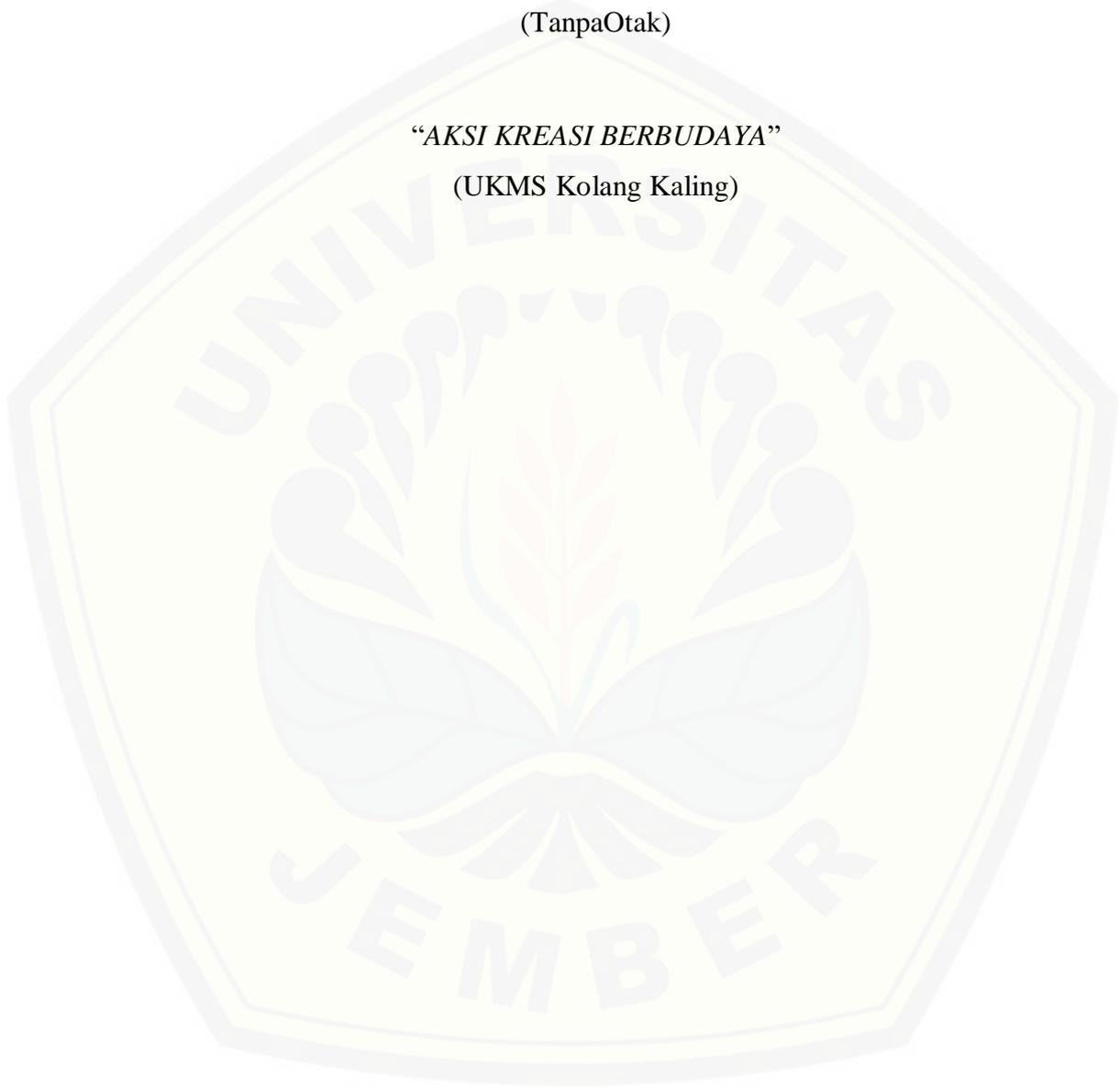
**MOTTO**

*“Bara-barakanlah Persemangatan yang Membara”*

(TanpaOtak)

*“AKSI KREASI BERBUDAYA”*

(UKMS Kolang Kaling)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agil Widhy Azizi

NIM : 151910101089

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Studi Pembentukan Tatal pada Permesinan Bubut dengan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL)” adalah hasil karya sendiri dengan tambahan referensi dari sumber-sumber yang telah saya cantumkan, skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi mana pun dan bukan meruka hasil jiplakan. Saya bertanggung jawab atas isi skripsi ini sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta siap mendapatkan sanksi akademik jika pernyataan yang saya buat ini tidak benar.

Jember, 3 Desember 2019

yang menyatakan

Agil Widhy Azizi

NIM. 151910101089

**SKRIPSI**

**STUDI PEMBENTUKAN TATAL PADA PERMESINAN BUBUT  
DENGAN METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL)**

Oleh :

**Agil widhy Azizi**

**151910101089**

**Pembimbing**

Pembimbing Utama : Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T.

Pembimbing Anggota : Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.

**PENGESAHAN**

Sripsi dengan judul “Studi Pembentukan Tatal pada Permesinan Bubut dengan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL)” telah diuji dan disahkan pada

Hari, Tanggal : Selasa, 3 Desember 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Penguji**

Ketua,

Sekretaris,

Ir. Rika Dwi Hidayatul Q, S.T., M.T.  
NIP. 760014642

Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D  
NIP. 197003221995011001

Anggota 1,

Anggota 2,

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

Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.  
NIP. 198501172012121001

**Mengesahkan,**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM  
NIP. 196612151995032001

## RINGKASAN

**Studi Pembentukan Tatal pada Permesinan Bubut dengan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL);** Agil Widhy Azizi; 151910101089; 2019; 66 halaman; jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam perkembangan industri manufaktur tentu sangat tidak lepas dengan adanya proses permesinan. Proses permesinan adalah proses menghilangkan bagian benda kerja dengan cara pemotongan bagian yang tidak diperlukan menggunakan pahat (*cutting tool*) sehingga terbentuk komponen benda kerja yang dikehendaki. Material benda kerja yang terbuang atau tidak terpakai disebut juga dengan *chips* (Rahdiyanta, 2010). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) *chips* atau serpihan material yang dihasilkan dalam proses permesinan disebut dengan istilah tatal, namun pada beberapa penelitian tentang *chips formation* digunakan istilah geram (Setiayana dkk, 2005) dan beram (Rahdiyanta, 2010). Untuk keseragaman istilah pada laporan ini akan digunakan istilah tatal untuk penyebutan *chips* dalam keseluruhan penulisan laporan ini.

Penelitian tentang pembentukan tatal membantu untuk memahami karakteristik tatal dan untuk mencapai bentuk tatal yang menguntungkan. Bentuk tatal adalah indeks penting dalam permesinan karena dapat menunjukkan secara langsung maupun tidak langsung sifat dan perilaku bahan benda kerja dalam kondisi permesinan. Selain itu dapat menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan ketika proses pemotongan berlangsung dalam proses permesinan.

Dengan diperkenalkan ISO 14000 undang-undang tentang lingkungan, perusahaan dianjurkan untuk mengurangi atau menghilangkan metal cutting fluids dari proses permesinan. Sehingga diperlukan sebuah metode baru untuk proses pendinginan dan pelumasan dengan jumlah cairan sedikit yang berbasis minyak nabati. Metode tersebut lebih dikenal dengan *minimum quantity lubricant* (MQL). MQL adalah proses metal cutting dengan menggunakan colant atau lubricant yang dicampur dengan udara yang terkompresi. Campuran udara dengan kecepatan 30

m/s dan cairan antara 5-30 ml/h. Campuran ini tidak banyak menggunakan bahan cair sehingga dapat lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Arifianto dkk, 2016).

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium kerja logam dan Laboratorium uji material, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember pada bulan Mei hingga September 2019. Penelitian ini mengambil data nilai *degree of seration* yang dihasilkan dengan metode Taguchi berdasarkan matriks orthogonal L9 dengan pengulangan sebanyak 3 kali untuk tiap kombinasinya.

Kontribusi faktor kendali pada nilai *degree of seration* yang signifikan dipengaruhi oleh faktor kendali yaitu *depth of cut* dengan kontribusi sebesar 72,531%, kontribusi komposisi sebesar 6,249%, dan metode pemberian cairan pelumas dengan kontribusi sebesar 4,449%. Kondisi optimal yang dihasilkan adalah pada *depth of cut* level 2 (1,8 mm), komposisi level 2 (5:5), dan metode level 3 (*flood*).

## SUMMARY

***Studi of Chips Formation on Turning with Minimum Quantity Lubrication Method (MQL)***; Agil Widhy Azizi; 151910101089; 2019; 66 pages; majoring in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

*In the development of the manufacturing industry, of course it cannot be separated from the machining process. The machining process is the process of removing parts of a workpiece by cutting parts that are not needed using a cutting tool to form the desired workpiece components. Wasted or unused workpiece materials are also called chips (Rahdiyanta, 2010). According to the Indonesian Dictionary (KBBI) chips or material flakes produced in the machining process are called tatal, but in some studies on chips formation the term geram (Setiayana dkk, 2005) and beram (Rahdiyanta, 2010). For uniformity of terms in this report we will use the term tatal to mention chips in the overall writing of this report.*

*Research on the chips formation helps to understand the characteristics of chips and to achieve a favorable form of chips. Chips form is an important index in machining because it can show directly or indirectly the nature and behavior of workpiece material in machining conditions. Besides that it can show the amount of energy needed when the cutting process takes place in the machining process.*

*With the introduction of ISO 14000 on the environment law, companies are encouraged to reduce or eliminate metal cutting fluids from the machining process. So we need a new method for the process of cooling and lubrication with a small amount of liquid based on vegetable oil. This method is better known as the minimum quantity lubricant (MQL). MQL is a metal cutting process using a coolant or lubricant mixed with compressed air. Mixture of air with a speed of 30 m/s and a liquid between 5-30 ml/h. This mixture does not use a lot of liquid ingredients so it can be more economical and environmentally friendly (Arifianto dkk, 2016).*

*This research was conducted at the metal work laboratory and material testing laboratory, Mechanical Engineering, University of Jember from May to September 2019. This study took data of the degree of seration value generated by the Taguchi method based on the orthogonal L9 matrix with repetition 3 times for each combination.*

*Contribution of factor to the degree of seration value which is significantly influenced by factors is depth of cut with a contribution of 72.531%, composition contribution of 6.249%, and method of applying lubricating fluid with a contribution of 4.449%. The resulting optimal conditions are at depth of cut level 2 (1.8 mm), composition level 2 (5: 5), and method level 3 (flood).*

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Metode *Minimum Quantity Lubricant* (MQL) terhadap Pembentukan tatal”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih 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 Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
2. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mendampingi dan membimbing saya selama 4 tahun menjadi mahasiswa Universitas Jember.
3. Dosen dan seluruh karyawan Teknik Mesin Universitas Jember.
4. Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya untuk memberikan masukan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya untuk memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
6. Ayah dan Ibuk serta seluruh keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat selesai pada waktunya.
7. Sabrina Amalia Elhatsa, S.Sn. selaku penyemangat dan motivasi saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi lebih cepat.

8. Grup Research MQL yang beranggotakan Maulana Muhammad Firdaus, Dicky Aprilian Nugraha, Allen Luviandy, dan Gerry Gardika Surya Dinata.
9. Sahabat saya Dupo, Leginu, Ndur-undur, Piton, Cak Kevin, Engkol, Mas Tambak dan semua saudra saya di UKMS Kolang Kaling yang telah mewadahi dan menemani saya dalam berkarya.
10. Teman-teman berkesan dikala kegalauan Yossi, Sa'dul, Arum dan Fika (dulur Tuban).
11. Sahabat saya Andhita Hayuning Kurnia, Ageng Minanto, Pak DPR Mutasyim billah, Bayu Dwi Wicaksono, Abde Paraton, Bos Farhan.
12. Sahabat saya di Osis SMA N 1 Tuban, Alvin, Tyo, Iqbal, Afta, Mukhlas, Tasya, Cindy, Lingga dan luqman.
13. Sahabat saya di kelas IPA 3, Wisnu, Yuha, Coky, Yudha, A'ang, Cepot, Udin dan masih banyak lagi.
14. Kepada teman terpintar saya dari SMA Widya Fath Mamerda, terimakasih atas hinaan nya selama ini sehingga membuat saya termotivasi untuk bisa menyusul anda.
15. Seluruh dulur Teknik Mesin Universitas Jember 2015
16. Kepada pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.  
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, 3 Desember 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Mesin Bubut .....	6
2.2.1 Jenis-jenis Mesin Bubut .....	7
2.2.2 Bagian-bagian Mesin Bubut .....	8
2.2.3 Parameter Permesinan Bubut.....	11

2.3 <i>Cutting Fluid</i> .....	13
2.3.1 Fungsi <i>Cutting Fluid</i> .....	13
2.3.2 Metode Pemberian <i>Cutting Fluid</i> .....	14
2.4 AISI 4340.....	15
2.5 Tatal.....	17
2.5.1 Tatal Berlanjut ( <i>Continuous / Flow Chips</i> ) .....	18
2.5.2 Tatal Tidak Kontinu ( <i>Discontinuous Chips</i> ) .....	19
2.5.3 Pembentukan Tatal pada Baja AISI 4340 .....	19
2.5.4 Build up edge (BUE).....	21
2.5.5 Jenis Tatal Dilihat dari Bentuk Penampangnya.....	21
2.6 Metode <i>Taguchi</i> .....	22
2.6.1 Analisis dalam Metode <i>Taguchi</i> . .....	23
2.6.2 Istilah dalam Metode <i>Taguchi</i> .....	24
2.6.3 Interpretasi hasil eksperimen .....	28
2.6.4 Eksperimen Konfirmasi.....	30
2.7 Hipotesa .....	31
<b>BAB 3. METODOLOGI.....</b>	<b>32</b>
3.1 Metode Penelitian.....	32
3.2 Tempat Penelitian.....	32
3.3 Alat dan Bahan .....	32
3.3.1 Alat .....	32
3.3.2 Bahan.....	34
3.4 Prosedur Penelitian .....	35
3.5 Variabel Penelitian .....	36
3.5.1 Variabel Bebas .....	36

3.5.2 Variabel Terikat .....	36
3.5.3 Variabel Kontrol .....	37
3.6 Pengambilan Data.....	37
3.6.1 Data <i>Degree of Seration</i> (DOS).....	37
3.6.2 Hasil Pengujian .....	37
3.7 Metode Analisis.....	39
3.8 Diagram alir .....	40
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Pengambilan Data.....	41
4.2 Hasil Uji SEM .....	43
4.3 Perhitungan S/N Ratio .....	44
4.4 Hasil Optimasi.....	45
4.5 Analisa Varian, Uji F, dan Persen Kontribusi .....	48
4.6 Prediksi Respon Optimal .....	51
4.7 Eksperimen Konfirmasi .....	52
4.8 Pembahasan.....	53
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>56</b>
5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Kecepatan potong untuk beberapa jenis bahan.....	10
Tabel 2.2 Komposisi kimia AISI 4340.....	16
Tabel 2.3 Sifat termal AISI 4340.....	16
Tabel 2.4 Sifat mekanik baja AISI 4340.....	17
Tabel 2.5 Standar <i>Orthogonal Array</i> .....	26
Tabel 3.1 Spesifikasi pahat.....	35
Tabel 3.2 Variabel Bebas dan Level .....	36
Tabel 3.3 Hasil penelitian.....	38
Tabel 3.4 Kode Sampel .....	38
Tabel 4.1 Hasil pengujian .....	42
Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan <i>S/N Ratio</i> .....	45
Tabel 4.4 Respon rata-rata means untuk setiap faktor kendali .....	46
Tabel 4.5 Kombinasi parameter respons optimum .....	47
Tabel 4.6 Hasil analisis varian untuk means .....	49
Tabel 4.7 Kondisi Hipotesa H0.....	50
Tabel 4.8 Persen Kontribusi Tiap Faktor Kendali .....	50
Tabel 4.9 Hasil nilai <i>degree of seration</i> eksperimen konfirmasi.....	52
Tabel 4.10 Interpretasi hasil nilai <i>degree of seration</i> .....	53

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Gerakan pada proses pembubutan.....	6
Gambar 2.2 Fungsi mesin bubut .....	7
Gambar 2.3 Kepala tetap terpasang cekam pada spindle utama mesin bubut.....	8
Gambar 2.4 Penjepit atau Pemegang pahat .....	8
Gambar 2.5 Kepala lepas pada mesin bubut.....	9
Gambar 2.6 Alas/ Bed machine pada mesin bubut .....	9
Gambar 2.7 Tuas Pengatur Kecepatan.....	10
Gambar 2.8 Eretan pada mesin bubut.....	11
Gambar 2.9 Deformasi pada pemotongan logam .....	17
Gambar 2.10 Formasi tatal pada proses bubut menurut analogi kartu .....	18
Gambar 2.11 Tatal berlanjut ( <i>continous chips</i> ).....	19
Gambar 2.12 Tatal tidak kontinu ( <i>discontinuous chips</i> ).....	19
Gambar 2.13 Tatal bersegmen atau mata gergaji.....	20
Gambar 2.14 Tatal bersegmen atau mata gergaji .....	20
Gambar 2.15 <i>Build up edge</i> (BUE) .....	21
Gambar 2.16 Tatal dilihat dari bentuk penampangnya .....	22
Gambar 3.1 Mesin bubut GUT tipe C6236 x 1000.....	33
Gambar 3.2 Kontroler sistem pendingin MQL.....	33
Gambar 3.3 Mesin amplas .....	33
Gambar 3.4 Mikroskop.....	34
Gambar 3.5 Dimensi AISI 4340 .....	34
Gambar 3.6 Pahat insert carbide .....	35
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian .....	40
Gambar 4.1 Tatal hasil .....	41
Gambar 4.2 Potret tatal hasil percobaan no 5 (a) dan percobaan no 7 (b).....	43
Gambar 4.3 Potret mikrostruktur tatal .....	43
Gambar 4.4 Nilai plot rata-rata S/N rasio .....	46
Gambar 4.5 Nilai plot rata-rata means .....	47
Gambar 4.6 Grafik pie nilai kontribusi parameter penelitian.....	54



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan industri manufaktur tentu sangat tidak lepas dengan adanya proses permesinan. Proses permesinan adalah proses menghilangkan bagian benda kerja dengan cara pemotongan bagian yang tidak diperlukan menggunakan pahat (*cutting tool*) sehingga terbentuk komponen benda kerja yang dikehendaki. Proses permesinan dengan pemotongan logam dibagi menjadi tiga kelompok dasar yaitu proses pemotongan dengan metode pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing, elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), sekrap (*shaping*), material benda kerja yang terbuang atau tidak terpakai disebut juga dengan *chips* (Rahdiyanta, 2010). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) *chips* atau serpihan material yang dihasilkan dalam proses permesinan disebut dengan istilah tatal, namun pada beberapa penelitian tentang *chips formation* digunakan istilah geram (Setiyana dkk, 2005) dan beram (Rahdiyanta, 2010). Untuk keseragaman istilah pada laporan ini akan digunakan istilah tatal untuk penyebutan *chips* dalam keseluruhan penulisan laporan ini.

Tatal terbentuk akibat timbulnya tegangan (*stress*) di daerah sekitar konsentrasi gaya penekanan mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shearing stress*) yang maksimum. Apabila tegangan geser ini melebihi kekuatan logam yang bersangkutan maka akan terjadi deformasi plastis (perubahan bentuk) yang menggeser dan memutuskan benda kerja di ujung pahat pada satu bidang geser (*shear plane*) (Setiyana dkk, 2005).

Penelitian tentang pembentukan tatal membantu untuk memahami karakteristik tatal dan untuk mencapai bentuk tatal yang menguntungkan. Bentuk tatal adalah indeks penting dalam permesinan karena dapat menunjukkan secara langsung maupun tidak langsung sifat dan perilaku bahan benda kerja dalam kondisi permesinan. Selain itu dapat menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan ketika

proses pemotongan berlangsung dalam proses permesinan. Sebagai tambahan bentuk tatal menunjukkan sifat dan tingkat interaksi permukaan pahat dan benda kerja. Bentuk tatal yang dihasilkan bergantung pada beberapa faktor yaitu: 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 (Pathak, 2017:53).

Metode pendinginan (*metal cutting fluid*) yang kurang efisien menyebabkan panas pada saat proses pemakanan benda kerja dan mempercepat berkurangnya umur pahat akibat terjadinya keausan pahat, tentunya akan mempengaruhi bentuk tatal yang dihasilkan. Proses pendinginan memiliki pengaruh yang besar dalam performa proses permesinan. Proses permesinan dengan pendingin akan menurunkan temperatur pada benda kerja dan mata pahat, selain itu koefisien gesek dan gaya yang digunakan juga akan menurun. Namun penggunaan coolant atau lubricant pada proses cutting fluid yang terlalu banyak juga memiliki dampak negatif. Dengan diperkenalkan ISO 14000 undang-undang tentang lingkungan, perusahaan dianjurkan untuk mengurangi atau menghilangkan metal cutting fluids dari proses permesinan. Sehingga diperlukan sebuah metode baru untuk proses pendinginan dan pelumasan dengan jumlah cairan sedikit yang berbasis minyak nabati. Metode tersebut lebih dikenal dengan *minimum quantity lubricant* (MQL). MQL adalah proses metal cutting dengan menggunakan coolant atau lubricant yang dicampur dengan udara yang terkompresi. Campuran udara dengan kecepatan 30 m/s dan cairan antara 5-30 ml/h. Campuran ini tidak banyak menggunakan bahan cair sehingga dapat lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Arifianto dkk, 2016).

Pada penelitian sebelumnya bentuk tatal yang berupa serpihan (*discontinuous*) akan menurunkan bidang kontak antara tatal dengan pahat. Sehingga terjadinya keausan pahat akibat proses difusi sedikit banyak berkurang, akibatnya umur pahat meningkat (Setiayana dkk, 2005). Pada penelitian selanjutnya mengungkapkan bahwa tatal yang terbentuk pada kondisi proses permesinan laju tinggi, keras dan kering bahan AISI 4140 menggunakan pahat CBN adalah seperti mata gergaji (*sawtooth chips*), Semakin tinggi kecepatan pemotongan ( $V$ ) maka

tebal tatal ( $h_c$ ) akan semakin menurun. Sebaliknya, jika pemakanan ( $f$ ) dan kedalaman pemotongan ( $a$ ) naik maka tebal tatal setelah terpotong ( $h_c$ ), cenderung naik (Ginting, 2014). Sejauh ini penelitian untuk menganalisa pembentukan tatal (*chips formation*) terhadap pengaruh proses pendinginan masih sangat jarang dilakukan. Berdasarkan latar belakang di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian ini.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh proses permesinan pada mesin bubut dengan metode pendinginan MQL, MQL otomatis dan *flood* terhadap pembentukan tatal yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh proses permesinan pada mesin bubut dengan variasi kedalaman pemotongan (*depth of cut*) terhadap pembentukan tatal yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh proses permesinan pada mesin bubut dengan variasi perbandingan komposisi air dan dromus terhadap pembentukan tatal yang dihasilkan?

MQL otomatis yang dimaksud adalah MQL berbasis kontroler dengan sensor suhu sehingga pada rentang suhu tertentu cairan pendingin secara otomatis disemprotkan ke arah benda kerja dan pahat.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

1. Mengetahui bentuk tatal terbaik yang dihasilkan dari proses permesinan pada mesin bubut dengan variasi kedalaman pemotongan, komposisi campuran air dan cairan pendingin (*cutting fluid*) dan metode pendinginan.
2. Menghitung *degree of seration* (DOS) bentuk tatal yang terbentuk pada pembubutan baja AISI 4340 guna mengetahui bentuk tatal yang paling baik.

### 1.3.2 Manfaat

Manfaat yang didapat pada penelitian ini yaitu sebagai referensi penelitian selanjutnya untuk analisa pembentukan tatal permesinan bubut dengan menggunakan metode pelumasan berkuantitas minimum (MQL).

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Benda kerja yang diuji pada penelitian ini adalah material AISI 4340;
2. Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pahat insert DCMT 11;
3. Variasi kedalaman pemotongan (*depth of cut*) yang digunakan adalah 1,6 mm, 1,8 mm dan 2,0 mm;
4. Metode pelumasan yang digunakan adalah teknik MQL, MQL otomatis dan *flood*;
5. Variasi komposisi air dan cairan pendingin (*cutting fluid*) adalah 3:7, 7:3 dan 5:5;
6. Kecepatan putar spindel pada mesin bubut 585 rpm;
7. Pelumasan yang digunakan cutting oil *Chromax 536*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori dasar dari faktor penting dalam penelitian ini yaitu mesin bubut dan bahan benda kerja yang digunakan yaitu AISI 4340. Serta pada bab ini akan menjelaskan teori dasar metode pendinginan yang digunakan yaitu *minimum quantity lubricant* (MQL) dan yang terakhir akan dibahas pula teori dasar dari tujuan penelitian ini yaitu pembentukan tatal (*chips formation*).

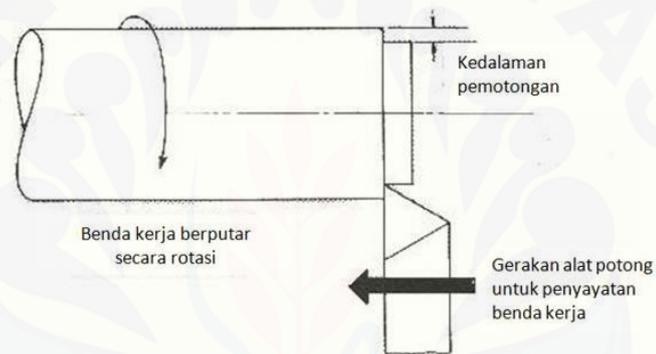
### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Setiyana (2005) membahas tentang pengaruh variasi kecepatan dengan geometri dan kekerasan tatal. Dimana proses permesinan yang dilakukan adalah proses bubut semi otomatis dengan empat jenis benda kerja dengan kekuatan tarik berbeda. Tatal yang dihasilkan diukur geometri dan kekerasannya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa naiknya kecepatan akan mempengaruhi bentuk dan penampang tatal yang dihasilkan dan juga dengan naiknya kecepatan justru akan menurunkan kekerasan tatal karena terjadi pemanasan yang tinggi sehingga terjadi proses *annealing*. Di samping itu, sifat dan jenis dari kerja juga sangat berpengaruh terhadap tatal yang dihasilkan. Pada penelitian ini pula disimpulkan bahwa bentuk geometri tatal yang dikehendaki dalam permesinan bubut adalah *discontinuous chips*.

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

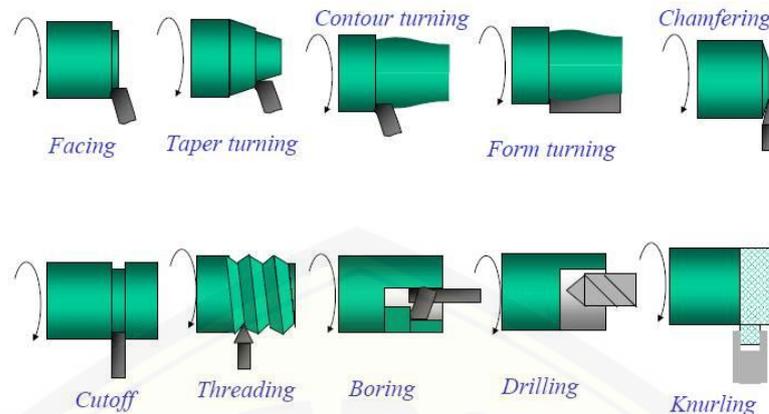
## 2.2 Mesin Bubut

Mesin bubut adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan mata potong pahat sebagai alat untuk menyayat benda kerja tersebut. Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada chuck (penyekam) yang terpasang pada spindel mesin, kemudian spindel dan benda kerja diputar dengan kecepatan sesuai perhitungan. Alat potong (pahat) yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan disayatkan pada benda kerja yang berputar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gerakan pada proses pembubutan  
(Sumber: Universitas Islam Indonesia 2016)

Prinsip kerja mesin bubut adalah benda kerja yang berputar, sedangkan pisau bubut bergerak memanjang dan melintang. Dari kerja ini dihasilkan sayatan dan benda kerja yang umumnya simetris. Fungsi mesin bubut yaitu membubut muka/facing, rata lurus/bertingkat, tirus, alur, ulir, bentuk, mengebor, memperbesar lubang, memotong (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Fungsi mesin bubut  
(Sumber: Universitas Islam Indonesia 2016)

### 2.2.1 Jenis-jenis Mesin Bubut

Jenis mesin bubut pada garis besarnya diklasifikasikan dalam empat kelompok yaitu:

a. Mesin Bubut Ringan

Mesin bubut ringan dapat diletakan di atas meja, dan mudah dipindahkan sesuai dengan kebutuhan, benda kerjanya berdimensi kecil. Jenis ini umumnya dipergunakan untuk industri rumah tangga (*home industri*). Panjangnya mesin umumnya tidak lebih dari 1200 mm.

b. Mesin Bubut Sedang

Jenis mesin bubut sedang dapat membubut diameter benda kerja sampai dengan 200 mm dan panjang sampai dengan 1000 mm cocok untuk industri kecil atau bengkel-bengkel perawatan dan pembuatan komponen. Umumnya digunakan pada dunia pendidikan atau pusat pelatihan, karena harganya terjangkau dan mudah dioperasikan.

c. Mesin Bubut Standar

Jenis mesin bubut mesin bubut standar disebut sebagai mesin bubut standar karena di samping memiliki komponen seperti pada mesin ringan dan sedang juga telah dilengkapi berbagai kelengkapan tambahan yaitu keran pendingin, lampu kerja, bak penampung tatal dan rem untuk menghentikan mesin dalam keadaan darurat.

### 2.2.2 Bagian-bagian Mesin Bubut

Bagian-bagian mesin bubut standar diantaranya:

#### a. Kepala Tetap

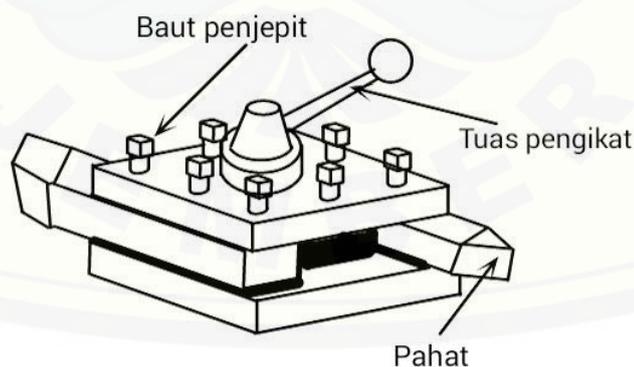
Kepala tetap (*head stock*), terdapat spindle utama mesin yang berfungsi sebagai dudukan beberapa perlengkapan mesin bubut diantaranya: cekam (chuck), kollet, senter tetap, atau pelat pembawa rata (*face plate*) dan pelat pembawa berekor (*driving plate*). Alat-alat perlengkapan tersebut dipasang pada spindle mesin berfungsi sebagai pengikat atau penahan benda kerja yang akan dikerjakan pada mesin bubut (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Kepala tetap terpasang cekam pada spindle utama mesin bubut (Sumber: Universitas Islam Indonesia 2016)

#### b. Pemegang pahat

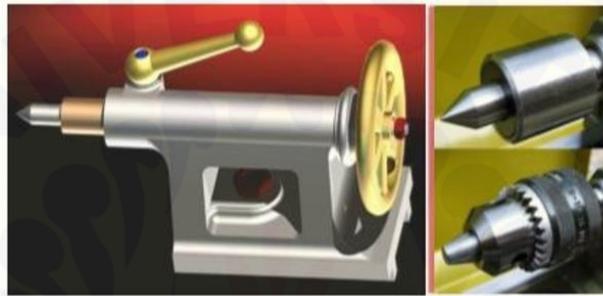
Penjepit atau pemegang pahat (*Tools Post*) digunakan untuk menjepit atau memegang pahat, diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Penjepit atau Pemegang pahat (Sumber: <https://1.bp.blogspot.com>, diakses pada 23 April 2019)

c. Kepala lepas

Kepala lepas (*tail stock*) digunakan sebagaiudukan senter putar (*rotary center*), senter tetap, cekam bor (*chuck drill*) dan mata bor bertangkai tirus yang pemasanganya dimasukkan pada lubang tirus (*sleeve*) pada kepala lepas. Senter putar (*rotary centre*) atau senter tetap dipasang pada kepala lepas dengan tujuan untuk mendukung ujung benda kerja agar putarannya stabil, sedangkan cekam bor atau mata bor dipasang pada kepala lepas dengan tujuan untuk proses pengeboran (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Kepala lepas pada mesin bubut  
(Sumber: Universitas Islam Indonesia 2016)

d. Alas atau meja

Alas atau meja mesin bubut digunakan sebagai tempat kedudukan kepala lepas, eretan, penyangga diam (*steady rest*) dan merupakan tumpuan gaya pemakanan pada waktu pembubutan. Alas/meja mesin bubut memiliki permukaannya yang sangat halus, rata dan kedataran serta kesejajarannya dengan ketelitian sangat tinggi, dikarenakan gerakan kepala lepas dan eretan memanjang di atasnya pada saat melakukan penyayatan harus stabil sehingga dapat menghasilkan pembubutan yang presisi (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Alas/ Bed machine pada mesin bubut  
(Sumber: Universitas Islam Indonesia 2016)

e. Tuas pengatur kecepatan

Tuas pengatur kecepatan digunakan untuk mengatur kecepatan poros transporter dan sumbu pembawa. Biasanya kecepatan tinggi digunakan untuk pengerjaan benda-benda berdiameter kecil dan pengerjaan penyelesaian sedangkan kecepatan rendah digunakan untuk pengerjaan pengasaran, ulir, alur, mengkartel dan pemotongan (*cut off*) dijelaskan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tuas Pengatur Kecepatan

(Sumber : Laboratorium Teknik Mesin Universitas Jember, diambil pada 22 April 2019)

Untuk lebih jelasnya mengenai harga kecepatan potong dari tiap material dapat anda lihat pada Tabel 2.1

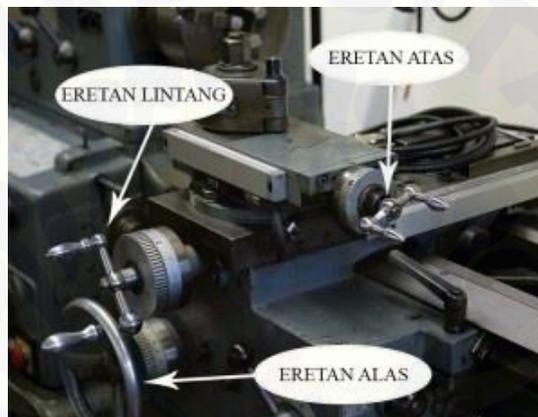
Tabel 2.1 Kecepatan potong untuk beberapa jenis bahan

Bahan	Pahat HSS		Pahat Karbida	
	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Baja perkakas	75 – 100	25 – 45	185 – 230	110 – 140
Baja karbon rendah	70 – 90	25 – 40	170 - 215	90 – 120
Baja karbon menengah	60 – 85	20 – 40	140 - 185	75 – 110
Baja cor kelabu	40 – 45	25 – 30	110 – 140	60 – 75
Kuningan	85 – 110	45 – 70	185 – 215	120 – 150
Alumunium	70 – 110	30 – 45	140 – 215	60 - 90

(Sumber : Universitas Islam Indonesia 2016)

f. Eretan

Eretan (*Carriage*) terdiri atas eretan memanjang (*longitudinal carriage*) yang bergerak sepanjang alas mesin, eretan melintang (*cross carriage*) yang bergerak melintang alas mesin dan eretan atas (*top carriage*), yang bergerak sesuai dengan posisi penyetelan di atas eretan melintang. Kegunaan eretan ini adalah untuk memberikan pemakanan yang besarnya dapat diatur menurut kehendak operator yang dapat terukur dengan ketelitian tertentu yang terdapat pada roda pemutarnya, dijelaskan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Eretan pada mesin bubut  
(Sumber : Universitas Islam Indonesia 2016)

### 2.2.3 Parameter Permesinan Bubut

Parameter pemesinan pada mesin bubut meliputi 5 parameter yaitu kecepatan potong ( $v$ ), kedalaman potong ( $a$ ), kecepatan makan ( $V_f$ ), *material removal rate* ( $Z$ ), dan waktu pemotongan ( $t$ ). Berikut adalah penjelasan dan rumus dari masing-masing parameter pemesinan tersebut.

a. Kecepatan potong

Kecepatan potong biasanya disebut dengan *cutting speed*. Kecepatan potong ini disimbolkan dengan huruf  $v$ . Berikut adalah rumus untuk mencari kecepatan potong.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

V: Kecepatan potong (mm / menit)

d: Diameter benda kerja (mm)

n: Putaran poros utama (rpm)

b. Kedalaman Potong

Kedalaman potong biasa disebut dengan *depth of cut* adalah salah satu parameter pemotongan yang menghitung kedalaman pemakanan setiap satu kali proses pemakanan. Berikut adalah rumus dari kedalaman pemotongan.

$$a = \frac{D-d}{2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

a: Kedalaman pemotongan (mm)

D: Diameter awal pembubutan (mm)

d: Diameter akhir pembubutan (mm)

c. Kecepatan makan

Kecepatan makan juga biasa disebut *feeding speed*. Berikut adalah rumus dari kecepatan makan.

$$V_f = f \cdot n \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

$V_f$ : Kecepatan makan (mm / menit)

f: Gerak makan (mm)

n: Putaran poros utama (rpm)

d. *Material Removal Rate*

*Material removal rate* adalah laju penghasil tatal. Rumus dari *material removal rate* adalah sebagai berikut.

$$Z = f \cdot a \cdot V_f \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

Z: Laju penghasil geram (cm<sup>3</sup>/ menit)

$V_f$ : Kecepatan makan (mm / menit)

f: Gerak makan (mm)

a: Kedalaman pemotongan (mm)

e. Waktu pemotongan

Waktu pemotongan atau *cutting time* adalah waktu yang digunakan untuk melakukan pemotongan. Rumus dari waktu pemotongan adalah sebagai berikut.

$$T_c = \frac{L_t}{V_f} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$T_c$ : Waktu pemotongan (menit)

$L_t$ : Panjang benda kerja yang dipotong (mm)

$V_f$ : Kecepatan makan (mm / menit)

### 2.3 Cutting Fluid

Pada proses pemesinan, khususnya pekerjaan pemakanan logam pada mesin bubut akan terjadi panas yang tinggi sebagai akibat adanya gesekan antara *cutting tool* dan benda kerja. Jika temperatur kerja dan tekanan cutting tool pada benda kerja tidak diatur, maka permukaan keduanya cenderung akan menyatu. Untuk mengatur temperatur kerja dan tekanan cutting tool pada benda kerja, maka perlu digunakan media pendingin. Media pendingin yang sering digunakan pada proses pemesinan karena mudah didapat dan efektif dalam mendinginkan sekaligus memberi pelumasan pada pengerjaan mesin.

#### 2.3.1 Fungsi Cutting Fluid

Dalam proses pemesinan, khususnya pekerjaan pemakanan logam pada mesin bubut, *cutting fluid* memiliki fungsi sebagai berikut sebagai berikut:

- a. Mengurangi gesekan yang terjadi antara cutting tool, benda kerja, dan tatal yang timbul sehingga menghasilkan umur cutting tool yang tinggi dan surface finish yang baik khususnya pada kecepatan potong rendah;
- b. Mengurangi temperatur pada ujung cutting tool dan benda kerja sehingga menghindari terjadinya deformasi termal;

- c. Membersihkan tatal yang timbul akibat proses pemakanan logam atau sebagai media penyiram untuk menyapu tatal dari proses machining keluar dari zona pemotongan;
- d. Memperbaiki penyelesaian permukaan benda kerja yang dihasilkan;
- e. Memperpanjang umur pahat;
- f. Mengurangi terjadinya korosi pada mesin perkakas khususnya pada pahat dan benda kerja;
- g. Mencegah terjadinya penyatuan tatal dengan pahat;
- h. Mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi;
- i. memudahkan pekerjaan operator.

### 2.3.2 Metode Pemberian *Cutting Fluid*

Pemberian cairan pendingin juga terdapat beberapa metode, yaitu antara lain adalah metode MQL, metode *flood*, metode *dry cutting*, dan metode *mist*. Lebih lanjut mengenai metode-metode tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

#### a. Metode MQL

MQL merupakan penggunaan cairan pemotongan dengan kuantitas yang lebih kecil yaitu sekitar sepuluh per seribu jumlah cairan pemotongan yang digunakan dalam pendinginan mesin dan MQL mengandung campuran udara bertekanan dan tetesan mikro minyak yang ditembakkan langsung antara alat dan tatal. MQL rata-rata menggunakan minyak sayur atau minyak ester atau bahan organik lainnya sebagai cairan pendinginnya, dikarenakan sesuai pada ISO 14000 undang-undang tentang lingkungan, perusahaan dianjurkan untuk mengurangi atau menghilangkan metal cutting fluids dari proses permesinan. Sehingga diperlukan sebuah metode baru untuk proses pendinginan dan pelumasan dengan jumlah cairan sedikit yang berbasis minyak nabati. Selain itu, minyak ini memiliki performa tinggi sehingga dapat memberikan pelumasan yang baik, sifat larut yang alami dan juga jenis minyak ini ramah lingkungan (Arifianto dkk, 2016).

b. Metode *flood*

Metode *flood* adalah suatu metode pemberian cairan pendingin dengan cara membanjiri pahat dan benda kerja selama proses permesinan berlangsung. Keuntungan dari menggunakan metode ini adalah suhu dari pahat dan benda kerja selalu terjaga dan kemungkinan terjadi *overheat* akan sangat kecil. Kekurangan dari menggunakan metode ini adalah terlalu membuang banyak cairan pendingin secara sia-sia. Penggunaan cairan pendingin yang berlebihan juga memberikan dampak buruk bagi lingkungan maupun kesehatan pekerja.

c. Metode *dry cutting*

Metode *dry cutting* ini biasa disebut pengerjaan kering yang artinya adalah kerja pemesinan yang sama sekali tidak menggunakan cairan pendingin. Keuntungan dari metode ini adalah menghemat biaya produksi dan tentunya lebih ramah lingkungan karena tidak menggunakan cairan pendingin sama sekali. Kekurangan dari metode ini adalah karena tidak menggunakan cairan pendingin sama sekali, maka pahat dan benda kerja akan cepat mengalami *overheat*. Selain itu, hasil pengerjaan tentu jadi lebih kasar dan lama karena pahat menjadi cepat aus.

d. Metode *mist*

Metode *mist* ini hampir sama dengan metode *flood* karena pemberian cairan pendingin dilakukan selama proses permesinan berlangsung. Perbedaannya adalah jika metode *flood* pemberian cairan pendinginnya dilakukan dengan cara membanjiri benda kerja dan pahat, pada metode *mist* ini pemberian cairan pendinginnya dilakukan dengan mengkabuti benda kerja dan pahat. Kelebihan dari metode ini adalah penggunaan cairan pendingin menjadi lebih sedikit dibandingkan metode *flood*, dan dapat menjaga pahat dari *overheat*. Kekurangan dari metode ini adalah masih boros dalam penggunaan cairan pendingin karena pemberiannya dilakukan secara terus menerus.

## 2.4 AISI 4340

Baja paduan rendah (*low alloy steels*) merupakan jenis baja paduan dengan kandungan unsur pepadu kurang dari 5 %. Masing-masing unsur pepadu

memberikan pengaruh yang kuat pada sifat-sifat bahan baja. Baja paduan rendah AISI 4340 merupakan jenis baja yang banyak digunakan sebagai bahan teknik antara lain sebagai bahan komponen mesin. Bahan ini sangat cocok untuk ditingkatkan atau diatur sifat-sifatnya dengan perlakuan panas. Pada Tabel 2.2, 2.3 dan 2.4 dijelaskan mengenai komposisi kimia, sifat termal dan sifat mekanik dari baja AISI 4340.

Tabel 2.2 Komposisi kimia AISI 4340

Unsur	Kadar (wt %)
C	0,36 – 0,44
Si	0,15 – 0,30
S	0.10
P	0.154
Mn	0,55 – 0,80
Ni	1,65 – 2,00
Cr	0,60 – 0,90
Mo	0,20 – 0,30
Cu	0.199
W	0.009
Sn	0.010
Co	0.012
Al	0.013
Fe	balance

(Sumber: Buana, 2016)

Tabel 2.3 Sifat termal AISI 4340

Sifat	Nilai
Massa jenis	7999 kg/m <sup>3</sup>
Konduktivitas termal	16,3 W/m.° C
Kalor jenis	500 J/kg. ° C

(Sumber: Buana, 2016)

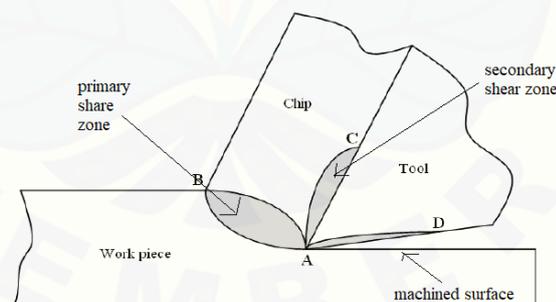
Tabel 2.4 Sifat mekanik baja AISI 4340

Sifat	Nilai
Rasio Poisson	0,27
Modulus elastisitas	193 GPa
Kekuatan tarik maksimum	374193 N/in <sup>2</sup>
Kekuatan luluh	111206 N/in <sup>2</sup>

(Sumber: Buana, 2016)

## 2.5 Tatal

Proses pemotongan logam merupakan proses yang cukup kompleks maka dari itu teori tentang permesinan telah dipelajari secara luas dan mendalam sejak lama hingga pada proses terbentuknya tatal. Pada Gambar 2.9 menunjukkan operasi pemindahan bahan dasar secara skematis. Ditunjukkan bahwa logam di depan pahat akan terkompresi, pertama secara elastis kemudian menjadi plastis. Zona ini secara tradisional disebut zona geser (*shear zone*) mengingat bahwa material yang terbuang dari material inti tersebut dihilangkan/terpotong secara bergeser dari material induknya.

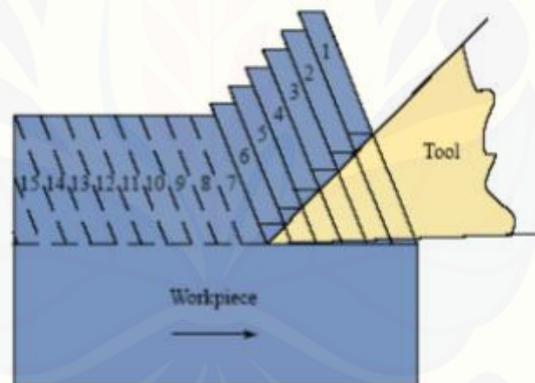


Gambar 2.9 Deformasi pada pemotongan logam  
(Sumber: Rao, Manufacturing Technology 2002 dengan modifikasi.)

Pemotongan logam berawal dari ujung pahat kemudian logam yang terbuang atau dalam penulisan penelitian ini disebut dengan tatal (*chips*) mengalir di atas permukaan pahat. Jika gesekan antara permukaan pahat dan sisi bawah tatal semakin besar maka bentuk tatal semakin berubah, gesekan antara permukaan

pahat dengan sisi bawah tatal disebut dengan deformasi sekunder (*secondary shear zone*) (Rao, 2002).

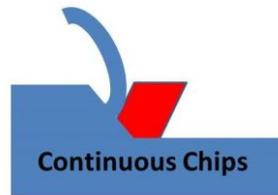
Dari Gambar 2.10 terlihat bahwa terbentuknya tatal dapat dianalogikan sebagai tumpukan kartu dengan posisi sedikit miring kemudian didorong dengan papan yang membuat sudut terhadap garis vertikal (sesuai dengan sudut tatal) maka kartu bergeser ke atas relatif terhadap kartu di belakangnya. Pergeseran tersebut berlangsung secara berurutan dan kartu terdorong melewati bidang atas papan. Analogi kartu tersebut menerangkan keadaan sesungguhnya dari kristal logam (struktur butir metalografis) yang terdeformasi sehingga merupakan lapisan tipis yang bergeser pada bidang geser (Buana, 2016). Tatal yang dihasilkan dari proses pemesinan untuk logam dan paduan logam pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan perbedaan geometri bentuk tatal. Beberapa morfologi tatal tersebut diantaranya.



Gambar 2.10 Formasi tatal pada proses bubut menurut analogi kartu (Sumber: Buana, 2016)

### 2.5.1 Tatal Berlanjut (*Continuous / Flow Chips*)

Tatal berlanjut dapat dilihat pada Gambar 2.11 dihasilkan pada pemesinan untuk bahan yang liat (*ductile*) dan tatal ini dikelompokkan dengan jenis penampang lintang yang seragam (*uniform crosssection*).



Gambar 2.11 Tatal berlanjut (*continuous chips*)  
(Sumber: <https://2.bp.blogspot.com>, diakses pada 25 Februari 2019)

### 2.5.2 Tatal Tidak Kontinu (*Discontinuous Chips*)

Tatal tidak kontinu dapat dilihat pada Gambar 2.12 biasanya terbentuk pada pemesinan untuk bahan yang getas (*brittle*) pada kecepatan pemotongan yang rendah, pemakanan dan kedalaman pemotongan yang tinggi dan gesekan antar pahat dan tatal yang tinggi.

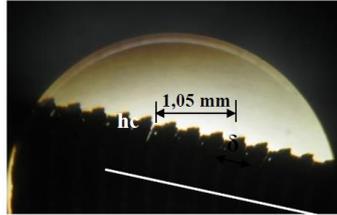


Gambar 2.12 Tatal tidak kontinu (*discontinuous chips*)  
(Sumber: <https://2.bp.blogspot.com>, diakses pada 25 Februari 2019)

### 2.5.3 Pembentukan Tatal pada Baja AISI 4340

Menurut Setiyana dkk (2005) tatal dengan bentuk serpihan (*discontinuous*) adalah tatal yang paling baik dalam proses pemesinan karena beberapa alasan. Yang pertama, tatal yang berupa serpihan akan menurunkan bidang kontak antara tatal dengan pahat. Sehingga terjadinya keausan pahat akibat proses difusi sedikit banyak berkurang, akibatnya umur pahat meningkat. Kedua, dengan bentuk tatal yang berupa serpihan, untuk benda kerja yang sama akan menurunkan gaya pemotongan karena luas tatal yang terbentuk semakin kecil.

Kemudian dari beberapa penelitian tentang pembentukan tatal pada AISI 4340 yang dilakukan oleh Buana (2016) dan Ginting (2014) menunjukan bahwa geometri atau bentuk tatal yang terbentuk adalah tatal bersegmen atau mata gergaji (*saw-tooth chips*) ditunjukkan pada Gambar 2.13 dan 2.14.



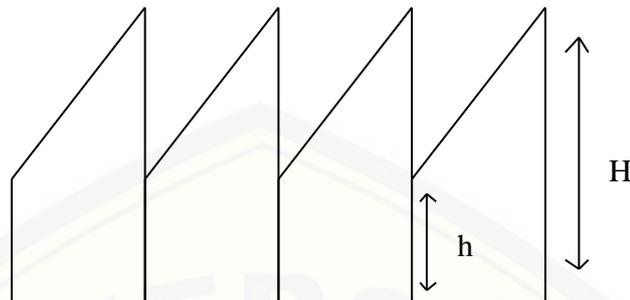
Gambar 2.13 Tatal bersegmen atau mata gergaji  
(Sumber: Buana, 2016)



Gambar 2.14 Tatal bersegmen atau mata gergaji  
(Sumber: Ginting, 2014)

Tatal bersegmen atau Seperti mata gergaji. Tatal seperti mata gergaji biasanya dinamakan tatal bersegmen adalah tatal semikontinu dan memiliki kawasan regangan geser yang kecil (untuk tatal kontinu) dan regangan geser yang tinggi (untuk tatal tidak kontinu). Tatal jenis ini adalah tatal semi kontinu yang terbentuk karena regangan yang tidak seragam pada material selama pemotongan. Tatal ini memiliki penampilan seperti gigi gergaji karena zona regangan geser rendah dan tinggi. Jenis tatal 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 seration*) pada jenis tatal bersegmen atau mata gergaji dapat digunakan rumus:

$$Dos = \frac{H-h}{H} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

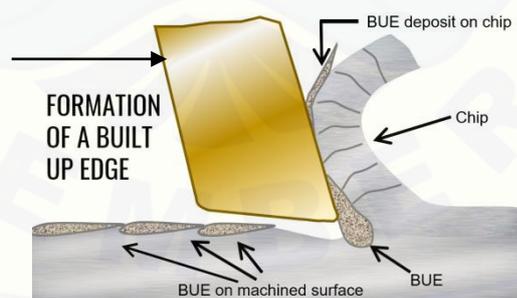


Semakin kecil  $h$  maka tingkat pemisahan semakin besar.

#### 2.5.4 Build up edge (BUE)

Pada dasarnya build up edge (BUE) adalah fenomena sisa-sisa tatal yang menempel dan menutupi mata pahat, ditunjukkan pada Gambar 2.15. Pembentukan BUE pada pahat disebabkan oleh beban normal yang tinggi pada permukaan pahat yang mengarah ke adhesi antara tatal dan pahat. BUE kemungkinan besar akan terbentuk jika benda kerja bersifat lunak.

BUE dapat menghasilkan pembentukan permukaan yang buruk. Kecenderungan BUE terbentuk dapat dikurangi dengan meningkatkan sudut rake dan mengurangi kedalaman pemotongan.



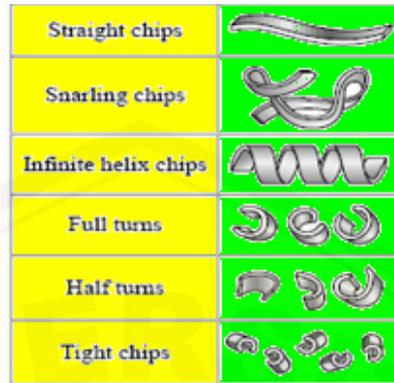
Gambar 2.15 *Build up edge (BUE)*

(Sumber: <https://blog.miragemachines.com>, diakses pada 8 april 2019)

#### 2.5.5 Jenis Tatal Dilihat dari Bentuk Penampangnya

Berdasarkan penampangnya tatal di bagi menjadi 6 (enam) jenis. Faktor yang mempengaruhi terjadinya perbedaan bentuk tatal ini adalah kedalaman

pemakanan, kecepatan pemakanan, sifat benda kerja dan suhu proses permesinan, pada Gambar 2.16 dijelaskan bentuk tatal dilihat dari bentuk penampangnya.



Gambar 2.16 Tatal dilihat dari bentuk penampangnya  
(Sumber: Setiyana dkk, 2005)

## 2.6 Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode *Taguchi* berusaha mencapai sasaran dengan menjadikan produk atau proses terhadap berbagai faktor seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode *Taguchi* menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*) sehingga metode ini disebut juga sebagai *robust design* atau perancangan kokoh (Soejanto, 2009).

Metode *Taguchi* menitik beratkan pada pencapaian suatu target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses. Pencapaian tersebut dilakukan dengan menggunakan ilmu statistik. Apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses, maka dengan prinsip statistika pada metode *Taguchi* ini dapat dihitung seberapa besar peran masing-masing parameter tersebut dalam mempengaruhi proses ataupun hasil dari proses tersebut. Dengan metode *Taguchi* ini dapat ditarik kesimpulan parameter yang dominan, maka dapat dilakukan suatu optimasi dari parameter yang dominan tersebut, sehingga diperoleh proses yang optimum. Metode *Taguchi* juga dapat memperkirakan hasil dari proses tersebut apabila digunakan kombinasi parameter yang berbeda dengan

yang dilakukan pada pengujian, manfaat hasil perkiraan ini adalah untuk merencanakan suatu produksi.

#### 2.6.1 Analisis dalam Metode *Taguchi*.

Metode analisis taguchi yang merupakan implementasi atas konsep desain kokoh (*robust design*), secara pokok terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

##### a. Perumusan masalah

Pada tahap ini, perancangan harus menentukan tujuan dari optimasi proses yang dilakukan, dan menetapkan karakteristik respon yang akan dianalisis. Beberapa kegiatan yang termasuk dalam tahap ini adalah:

- 1) Menentukan karakteristik respon yang diukur.
- 2) Mendaftarkan pasangan parameter kendali (*control factor*). Parameter kendali adalah parameter yang berpotensi untuk mempengaruhi karakteristik dari proses pemesinan
- 3) Menentukan jumlah *setting* tiap parameter kendali. Istilah yang bisa dipakai adalah level. Level adalah nilai dari parameter kendali.

##### b. Perencanaan percobaan

Awal pada tahapan ini adalah menentukan jenis metode *Taguchi*. Jenis metode *taguchi* dapat diketahui berdasarkan jumlah dari parameter kendali dan level untuk setiap parameter kendali. Jenis metode *taguchi* ini menentukan jenis matriks *orthogonal array* yang akan dipakai.

##### c. Melaksanakan percobaan dan pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan proses percobaan untuk mengumpulkan data respon banyak jumlah baris pada matriks *orthogonal array* yang telah dipilih. Data respon yang telah diperoleh itu kemudian diubah menjadi Rasio S/N (*Signal to Noise Ratio*).

##### d. Analisis hasil percobaan

Setelah pengolahan data percobaan, selanjutnya dilakukan analisis untuk menentukan pengaruh relatif dari bermacam-macam parameter kendali tersebut. Analisis pada metode *taguchi* dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Analisis rata-rata (*Analysis of Mean / ANOM*)
- 2) Analisis varian (*Analysis of Variant / ANOVA*).

### 2.6.2 Istilah dalam Metode *Taguchi*

Ada beberapa istilah yang akan sering dijumpai dan memegang peran penting dalam metode *Taguchi*, yaitu:

#### a. Derajat bebas (*degree of freedom*)

Derajat bebas merupakan banyak perbandingan yang harus dilakukan antara level-level (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan. Perhitungan derajat bebas dilakukan agar diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor dengan level yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini sendiri akan memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas.

Dalam melakukan percobaan, efisiensi dan biaya yang harus dikeluarkan merupakan salah satu pertimbangan utama. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka sebisa mungkin digunakan *orthogonal array* terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukannya percobaan secara komprehensif dan penarikan kesimpulan yang valid. Untuk menentukan *orthogonal array* yang diperlukan maka dibutuhkan perhitungan derajat kebebasan. Perhitungan untuk memperoleh derajat bebas adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B:

$$V_A = (\text{jumlah level faktor A}) - 1$$

$$= k_A \cdot 1 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) - 1$$

$$= k_B \cdot 1 \dots\dots\dots(2.8)$$

- 2) Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A \cdot 1) (k_B \cdot 1) \dots\dots\dots(2.9)$$

- 3) Nilai derajat bebas total

$$V_t = (k_A \cdot 1) + (k_B \cdot 1) + (k_A \cdot 1) (k_B \cdot 1) \dots\dots\dots(2.10)$$

Tabel *orthogonal array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya.

b. Matriks *Orthogonal Array*

*Orthogonal array* adalah matriks dari sejumlah baris dan kolom. Setiap kolom merepresentasikan faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya. Masing-masing kolom mewakili faktor-faktor dari percobaan yang dilakukan. Disebut *orthogonal array* karena setiap level dari masing-masing faktor adalah seimbang (*balance*) dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor percobaanyang lain. *Orthogonal array* merupakan suatu matriks faktor dan level yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau level yang lain. Cara penomoran *orthogonal array* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Orthogonal Array} = L_a(b^c) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

L = Rancangan bujursangkar latin

a = Banyak baris/eksperimen

b = Banyak level

c = Banyak kolom/faktor

1) Notasi L

Notasi L menyatakan informasi mengenai *orthogonal array*.

2) Notasi a

Menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *orthogonal array*.

3) Notasi b

Menyatakan jumlah level faktor.

4) Notasi c

Menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *orthogonal array*.

Tabel 2.5 Standar *Orthogonal Array*

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Mixed-Level
L <sub>4</sub> (2 <sup>3</sup> )	L <sub>9</sub> (3 <sup>4</sup> )	L <sub>16</sub> (4 <sup>5</sup> )	L <sub>25</sub> (5 <sup>6</sup> )	L <sub>18</sub> (2 <sup>1</sup> X 3 <sup>7</sup> )
L <sub>8</sub> (2 <sup>7</sup> )	L <sub>27</sub> (3 <sup>13</sup> )	L <sub>64</sub> (4 <sup>21</sup> )	-	L <sub>32</sub> (2 <sup>1</sup> X 4 <sup>9</sup> )
L <sub>12</sub> (2 <sup>11</sup> )	L <sub>81</sub> (3 <sup>40</sup> )	-	-	L <sub>36</sub> (2 <sup>11</sup> X 3 <sup>13</sup> )
L <sub>16</sub> (2 <sup>15</sup> )	-	-	-	L <sub>36</sub> (2 <sup>3</sup> X 3 <sup>13</sup> )
L <sub>32</sub> (2 <sup>31</sup> )	-	-	-	L <sub>54</sub> (2 <sup>1</sup> X 3 <sup>25</sup> )
L <sub>64</sub> (2 <sup>63</sup> )	-	-	-	L <sub>50</sub> (2 <sup>1</sup> X 5 <sup>11</sup> )

(Sumber : Anggoro, 2016)

Tabel 2.5 merupakan standar penggunaan *orthogonal array* berdasarkan jumlah factor dan level. Untuk tiga level tabel *orthogonal array* terdiri dari L<sub>9</sub>, L<sub>27</sub>, L<sub>81</sub>. Penelitian ini menggunakan L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>) hal tersebut karena pada penelitian ini terdapat 3 faktor yang berpengaruh serta ada 3 level yang akan diuji. Eksperimen dipilih sejumlah 9 kali observasi karena dalam table standar *orthogonal array* yang mendekati 3 faktor dengan 3 level adalah kolom L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>). *orthogonal array* mempunyai beberapa manfaat, yaitu:

- 1) Kesimpulan yang diambil dapat menjangkau ruang lingkup parameter kendali dan masing-masing levelnya secara keseluruhan.
- 2) Sangat menghemat pelaksanaan percobaan karena tidak menggunakan prinsip *fully operational* seperti percobaan yang biasa, tetapi menggunakan prinsip *fractional factorial*. Artinya, tidak semua kombinasi level harus dilakukan percobaan, melainkan hanya beberapa saja. Untuk menentukan level mana yang harus dilakukan dalam pengambilan data, maka harus mengacu pada model *orthogonal array* yang standard. Pemilihan matriks *orthogonal array* disesuaikan dengan permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya.
- 3) Penggunaan *orthogonal array* akan memudahkan dalam menganalisis data penelitian.

#### c. Interaksi Antara Faktor

Interaksi antara dua faktor berarti efek satu faktor pada respon tergantung level faktor lain. Antara interaksi menyebabkan sistem tidak *robust* karena sistem menjadi sangat sensitif terhadap perubahan satu faktor.

d. *Signal to Noise Ratio* (Rasio S/N)

Optimasi proses yang dilakukan oleh metode *taguchi* adalah dengan memperhatikan nilai Rasio S/N. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan nilai rasio S/N. Rasio S/N adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Nilai rasio S/N didapat dari pengolahan data hasil percobaan untuk beberapa kombinasi level pada parameter kendali. Setiap kombinasi akan memiliki nilai tersendiri yang dapat diketahui apakah parameter kendali tersebut cukup memberikan pengaruh yang signifikan pada sebuah proses pemesinan sehingga dapat disebut sebagai sebuah *signal* atau parameter tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil sehingga dianggap sebagai *noise* atau gangguan saja.

Jika target yang dituju adalah untuk meningkatkan respon, maka yang dilakukan adalah mencari kombinasi dari parameter kendali yang nilai rasio S/N dari setiap levelnya memiliki nilai terbesar. Ada tiga jenis rasio S/N yang biasa dipakai dalam optimasi permasalahan statik yaitu:

1) *Smaller the Better*

Optimasi jenis ini biasanya dipakai untuk mengoptimasi suatu cacat pada produk, yang mana harga idealnya kalau bisa harus sama dengan nol. Dapat juga digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat (paling produktif). Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

y= Rata –ratadari setiap percobaan

2) *Large the Better*

Optimasi jenis ini merupakan kebalikan dari optimasi *Smaller the Better*.

Rumus yang digunakan adalah:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

### 3) *Nominal the Better*

Optimasi ini sering digunakan apabila nilai yang telah ditetapkan merupakan sesuatu yang mutlak atau sangat diharapkan. Jadi tidak boleh lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang telah ditetapkan sebelumnya. Contohnya adalah dimensi pada komponen-komponen mekanik (pada industri manufaktur), perbandingan unsur kimiawi pada suatu campuran (pada industri kimia), dan lain-lain. Rumus yang dapat digunakan adalah:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \frac{y^{-2}}{s^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$S^2 = \frac{(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r x_i - x)^2}{n-1} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

$S^2$  = varian

$x_i$  = nilai kombinasi ke-n

$x$  = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

#### e. *Sum of Square*

*Sum of Square* adalah jumlah variasi nilai rasio S/N dari setiap level pada masing-masing parameter kendali. Besarnya *Sum of Square* dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

$n$  = jumlah level dari setiap *control factor*

$R_i$  = nilai S/N Ratio pada level ke-n

$R$  = nilai rata-rata rasio S/N dari ke-3 level pada sebuah *control factor*

### 2.6.3 Interpretasi hasil eksperimen

Interpretasi yang dilakukan untuk menganalisa hasil eksperimen menggunakan analisis varians adalah sebagai berikut:

#### a. Persen Kontribusi

Merupakan fungsi dari jumlah kuadrat (SS) dari masing-masing faktor yang signifikan.

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_A = SS_A - MS_e \text{ (DK}_A\text{)}$$

$$\rho = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_B = SS_B - MS_e \text{ (DK}_B\text{)}$$

$$\rho = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\% \quad SS'_C = SS_C - MS_e \text{ (DK}_C\text{)}$$

Dimana:

$\rho$  = Persen kontribusi

$\rho_A$  = Persen kontribusi pada faktor A

$\rho_B$  = Persen kontribusi pada faktor B

$\rho_C$  = Persen kontribusi pada faktor C

SSA = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor A

SSB = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor B

SSC = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor C

SS'A = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor A

SS'B = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor B

SS'C = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor C

$\rho \leq 15\%$  maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Sedangkan  $\rho \geq 50\%$  maka terdapat faktor berpengaruh yang terabaikan dan error yang hadir terlalu besar (Soejanto, 2009).

b. Interval Kepercayaan (CI)

Pada metode taguchi, Interval kepercayaan dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Interval Kepercayaan untuk Level Faktor (CI<sub>1</sub>)

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;Ve} MS_e}{n}} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\mu_{Ak} = \bar{A}_k \pm CI_1$$

$$\bar{A}_k - CI_1 \leq \mu_{Ak} \leq \bar{A}_k + CI_1$$

Dimana:

$F_{\alpha;1;V_e}$  = rasio F

$\alpha$  = resiko

$V$  = 1

$V_e$  = derajat kebebasan error

$MS_e$  = rata-rata kuadrat error (variansi kesalahan)

$N$  = jumlah yang diuji pada suatu kondisi

$\mu_{Ak}$  = dugaan rata-rata faktor A pada level ke k

$\bar{A}_k$  = rata-rata faktor A pada perlakuan ke k

$k$  = Level faktor (1,2,...)

2. Interval Kepercayaan pada Kondisi Perlakuan yang diprediksi (CI2)

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} MS_e}{n_{eff}}} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1+(\text{jumlah dof yang berhubungan dengan estimasi A})}$$

Dimana:

$N$  = Jumlah total eksperimen

$n_{eff}$  = Jumlah pengulangan efektif

3. Interval Kepercayaan untuk Memprediksi Eksperimen Konfirmasi (CI3)

Interval kepercayaan ini digunakan untuk pembuktian dari level faktor optimal yang sudah didapatkan

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_e \left[ \left( \frac{1}{n_{eff}} \right) + \left( \frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

$r$  = Jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan  $r \neq 0$

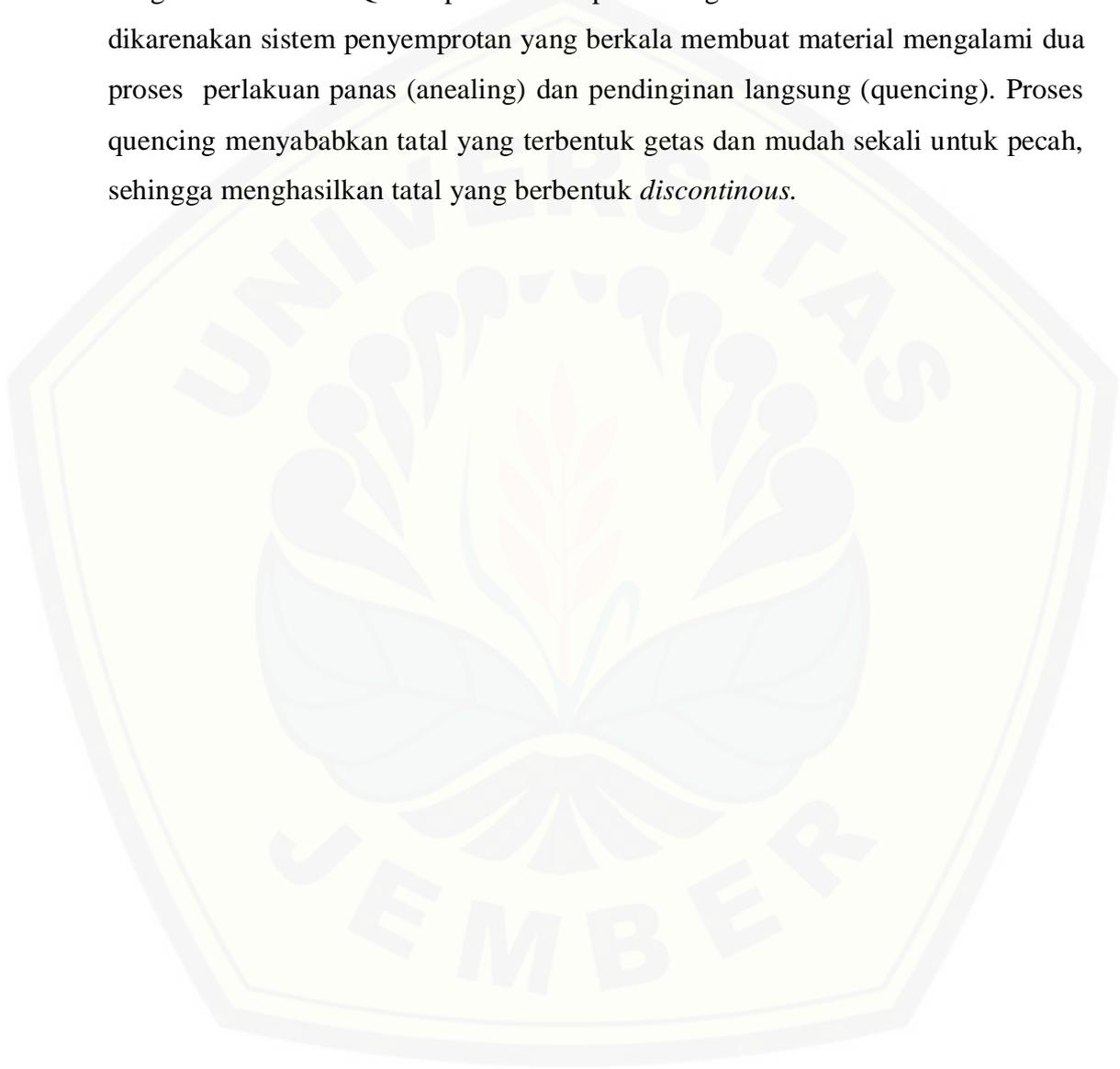
$V_2$  = Derajat bebas varian kesalahan pooling

2.6.4 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi adalah salah satu proses untuk memvalidasikan hasil optimum yang telah didapat dari perhitungan pada metode Taguchi apakah sesuai dalam rentang prediksi respon optimum atau tidak.

## 2.7 Hipotesa

Hipotesa pada penelitian ini adalah menurut pernyataan dari Setiayana dkk, 2005. Tatal berbentuk *discontinuous* adalah tatal yang paling menguntungkan karena menurunkan bidang kontak antara pahat dengan benda kerja. Pendinginan dengan metode MQL diprediksi dapat menghasilkan tatal *discontinuous* dikarenakan sistem penyemprotan yang berkala membuat material mengalami dua proses perlakuan panas (annealing) dan pendinginan langsung (quencing). Proses quencing menyebabkan tatal yang terbentuk getas dan mudah sekali untuk pecah, sehingga menghasilkan tatal yang berbentuk *discontinuous*.



## BAB 3. METODOLOGI

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu dengan membandingkan pengaruh 3 (tiga) variabel penelitian terhadap perubahan pembentukan tatal, yaitu kedalaman potong; komposisi campuran pendingin dan metode pemberian cairan pendingin. Variasi kedalaman potong pada penelitian ini ada tiga, yaitu 1,6 mm; 1,8 mm dan 2,0 mm. Komposisi campuran air dan dromus pada penelitian ini ada tiga, yaitu perbandingan 3:7; 5:5 dan 7:3. Metode pemberian cairan pendingin pada penelitian ini ada tiga, yaitu MQL manual, MQL otomatis dan *flood*.

### 3.2 Tempat Penelitian

Penelitian tentang pengaruh pembentukan tatal ini dilakukan di Laboratorium Kerja logam dan laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

#### 3.3.1 Alat

##### a. Mesin Bubut

mesin bubut yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin bubut dengan merk GUT tipe C6236 x 1000 dengan spesifikasi kecepatan spindel sebesar 34-1400 rpm (9 langkah). Mesin ini menggunakan motor listrik sebagai penggerak dengan daya 4 KW dan memiliki berat 1500 Kg dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Mesin bubut GUT tipe C6236 x 1000

b. Kontroler sistem pendingin MQL



Gambar 3.2 Kontroler sistem pendingin MQL

c. Mesin Amplas

Mesin amplas disini digunakan untuk proses penghalusan hasil mounting sebelum hasil yang berisikan tatal diuji dengan mikroskop untuk mengetahui bentuk mikronya (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 Mesin amplas

#### d. Mikroskop

Mikroskop yang digunakan adalah mikroskop merk Olympus bx41m dengan perbesaran maksimal 1000 kali (Gambar 3.4).

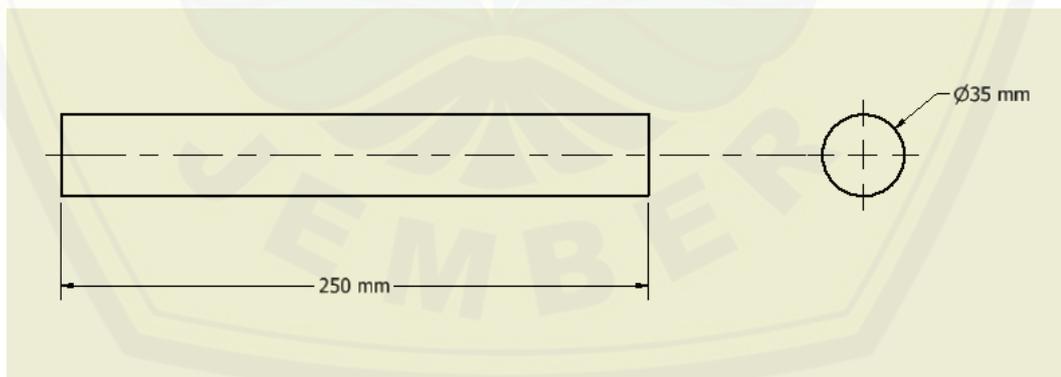


Gambar 3.4 Mikroskop

#### 3.3.2 Bahan

##### a. AISI 4340

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon sedang AISI 4340 dengan diameter 35 mm dan panjang 250 mm. Bentuk dan dimensi dari AISI 4340 yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Dimensi AISI 4340

##### b. Cairan pendingin *Chromax 536*

##### c. Resin dan katalis resin

##### d. Larutan etsa (asam nital ( $\text{HNO}_3$ ) 2% dan etanol)

##### e. Amplas 100, 220, 320, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000

#### e. Pahat *Insert Carbide*

Pada penelitian menggunakan metode MQL pahat yang digunakan adalah *insert carbide* DCMT 11. Pahat *insert carbide* dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Pahat insert carbide

Untuk spesifikasi pahat insert carbide dapat dilihat pada table 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi pahat

Vc	Fz	Ap
200- 300 m/ min	0,12- 0,3 mm/ t	1,00- 3,00 mm

### 3.4 Prosedur Penelitian

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

1. Mempersiapkan mesin bubut merk GUT tipe C6236 x 1000 dengan kecepatan spindel 585 rpm;
2. Mempersiapkan alat kontroler pendingin MQL;
3. Mengumpulkan tatal hasil pembubutan sesuai dengan nomer percobaan dan replikasinya;
4. Mengambil beberapa sample tatal dan diresin dengan cetakan pipa paralon;
5. Tatal yang telah diresin dilihat dengan mikroskop dengan perbesaran 1000 kali untuk mengetahui besar gunung (H) dan lembah (h) pada penampang tatal yang dihasilkan;

6. Menghitung nilai *degree of seration* (DOS) dari setiap sample tatal yang didapatkan.
7. Melakukan uji mikro pada tatal dengan pengujian SEM.

### 3.5 Variabel Penelitian

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

#### 3.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah variasi metode pemberian cairan, *depth of cut* dan kombinasi cairan. Variabel bebas dan level dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Variabel Bebas dan Level

Kode	Kontrol Faktor	Level		
		1	2	3
A	<i>Depth of cut</i>	1,6 mm	1,8 mm	2 mm
B	Komposisi	3:7	5:5	7:3
C	Metode	MQL Manual	MQL Otomasi	<i>Flood</i>

#### 3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel hasil yang dapat dicari dan dihitung secara visual atau nilai nya. Variabel terikat yang akan diperoleh pada penelitian ini adalah analisa hasil pembentukan tatal pada permesinan bubut dengan masing-masing metode pendinginan antara lain:

1. Bentuk geometri tatal yang terbentuk;
2. Nilai *degree of seration* pada tatal yang terbentuk dari setiap jenis metode pendinginan pada proses permesinan bubut.

### 3.5.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah perlakuan tetap yang diberikan pada setiap pengujian penelitian. Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah parameter proses permesinan bubut yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Kecepatan spindel (n) 585 rpm;
2. *Feedrate* (f) 0.108 mm/put.

### 3.6 Pengambilan Data

Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengamatan bentuk tatal yang dihasilkan.

#### 3.6.1 Data *Degree of Seration* (DOS)

Pengambilan data ini dilakukan setelah pengujian tatal dengan mikroskop dilakukan dan didapatkan nilai tinggi gunung (H) dan lembah (h) sehingga dapat dihitung menggunakan rumus *degree of seration* (DOS).

#### 3.6.2 Hasil Pengujian

1. Melakukan pengambilan data, metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan Ortogonal Array (OA) Taguchi.
2. Pengambilan data menggunakan 3 kali pengulangan tiap sampel
3. Pengujian *degree of seration*
4. Dilakukan pemeriksaan kualitas pada setiap hasil percobaan

Tabel 3.3 Hasil penelitian

NO	Parameter kendali			Nilai <i>degree of seration</i> setiap replikasi			Rata-rata (%)
	<i>Depth Of Cut</i> (mm)	Komposisi (Air : Dromus)	Metode	1	2	3	
1	1,6	3 : 7	ML Manual				
2	1,6	5 : 5	ML Otomasi				
3	1,6	7 : 3	<i>Flood</i>				
4	1,8	3 : 7	ML Otomasi				
5	1,8	5 : 5	<i>Flood</i>				
6	1,8	7 : 3	ML Manual				
7	2,0	3 : 7	<i>Flood</i>				
8	2,0	5 : 5	ML Manual				
9	2,0	7 : 3	ML Otomasi				

Tabel 3.4 Kode Sampel

NO	Faktor Kendali		
	Level A ( <i>Depth of cut</i> )	Level B (Komposisi)	Level C (Metode)
1	1,6 mm	3 : 7	ML manual
2	1,6 mm	5 : 5	ML Otomasi
3	1,6 mm	7 : 3	<i>Flood</i>
4	1,8 mm	3 : 7	ML otomasi
5	1,8 mm	5 : 5	<i>Flood</i>
6	1,8 mm	7 : 3	ML manual
7	2 mm	3 : 7	<i>Flood</i>
8	2 mm <sup>2</sup>	5 : 5	ML manual
9	2 mm	7 : 3	ML otomasi

### 3.7 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

1. Studi literature

Jurnal atau penelitian sebelumnya digunakan sebagai acuan untuk keberhasilan dari alat ini.

2. Pengambilan data

Pengambilan data diambil dari orthogonal array L9(3<sup>3</sup>)

3. Menganalisa data yang diperoleh menggunakan perhitungan:

a. Rasio S/N

b. Analisis varian taguchi

c. Uji F

Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar daripada  $F_{tabel}$  menunjukkan bahwa ada faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil *degree of seration*. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 5%. Asumsi bahwa  $\alpha = 5\%$  artinya pada penelitian ini terdapat kemungkinan kesalahan yang diterima sebesar 5% (Soejanto, 2009). Hipotesa awal ( $H_0$ ) dan Hipotesa alternatif ( $H_1$ ) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F.

Parameter dari nilai *degree of seration*:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (Tidak ada pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (Adanya pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

d. Interpretasi Hasil Eksperimen

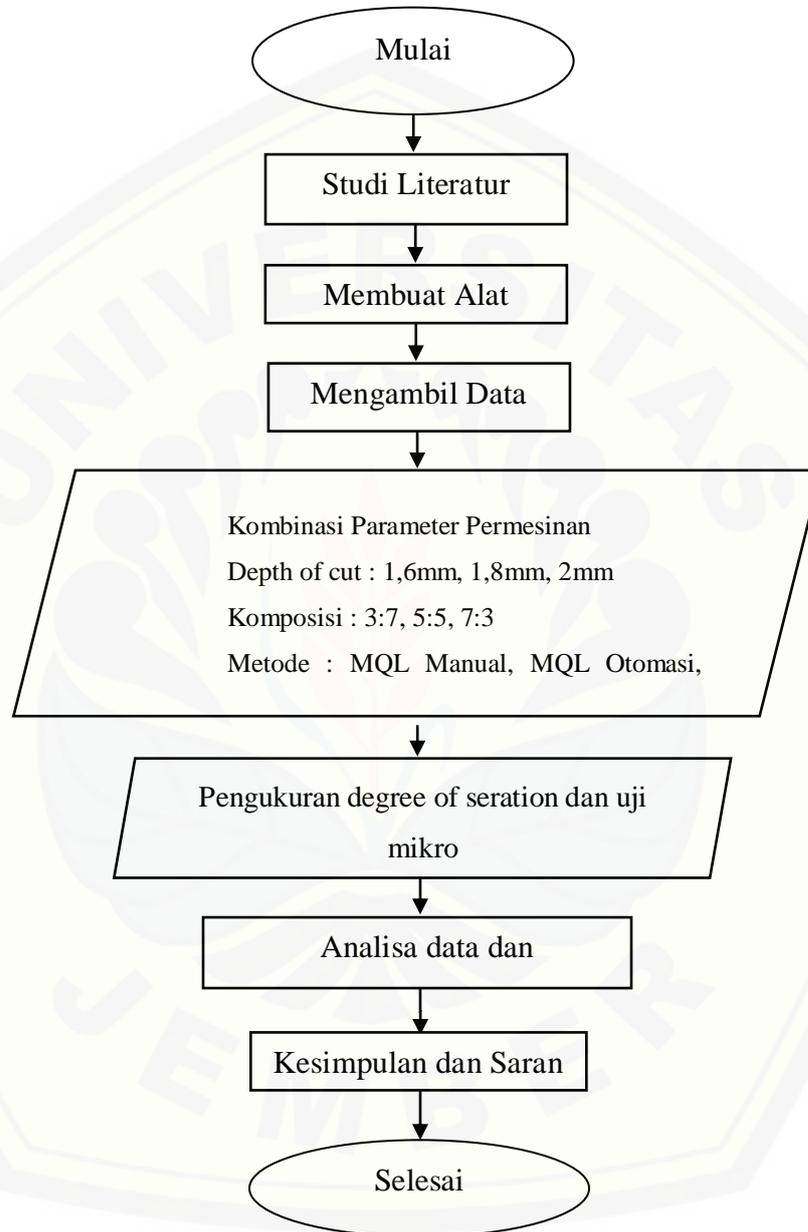
1) Persen kontribusi

2) Interval Kepercayaan

e. Eksperimen konfirmasi

### 3.8 Diagram alir

Adapun diagram alir dari metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh metode pelumasan berkuantitas minimum (MQL) terhadap proses pembentukan tatal (*chips formation*), dapat disimpulkan:

1. *Depth of cut* mempengaruhi nilai *Degree of Seration* pada tatal baja AISI 4340 saat proses pembubutan. *Depth of cut* 1,6mm, 1,8mm, 2,0mm menghasilkan nilai *degree of seration* yang fluktuaktif, yaitu terjadinya peningkatan dan penurunan nilai *degree of seration*. Pada penelitian ini *depth of cut* 1,8mm menghasilkan nilai *degree of seration* tertinggi sehingga persentase terbentuknya tatal patahan (*discontinous chips*) semakin besar.
2. Komposisi campuran antara air dan *cutting oil* sangat berpengaruh pada proses pembubutan. Komposisi campuran air dan dromus memiliki keuntungan masing-masing pada setiap komposisi campurannya sehingga perlu dilakukan takaran yang pas dalam melakukan pencampuran agar penggunaannya lebih optimal. Pada penelitian ini komposisi campuran air dan dromus 5:5 menghasilkan nilai *degree of seration* tertinggi sehingga persentase terbentuknya tatal patahan (*discontinous chips*) semakin besar.
3. Metode pemberian *cutting fluid* memberikan pengaruh yang signifikan pada proses permesinan. Setiap metode memberikan pengaruh yang berbeda pada setiap komponen proses permesinan. Pada penelitian ini metode *flood* menghasilkan nilai *degree of seration* tertinggi sehingga persentase terbentuknya tatal patahan (*discontinous chips*) semakin besar.

## 5.2 Saran

Berdasarkan simpulan di atas, maka pada pengaruh metode pelumasan berkuantitas minimum (MQL) terhadap proses pembentukan tatal (*chips formation*) sebaiknya memperhatikan beberapa saran berikut ini:

1. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai bentuk tatal yang paling ideal dalam proses permesinan
2. Penambahan variabel bebas dari metode pemberian *cutting fluids*, variasi *cutting fluids* dan komposisi campurannya.
3. Perlu dikaji lagi bagaimana cara menguji tatal yang benar dalam pengujian mikronya mengingat bentuk tatal yang kecil sehingga menyulitkan proses analisisnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

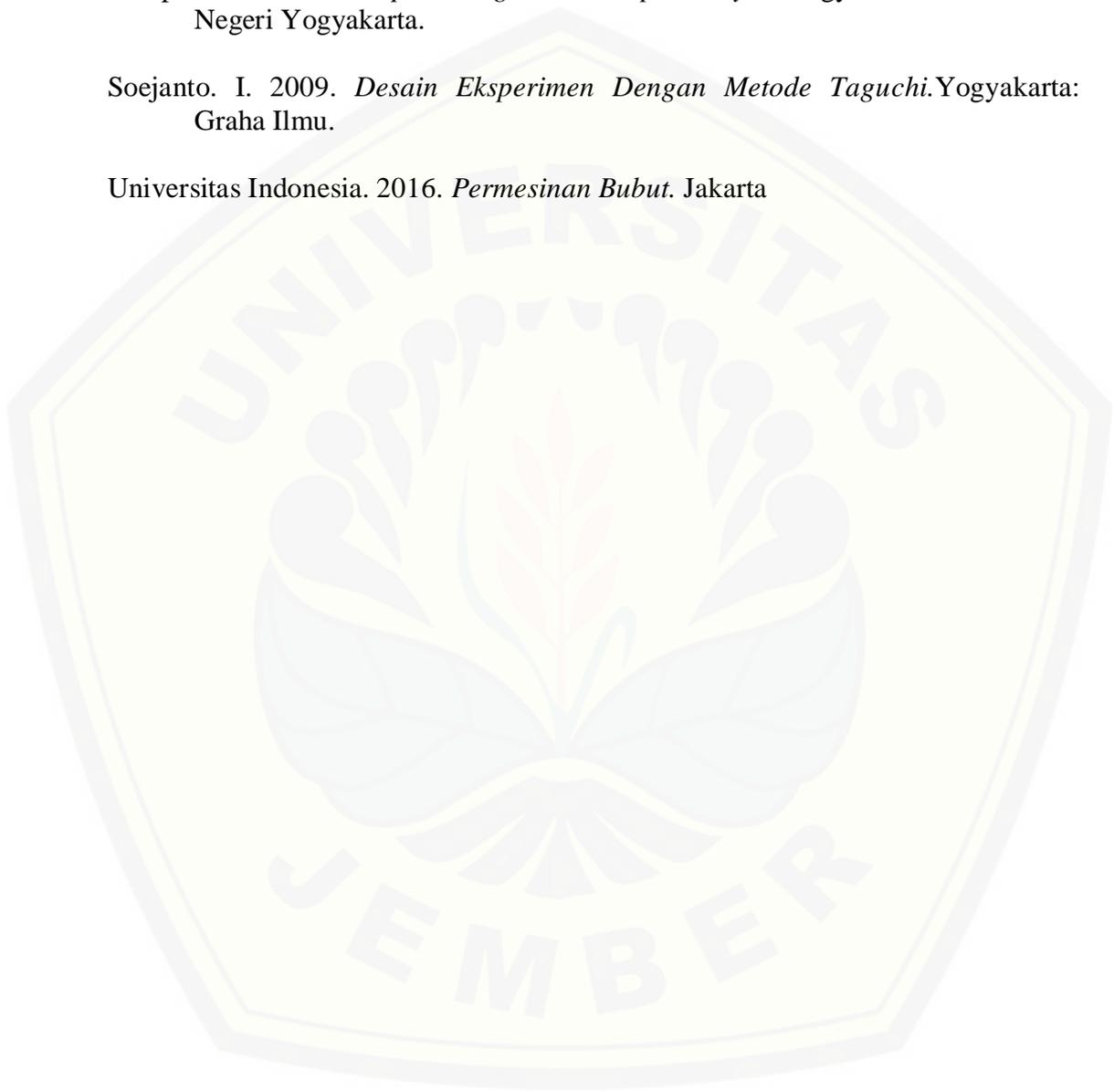
- Arifianto, Irawan, Widodo. 2016. *Studi pendahuluan penggunaan minimum quantity lubricant pada proses pemesinan*. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama.
- Arsana. P. 2019. *Pengaruh variasi media pendingin terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil pembubutan rata pada baja ST. 37*. Singaraja: Universitas Pendidikan Ganesha.
- Buana. F. 2016. *Analisa pembentukan geram pada proses pembubutan baja AISI 4340*. Medan: Sekolah Tinggi Teknik Harapan.
- Dhar. N.R. 2005. *Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel*. Journal of Materials Processing Technology Volume 172, Issue 2, 28 February 2006, Pages 299-304
- Ginting. 2014. *Study pengaruh parameter pemotongan terhadap geometri geram pada pemesinan laju tinggi, keras dan kering*. Medan: Politeknik Negeri Medan.
- Ghughe, Nilesh C, dkk. 2012. *Minimum Quantity Lubrication. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) ISSN: 2250-3021 ISBN: 2878-8719 PP 55-60*. National Symposium on engineering and Research
- Klocke. 2011. *Manufacturing Processes I*. Springer: Berlin
- Laboratorium Sistem Manufaktur Terintegrasi. 2017. *Modul Tutorial Mesin Bubut*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
- Mabrouki. T. 2015. *Computational simulation of manufacturing processes Some insights on the modelling of chip formation and its morphology during metal cutting operations*. Tunis : Université de Tunis El Manar
- Pathak, K. 2017:53. *Manufacturing process II total book from IIT kharagpur*. Kharagpur: Indian Institute of Technology.
- Rahdiyanta. 2010. *Materi kuliah proses pemesinan*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rao, P. N. 2002. *Manufacturing Technology Metal Cutting and Machine Tools*. Shah Alam, Malaysia: Universiti Teknologi, MARA.

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.

Sutopo. 2012. *Cairan pemotongan dan aplikasinya*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Soejanto. I. 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Universitas Indonesia. 2016. *Permesinan Bubut*. Jakarta



**LAMPIRAN**

**Lampiran 1 Pembuatan Alat**



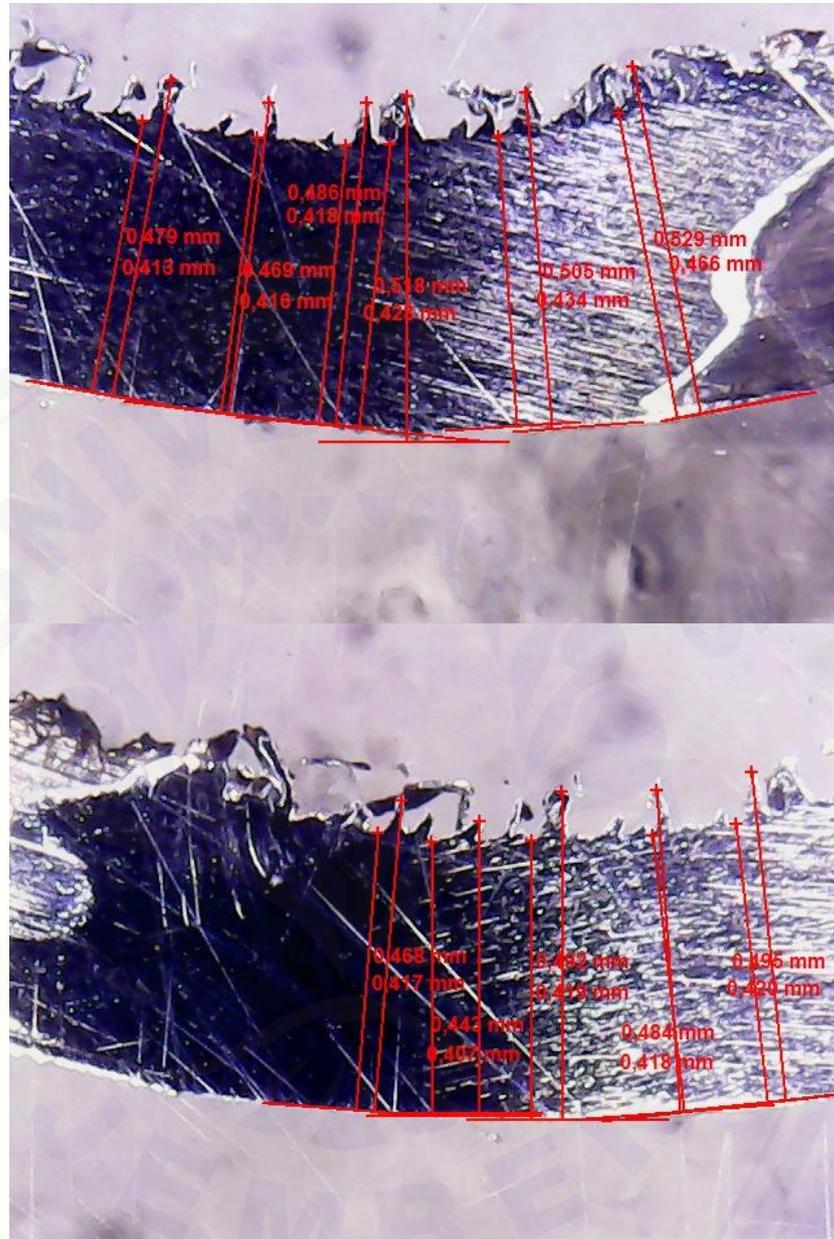
**Lampiran 2 Proses Pembubutan**

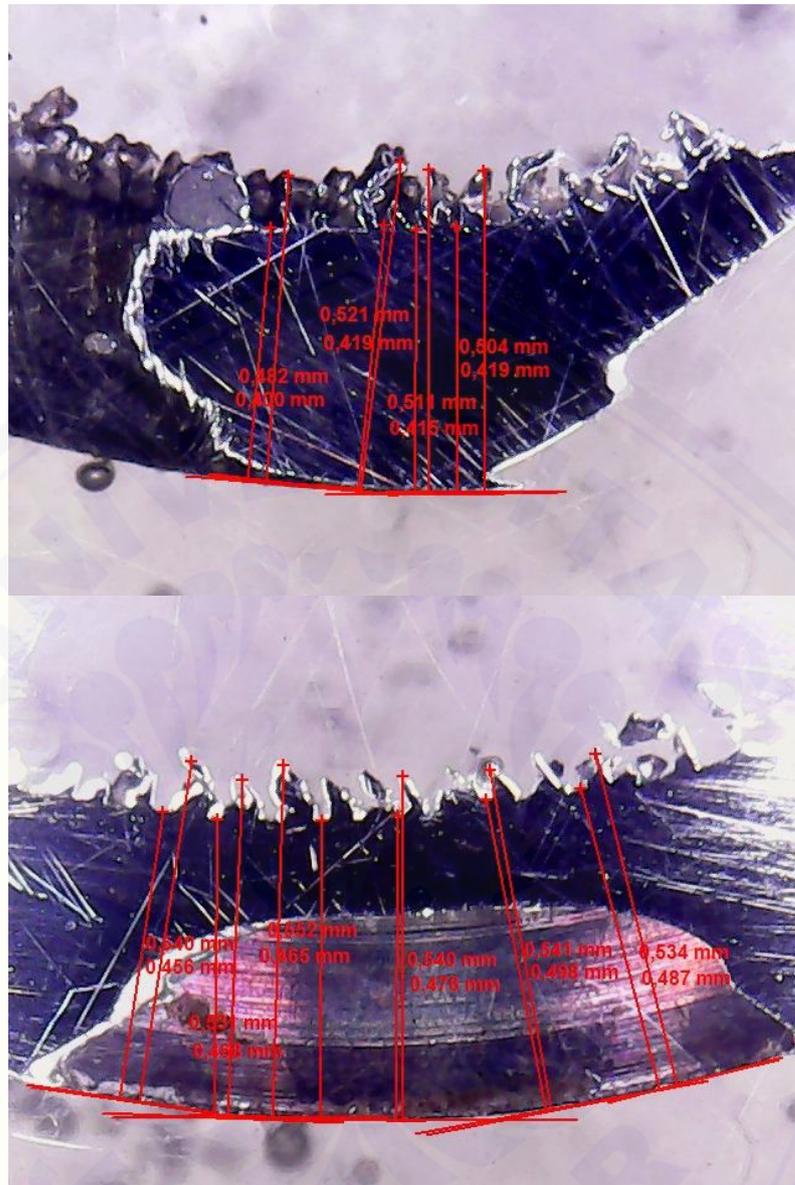


**Lampiran 3 Total yang Dihasilkan**



Lampiran 4 Perhitungan *degree of seration*





Lampiran 5 Tabel F statistik  $\alpha = 0,05$

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

**Lampiran 3 Perhitungan**

Rata-rata respon *depth of cut* level 2 dan 3

$$\bar{A}_2 = \frac{(5,951) + (7,368) + (6,106)}{3} = 6,475$$

$$\bar{A}_3 = \frac{(3,056) + (3,895) + (3,226)}{3} = 3,393$$

Rata-rata respon Komposisi level 1, 2 dan 3

$$\bar{B}_1 = \frac{(4,285) + (5,951) + (3,056)}{3} = 4,430$$

$$\bar{B}_2 = \frac{(5,255) + (7,368) + (3,895)}{3} = 5,506$$

$$\bar{B}_3 = \frac{(6,661) + (6,106) + (3,226)}{3} = 5,331$$

Rata-rata respon Metode level 1, 2 dan 3

$$\bar{C}_1 = \frac{(4,285) + (6,106) + (3,895)}{3} = 4,762$$

$$\bar{C}_2 = \frac{(5,255) + (5,951) + (3,226)}{3} = 4,811$$

$$\bar{C}_3 = \frac{(6,661) + (7,368) + (3,056)}{3} = 5,089$$

Jumlah kuadrat faktor (komposisi)

$$S_B = \frac{[\text{Total } B_1]^2}{n_1} + \frac{[\text{Total } B_2]^2}{n_2} + \frac{[\text{Total } B_3]^2}{n_3} - \frac{[\text{Total } B]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_B = \frac{[13,291]^2}{3} + \frac{[16,519]^2}{3} + \frac{[16,662]^2}{3} - \frac{[46,472]^2}{9}$$

$$S_B = 1,999$$

Jumlah kuadrat faktor (metode)

$$S_C = \frac{[\text{Total } C_1]^2}{n_1} + \frac{[\text{Total } C_2]^2}{n_2} + \frac{[\text{Total } C_3]^2}{n_3} - \frac{[\text{Total } C]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_C = \frac{[14,286]^2}{3} + \frac{[14,432]^2}{3} + \frac{[17,085]^2}{3} - \frac{[45,803]^2}{9}$$

$$S_C = 1,654$$

Persen kontribusi faktor kendali komposisi

$$SS^i_B = SS_B - MS_e (DK_B)$$

$$SS^i_B = 1,999 - 0,401(2)$$

$$SS^i_B = 1,999 - 0,802$$

$$SS^i_B = 1,196$$

$$\rho_B = \frac{SS^i_B}{SS_T} \times 100\%$$

$$= \frac{1,196}{19,143} \times 100\%$$

$$\rho_B = 6,249\%$$

Persen kontribusi faktor kendali metode

$$SS^i_C = SS_C - MS_e (DK_C)$$

$$SS^i_C = 1,654 - 0,401(2)$$

$$SS^i_C = 1,654 - 0,802$$

$$SS^i_C = 0,852$$

$$\rho_C = \frac{SS^i_C}{SS_T} \times 100\%$$

$$= \frac{0,852}{19,143} \times 100\%$$

$$\rho_C = 4,449\%$$