



**PENGARUH METODE PELUMASAN BERKuantitas
MINIMUM (*MQL*) TERHADAP
NILAI PERUBAHAN BENTUK PAHAT**

SKRIPSI

Oleh

Allen Luviandy

NIM 151910101050

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH METODE PELUMASAN BERKUANTITAS
MINIMUM (*MQL*) TERHADAP
NILAI PERUBAHAN BENTUK PAHAT**

SKRIPSI

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

Oleh

Allen Luviandy

NIM 151910101050

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan ikhlas dan kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada:

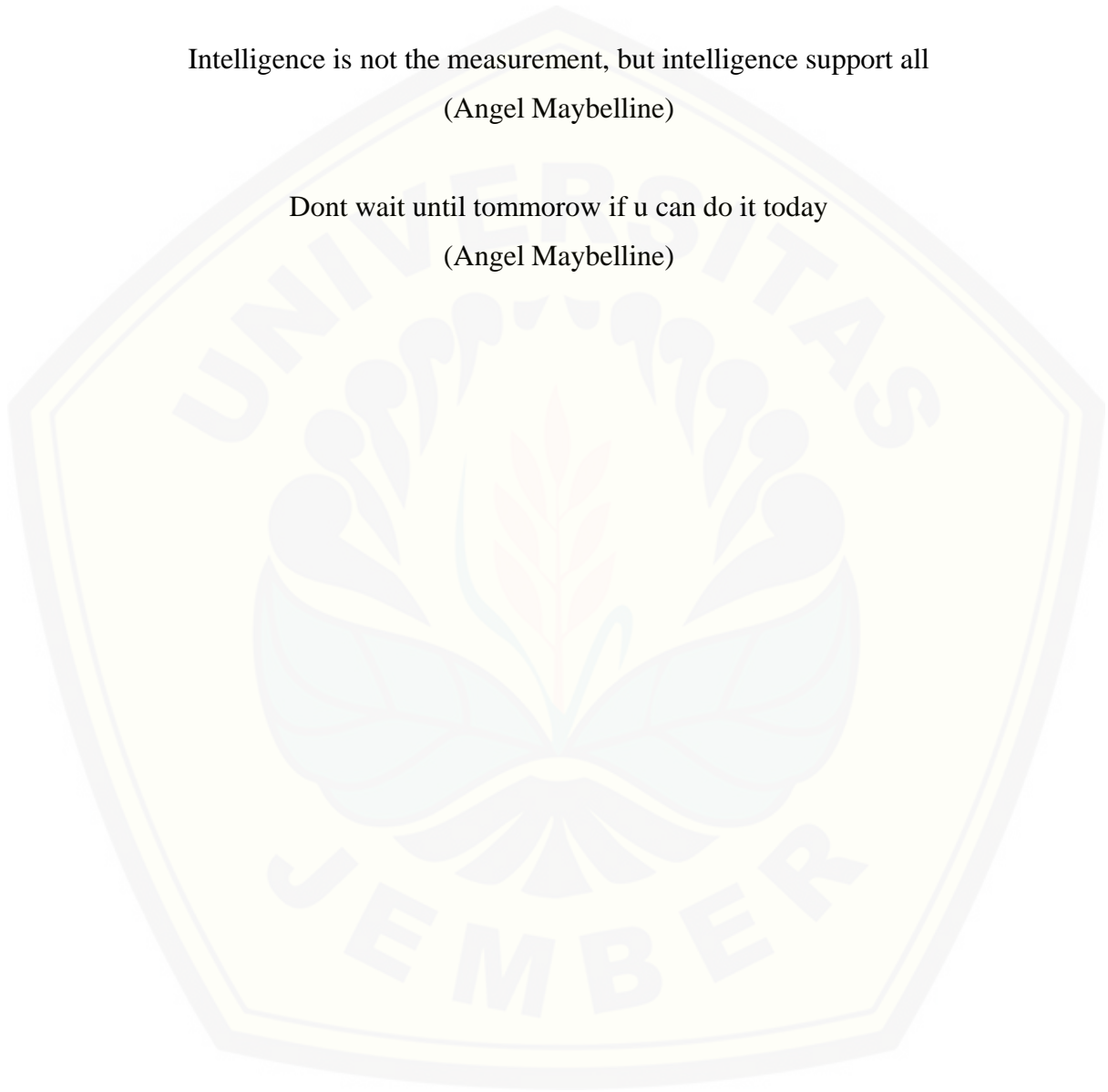
1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkah rahmat dan berkatNya, sehingga skripsi ini selesai pada waktunya.
2. Keluarga saya, Papa Ajie Soetanto, Mama Rianawaty Kanessa, Koko Rendy Septianus, dan Adik Yufen Maria Clarencia. Terimakasih sudah memberikan bantuan baik berupa doa, semangat maupun kasih sayang sehingga skripsi ini dapat selesai sesuai harapan.
3. Keluarga besar saya yang telah membantu menyelesaikan proses perkuliahan selama ini.
4. Pasangan hidup saya, Angel Maybelline. Terima kasih atas semangat dan motivasi yang diberikan sehingga skripsi ini dapat selesai.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang Bapak/Ibu berikan bermanfaat dan barokah untukku dan untuk pribadi masing-masing serta menjadi amalan penolong Bapak/Ibu kelak.
6. Teman-teman kelompok MQL, Dicky Aprilian Nugraha, Agil Widhy Azizi, Gerry Gardika Surya Dinata, dan Maulana Muhammad Firdaus. Terima kasih atas dukungan dan kerja sama yang dijalin selama proses menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman kelompok Kerja Praktek PT. PAL Indonesia, Yusca Alvantio Permana, Prayogo Alim Pangestu, dan Bogaskara Difa Santoso.
8. Teman kumpul, Visarlizzaki, Ahmad Wafi, Mohamad Mukhlisin, Dwi Nanda Achmad Suryansyah, Fery Kurniawan, dan lainnya.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2015.

MOTTO

Wish without an act is just a wish
(Allen Luviandy)

Intelligence is not the measurement, but intelligence support all
(Angel Maybelline)

Dont wait until tommorow if u can do it today
(Angel Maybelline)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Allen Luviandy

NIM : 151910101050

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Metode Pelumasan Berkuantitas Minimum (MQL) Terhadap Nilai Perubahan Bentuk Pahat” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 19 November 2019

yang menyatakan,

Allen Luviandy

NIM 151910101050

SKRIPSI

**PENGARUH METODE PELUMASAN BERKUANTITAS
MINIMUM (*MQL*) TERHADAP
NILAI PERUBAHAN BENTUK PAHAT**

Oleh

Allen Luviandy

NIM 151910101050

Pembimbing

Pembimbing Utama

: Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T.,MT

Pembimbing Anggota

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Metode Pelumasan Berkuantitas Minimum (MQL) terhadap Nilai Perubahan Bentuk Pahat” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 19 November 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 I,

Anggota II,

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

Ir. Aris Zainul Muttaqin, S.T., MT
NIP. 196812071995121002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Metode Pelumasan Berkuantitas Minimum (MQL) terhadap Nilai Perubahan Bentuk Pahat; Allen Luviandy, 151910101050; 2019; 66 halaman; Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

Dunia industri sekarang banyak menggunakan mesin-mesin dalam melakukan suatu pekerjaan, baik itu mesin konvensional maupun non-konvensional. Pahat merupakan komponen yang paling berpengaruh dalam proses pemesinan. Pahat adalah suatu alat yang digunakan sebagai pemotong benda kerja pada suatu proses pemesinan. Faktor yang mempengaruhi kualitas suatu pahat adalah *cutting ability* atau kemampuan potong dari suatu pahat tersebut. Seiring dengan pemakaian, pahat tentu juga memiliki umur karena keausan yang disebabkan oleh gesekan terus menerus dengan benda kerja sehingga pahat tidak dapat digunakan kembali. Untuk mengurangi keausan pahat maka digunakan cairan pendingin pada proses pemesinannya. Namun pemakaian *cutting fluid* yang berlebihan juga menjadi sebuah masalah baru karena memiliki efek samping yang buruk bagi lingkungan. Untuk mengurangi dampak buruk dari cairan pendingin tersebut maka digunakan metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL). MQL adalah metode yang menitikberatkan pada penggunaan cairan pelumasan maupun pendinginan dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan volume cairan pendingin yang berlebihan.

Alasan digunakannya metode MQL adalah untuk menghindari penggunaan cairan pendingin yang berlebihan, menjaga suhu pahat dimana nantinya juga dapat menekan biaya produksi dan mengurangi keausan pahat. Penggunaan cairan pendingin yang berlebihan dapat berdampak berbahaya bagi kesehatan para pekerja, maka dari itu metode MQL ini merupakan salah satu pilihan yang tepat untuk mengurangi resiko tersebut.

Pada penelitian ini, metode MQL digabungkan dengan sistem otomasi pada penyemprotan pendinginnya. Sistem otomasi adalah suatu sistem dimana pengerjaan dilakukan dengan diprogram pada sebuah mikrokontroller sebagai input datanya sehingga data yang dihasilkan menjadi lebih akurat dibandingkan dengan pengerjaan secara manual.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboraturium kerja logam dan Laboratorium uji material, jurusan Teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Pada bulan Mei hingga September 2019. Penelitian ini mengambil data nilai *tool deterioration* yang dihasilkan dengan metode Taguchi berdasarkan matriks orthogonal L9 dengan pengulangan sebanyak 3 kali untuk tiap kombinasinya.

Kontribusi faktor kendali pada nilai *tool deterioration* yang signifikan dipengaruhi oleh faktor kendali yaitu *depth of cut* dengan kontribusi sebesar 32,69%, kontribusi komposisi sebesar 17,30%, dan metode pemberian cairan pelumas dengan kontribusi sebesar 12,82%. Kondisi optimal yang dihasilkan adalah pada *depth of cut* level 1 (1,6 mm), komposisi level 1 (3:7), dan metode level 2 (MQL otomasi).

SUMMARY

The Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method to Tool Deterioration Value; Allen Luviandy, 151910101050; 2019; 66 pages; majoring in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The industrial world is now using a lot of machines in doing a job, both conventional and non-conventional machines. Chisel is the most influential component in the machining process. Chisel is a tool used as a workpiece cutter in a machining process. The factor that influences the quality of a tool is the cutting ability of the tool. Along with usage, the tool certainly also has a lifetime due to wear caused by continuous friction with the workpiece so that the tool cannot be reused. To reduce tool wear, coolant is used in the machining process. But excessive use of cutting fluid is also a new problem because it has bad side effects for the environment. To reduce the adverse effects of the coolant, the Minimum Quantity Lubrication (MQL) method is used. MQL is a method that focuses on the use of lubrication and cooling fluids with the aim of reducing the use of excessive coolant volume.

The reason for using the MQL method is to avoid excessive use of coolant, maintain tool temperatures which can also reduce production costs and reduce tool wear. Excessive use of coolant can have a dangerous impact on the health of workers, therefore this MQL method is one of the right choices to reduce this risk.

In this study, the MQL method is combined with the automation system on the cooling spray. Automation system is a system where workmanship is done by being programmed in a microcontroller as input data so that the resulting data becomes more accurate compared to manual workmanship.

This research was carried out in the metal work Laboratory and material testing Laboratory, majoring in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember. In May to September 2019. This study took data on the value of the deterioration tool produced by the Taguchi method based on the L9 orthogonal matrix with 3 repetitions for each combination.

Contribution of control factor to the value of tool deterioration is significantly influenced by the control factor, namely depth of cut with a contribution is 32.69%, composition contribution is 17.30%, and method of applying lubricating fluid with a contribution is 12.82%. The resulting optimal conditions are at level 1 depth of cut (1.6 mm), level 1 composition (3: 7), and level 2 method (MQL automation).

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan YME yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Metode Pelumasan Berkuantitas Minimum (MQL) terhadap Nilai Perubahan Bentuk Pahat”. 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 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 Dr. Agus Triono, S.T., 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 Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T.,MT selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak 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 Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Robertus Sidartawan, 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. Papa dan Mama serta seluruh keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat selesai pada waktunya.
7. Angel Maybelline selaku *moodbooster* saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi lebih cepat.

8. Grup Research MQL yang beranggotakan Maulana Muhammad Firdaus, Dicky Aprilian Nugraha, Agil Widhy Azizi, dan Gerry Gardika Surya Dinata.
9. Teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2015.
10. Agus Subekti Teknik Mesin 2012 terimakasih telah membantu terselesainya skripsi ini.
11. 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, 19 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Narasi Jurnal.....	5
2.2 Pemesinan.....	6
2.2.1 Mesin Bubut.....	6
2.2.2 Parameter pemesinan.....	9
2.3 Pahat.....	11
2.3.1 Pengertian pahat.....	11
2.3.2 Pahat insert karbida.....	11
2.3.3 <i>Tool Deterioration</i>	12
2.3.4 Macam-macam pahat bubut.....	13
2.3.5 Sudut-sudut pahat bubut.....	14

2.4 Cairan Pendingin.....	17
2.4.1 Jenis-jenis cairan pendingin.....	17
2.4.2 Cairan pendingin Chromax 536.....	18
2.4.3 Metode pemberian cairan pendingin.....	18
2.4.4 Dampak negatif penggunaan cairan pendingin berlebihan....	20
2.5 Baja AISI 4340.....	20
2.6 Sistem Otomasi	21
2.6.1 Penggunaan sistem otomasi.....	21
2.6.2 Elemen pada sistem otomasi.....	22
2.6.2 Hubungan metode MQL dan sistem otomasi.....	22
2.6.4 Keuntungan sistem otomasi pada metode MQL	23
2.7 Metode Taguchi	23
2.7.1 Tahap perencanaan eksperimen	24
2.7.2 Tahap pelaksanaan eksperimen	25
2.7.3 Tahap analisa.....	26
2.7.4 Interpretasi hasil eksperimen	30
2.8 Hipotesa	32
BAB 3 METODOLOGI	33
3.1 Metode penelitian.....	33
3.2 Tempat penelitian.....	33
3.3 Alat dan Bahan.....	33
3.3.1 Alat	33
3.3.2 Bahan	35
3.4 Variabel penelitian	36
3.5 Metode pengambilan data	37
3.5.1 Data perubahan bentuk pahat.....	37
3.5.2 Hasil pengujian.....	37
3.6 Metode Analisis	39
3.7 Diagram Alir	40

BAB 4 PEMBAHASAN	41
4.1 Pembahasan penelitian	41
4.1.1 Penetapan nilai <i>Tool Deterioration</i>	41
4.1.2 <i>Setting</i> alat MQL	45
4.2 Data nilai hasil <i>Tool Deterioration</i> proses pembubutan	46
4.3 Perhitungan S/N Rasio	47
4.4 Perhitungan <i>means</i>	48
4.5 Hasil optimasi	49
4.6 Analisa Varian, Uji F, dan Persen Kontribusi.....	52
4.7 Prediksi respon optimal	55
4.8 Eksperimen Konfirmasi.....	56
4.9 Pembahasan.....	57
BAB 5 PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Benda Kerja.....	21
Tabel 2.2 Tabel matriks ortogonal L9(3 ³).....	25
Tabel 3.1 Spesifikasi pahat DCMT 11.....	34
Tabel 3.2 Variabel Bebas dan Level.....	36
Tabel 3.3 Hasil penelitian.....	38
Tabel 3.4 Kode Sampel.....	39
Tabel 4.1 Perbandingan pahat <i>insert</i>	45
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian.....	47
Tabel 4.3 Data hasil S/N rasio.....	48
Tabel 4.4 Data rata-rata hasil <i>means</i>	49
Tabel 4.5 Respon rata-rata nilai S/N rasio setiap faktor kendali.....	49
Tabel 4.6 Kombinasi parameter respons optimum.....	52
Tabel 4.7 Hasil analisis varian untuk rasio S/N.....	53
Tabel 4.8 Kondisi Hipotesa H ₀	54
Tabel 4.9 Persen kontribusi tiap faktor kendali.....	54
Tabel 4.10 Hasil eksperimen konfirmasi.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin bubut konvensional.....	6
Gambar 2.2 Kepala tetap	7
Gambar 2.3 Kepala lepas	7
Gambar 2.4 Eretan	8
Gambar 2.5 Alas mesin.....	8
Gambar 2.6 Rumah pahat	9
Gambar 2.7 Geometri keausan pahat	13
Gambar 2.8 Sudut rake sisi	14
Gambar 2.9 Sudut rake belakang	15
Gambar 2.10 Sudut bebas sisi	15
Gambar 2.11 Sudut bebas muka	15
Gambar 2.12 Sudut sisi potong samping.....	16
Gambar 2.13 Sudut sisi potong depan.....	16
Gambar 2.14 Cairan pendingin chromax 536.....	18
Gambar 2.15 Baja AISI 4340.....	21
Gambar 3.1 Mata pahat insert DCMT 11	34
Gambar 3.2 Mikroskop.....	34
Gambar 3.3 Digital mikroskop USB	35
Gambar 3.4 Kontroler sistem pendingin	35
Gambar 3.5 Dimensi benda kerja.....	36
Gambar 3.6 Diagram alir	40
Gambar 4.1 (a) Pahat <i>insert</i> DCMT 1	41
Gambar 4.1 (b) Bagian <i>Flank</i> pahat <i>insert</i>	41
Gambar 4.1 (c) Bagian <i>Right Side Rake</i> pahat <i>insert</i>	41
Gambar 4.1 (d) Bagian <i>Left Side Rake</i> pahat <i>insert</i>	41
Gambar 4.2 <i>Right side rake</i> pahat percobaan 3 replikasi 3.....	42
Gambar 4.3 <i>Left side rake</i> pahat percobaan 1 replikasi 3	43
Gambar 4.4 <i>Left side rake</i> pahat percobaan 5 replikasi 1	43
Gambar 4.5 <i>Flank</i> pahat percobaan 8 replikasi 2	44

Gambar 4.6 <i>Setting</i> sensor pada pahat	45
Gambar 4.7 Plot rata-rata nilai S/N rasio	50
Gambar 4.8 Nilai hasil rata-rata <i>means</i>	51
Gambar 4.9 <i>Right side rake</i> pahat <i>insert</i> percobaan 8 replikasi 2.....	58



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dunia industri sekarang banyak menggunakan mesin-mesin dalam melakukan suatu pekerjaan, baik itu mesin konvensional maupun non-konvensional. Pahat merupakan komponen yang paling berpengaruh dalam proses pemesinan. Pahat adalah suatu alat yang digunakan sebagai pemotong benda kerja pada suatu proses pemesinan. Faktor yang mempengaruhi kualitas suatu pahat adalah *cutting ability* atau kemampuan potong dari suatu pahat tersebut (Qomaruddin dan Rahmanto, 2018). Seiring dengan pemakaian, pahat tentu juga memiliki umur karena keausan yang disebabkan oleh gesekan terus menerus dengan benda kerja sehingga pahat perlu diasah kembali. Keausan pahat adalah suatu fenomena terkikisnya bagian pahat yang disebabkan karena adanya gesekan antara benda kerja dan material akibat suatu pemakanan (*feeding*). Banyak faktor yang mempengaruhi keausan pahat yaitu adalah geometri pahat, pemberian cairan pendingin (*cutting fluid*), jenis material pahat dan benda kerja, waktu pemakaian, suhu karena gesekan, kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan (Dalimunthe, 2009).

Penelitian ini difokuskan pada pengaruh pemberian *cutting fluid* dengan menggunakan metode MQL (*Minimum Quantity Lubrication*) sehingga dapat memperpanjang umur pahat dan mencegah keausan pahat. *Cutting fluid* memiliki fungsi sebagai cairan pendingin sekaligus pelumas yang berguna untuk tetap menjaga suhu dari pahat maupun benda kerja agar tidak *overheat*. *Overheat* adalah suatu keadaan ketika suhu pada material maupun pahat terlalu tinggi sehingga perlu diberi cairan pendingin. Keadaan *overheat* ini sangat mempengaruhi pada umur pahat karena apabila suhu semakin tinggi maka akan menyebabkan pahat menjadi cepat tumpul dan proses pemakanan menjadi tidak maksimal. Namun pemakaian *cutting fluid* yang berlebihan juga menjadi sebuah masalah baru karena memiliki efek samping yang buruk bagi lingkungan.

Terdapat banyak cara pemberian cairan pendingin yang biasa digunakan, namun pada penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan metode *flood*, tetes, dan MQL. Metode *flood* adalah metode yang memberikan cairan pelumasan

secara terus menerus kepada pahat dengan tujuan untuk menjaga suhu pahat. Metode tetes yaitu pemberian cairan pendingin kepada pahat secara terus menerus namun dengan cara ditetesi. Pengertian MQL adalah metode yang menitikberatkan pada penggunaan cairan pelumasan maupun pendinginan dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan volume cairan pendingin yang berlebihan pada suatu pengerjaan mesin, baik mesin bubut, *milling*, dan *drilling* (Boubekri, 2015).

Alasan digunakannya metode MQL adalah untuk menghindari penggunaan cairan pendingin yang berlebihan, menjaga suhu pahat dimana nantinya juga dapat menekan biaya produksi dan mengurangi keausan pahat. Penggunaan cairan pendingin yang berlebihan dapat berdampak berbahaya bagi kesehatan para pekerja, maka dari itu metode MQL ini merupakan salah satu pilihan yang tepat untuk mengurangi resiko tersebut. Metode MQL menurut Basuki (2014) dan Boubekri (2015) memiliki debit penggunaan cairan pendingin yang berkisar antara 50 sampai 500 mililiter per jamnya. Menurut Boubekri (2015) pada penelitiannya dikatakan bahwa metode MQL ini lebih efektif dibandingkan metode *flood* dimana dapat mengurangi penggunaan cairan pelumasan (*cutting fluid*) yang berlebihan. Lebih lanjut, menurut Boubekri (2015) dikatakan bahwa metode MQL juga menghasilkan permukaan yang lebih halus dan bisa mengurangi suhu pengerjaan dibandingkan dengan metode *dry cutting* (metode pemesinan dimana tidak menggunakan cairan pelumasan sama sekali).

Untuk menentukan kapan cairan pendingin akan disemprotkan tentu juga ada faktor yang harus diperhatikan karena metode MQL ini berprinsip pada penggunaan cairan pendingin yang seminimal mungkin. Hal tersebut juga yang menjadi salah satu kelemahan metode MQL karena tidak boleh asal dalam memberikan cairan pendingin. Menentukan kapan penyemprotan dilakukan dapat dikontrol dengan sistem sensor yang berbasis pada otomasi sehingga penggunaan cairan pendingin menjadi tidak berlebihan dan dapat dikontrol sesuai keinginan operator.

Selain menggunakan metode MQL, juga digunakan sistem otomasi pada penyemprotan cairan pelumasan untuk menambah keakuratan dalam pengambilan data melalui sistem sensor karena mesin bubut yang digunakan dalam penelitian ini masih bersifat konvensional. Sehingga dengan menggabungkan metode MQL dan sistem otomasi ini merupakan pilihan yang tepat dalam melakukan penelitian supaya data yang didapat juga lebih akurat dan relevan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dituliskan rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kedalaman potong (*depth of cut*) terhadap perubahan bentuk pahat (*tool deterioration*)?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi campuran cairan pendingin terhadap perubahan bentuk pahat (*tool deterioration*)?
3. Bagaimana pengaruh variasi metode pemberian cairan pendingin terhadap perubahan bentuk pahat (*tool deterioration*)?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan tingkat perubahan bentuk pahat dengan menggunakan variasi dari kedalaman potong, komposisi campuran cairan pendingin, dan metode pemberian cairan pendingin. Penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan data tentang perubahan bentuk pahat sehingga dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui variasi manakah diantara kedalaman potong, komposisi campuran cairan pendingin, dan metode pemberian cairan pendingin yang paling mempengaruhi perubahan bentuk pahat.



1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin bubut yang digunakan adalah mesin bubut yang terdapat pada lab. Pemesinan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.
2. Sistem pendingin yang digunakan adalah sistem dengan menggunakan otomasi berbasis arduino sehingga didapat data yang lebih valid.
3. Variasi kedalaman potong yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1,6 mm; 1,8 mm; dan 2,0 mm.
4. Variasi perbandingan komposisi campuran cairan pendingin dan air dalam penelitian ini adalah 3:7, 7:3, dan 5:5.
5. Variasi metode pemberian cairan pendingin dalam penelitian ini adalah MQL manual, MQL otomasi, dan *flood*.
6. Hanya membahas tentang perubahan bentuk dari pahat.
7. Menggunakan material baja AISI 4340.
8. Menggunakan pahat jenis Insert Karbida DCMT 11.
9. Cairan pelumas yang digunakan adalah *Cutting Oil Chromax 536*.
10. Nilai dari putaran spindel konstan yaitu 585 rpm.
11. Nilai dari *feed rate* dianggap konstan yaitu 0,122 mm/putaran.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Narasi Jurnal

Berdasarkan studi pustaka dari banyak jurnal penelitian keausan pahat, cairan pendingin sangat berpengaruh terhadap keausan dan umur pahat. Penelitian yang dilakukan oleh Basuki (2014) adalah untuk mengetahui pengaruh dari metode MQL terhadap keausan pahat. Penelitian ini menggunakan Baja AISI 4340 dan pahat yang digunakan adalah jenis insert karbida Plansee Tizit DCMT 11T304. Hasil yang diperoleh adalah untuk mencapai nilai keausan V_B 0,3 mm masing-masing metode pendinginan membutuhkan waktu yang berbeda-beda. Metode pemberian cairan pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah meliputi 4 metode yaitu metode *flood*, metode tetes, metode MQL, dan metode *dry cutting*. Grafik menunjukkan bahwa metode yang paling baik adalah MQL karena waktu untuk mencapai nilai keausan V_B 0,3 mm adalah kurang lebih 126 menit dimana waktu ini paling lama dibanding metode pendinginan lain. Metode pendinginan yang menyebabkan pahat cepat aus adalah metode *dry cutting* karena dibutuhkan waktu kurang lebih 96 menit, lebih cepat dibandingkan metode pendingin yang lain. Metode tetes membutuhkan waktu kurang lebih 110 menit dan untuk metode *flood* membutuhkan waktu kurang lebih 100 menit.

Penelitian tentang keausan pahat lainnya dilakukan oleh Dalimunthe (2009). Penelitian ini menggunakan material Baja AISI 4340 dan pahat jenis HSS (*High Speed Steel*). Penelitian ini tidak meneliti tentang pengaruh cairan pendingin terhadap keausan pahat namun meneliti faktor lainnya yang juga mempengaruhi pada keausan pahat, yaitu pengaruh kecepatan potong. Batas keausan tepi (V_B) yang ditetapkan adalah sebesar 0,3 mm dan pengambilan data keausan ini diambil setiap panjang pengerjaan 100 mm. Hasil penelitian yang didapat adalah semakin besar kecepatan potong maka pahat akan semakin cepat aus. Hal tersebut ditunjukkan pada grafik penelitian, dimana keausan tepi paling kecil adalah saat kecepatan potong 10 meter per menit memiliki nilai keausan tepi sebesar 0,075 mm. Keausan tepi pahat paling besar adalah saat kecepatan potong 50 meter per menit dimana nilai keausan tepi pahat adalah sebesar 0,275 mm.

2.2 Pemesinan

Pemesinan adalah suatu proses produksi dengan menggunakan mesin perkakas dengan gerakan relatif antara pahat dan benda kerja sehingga menghasilkan produk sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan. Pemesinan banyak jenisnya, salah satunya adalah mesin bubut yang digunakan pada penelitian ini. Berikut adalah penjelasan dari mesin bubut beserta bagian-bagian penyusunnya.

2.2.1 Mesin Bubut

Mesin bubut adalah suatu mesin yang digunakan untuk mengerjakan benda berbentuk silinder saja. Prinsip kerja mesin bubut adalah memutar benda kerja dengan dicekam pada spindel mesin bubut kemudian benda kerja akan dimakan oleh sebuah pahat yang digerakkan secara manual maupun secara otomatis (CNC). Mesin bubut bisa digunakan untuk mengurangi diameter benda kerja, dan menghaluskan benda kerja. Mesin bubut sekarang juga terdapat yang otomatis yaitu dengan menggunakan sistem kontrol komputer yaitu CNC. Mesin bubut CNC semuanya dikontrol dengan menggunakan computer mulai dari kecepatan potong, kedalaman potong, sampai proses pendinginan. Namun pada penelitian ini yang akan digunakan adalah mesin bubut yang konvensional seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mesin bubut konvensional

Pada mesin bubut ada banyak bagian-bagian yang memiliki fungsinya masing-masing, bagian tersebut antara lain adalah kepala tetap, kepala lepas, pengecam, eretan, alas mesin, dan rumah pahat.

a. Kepala Tetap

Pada kepala tetap terdapat spindel yang berfungsi sebagai tempat dudukan dari pengecam benda kerja. Kepala tetap ini nantinya akan bergerak memutar dengan memanfaatkan transmisi dari *pulley* yang dihubungkan langsung dengan mesin. Gambar dari kepala tetap dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kepala tetap

b. Kepala Lepas

Kepala lepas ini adalah alat yang berfungsi sebagai penentu titik tengah dari benda kerja dan membantu pengerjaan apabila material yang akan dikerjakan sangat panjang. Kepala lepas ini dapat digeser sesuai dengan lintasan pada alas kerja seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kepala lepas

c. Pencekam (*Chuck*)

Pencekam ini terdapat pada kepala tetap dan berfungsi untuk mencekam benda kerja yang akan dibubut. Pencekam berhubungan langsung dengan kepala tetap seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.

d. Eretan

Eretan adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menggerakkan pemakanan benda kerja. Eretan ada 3 jenis yaitu eretan untuk gerak melintang benda kerja, eretan untuk gerak memanjang benda kerja, dan eretan atas yang berfungsi untuk mengatur sudut pemakanan. Gambar dari eretan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Eretan

e. Alas Mesin

Alas mesin adalah sebuah bagian pada mesin bubut yang berfungsi sebagai tempat dudukan eretan dan kepala lepas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Alas mesin

f. Rumah Pahat (*Tool Post*)

Rumah pahat adalah salah satu bagian pada mesin bubut yang berfungsi sebagai tempat kedudukan dan pencekam pahat. Gambar dari rumah pahat dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rumah pahat

2.2.2 Parameter pemesinan

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 (m / 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. Laju pemakanan

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

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

Keterangan:

V_f : Laju pemakanan (mm / menit)

f: Gerak makan (mm)

n: Putaran poros utama (rpm)

d. *Material Removal Rate*

Material removal rate adalah laju penghasil geram. 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 (mm³/ menit)

V_f : Laju pemakanan (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.

$$T_c = \frac{lt}{v_f} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

T_c : Waktu pemotongan (menit)

l : Panjang benda kerja yang dipotong (mm)

v_f : Laju pemakanan (mm / menit)

2.3 Pahat

2.3.1 Pengertian Pahat

Pahat adalah suatu alat yang digunakan untuk melakukan kerja pemakanan pada material atau benda kerja. Menurut Qomaruddin dan Rahmanto (2018), salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas suatu pahat bubut adalah *cutting ability* atau kemampuan potong dari pahat bubut. Dalam pengaplikasiannya, pahat pasti akan mengalami keausan dan juga memiliki umur pakai sehingga perlu pengasahan ulang oleh operator. Menurut Basuki, 2014 keausan adalah segala macam proses yang terjadi pada material. Selain melihat kemampuan potong suatu pahat, pemilihan material pahat yang benar akan mempengaruhi umur pakai dari suatu pahat (Qomaruddin dan Rahmanto, 2018). Menurut Rochim (2007), setiap pahat yang digunakan dalam proses pemesinan harus memiliki keunggulan dari segi kekerasan, keuletan, ketahanan beban kejut termal, sifat adhesi yang rendah, dan daya larut komponen material pahat yang rendah.

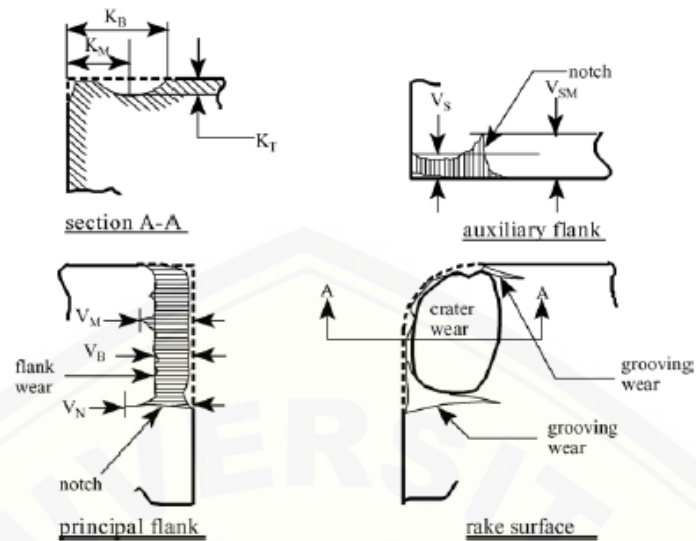
2.3.2 Pahat Insert Karbida

Penelitian MQL ini menggunakan pahat jenis karbida. Pahat insert karbida ini dibentuk dengan campuran bahan kimia yang berbentuk dasar butir-butir abrasif yang sangat halus tetapi dapat dipadatkan (Rochim, 2007). Pahat karbida ini memiliki kekerasan 3 kali lipat lebih kuat dari baja sehingga dapat digunakan untuk pengerjaan material dengan kekerasan yang tinggi. Karbida adalah bahan pahat yang dibuat dengan cara proses sintering serbuk karbida dengan bahan pengikat lain yang umumnya adalah Cobalt (Co) dengan cara *carburizing* masing-masing bahan dasar Tungsten Wolfram (W), Titanium (Ti), dan Tantalum (Ta) yang kemudian dibuat menjadi karbida dengan digiling menggunakan mesin *ball*

milling. Proses sintering adalah proses yang melakukan pemanasan sampai melebihi titik leleh.

2.3.3 Tool Deterioration

Tool deterioration adalah sebuah keadaan dimana pahat yang digunakan dalam pemakanan mengalami perubahan bentuk, baik itu dari segi keausan maupun penambahan material tertentu sehingga bentuk pahat akan berbeda dari saat sebelum digunakan. Keausan pahat termasuk ke dalam kategori *tool deterioration* karena fenomena keausan ini akan merubah bentuk suatu pahat. Menurut Dalimunthe (2009) faktor yang mempengaruhi dalam keausan dan umur pahat adalah geometri pahat, pemberian cairan pendingin (*cutting fluid*), jenis material pahat dan benda kerja, waktu pemakaian, suhu karena gesekan, kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan. Pada penelitian ini variasi dari parameter pemotongan yang digunakan adalah *depth of cut*, komposisi campuran cairan pendingin, dan metode pemberian cairan pendingin. Dari ketiga variasi tersebut nantinya akan diketahui variasi manakah yang akan memiliki pengaruh paling besar terhadap *tool deterioration*. Sebagai akibat kontak langsung antara pahat dengan benda kerja maka akan terjadi keausan pada 3 (tiga) sisi pahat, yaitu: permukaan *rake*, *flank*, dan *nose* yang dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pada kecepatan potong yang rendah, oksigen dari udara dan air pada celah-celah pahat dengan geram atau benda kerja mempunyai peluang untuk bereaksi sehingga mengurangi derajat penyatuan (afinitas) dengan permukaan pahat. Derajat afinitas tersebut akan memperluas daerah kontak pergeseran antara logam dengan logam sehingga proses keausan akan lebih cepat dari sebelumnya (Rochim, 2007).



Gambar 2.7 Geometri keausan pahat

(Sumber : Basuki, 2014)

Pada umumnya batas keausan tepi (V_B) yang biasa digunakan pada pahat HSS adalah sebesar 0,3 mm sampai 0,8 mm (Dalimunthe, 2009). Namun untuk memperoleh hasil yang maksimal akan diambil batas keausan tepi yang paling minimal yaitu 0,3 mm.

2.3.4 Macam-Macam Pahat Bubut

Menurut fungsinya, pahat bubut dibagi menjadi 6 macam yaitu antara lain adalah sebagai berikut:

a. Pahat Rata

Pahat bubut jenis ini digunakan untuk membubut permukaan rata pada bidang memanjang. Sistem kerjanya adalah dengan menggerakkan pahat dari ujung luar benda kerja ke arah cekam atau sebaliknya tergantung pahat kanan atau kiri.

b. Pahat Sisi/Muka

Pahat bubut jenis ini yang digunakan untuk membubut pada permukaan benda kerja. Sistem kerjanya adalah dengan menggerakkan dari tengah benda kerja ke arah keluar atau sebaliknya tergantung dari arah putarannya.

c. Pahat Potong

Pahat jenis ini digunakan khusus untuk memotong suatu benda kerja hingga ukuran panjang tertentu.

d. Pahat Alur

Pahat jenis ini digunakan untuk membentuk profil alur pada permukaan benda kerja. Bentuk tergantung dari pahat alur yang digunakan.

e. Pahat Champer

Pahat jenis ini digunakan untuk menchamper pada ujung permukaan benda kerja. Besar sudut champer pada umumnya 45° .

f. Pahat Ulir

Pahat jenis ini digunakan untuk membuat ulir pada permukaan benda kerja, baik pembuatan ulir dalam maupun ulir luar.

2.3.5 Sudut-sudut pada Pahat Bubut

Pada pahat bubut, terdapat bagian-bagian yang memiliki fungsinya masing-masing. Bagian-bagian tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

a. *Side Rake Angle* (Sudut rake sisi)

Sisi ini menunjukkan permukaan bagian atas pahat yang digerinda miring dengan membentuk sudut terhadap permukaan potong sisi. Sudut yang dibentuk adalah sebesar kurang lebih 14° . Gambar sudut rake sisi ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.

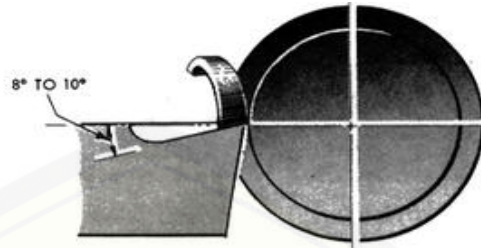


Gambar 2.8 Sudut rake sisi

b. *Back Rake Angle* (Sudut rake belakang)

Sisi ini merupakan bagian atas pahat yang digerinda miring dengan membentuk sudut terhadap permukaan ujung. Sudut yang dibentuk berkisar

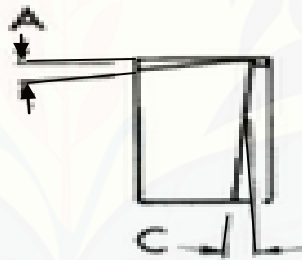
antara 8° sampai 10° . Gambar sudut rake belakang ini dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Sudut rake belakang

c. Sudut Bebas Sisi (*Side Clearance Angle*)

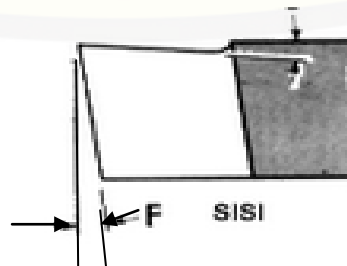
Sudut ini menunjukkan permukaan samping yang digerinda membentuk sudut terhadap permukaan sisi potong. Sisi ini berfungsi untuk mengkonsentrasikan gaya potong yang timbul pada daerah kecil di dekat permukaan sisi potong. Sudut ini ditunjukkan oleh sudut C pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sudut bebas sisi

d. Sudut Bebas Muka (*Front Clearance Angle*)

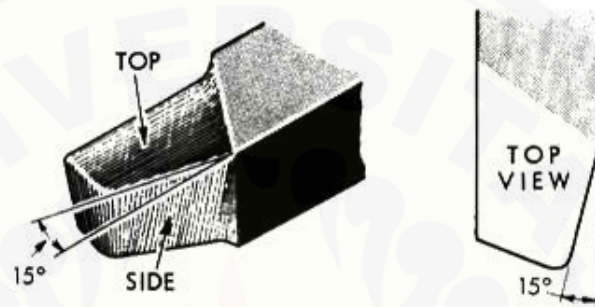
Sudut ini menunjukkan permukaan samping yang digerinda membentuk sudut terhadap permukaan ujung. Sudut ini berfungsi untuk mengkonsentrasikan gaya potong pada daerah ujung permukaan depan. Sudut ini ditunjukkan oleh sudut F pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Sudut bebas muka

e. Sudut sisi potong samping (*Side Cutting Edge Angle*)

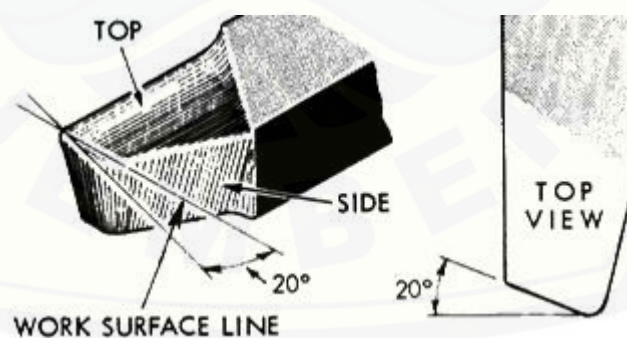
Sisi Potong Samping menunjukkan permukaan samping yang digerinda dengan membentuk sudut terhadap permukaan sisi dari pahat. Sisi potong samping biasanya memiliki besar sudut sebesar 15° . Sudut sisi potong ini mempunyai fungsi penting yaitu memungkinkan pahat bubut menusuk benda kerja dengan beban mula yang dijauhkan dari ujung pahat. Sudut sisi potong samping ini dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Sudut sisi potong samping

f. Sudut sisi potong depan (*Front Cutting Edge Angle*)

Sudut sisi potong depan menunjukkan permukaan depan yang digerinda dari ujung membentuk sudut terhadap sisi tangkai bagian bawah. Sisi potong depan biasanya memiliki sudut sebesar 20° . Sudut sisi potong depan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Sudut sisi potong depan

2.4 Cairan Pendingin

Cairan pendingin adalah salah satu media pendingin yang sering digunakan pada pengerjaan mesin karena mudah didapat dan efektif dalam mendinginkan sekaligus memberi pelumasan pada pengerjaan mesin. Fungsi pendingin dalam pengerjaan mesin adalah untuk mengurangi suhu yang dapat merusak pahat apabila suhu terlalu tinggi.

2.4.1 Jenis-jenis cairan pendingin

Menurut Rochim (2007), cairan pendingin yang dipakai pada proses pemesinan bisa dikategorikan menjadi empat jenis, yaitu sebagai berikut:

a. Cairan Sintetik

Cairan sintetik merupakan cairan yang jernih biasa disebut larutan murni atau larutan permukaan aktif. Larutan ini tidak bersifat melumasi dan biasanya hanya dipakai untuk penyerapan panas yang tinggi dan melindungi dari korosi.

b. Cairan Emulsi

Cairan emulsi adalah air yang mengandung partikel minyak. Unsur pengemulsi ditambahkan ke dalam minyak yang kemudian dilarutkan dengan air.

c. Cairan Semi Sintetik

Cairan semi sintetik adalah perpaduan antara cairan sintetik dan cairan emulsi yang memiliki karakteristik kandungan minyak lebih sedikit (10 % sampai 45 % lebih sedikit cairan emulsi)

d. Minyak (*Cutting Oil*)

Minyak adalah cairan pendingin yang berasal dari kombinasi minyak bumi, minyak binatang, minyak ikan, atau minyak nabati. Pencampuran minyak bumi dan minyak nabati menambah daya lumas. Pada penelitian ini cairan pendingin yang digunakan adalah jenis *cutting oil* ini.

2.4.2 Cairan Pendingin Chromax 536

Cairan pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah Chromax 536 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.14. *Cutting Oil* Chromax 536 adalah cairan pendingin yang dirancang khusus untuk proses pengerjaan logam (*metal working*), seperti pemesinan. Umumnya cairan pendingin terbuat dari penyulingan minyak bumi, lemak dari hewan, minyak nabati, air, dan material mentah lainnya.

Fungsi dari pemberian cairan pendingin pada proses pemesinan adalah sebagai berikut:

- a. Menjaga benda kerja tetap pada temperature yang stabil, tidak terlalu panas dan tidak terlalu dingin.
- b. Memperpanjang umur pahat.
- c. Mengurangi waktu pengerjaan, karena suhu benda kerja tidak akan sampai terlalu panas.



Gambar 2.14 Cairan pendingin chromax 536

2.4.3 Metode Pemberian Cairan Pendingin

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

Pengertian MQL secara umum adalah suatu metode yang menitikberatkan pada penggunaan pelumasan maupun pendinginan dengan tujuan untuk mengurangi volume cairan pendingin yang digunakan pada

suatu pengerjaan mesin, baik mesin bubut, *milling*, dan *drilling* (Boubekri, 2015). Tujuan dari metode ini sendiri adalah untuk mengurangi penggunaan cairan pendingin yang berlebihan sehingga dapat mengurangi dampak buruk bagi kesehatan. Keuntungan dari metode MQL adalah dapat menekan biaya karena penyemprotan pendingin sudah diperhitungkan sedemikian rupa supaya tidak terlalu membuang cairan pendingin saat pengerjaan. Kekurangan metode MQL ini adalah pahat dan benda kerja akan lebih rentan mengalami *overheat* dibanding menggunakan metode *flood*.

b. Metode *flood*

Metode *flood* adalah suatu metode pemberian cairan pendingin dengan cara membanjiri pahat dan benda kerja secara terus menerus sampai kerja pemakanan berhenti. 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 secara terus menerus. 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.

2.4.4 Dampak negatif penggunaan cairan pendingin berlebihan

Tidak dapat dipungkiri bahwa penggunaan cairan pendingin pada dunia industri khususnya pemesinan membawa dampak positif, yaitu dapat lebih menambah umur pahat dan mengurangi keausan pahat. Namun, penggunaan cairan pendingin ini sendiri juga memiliki dampak negatif apabila digunakan terus menerus dalam jumlah yang banyak. Untuk mengatasi dampak negatif tersebut muncul metode bernama MQL yang memiliki prinsip membatasi cairan pendingin supaya pemakaiannya tidak terlalu berlebihan. Menurut Boubekri (2015), penggunaan cairan pendingin ini memiliki dampak buruk bagi operatornya yaitu berupa penyakit keracunan; dermatitis; gangguan pernafasan; dan memiliki resiko kanker.

Selain alasan kesehatan, penggunaan cairan pendingin ini tercatat memiliki biaya produksi antara 7,5 sampai 17% dimana persentase tersebut termasuk tinggi jika dibandingkan dengan biaya alat potong yang hanya memiliki biaya produksi sebesar 4% (Boubekri, 2015).

2.5 Baja AISI 4340

Baja AISI 4340 merupakan jenis baja karbon sedang karena memiliki kandungan karbon (C) sebesar 0,37% sampai 0,44%. Lebih lanjut mengenai kandungan dan spesifikasi baja AISI 4340 dapat dilihat pada Tabel 2.1. Baja AISI 4340 mulai banyak digunakan pada dunia industri sebagai material komponen pada mesin. Baja AISI 4340 ini juga memiliki sifat material yang mudah diatur melalui perlakuan panas. Baja AISI 4340 dapat dilihat pada Gambar 2.15.

Tabel 2.1 Spesifikasi Benda Kerja

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis Material	AISI 4340
2	Komposisi	0,37 – 0,44 % C; 0,7 – 0,9 % Cr; 96 % Fe; 0,7 % Mn; 0,2 – 0,3 Mo; 1,83 Ni; 0,23 % Si; Maks 0,035 % P; Maks 0,04 % S
3	Kekuatan Tarik	90 – 110 N/mm ²
4	Kekerasan	95,9 HB

(Sumber : Dalimunthe, 2009)



Gambar 2.15 Baja AISI 4340

2.6 Sistem Otomasi

2.6.1 Penggunaan sistem otomasi

Di zaman yang serba modern ini penggunaan sistem otomasi sudah menjadi kebutuhan yang umum dan pokok bagi dunia industri, bahkan dalam lingkup *home industry* juga mulai menggunakan sistem otomasi pada proses produksinya. Alasan digunakannya sistem otomasi adalah untuk memudahkan dalam proses produksi karena semua pengerjaannya dilakukan dengan otomatis dan juga untuk menekan biaya produksi karena dapat menggantikan tenaga manusia menjadi sebuah mesin. Namun sistem otomasi ini juga memiliki beberapa kekurangan yaitu adalah pengoperasiannya yang tidak mudah sehingga tidak jarang juga perusahaan masih ada yang menggunakan sistem manual untuk mengurangi adanya kesalahan produksi karena kurangnya pengetahuan dari operator.

2.6.2 Elemen pada sistem otomasi

Sebagai salah satu metode dalam proses produksi, tentu sistem otomasi ini memiliki komponen yang membedakan dengan sistem manual. Elemen penting yang menjadi otak dari sistem otomasi adalah sensor, aktuator, dan kontroler. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut dari masing-masing komponen.

a. Sensor

Sensor adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi beberapa kejadian fisik yang terjadi, seperti suhu atau cahaya. Setelah menangkap kejadian fisik tersebut kemudian sensor akan otomatis menerjemahkan kedalam bahasa logika yang nantinya akan dibaca oleh kontroler. Banyak jenis sensor diantaranya adalah sensor suhu, cahaya, tekanan, berat, dan lainnya. Pada penelitian ini sensor yang akan digunakan adalah sensor suhu dan juga sensor laser. Sensor suhu nantinya akan berfungsi sebagai kontrol pada penelitian sehingga mencegah adanya *overheat* yang dapat merusak pahat.

b. Kontroler

Kontroler adalah sebuah alat yang digunakan untuk membaca masukan dari sensor sehingga nantinya akan diteruskan ke aktuator untuk melakukan suatu aksi yang sudah dirancang sebelumnya. Kontroler ini memiliki beberapa contoh antara lain adalah arduino, PLC, dan komputer.

c. Aktuator

Aktuator adalah sebuah alat mekanis yang merupakan output dari sensor yang dibaca oleh kontroler. Aktuator bisa diartikan menjadi sebuah hasil keluaran dari sensor dan kontroler. Contoh dari aktuator adalah motor stepper, pompa, pneumatik, dan lain-lain.

2.6.3 Hubungan metode MQL dan sistem otomasi

Pada penelitian ini, metode MQL digabungkan dengan sistem otomasi pada penyemprotan pendinginnya. Sistem otomasi adalah suatu sistem dimana pengerjaan dilakukan dengan diprogram pada sebuah mikrokontroller sebagai input datanya sehingga data yang dihasilkan menjadi lebih akurat dibandingkan dengan pengerjaan secara manual. Di zaman yang sudah serba maju ini

sebenarnya sudah tersedia mesin yang berbasis pada CNC (*Computer Numeric Control*) dimana segala pengerjaannya dilakukan secara otomatis dengan membuat program dan kodenya pada komputer terlebih dahulu. Namun, pada penelitian ini yang dipakai adalah mesin bubut yang masih konvensional atau manual sehingga untuk mendapat hasil metode MQL yang lebih akurat sebaiknya memakai sistem otomasi untuk mengurangi kesalahan manusia (*human error*).

2.6.4 Keuntungan sistem otomasi pada metode MQL

Berikut adalah keuntungan dari pemakaian sistem otomasi pada metode MQL.

1. Dengan adanya penggunaan sistem otomasi pada metode MQL, hasil data yang didapatkan akan menjadi lebih akurat karena semua pengerjaan dilakukan secara otomatis dan dapat dipantau dari komputer;
2. Dengan adanya sistem otomasi pada MQL dapat mengurangi resiko kesalahan pengerjaan baik yang disengaja maupun tidak disengaja (*human error*);
3. Mengurangi biaya produksi karena cairan pendingin yang disemprotkan hanya dibatasi maksimal 500 ml per jamnya sehingga tidak terlalu membuang sia-sia cairan pendingin;
4. Suhu pada pahat dapat dipantau memakai sensor suhu sehingga tidak akan terjadi *overheat*;
5. Memperpanjang umur pahat karena sistem otomasi pada metode MQL ini dapat meminimalisir *overheat*.

2.7 Metode Taguchi

Desain eksperimen taguchi dibagi menjadi 3 tahapan utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen, antara lain:

- a. Tahapan perencanaan
- b. Tahapan pelaksanaan
- c. Tahapan analisa

2.7.1 Tahap perencanaan eksperimen

Perencanaan eksperimen merupakan tahapan terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variable tak bebas, identifikasi faktor-faktor, pemisahan factor control dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, letak dari kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks orthogonal. Berikut penjelasan tahapan eksperimen sebagai berikut:

- a. Penentuan masalah utama yang akan dilakukan penelitian.
- b. Tujuan eksperimen penentuan sebab-akibat dari masalah utama yang telah ditentukan.
- c. Penentuan Variabel Tak Bebas (Variabel Respon). Variabel ini adalah tujuan akhir dari penelitian yang dilakukan. Dimana variabel respon pada penelitian ini adalah nilai *tool deterioration* pada proses bubut dan karakteristik kualitas yang dipakai adalah semakin kecil nilai *tool deterioration* yang terjadi semakin baik.
- d. Identifikasi faktor-faktor (Variabel Bebas) penentuan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap topik utama karena tidak semua faktor berpengaruh terhadap topik yang ada.
- e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan nilai yang dapat ditetapkan, diubah dan di kontrol disebut faktor kontrol. Sedangkan faktor gangguan adalah kebalikannya. Akan tetapi biaya untuk melakukan penelitian akan semakin tinggi.
- f. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor tahap ini untuk menentukan jumlah level dan nilai yang digunakan untuk diteliti. Semakin banyak jumlahnya maka semakin baik hasil yang didapatkan. Akan tetapi biaya untuk melakukan penelitian akan semakin tinggi.
- g. Perhitungan derajat kebebasan tujuan dari tahap ini adalah untuk menentukan minimum eksperimen yang harus dilakukan dalam meyelidiki faktor yang sedang diteliti. Rumus derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

$$DK = c (b-1) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

DK = Derajat Kebebasan

b = Banyak level yang diteliti

c = Banyak faktor yang diteliti

h. Pemilihan Matriks Orthogonal

Penentuan matriks ini berdasarkan jumlah level, faktor dan jumlah baris dari eksperimen yang akan dilakukan serta berpengaruh terhadap nilai dari derajat kebebasan.

$$L_a = (b^c) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya baris eksperimen yang akan diteliti

b = Banyaknya variasi level dari faktor yang diteliti

c = Banyaknya faktor yang akan diteliti

Tabel yang terdiri dari 3 faktor (A, B dan C) dan 3 level (1, 2 dan 3) dimana kombinasi eksperimennya berjumlah 9 baris dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Tabel matriks ortogonal L9(3³)

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

2.7.2 Tahap pelaksanaan eksperimen

Pelaksanaan eksperimen taguchi adalah melakukan pekerjaan berdasarkan setting faktor pada matriks orthogonal dengan jumlah eksperimen sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi.

2.7.3 Tahap Analisa

Tahap dimana dilakukan pengambilan dan pengolahan data sesuai dengan eksperimen yang telah dilakukan. Tahapan analisa ini diantaranya:

a. Analisis Varian Taguchi

Analisis varian adalah suatu teknik analisa secara statistik dengan menguraikan seluruh variansi atas tiap bagian yang diteliti sehingga membantu dalam mengidentifikasi kontribusi dari tiap faktor. Analisis varian dua arah data eksperimen yang diperoleh dari dua faktor atau lebih menggunakan matrik orthogonal dengan cara menghitung jumlah kuadrat pada masing-masing kolom.

1. Jumlah Kuadrat Faktor A (SS_A)

$$SS_A = \left[nA \sum_{i=1}^{KA} (A_i - \bar{y})^2 \right] \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

SS_A = Jumlah Kuadrat Faktor A (Metode)

A_i = Level ke i dari faktor A

nA_i = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor A

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

2. Jumlah Kuadrat Faktor B (SS_B)

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{KB} \left(\frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

SS_B = Jumlah Kuadrat Faktor B (*depth of cut*)

B_i = Level ke i dari faktor B

n_{Bi} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor B

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

3. Jumlah Kuadrat Faktor C (SS_C)

$$SS_C = \left[\sum_{i=1}^{KC} \left(\frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

SS_C = Jumlah Kuadrat Faktor C (Kombinasi)

C_i = Level ke i dari faktor C

NC_i = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor C

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

4. Derajat Kebebasan

$$DK = c(b - 1) \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

DK = Derajat Kebebasan

b = Banyak level yang diteliti

c = Banyak faktor yang diteliti

5. Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

MS_A = Rata-rata kuadrat faktor A

SS_A = Jumlah kuadrat faktor A

DK_A = Derajat Kebebasan faktor A

6. Rata-rata Kuadrat Faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

MS_B = Rata-rata kuadrat faktor B

SS_B = Jumlah kuadrat faktor B

DK_B = Derajat Kebebasan faktor B

7. Rata-rata Kuadrat Faktor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

MS_C = Rata-rata kuadrat faktor C

SS_C = Jumlah kuadrat faktor C

DK_C = Derajat Kebebasan faktor C

8. Jumlah Kuadrat Total (SST)

$$SS_T = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

SST = Jumlah kuadrat total

y_i = Nilai yang diperoleh dari eksperimen

\bar{y} = Rata-rata total data yang diperoleh dari eksperimen

9. Jumlah kuadrat karena rata –rata (SS_m)

$$SS_m = N.Y'^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

SS_m = Jumlah kuadrat karena rata-rata

N = Jumlah total eksperimen

Y' = rata rata total dari seluruh eksperimen

10. Jumlah kuadrat error (SS_e)

$$SS_f = SS_A + SS_B + SS_c$$

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

SS_{faktor} = Jumlah kuadrat seluruh faktor

SS_e = Jumlah kuadrat error

b. Uji Hipotesa F

Uji hipotesa F membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan Pengaruh faktor dari percobaan. Uji ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan dari tiap faktor dan variansi error.

$$F_{sumber} = \frac{\text{variansi karena perlakuan} + \text{variansi karena error}}{\text{variansi karena error}}$$

Nilai F_{sumber} yang diperoleh dibandingkan dengan nilai F_{tabel} pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan [(k-1).(N-k)]. Dimana k adalah jumlah level dari faktor sedangkan N adalah jumlah total eksperimen.

H₀ : Tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan ($\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$).

H₁ : Ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan, setidaknya ada μ_i yang tidak sama.

Disaat F_{hitung} lebih kecil dari F_{sumber} maka H_0 diterima (tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan). Sedangkan, apabila terjadi kebalikannya maka H_0 ditolak (ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan).

c. Rasio S/N

Rasio S/N digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kekurangan kontribusi pada suatu respon serta mengetahui faktor level mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Tipe karakteristik kualitas pada rasio S/N adalah sebagai berikut:

1. Semakin Kecil Semakin Baik

Memiliki batas nilai 0 dan tidak negatif serta nilai yang mendekati 0 adalah yang terbaik.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

n = Jumlah pengulangan atau replikasi

r = Jumlah data

Y_i = Data variabel respon

2. Tertuju pada nilai tertentu

$$S/N = -10 \log V_e$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{n V_e} \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

3. Semakin Besar Semakin Baik

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

n = Jumlah pengulangan atau replikasi

r = Jumlah data

Y_i = Data variabel respon

2.7.4 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.

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.21)$$

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

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

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

Dimana:

ρ = Persen kontribusi

ρ_A = Persen kontribusi pada faktor A

ρ_B = Persen kontribusi pada faktor B

ρ_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 (CI₁)

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;Ve} MS_e}{n}} \dots\dots\dots(2.22)$$

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

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

Dimana:

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

α = resiko

V = 1

V_e = derajat kebebasan error

MS_e = rata-rata kuadrat error (variansi kesalahan)

N = jumlah yang diuji pada suatu kondisi

μ_{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)

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} MS_e}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(2.23)$$

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

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

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana:

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

V_2 = Derajat bebas varian kesalahan pooling

c. 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.

2.8 Hipotesa

Berdasarkan studi pustaka dari jurnal dan teori-teori yang ada maka dapat ditarik hipotesa bahwa nilai *tool deterioration* akan semakin besar jika *depth of cut* yang digunakan semakin besar karena semakin besar *depth of cut*, pemakanan akan semakin besar. Selain variasi *depth of cut*, variasi dari metode pemberian cairan pendingin juga berpengaruh pada *tool deterioration*. Metode *flood* merupakan metode yang akan mengurangi *tool deterioration*, karena cairan pendingin disemprotkan terus menerus. Namun metode *flood* ini memiliki dampak buruk bagi kesehatan karena penggunaan cairan pendingin yang berlebihan. Sedangkan metode MQL akan memiliki nilai keausan pahat lebih besar daripada metode *flood* namun lebih ramah lingkungan dan aman bagi operator.

BAB 3. METODOLOGI

3.1 Metode penelitian

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu dengan membandingkan pengaruh 3 (tiga) variabel penelitian terhadap perubahan bentuk pahat, 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; 7:3; dan 5:5. Metode pemberian cairan pendingin pada penelitian ini ada tiga, yaitu MQL manual, MQL otomatis, dan *flood*.

3.2 Tempat penelitian

Penelitian tentang pengaruh metode MQL pada mesin bubut terhadap keausan pahat dilakukan di Lab. Kerja Logam dan Lab. Uji Material Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

3.3.1 Alat

a. Mesin Bubut

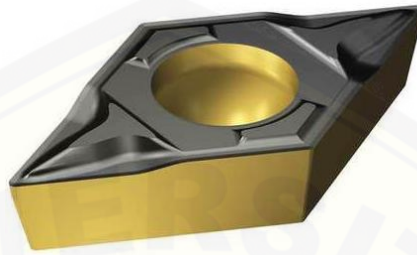
Mesin bubut yang digunakan dalam penelitian ini adalah merk GUT Tipe C6236 X 1000 dengan spesifikasi yang menggunakan penggerak motor listrik dengan daya 4 Kw, dan kecepatan *spindle* 34-1400 rpm (9 langkah). Mesin ini memiliki berat kurang lebih 1500 kg yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

b. Pahat Potong

Pahat potong yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe insert DCMT 11 yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Spesifikasi pahat DCMT 11 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi pahat DCMT 11

Parameter	Nilai
<i>Depth of cut</i>	1,0 - 3,0 mm
<i>Feed rate</i>	0,12 - 0,3 mm/putaran



Gambar 3.1 Mata pahat insert DCMT 11

c. Mikroskop

Mikroskop yang digunakan dalam penelitian ini adalah merk Olympus tipe BX14M dengan perbesaran maksimal sebesar 1000 kali yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mikroskop

d. Digital Mikroskop

Digital mikroskop ini digunakan untuk mengamati perubahan bentuk dari pahat sebelum dan setelah digunakan. Digital mikroskop ini juga dapat digunakan untuk menghitung dimensi dari benda yang akan diamati. Gambar dari digital mikroskop ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Digital mikroskop USB

e. Kontroler Sistem Pendingin MQL

Kontroler sistem pendingin ini alat yang dirancang untuk menyemprotkan cairan pendingin dengan dikontrol menggunakan arduino dan sensor suhu yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.

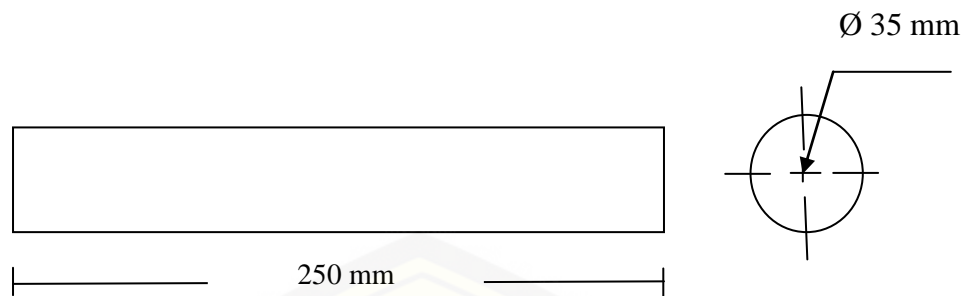


Gambar 3.4 Kontroler sistem pendingin

3.3.2 Bahan

a. Baja ST 90

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja karbon sedang ST 90 yang memiliki diameter 35 mm dan panjang 250 mm. Gambar baja AISI 4340 dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan dimensi untuk benda kerja dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Dimensi benda kerja

b. Cairan Pendingin Chromax 536

Cairan pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah merk Chromax 536. Gambar cairan pendingin Chromax 536 ini dapat dilihat pada Gambar 2.14.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 2 jenis variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing variabel penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini ada 3, yaitu variasi dari kedalaman potong, metode pemberian cairan pendingin pada proses pemakanan, dan komposisi campuran cairan pendingin. Variabel bebas dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

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	ML Manual	ML Otomasi	Flood

b. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai *tool deterioration*. Nilai *tool deterioration* dari masing-masing percobaan akan diamati dan diukur sebagai *output* akhir.

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah suatu variabel yang ditetapkan nilainya dan sama tanpa ada variasi level. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah nilai dari *feed rate* dengan nilai sebesar 0,122 mm/putaran, dan putaran spindel dengan nilai sebesar 585 rpm.

3.5 Metode pengambilan data

3.5.1 Data perubahan bentuk pahat

Nilai konsumsi cairan pendingin dilakukan sebelum dan sesudah proses pembubutan berlangsung, yaitu dengan cara sebagai berikut:

1. Mengambil foto pahat sebelum digunakan dengan menggunakan mikroskop
2. Melakukan setting putaran spindel, kedalaman potong, dan *feed rate* pada mesin bubut
3. Mencampur air dan *cutting oil* dengan 3 jenis perbandingan
4. Memasukkan cairan tersebut ke dalam gelas ukur 500 ml sebelum proses bubut dimulai
5. Memasang pahat dan *holder* pahat ke rumah pahat
6. Mengambil foto dari perubahan bentuk pahat setelah digunakan dengan menggunakan mikroskop.

3.5.2 Hasil pengujian

1. Melakukan pengambilan data, metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan Ortogonal Array (OA) Taguchi. Kombinasi dari L9 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.5
2. Pengambilan data menggunakan 3 kali pengulangan tiap sampel
3. Pengujian perubahan bentuk pahat dengan dilihat dan mengambil gambar perubahan bentuk dari pahat. Penyajian data *tool deterioration* dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Hasil penelitian

No	Parameter Kendali			Replika si	Data Hasil Pengujian			Jumlah Nilai
	<i>Depth Of Cut</i> (mm)	Komposisi (Air : Dromus)	Metode		<i>Left Side Flank</i>	<i>Right Side Rake</i>		
1	1,6	3 : 7	MQL Manual	1				
				2				
				3				
2	1,6	5 : 5	MQL Otomasi	1				
				2				
				3				
3	1,6	7 : 3	Flood	1				
				2				
				3				
4	1,8	3 : 7	MQL Otomasi	1				
				2				
				3				
5	1,8	5 : 5	Flood	1				
				2				
				3				
6	1,8	7 : 3	MQL Manual	1				
				2				
				3				
7	2,0	3 : 7	Flood	1				
				2				
				3				
8	2,0	5 : 5	MQL Manual	1				
				2				
				3				
9	2,0	7 : 3	MQL Otomasi	1				
				2				
				3				

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	MQL manual
2	1,6 mm	5 : 5	MQL Otomasi
3	1,6 mm	7 : 3	Flood
4	1,8 mm	3 : 7	MQL otomasi
5	1,8 mm	5 : 5	Flood
6	1,8 mm	7 : 3	MQL manual
7	2 mm	3 : 7	Flood
8	2 mm	5 : 5	MQL manual
9	2 mm	7 : 3	MQL otomasi

3.6 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

1. Studi literatur

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

2. Pengambilan data

Pengambilan data diambil dari orthogonal array L9 (3³)

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 Ftabel menunjukkan bahwa ada faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil *tool deterioration*. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi α sebesar 5%. Hipotesa awal (H_0) dan Hipotesa alternatif (H_1) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F.

Parameter dari nilai konsumsi *tool deterioration*:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (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)

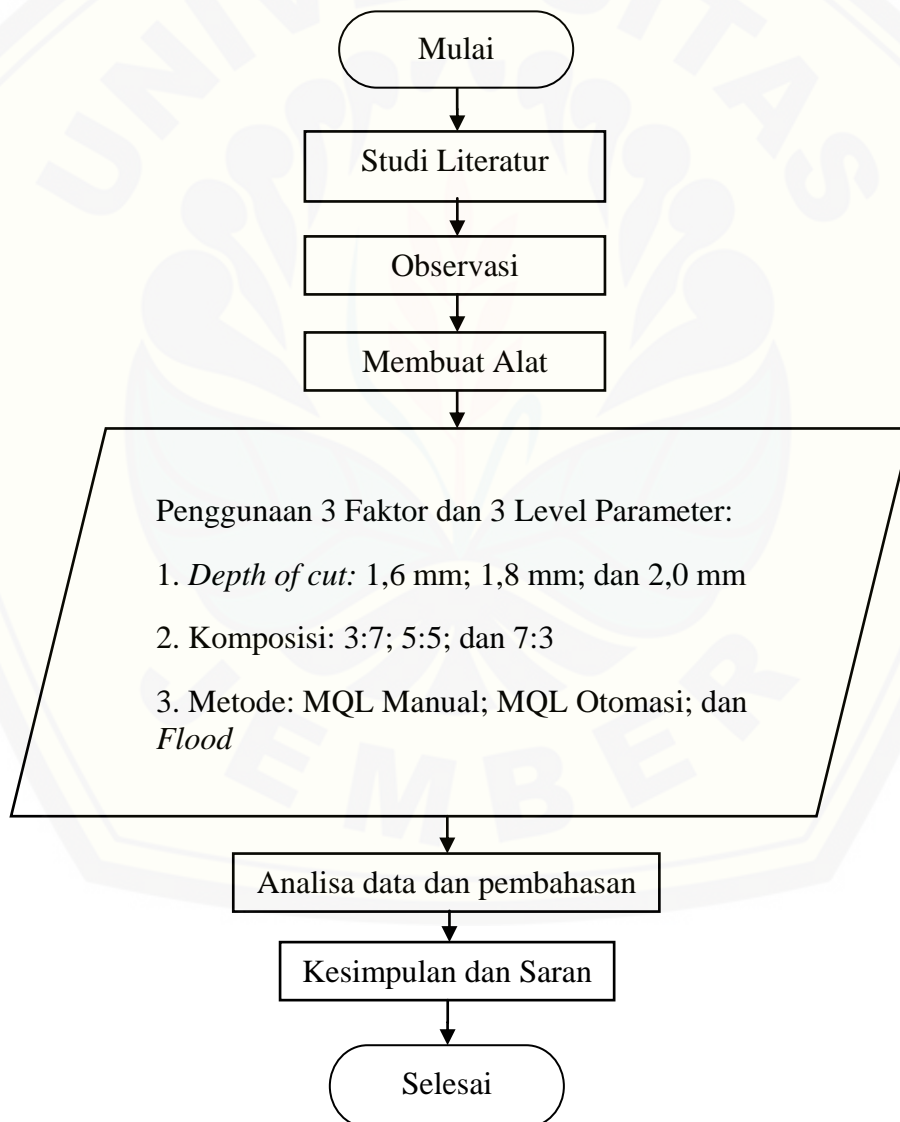
d. Interpretasi Hasil Eksperimen

- 1) Persen kontribusi
- 2) Interval Kepercayaan

e. Eksperimen konfirmasi

3.7 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian *tool deterioration* ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh parameter yang paling besar adalah *depth of cut* dengan persen kontribusi sebesar 32,69 %, kemudian parameter komposisi dengan persen kontribusi sebesar 17,30%, dan pengaruh parameter yang paling kecil adalah pada metode yaitu dengan persen kontribusi sebesar 12,82 %.
2. Parameter yang paling optimum adalah berada pada *depth of cut* 1,6 mm; komposisi air : *cutting fluid* = 3 : 7; dan menggunakan metode MQL otomatis.
3. Nilai rata-rata *means* yang paling kecil adalah pada percobaan 4 dengan nilai rata-rata sebesar 4,00 dan nilai rata-rata *means* yang paling besar adalah pada percobaan 5 dan percobaan 8 dengan nilai rata-rata sebesar 8,66.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini supaya lebih baik dari sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan observasi terlebih dahulu perubahan suhu dari pahat supaya pemasangan sensor suhu pada pahat lebih maksimal.
2. Perlu dicoba dengan waktu pemotongan yang lebih lama untuk mengetahui kapan pahat akan cuil, menurut kriteria ISO (V_B : 0,3 mm).
3. Bisa dicoba dengan variasi faktor lainnya yang bersangkutan satu sama lain.
4. Bisa dicoba variasi faktor lainnya yang mungkin lebih memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan bentuk pahat.



DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, B. 2014. Pengaruh Metode Minimum *Lubrication* Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja AISI 4340. *Jurnal Teknologi* Volume 7 Nomor 2: 112-117.
- Bayuseno A. P. 2010. Kajian Pustaka Tentang Keausan Pahat Bubut. *Jurnal Rotasi* Volume 12 Nomor 2: 38-41.
- Boubekri N., Shaikh V. 2015. *Minimum Quantity Lubrication (MQL) In Machining: Benefits and Drawbacks. Journal of Industrial and Intelligent Information* Volume 3 Nomor 3: 205-209.
- Budiman H., dan Richard. 2007. Analisa Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metode *Variable Speed Machining Test*. *Jurnal Teknik Mesin* Volume 9 Nomor 1: 31-39.
- Dalimunthe R. 2009. Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Umur Pahat HSS pada Proses Pembubutan AISI 4340. *Jurnal Sains dan Inovasi*: 139-145.
- Johan, C. 2018. Karakteristik Keausan Pahat Sisipan Karbida Akibat Pembubutan Kering *Stainless Steel*. Skripsi. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Lubis N., Darmawan S., Rosehan. 2016. Analisa Pertumbuhan Keausan Pahat Karbida *Coated* dan *Uncoated* pada *Alloy Steel* AISI 4340. *Jurnal Energi dan Manufaktur* Volume 9 Nomor 2: 114-118.
- Patriawan D. A., Irawan H., dan Widodo E. W. R. 2016. Studi Pendahuluan Penggunaan *Minimum Quantity Lubricant* pada Proses Pemesinan. *Jurnal Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IV*: 153-160.
- Qamaruddin., dan Rahmanto R. Hengki. 2018. Analisa Kekerasan dan Keausan Pahat Bubut HSS. *Jurnal Seminar Nasional Sinergi*: 47-50.
- Rochim T. 2007. Buku 2: Perkakas dan Sistem Pemerkakasan. Bandung: Penerbit ITB.
- Soejanto, Irwan. 2009. Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi. Yogyakarta: Graha Ilmu.

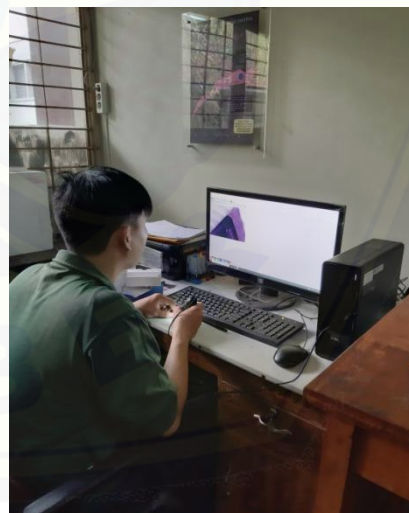
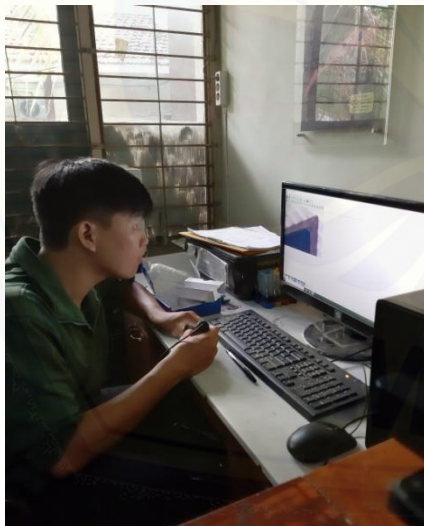


LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan Alat



Lampiran 2 Pengambilan Gambar Pahat



Lampiran 3 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 4 Penamaan pahat insert

(1) Insert Shape

H	O	P	R	S	T
C	D	E	M	V	W
L	A	B	K		

(5) Size

(6) Thickness

02	S = 2.38
03	S = 3.18
04	S = 4.74
05	S = 5.56
08	S = 8.35
07	S = 7.94

(7) Radius

(1/10 mm)

00	Sharp Point
01	Round insert
02	0.2 mm
04	0.4 mm
05	0.5 mm
08	0.8 mm
10	1.0 mm
12	1.2 mm
15	1.5 mm
16	1.6 mm
24	2.4 mm
32	3.2 mm
10	4.0 mm

(9) Feed Direction

(2) Normal Clearance

A	B	C
D	E	F
G	N	P



T N M G 16 03 08 T N 32

Example :

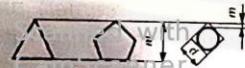
(3) Tolerance

	mm		
	m	s	d
A	± 0.005	± 0.025	± 0.025
F	± 0.005	± 0.025	± 0.013
C	± 0.013	± 0.025	± 0.025
H	± 0.013	± 0.025	± 0.013
E	± 0.025	± 0.025	± 0.025
G	± 0.025	± 0.13	± 0.025
J	± 0.005	± 0.025	fr ± 0.05 to ± 0.13
K	± 0.013	± 0.025	fr ± 0.05 to ± 0.13
L	± 0.025	± 0.025	fr ± 0.05 to ± 0.13
M	fr ± 0.08 fr ± 0.08	± 0.13	fr ± 0.05 to ± 0.13
U	fr ± 0.13 to ± 0.38	± 0.13	fr ± 0.08 to ± 0.25

d = nominal diameter of the insert inscribed circle

S = thickness of the insert

m = three cases are to be considered for this dimension



(4) Chipbreaker and Fixing Type

N	G
R	W
F	T
A	Q
M	U

X
Special Design

(8) Cutting Edge Condition

F
E
T
S

(10) Manufacturers Option

Example
Chip Breaker Type

11
32
27
57
65
23
21
etc

INSERT SIZE

A	06	09	11	16	22	27	33	44
P				09	12	15	19	25
W			07	11	15	19	23	31
U			06	09	12	16	19	25
IC = d	3.97	5.56	6.35	9.525	12.7	15.875	19.05	25.4

Lampiran 5 Perhitungan

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

$$\bar{A}_2 = \frac{4,00 + 7,66 + 4,33}{3} = 5,33$$

$$\bar{A}_3 = \frac{6,00 + 8,66 + 7,66}{3} = 7,44$$

Rata-rata respon komposisi level 1,2 dan 3

$$\bar{B}_1 = \frac{4,66 + 4,00 + 6,00}{3} = 4,88$$

$$\bar{B}_2 = \frac{5,00 + 7,66 + 8,66}{3} = 7,11$$

$$\bar{B}_3 = \frac{5,00 + 4,33 + 7,66}{3} = 5,66$$

Rata-rata respon metode level 1,2 dan 3

$$\bar{C}_1 = \frac{4,66 + 4,33 + 8,66}{3} = 5,88$$

$$\bar{C}_2 = \frac{5,00 + 4,00 + 7,66}{3} = 5,55$$

$$\bar{C}_3 = \frac{5,00 + 7,66 + 6,00}{3} = 6,22$$

Jumlah kuadrat faktor (komposisi)

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

$$S_B = \frac{[14,66]^2}{3} + \frac{[21,33]^2}{3} + \frac{[16,99]^2}{3} - \frac{[53,00]^2}{9}$$

$$S_B = 7,39$$

Jumlah kuadrat faktor (metode)

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

$$S_C = \frac{[17,66]^2}{3} + \frac{[16,66]^2}{3} + \frac{[18,66]^2}{3} - \frac{[53,00]^2}{9}$$

$$S_C = 0,41$$

Persen kontribusi dari faktor kendali komposisi

$$SS'B = SS_B - MS_e (DK_B)$$

$$SS'B = 7,62 - 1,81 (2)$$

$$SS'B = 7,62 - 3,62$$

$$SS'B = 4,00$$

$$\rho_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\%$$

$$= \frac{4,00}{23,11} \times 100\%$$

$$\rho_B = 17,30\%$$

Persen kontribusi dari faktor kendali metode

$$SS'C = SS_B - MS_e (DK_B)$$

$$SS'C = 0,66 - 1,81 (2)$$

$$SS'C = 0,66 - 3,62$$

$$SS'C = -2,96$$

$$\rho_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\%$$

$$= \frac{-2,96}{23,11} \times 100\%$$

$$\rho_C = 12,82\%$$