



**PENGARUH METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL)
TERHADAP NILAI KEKASARAN PERMUKAAN**

SKRIPSI

Oleh:

Dicky Aprilian N

151910101041

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



**PENGARUH METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL)
TERHADAP NILAI KEKASARAN PERMUKAAN**

SKRIPSI

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

Teknik

Oleh

Dicky Aprilian N

151910101041

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

2019

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT dengan ikhlas dan kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT atas segala berkah rahmat dan rizki-Nya, serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW;
2. Kedua orang tua saya Ayah Budi Purnomo dan Ibu Gisri yang telah memberi segala do'a dukungan semangat dan materi, keluarga saya Adik Tiara Anjelina dan Nenek Sari. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, do'a, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan yang beriman dan berakhlak mulia. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
3. 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.
4. Seluruh guru dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
5. Saudara seperjuanganku Teknik Mesin angkatan 2015.
6. Almamater Universitas Jember tercinta.

MOTTO

“Nakal boleh tapi harus punya aturan.”

(Ayah)

“Berbaiklah pada orang maka orang itu akan baik padamu.”

(Ibu)

“Jika kamu ingin hidup bahagia, terikatlah pada tujuan, bukan orang atau benda.”

(Albert Einstein)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dicky Aprilian N

NIM : 151910101041

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Pengaruh Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan**” 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 keabsahan dan 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, 17 Desember 2019

yang menyatakan

Dicky Aprilian N

NIM 151910101041

SKRIPSI

**PENGARUH METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL)
TERHADAP NILAI KEKASARAN PERMUKAAN**

Oleh

**Dicky Aprilian N
NIM 15191010141**

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 17 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 I,

Anggota II,

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. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan; Dicky Aprilian N, 151910101041; 2019; 65 halaman; Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

Pada era globalisasi industri manufaktur dituntut mampu bersaing di pasar regional maupun internasional. Faktor yang menjadi fokus perhatian diantaranya, peningkatan kualitas produk, kecepatan proses manufaktur, penurunan biaya produksi, aman, dan ramah lingkungan. Kualitas produk dari hasil pemesinan selalu dikaitkan dengan ketepatan dimensi-toleransi dan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) dari hasil proses pemesinan. Oleh karena itu kekasaran permukaan menjadi salah satu standar produk.

Kekasaran dan bentuk permukaan produk hasil pembubutan dipengaruhi oleh gesekan, keausan, sistem pelumasan dan lain-lainnya. Kekasaran permukaan sebuah produk tidak harus memiliki nilai yang kecil, tetapi terkadang sebuah produk membutuhkan nilai kekasaran permukaan yang besar sesuai dengan fungsinya.

Pada proses-proses pembubutan logam, khususnya peamakanan pada benda kerja akan terjadi panas yang tinggi sebagai akibat adanya gesekan antara cutting tool dan benda kerja yang dipotong. Jika temperatur kerja dan tekanan cutting tool pada benda kerja tidak diatur, maka permukaan keduanya cenderung akan menyatu. Untuk mengurangi temperatur kerja dan tekanan cutting tool pada benda kerja, maka perlu digunakan media pendingin.

Salah satu cara untuk mendapatkan permukaan yang memenuhi spesifikasi diantaranya adalah dengan pemberian fluida pemotongan (*cutting fluids*) pada saat pemesinan. (*cutting fluids*) sangat penting pada proses pemesinan untuk menurunkan panas dan gesekan. Fungsi dari (*cutting fluids*) selain untuk pelumas juga dapat digunakan sebagai pendingin pada proses pemesinan untuk menjaga

mutu produk. Macam-macam atau cara pemberian (*cutting fluid*) diantaranya dry, Flood, MQL (*Minimum Quantity Lubrication*), dan MQL otomasi.

MQL adalah teknik lubrikasi untuk mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja sehingga akan mengurangi laju kenaikan temperatur pahat. Keunggulan pertama dari metode MQL dibanding dengan (*flood cutting*) dan (*dry cutting*) adalah ekonomis dan ramah lingkungan. Lebih ekonomis karena cairan (*coolant*) atau pelumas yang dipakai lebih sedikit dari metode konvensional. Keunggulan kedua pada teknik MQL yaitu mengurangi rusaknya sisi potong akibat keausan abrasif dan menghasilkan nilai Ra yang terbaik. Keunggulan ketiga pada teknik MQL adalah umur pahat yang lebih baik dibanding metode wet maupun dry. Upaya untuk mengurangi liquid pada MQL yaitu dengan penambahan sistem kendali. Namun perlu diteliti apakah dengan penambahan kendali sistem pemberian fluida ini akan memberikan efek yang baik juga terhadap kekasaran permukaan.

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

Kontribusi faktor kendali nilai kekasaran permukaan yang signifikan dipengaruhi oleh faktor kendali yaitu *depth of cut* 7,325 %, komposisi air dan *cutting fluid* 13,861 %, metode pemberian *cutting fluid* 53,152 %. Kondisi optimal yang dihasilkan adalah pada *depth of cut* level 3 (2,0 mm), komposisi air dan *cutting fluid* level 3 (7 : 3), dan metode level 2 (MQL otomasi).

SUMMARY

Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Surface Roughness Value; Dicky Aprilian N, 151910101041; 2019; 65 pages; majoring in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In the era of globalization, the manufacturing industry is demanded to be able to compete in regional and international markets. Factors that are the focus of attention among them, product quality improvement, manufacturing process speed, production cost reduction, safety, and environmental friendliness. Product quality from machining results is always associated with the accuracy of dimension-tolerance and the value of surface roughness from the machining process. Therefore, surface roughness is one of the product standards.

Roughness and surface shape of turning products are affected by friction, wear, lubrication systems and others. The surface roughness of a product does not have to have a small value, but sometimes a product requires a large surface roughness value according to its function.

In metal turning processes, especially tanning of the workpiece will result in high heat due to friction between the cutting tool and the workpiece being cut. If the working temperature and cutting tool pressure on the workpiece are not regulated, then the surfaces of both tend to be fused. To reduce the working temperature and cutting tool pressure on the workpiece, it is necessary to use a cooling medium.

One of the ways to get the surface that meet the specification among them is by cutting fluid giving at machining. Cutting fluids are very important in the machining process to decrease heat and friction. The function of cutting fluid besides for the lubricant is also used as a cooler in the machining process to maintain product quality. Various ways of cutting fluid giving among them dry, flood, MQL (Minimum Quantity Lubrication), and MQL automation.

MQL is a lubrication technique to reduce friction between the tool and the workpiece so that it will reduce the rate of tool temperature increase. The first advantage of the MQL method compared to (flood cutting) and (dry cutting) is economical and environmentally friendly. More economical because the liquid (coolant) or lubricant used is less than conventional methods. The second advantage of the MQL technique is reducing the damage to the cutting edge due to abrasive wear and producing the best Ra value. The third advantage of the MQL technique is the tool life is better than the wet or dry method.

Efforts to reduce the liquid in MQL is by adding control systems. However, it needs to be investigated whether adding the control system, this fluid giving will also have a good effect on surface roughness.

This research was conducted in the metalworking Laboratory and material testing Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember. From May to September 2019. This study took data on the surface roughness value generated by the Taguchi method based on the L9 orthogonal matrix with 3 repetitions for each combination.

Contribution of control factors to the value of surface roughness significantly influenced by control factors namely depth of cut 7.325%, water composition and cutting fluid 13.861%, method of fluid cutting giving 53.152%. The optimal conditions produced are at level 3 (2.0 mm), water composition and cutting fluid at level 3 (7:3), and level 2 method (MQL automation).

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas 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 Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mendampingi dan membimbing saya selama 4,5 tahun menjadi mahasiswa.
3. Dosen dan seluruh karyawan Teknik Mesin Universitas Jember.
4. Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Q, 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. Grup Research MQL yang beranggotakan Maulana Muhammad Firdaus, Gerry Gardika S, Agil Widhy Azizi, Allen Luvianady.
7. Teman seperjuangan Rian Maulana A (Bundas), Aziziul Latif (Tuwek), Ahmad Wafi (Awe), Danny Febriansyah (Kaji), Randy Dharma Sundoro (Sundoro), Deni D Hutama, Visarlizzaki, Bogaskara Difa Santoso, M Farobi Tsani, M Muhklisin.
8. Kekasih saya Aulia Melati F terima kasih atas dukungan serta doa nya.

9. Agus Subekti Teknik Mesin 2012 terimakasih telah membantu terselesainya skripsi ini.
10. Dulur Teknik Mesin 2015 atas dukungan dan doanya dalam 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, 17 Desember 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	2
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 AISI 4340 dan Paduannya.....	5
2.2.1 Spesifikasi Baja AISI 4340.....	6
2.2.2 Karakteristik AISI 4340.....	7
2.2.3 Pengaplikasian AISI 4340	7
2.3 Mesin Bubut	7
2.3.1 Jenis-jenis Mesin Bubut.....	8

2.3.2 Bagian-bagian Mesin Bubut	9
2.3.3 Parameter yang Dapat Diatur pada Proses Bubut	10
2.3.4 Perencanaan dan Perhitungan proses Bubut	12
2.4 Cutting Fluid.....	13
2.4.1 Fungsi <i>Cutting Fluid</i>	14
2.4.2 Metode Pemberian <i>Cutting Fluid</i>	14
2.4.3 Kriteria pemilihan <i>Cutting Fluid</i>	16
2.5 Kekasaran Permukaan	17
2.6 Metode Taguchi.....	20
2.6.1 Tahap perencanaan eksperimen	20
2.6.2 Tahap pelaksanaan eksperimen	22
2.6.3 Tahap Analisa	22
2.7.4 Interpretasi Hasil Eksperimen.....	26
2.7.5 Eksperimen Konfirmasi	28
2.7 Hipotesa.....	28
BAB 3. METODOLOGI.....	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Tempat Penelitian.....	29
3.3 Alat dan Bahan	29
3.3.1 Alat.....	29
3.3.2 Bahan	33
3.4 Prosedur Penelitian.....	34
3.4.1 Pengambilan Data	34
3.4.2 Hasil Pengujian	35
3.4.3 Analisa yang akan dilakukan	35

3.5 Jenis <i>Orthogonal Array</i>	36
3.6 Variabel	37
3.6.1 Variabel Bebas	37
3.6.2 Variabel Terikat	37
3.6.3 Variabel Kontrol	38
3.7 Data Percobaan	39
3.8 Diagram Alir	40
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Pengambilan Data	41
4.2 Rata-rata Data Kekasaran Permukaan	43
4.3 Perhitungan S/N Ratio	45
4.4 Hasil Optimasi	46
4.5 Analisa Varian, Uji F, dan Persen Kontribusi	49
4.6 Prekdisi Respon Optimal	52
4.7 Eksperimen Konfirmasi	53
4.7 Pembahasan	55
BAB 5. PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Baja AISI 4340.....	7
Tabel 2.2 Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra.....	19
Tabel 2.3 Tingkat kekasaran permukaan menurut proses pengerjaannya.....	20
Tabel 2.4 Tabel matriks <i>ortogonal</i> L9(3 ³).....	22
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>surface roughness tester</i>	31
Tabel 3.2 Tabel parameter.....	35
Tabel 3.3 Parameter Kendali dan Level.....	36
Tabel 3.4 <i>Orthogonal array</i> untuk <i>taguchi</i> L ₉ (3 ³).....	37
Tabel 3.5 Variabel Bebas dan Level.....	37
Tabel 3.6 <i>General recommendation</i> dari pahat.....	38
Tabel 3.7 Data Percobaan Penelitian.....	39
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian.....	42
Tabel 4.2 Rata-rata kekasaran permukaan.....	43
Tabel 4.3 Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Kekasaran Permukaan.....	46
Tabel 4.4 Respon rata-rata means untuk setiap faktor kendali.....	47
Tabel 4.5 Kombinasi parameter respons optimum.....	48
Tabel 4.6 Hasil analisis varian untuk means.....	50
Tabel 4.7 Kondisi Hipotesa H ₀	51
Tabel 4.8 Persen Kontribusi Tiap Faktor Kendali.....	52
Tabel 4.9 Hasil nilai kekasaran permukaan eksperimen konfirmasi.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja AISI 4340	6
Gambar 2.2 Gerakan pada proses pembubutan	8
Gambar 2.3 Bagian – bagian mesin bubut	9
Gambar 2.4 Panjang permukaan benda kerja	11
Gambar 2.5 Gerak makan (f) dan kedalaman potong (a)	11
Gambar 2.6 Proses bubut	12
Gambar 2.7 Bentuk profil kekasaran permukaan	18
Gambar 3.1 Mesin bubut merk GUT tipe C6236 x 1000	30
Gambar 3.2 Pahat insert DCMT 11	30
Gambar 3.3 <i>Surface roughness tester</i>	31
Gambar 3.4 Mikroskop USB	32
Gambar 3.5 <i>Controller system</i> pendingin MQL	32
Gambar 3.6 Spesimen Baja AISI 434025	33
Gambar 3.7 <i>Cutting oil</i>	33
Gambar 3.8 Titik pengambilan data	34
Gambar 3.9 <i>General recommendation</i> dari material	38
Gambar 3.10 Diagram alir penelitian	40
Gambar 4.1 Skema pengambilan data	41
Gambar 4.2 Hasil potret percobaan no 9	44
Gambar 4.3 Hasil potret percobaan no 5	45
Gambar 4.4 Nilai plot rata-rata S/N Ratio	47
Gambar 4.5 Nilai plot rata-rata means	48
Gambar 4.6 Plot rata-rata percobaan eksperimen konfirmasi dan prediksi.....	56

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi industri manufaktur dituntut mampu bersaing di pasar regional maupun internasional. Faktor yang menjadi fokus perhatian diantaranya, peningkatan kualitas produk, kecepatan proses manufaktur, penurunan biaya produksi, aman, dan ramah lingkungan. Kualitas produk dari hasil pemesinan selalu dikaitkan dengan ketepatan dimensi-toleransi dan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) dari hasil proses pemesinan. Oleh karena itu kekasaran permukaan menjadi salah satu standar produk (Wahyudi, 2011).

Kekasaran dan bentuk permukaan produk hasil pembubutan dipengaruhi oleh gesekan, keausan, sistem pelumasan dan lain-lainnya. Kekasaran permukaan sebuah produk tidak harus memiliki nilai yang kecil, tetapi terkadang sebuah produk membutuhkan nilai kekasaran permukaan yang besar sesuai dengan fungsinya (Azhar, 2014).

Kalpajian & Schmid (2001) menyatakan bahwa parameter yang sangat menentukan kekasaran permukaan adalah kedalaman pemakanan (*depth of cut*), laju pemakanan (*feed rate*) dan kecepatan potong. Sedangkan menurut Rochim (1993) komponen hasil proses pembubutan terutama permukaan sangat dipengaruhi oleh sudut potong pahat, kecepatan makan (*feeding*), kecepatan potong (*cutting speed*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*) dan lain-lain.

Pada proses-proses pembubutan logam, khususnya pemakanan pada benda kerja akan terjadi panas yang tinggi sebagai akibat adanya gesekan antara cutting tool dan benda kerja yang dipotong. Jika temperatur kerja dan tekanan cutting tool pada benda kerja tidak diatur, maka permukaan keduanya cenderung akan menyatu. Untuk mengurangi temperatur kerja dan tekanan cutting tool pada benda kerja, maka perlu digunakan media pendingin.

Salah satu cara untuk mendapatkan permukaan yang memenuhi spesifikasi diantaranya adalah dengan pemberian fluida pemotongan (*cutting fluid*) pada saat pemesinan. (*cutting fluid*) sangat penting pada proses pemesinan untuk menurunkan panas dan gesekan. Fungsi dari (*cutting fluid*) selain untuk pelumas juga dapat

digunakan sebagai pendingin pada proses pemesinan untuk menjaga mutu produk. Macam-macam atau cara pemberian (*cutting fluid*) diantaranya *dry*, *flood*, MQL (*Minimum Quantity Lubrication*), dan MQL otomatis.

MQL adalah teknik pelumasan untuk mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja sehingga akan mengurangi laju kenaikan temperatur pahat. Keunggulan pertama dari metode MQL dibanding dengan (*flood cutting*) dan (*dry cutting*) adalah ekonomis dan ramah lingkungan. Lebih ekonomis karena cairan (*coolant*) atau pelumas yang dipakai lebih sedikit dari metode konvensional (Patriawan dkk, 2016). Keunggulan kedua pada teknik MQL yaitu mengurangi rusaknya sisi potong akibat keausan abrasif dan menghasilkan nilai Ra yang terbaik (Basuki, 2014). Keunggulan ketiga pada teknik MQL adalah umur pahat yang lebih baik dibanding metode wet maupun dry (Basuki, 2013; Budi, 2014; Rieldho, dkk 2014; Bambang, 2015). Masih menurut Basuki (2013), dengan metode teknik MQL adanya pelumasan menyebabkan berkurangnya gesekan yang terjadi antara pahat dengan benda kerja sehingga laju kenaikan temperatur tetap rendah. Pelumasan ini juga mengurangi kemungkinan rusaknya sisi potong akibat keausan abrasif sehingga menghasilkan nilai Ra yang terbaik. Penggunaan MQL juga terbukti mampu menghasilkan permukaan yang lebih halus pada material yang berbeda yaitu AISI 4340 (Basuki, 2014) dan mild steel (Basuki, 2013). Semua keunggulan MQL yang sudah disebutkan tetap berlaku walaupun diterapkan pada material yang berbeda.

Upaya untuk mengurangi liquid pada MQL yaitu dengan penambahan sistem kendali. Namun perlu diteliti apakah dengan penambahan kendali sistem pemberian fluida ini akan memberikan efek yang baik juga terhadap kekasaran permukaan.

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 nilai kekasaran permukaan ?

2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi campuran cairan pendingin terhadap nilai kekasaran permukaan ?
3. Bagaimana pengaruh variasi metode pemberian cairan pendingin terhadap nilai kekasaran permukaan ?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai kekasaran permukaan dengan menggunakan variasi dari kedalaman potong, komposisi campuran cairan pendingin, dan metode pemberian cairan pendingin. Penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan data tentang nilai kekasaran permukaan 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 nilai kekasaran permukaan.

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;
3. Hanya membahas tentang nilai kekasaran permukaan;
4. Menggunakan material baja AISI 4340;
5. Menggunakan pahat jenis Insert Karbida DCMT 11;
6. Cairan pelumas yang digunakan adalah *cutting oil* Chromax 536.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan studi pustaka dari jurnal penelitian dan studi literatur tentang kekasaran permukaan, cairan pendingin sangat berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Penelitian yang dilakukan oleh Basuki (2014) adalah untuk mengetahui pengaruh dari metode MQL terhadap nilai kekasaran permukaan. 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 kekasaran permukaan 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*. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai kekasaran permukaan (R_a) dari metode MQL menghasilkan (R_a) terendah dibanding metode *flood*, tetes, *dry cutting*, dan MQL. Sedangkan dengan menggunakan metode *dry cutting* menghasilkan (R_a) terbesar dibanding dengan metode lainnya, dari 4 metode yang dilakukan menghasilkan nilai kekasaran permukaan (R_a) *dry cutting* 6.715 μm , *flood* 5.407 μm , tetes 4.171 μm , MQL 4.043 μm .

Penelitian lainnya tentang kekasaran permukaan dengan penambahan pendingin dilakukan oleh Dhar. N.R. (2005). Penelitian ini juga menggunakan Baja AISI 4340 dan pahat yang digunakan adalah jenis insert karbia SNMM 120408 dengan 3 metode pendingin yaitu metode *flood*, metode MQL, dan metode *dry cutting*, akan tetapi penelitian ini mencakup variasi *cutting velocity* (V_c), *feed rate*, dan *depth of cut*. Dimana variasi *Cutting Velocity* 63. 80. 95. 110 dan 128 m/min, variasi *feed Rate* 0,10. 0,13. 0,16. dan 0,20 mm/rev, variasi *depth of cut* 1.0 mm dan 1.5 mm. Dengan waktu pengerjaan 0 – 50 menit menghasilkan nilai kekasaran permukaan (R_a) *dry cutting* 5.25 μm , *flood* 6.5 μm , dan MQL 5.0 μm . Dari penelitian ini didapatkan bahwa metode pendingin MQL memberikan manfaat terutama dengan mengurangi suhu pemotongan.

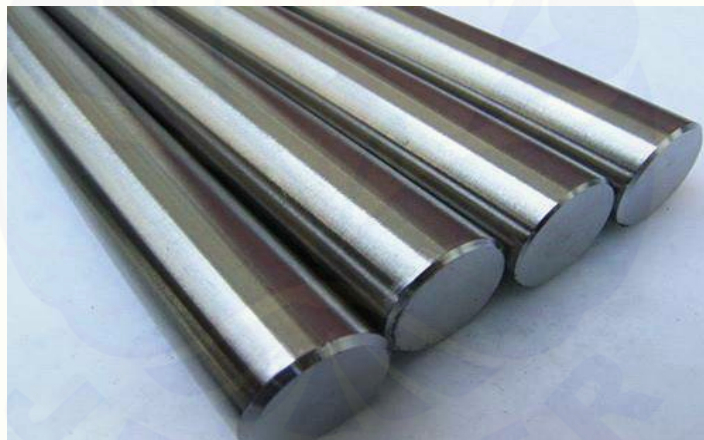
Penggunaan *cutting fluid* memiliki pengaruh penting dalam proses pemesinan *cutting fluid* akan menurunkan temperatur pada benda kerja dan mata pahat, selain itu koefisien gesek dan gaya yang digunakan juga akan menurun. Namun penggunaan coolant atau lubricant pada proses *cutting fluid* yang terlalu banyak juga memiliki dampak negatif (Patriawan, D, dkk. 2016). Pada penelitian ini penggunaan metode pendingin MQL dikembangkan pada proses pemesinan. MQL memiliki potensi untuk menggantikan teknologi *flood* pada proses *cutting fluid*. MQL memerlukan jumlah pelumas atau *coolant* lebih sedikit sehingga tidak banyak pelumas yang terbuang, MQL juga bisa dikombinasikan dengan minyak nabati sehingga lebih ramah lingkungan. Hasil dari berbagai macam penelitian menunjukkan MQL lebih baik dibandingkan dengan *dry cutting*, namun disaat *hard turning* dan grinding performa MQL tidak lebih baik pada gaya tangensial, flank wear dan kekasaran permukaan. Namun jika dibandingkan dengan metode *flood*, MQL memiliki performa yang hampir sama.

Kekasaran permukaan sendiri dapat didefinisikan penyimpangan rata-rata aritmetis dari garis rata-rata permukaan, definisi ini digunakan untuk menentukan harga dari rata-rata kekasaran permukaan dimana telah diklasifikasikan oleh ISO dengan harga rata-rata kekasaran permukaan yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (R_a) $0.025 \mu\text{m}$ dan yang paling tinggi N12 yang nilai kekasaran permukaannya $50 \mu\text{m}$. Kekasaran permukaan pada proses pembubutan dipengaruhi beberapa faktor, menurut Hadimi (2008), Faktor – faktor tersebut meliputi mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, adapun pendapat lain dari Lesmono dan Yunus (2013), faktor – faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada proses pembubutan meliputi kondisi mesin bubut, kecepatan potong, kedalaman pemakanan, kondisi mesin, bahan benda kerja, jenis pahat, ketajaman mata pahat, geometri atau sudut-sudut pemotongan, pendinginan dan operator.

2.2 AISI 4340 dan Paduannya

AISI 4340 merupakan baja kontruksi yang sering digunakan untuk bahan baut, sekrup, roda gigi, batang piston untuk mesin, roda pendaratan, dan komponen

landing gear pesawat terbang. Menurut standar AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan DIN 1.6565,40NiCrMo6, baja AISI 4340 mempunyai komposisi kimia (0,35-0,45)% C, (0,15-0,35)% Si, (0,50-0,70)% Mn, 0,035% P, 0,035% S, (1,40-1,70)% Ni, (0,90-1,40)% Cr, dan (0,20-0,30)% Mo sehingga baja tersebut termasuk baja paduan rendah. Baja paduan rendah mengandung elemen paduan kurang dari 2,5% wt misalnya Mo, Cr, Mn, Ni dan sebagainya. Berdasarkan kandungan elemen paduannya memungkinkan baja untuk dikeraskan dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Perlakuan panas pada baja memegang peranan penting karena dapat meningkatkan sifat kekerasan baja sesuai kebutuhan. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan proses pemanasan bahan hingga suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan dengan cara tertentu pula, Gambar 2.1 merupakan potongan dari baja AISI 4340.



Gambar 2.1 Baja AISI 4340

2.2.1 Spesifikasi 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.

Tabel 2.1 Spesifikasi Baja AISI 4340

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)

2.2.2 Karakteristik AISI 4340

Baja AISI 4340 merupakan baja karbon sedang dimana persentase kandungan karbon meningkat, baja akan semakin keras dan kuat dengan perlakuan panas namun keuletannya akan berkurang.

- a. Ketangguhan yang baik
- b. Kekuatan yang baik
- c. Tahan kejut dan *impact* yang baik (tahan aus)
- d. Tahan abrasi
- e. Mampu menahan panas 1150°C – 1200°C

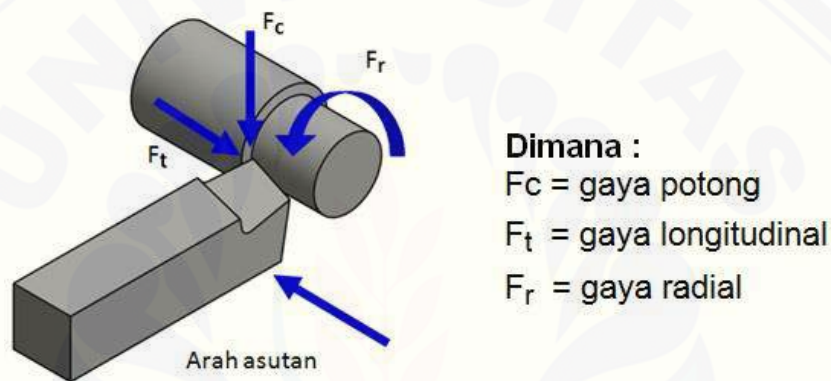
2.2.3 Pengaplikasian AISI 4340

Penggunaan atau pengaplikasian baja AISI 4340 dikarenakan spesifikasi kekerasan yang dimiliki oleh material tersebut sehingga sering digunakan untuk kebutuhan industri dan hasil industri dari baja AISI 4340 seperti gear pesawat, drilling pengeboran minyak dan gas, dan Otomotif.

2.3 Mesin Bubut

Mesin bubut (*turining machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas dengan proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan mata potong pahat (*tools*) 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* (pencekam) 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. Prinsip kerja mesin bubut adalah benda kerja berputar, sedangkan pisau bubut bergerak memanjang dan melintang. Dari proses kerja ini dihasilkan sayatan dan benda kerja yang umumnya simetris seperti Gambar 2.2 merupakan proses dari pembubutan. Fungsi mesin bubut pada prinsipnya yaitu untuk membubut muka *facing*, rata lurus/bertingkat, tirus, alur, ulir, bentuk, mengebor, memperbesar lubang, memotong, dll.



Gambar 2.2 Gerakan pada proses pembubutan (Sumber: Sugiyarto, 2015)

2.3.1 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 untuk dipindahkan sesuai dengan kebutuhan. Benda kerjanya berdimensi kecil (mini), jenis ini umumnya digunakan untuk membubut benda-benda kecil. Panjang dari mesin ini umumnya tidak lebih dari 1200 mm.

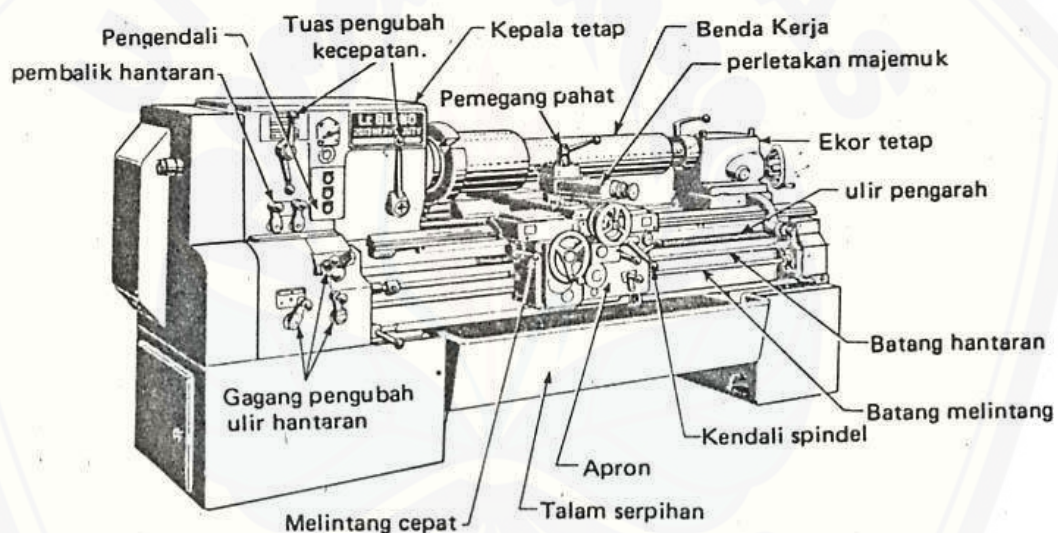
b. Mesin bubut sedang dapat membubut diameter benda kerja sampai dengan 200 mm dan panjang sampai dengan 100 mm. Baik digunakan untuk industri kecil atau bengkel-bengkel perawatan dan pembuatan komponen. Umumnya digunakan pada dunia pendidikan atau pusat pelatihan, karena mudah dioperasikan.

c. Mesin Bubut Standar

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

2.3.2 Bagian-bagian Mesin Bubut

Mesin bubut terdiri dari beberapa komponen dan dimana setiap komponen mempunyai peranan penting dalam setiap kali proses permesinan dan bagian-bagian mesin bubut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bagian – bagian mesin bubut

a. *Head Stock*

Head Stock adalah bagian utama dari mesin bubut yang digunakan untuk menyangga poros utama, yaitu poros yang digunakan untuk menggerakkan spindel. Dimana di dalam spindel tersebut dipasang alat untuk menjepit benda kerja. Spindel ini merupakan bagian terpenting dari sebuah kepala tetap. Selain itu, poros yang terdapat pada kepala tetap ini digunakan sebagaiudukan roda gigi untuk mengatur kecepatan putaran yang diinginkan. Dengan demikian, dalam kepala tetap terdapat sejumlah rangkaian roda gigi transmisi yang meneruskan putaran motor menjadi putaran spindel.

b. Kepala Lepas

Kepala lepas adalah bagian dari mesin bubut yang letaknya di sebelah kanan dan dipasang di atas alas atau meja mesin. Bagian ini berguna untuk sebagai tempat atau dudukan penjepit mata bor pada saat melakukan pengeboran. Kepala lepas ini dapat digerakkan atau digeser sepanjang alas atau meja mesin, dan dikencangkan dengan perantara mur dan baut atau dengan tuas pengencang. Selain digeser sepanjang alas atau meja mesin, kepala lepas juga dapat digerakan maju mundur (arah melintang).

c. Alas Mesin

Alas mesin adalah bagian dari mesin bubut yang berfungsi sebagai pendukung eretan dan kepala lepas, serta sebagai lintasan eretan dan kepala lepas. Alas mesin ini memiliki permukaan yang rata dan halus. Hal ini dimaksudkan untuk mendukung kesempurnaan pekerjaan membubut.

d. Tailstock

Berguna untuk memegang atau menyangga benda kerja pada bagian ujung yang berseberangan dengan *chuck* (pencekam) pada proses pemesinan di mesin bubut.

e. Lead Crew

Adalah poros panjang berulir yang terletak agak dibawah dan sejajar dengan bangku, memanjang dari kepala tetap sampai ekor tetap. Dihubungkan dengan roda gigi pada kepala tetap dan putarannya bisa dibalik. Dipasang ke pembawa dan digunakan sebagai ulir pengarah untuk membuat ulir saja dan bisa dilepas kalau tidak dipakai.

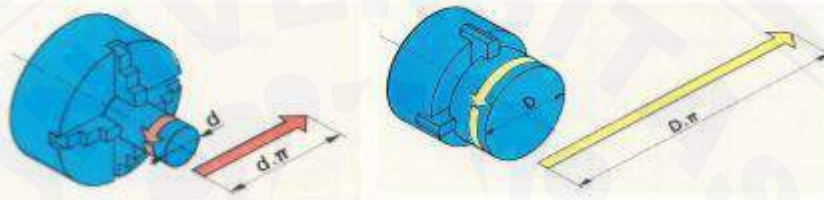
f. *Toolpost*

Tempat dudukan pahat bubut, dengan menggunakan pemegang pahat.

2.3.3 Parameter yang Dapat Diatur pada Proses Bubut

Tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar spindle (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di bawah adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada mesin bubut.

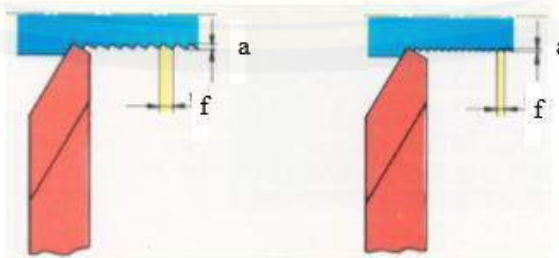
- a. Kecepatan putar n (*speed*) selalu dihubungkan dengan spindel (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute, rpm*), hal ini menggambarkan kecepatan putarannya. Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*cutting speed* atau V) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja lihat Gambar 2.4. Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar atau :



Gambar 2.4 Panjang permukaan benda kerja (sumber: Sentot Wijanarka, “Teknik Pemesinan Dasar”)

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja. Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan harga kecepatan potong.

- b. Gerak makan, f (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali lihat Gambar 2.5, sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong a . Gerak makan tersebut berharga sekitar $1/3$ sampai $1/20$ a , atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang dikehendaki.

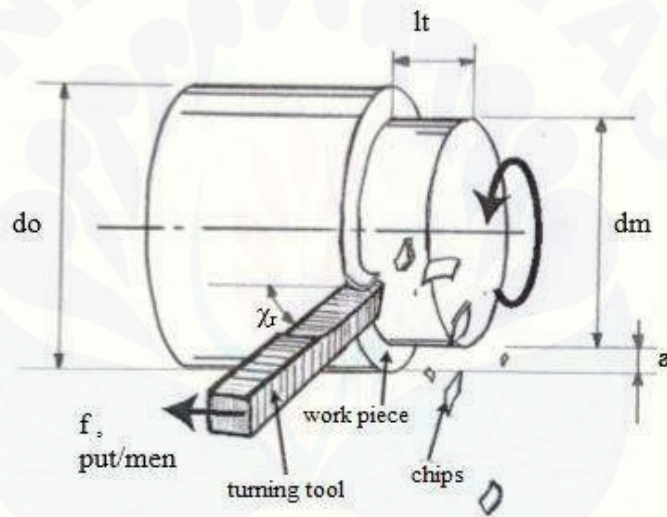


Gambar 2.5 Gerak makan (f) dan kedalaman potong (a) (sumber: Sentot Wijanarka, “Teknik Pemesinan Dasar”)

- c. Kedalaman potong a (*depth of cut*), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong lihat Gambar 2.5. Ketika pahat memotong sedalam a , maka diameter benda kerja akan berkurang $2a$, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar.

2.3.4 Perencanaan dan Perhitungan proses Bubut

Dalam perencanaan dan perhitungan perlu ditentukan berapa kecepatan potong (V), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a) seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses bubut (sumber: Sentot Wijanarka, “Teknik Pemesinan Dasar”)

Keterangan :

Benda kerja :

do = diameter mula ; mm

dm = diameter akhir; mm

lt = panjang pemotongan; mm

Pahat :

χ_r = sudut potong utama

Mesin Bubut :

a = kedalaman potong, mm

f = gerak makan; mm/putaran

n = putaran poros utama; putaran/menit

a. Kecepatan potong :

$$v = \frac{\pi dn}{1000} \dots \dots \dots (2.1)$$

V = kecepatan pemotongan; m/menit

d = diameter rata-rata benda kerja $(d_o + d_m)/2$; mm

n = putaran poros utama ; putaran/menit

$\pi = 3,14$

b. Kecepatan makan :

$$V_f = f \times n; \text{ mm /menit} \dots \dots \dots (2.2)$$

c. Waktu pemotongan :

$$t_c = \frac{lt}{vf}; \text{ menit} \dots \dots \dots (2.3)$$

d. Kedalaman potong

$$a = \frac{dm - d_o}{2} \dots \dots \dots (2.4)$$

e. Kecepatan penghasilan beram :

$$Z = f \times a \times v; (\text{mm}^3)/\text{menit} \dots \dots \dots (2.5)$$

Perencanaan proses bubut tidak hanya menghitung elemen dasar proses bubut, tetapi juga meliputi penentuan/pemilihan material pahat berdasarkan material benda kerja, pemilihan mesin, penentuan cara pencekaman, penentuan langkah kerja/langkah penyayatan dari awal benda kerja sampai terbentuk benda kerja jadi, penentuan cara pengukuran dan alat ukur yang digunakan.

2.4 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.

2.4.1 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 geram 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 thermal deformation;
- c. Membersihkan geram yang timbul akibat proses pemakanan logam atau sebagai media flush untuk membawa chip hasil dari proses machining keluar dari cutting zone;
- d. Memperbaiki penyelesaian permukaan benda kerja yang dihasilkan;
- e. Memperpanjang umur cutting tool;
- f. Mengurangi terjadinya korosi pada mesin perkakas (khususnya cutting tool) dan benda kerja;
- g. Mencegah terjadinya penyatuan geram dengan cutting tool;
- h. Mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi;
- i. Memudahkan pengambilan benda kerja, karena bagian yang panas telah didinginkan.

2.4.2 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

Pengertian MQL secara umum adalah suatu metode yang menitik beratkan 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.

2.4.3 Kriteria pemilihan *Cutting Fluid*

Pemakaian *cutting fluid* biasanya mengefektifkan proses pemesinan. Untuk itu ada beberapa kriteria untuk pemilihan cairan pendingin tersebut, walaupun dari beberapa produsen mesin perkakas masih mengizinkan adanya pemotongan tanpa cairan pendingin. Kriteria utama dalam pemilihan cairan pendingin pada proses pemesinan adalah :

a. Unjuk kerja proses

1) Kemampuan penghantaran panas (*Heat transfer performance*)

Cutting fluid harus mampu memindahkan panas dari benda kerja dan *cutting tool*.

2) Kemampuan pelumasan (*Lubrication performance*)

Cutting fluid harus mampu melumasi *cutting tool* untuk mengurangi tingkat keausan.

3) Pembuangan beram (*Chip flushing*)

Aliran *cutting fluid* harus mampu menyingkirkan beram hasil pemotongan menjauh dari benda kerja dan *cutting tool*.

4) Pembentukan kabut fluida (*Fluid mist generation*)

Pembentukan kabut fluida harus memenuhi timing yang tepat agar berguna sesuai fungsinya dan tidak mengganggu penglihatan operator.

5) Kemampuan cairan membawa beram (*Fluid carry-off in chips*)

Aliran *cutting fluid* harus mampu menyingkirkan beram hasil pemotongan menjauh dari benda kerja dan *cutting tool*.

6) Pencegahan korosi (*Corrosion inhibition*)

Cutting fluid harus bisa mencegah korosi baik yang terjadi di benda kerja atau *cutting tool*.

7) Stabilitas cairan / *fluid stability* (untuk emulsi)

Komposisi *cutting fluid* dengan pelarutnya harus teratur, agar stabilitas pendinginan ataupun pelumasan tetap terjaga.

8) Tidak merusakkan mesin (khususnya *cutting tool*) dan benda kerja

Bahan *cutting fluid* tidak bersifat reaktor terhadap material benda kerja, *cutting tool*, maupun mesin.

9) Temperatur didih dan titik uap

Cutting fluid harus memiliki titik didih yang tinggi agar volumenya tidak cepat berkurang.

10) Tidak berbuih

Cutting fluid dipilih yang tidak bisa berbuih karena akan mengganggu sirkulasinya sendiri maupun pandangan operator.

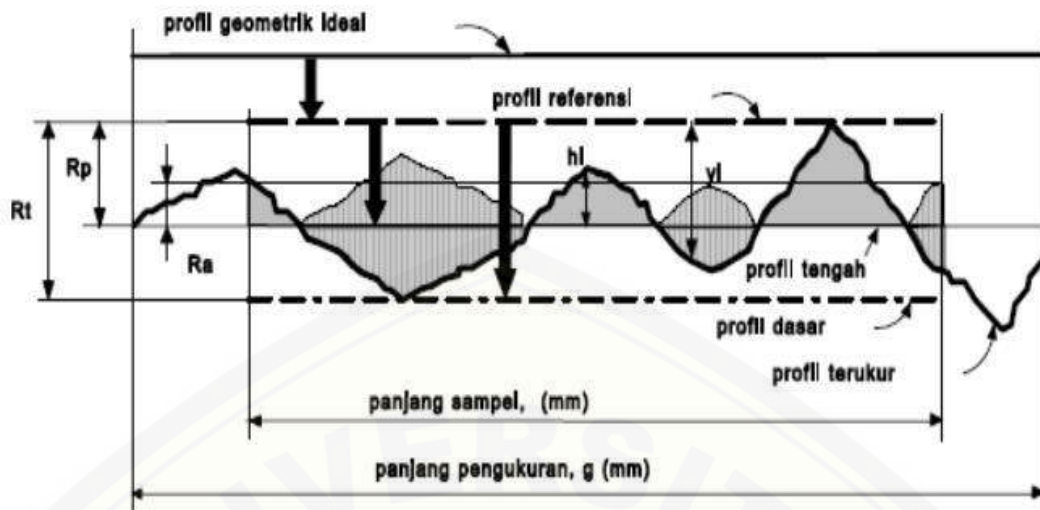
b. Harga

- 1) Pemilihan *Cutting fluid* hendaknya disesuaikan dengan biaya operasional suatu mesin keamanan terhadap kesehatan (*health hazard performance*).
- 2) Tidak menimbulkan kendala secara fisiologis terhadap operator.

2.5 Kekasaran Permukaan

Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor/peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length*). Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Bagian panjang pengukuran yang dibaca oleh sensor alat ukur kekasaran permukaan disebut panjang sampel. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan bentuk profil sesungguhnya dengan beberapa keterangan lain seperti

- a. Profil geometric idelal adalah garis permukaan sempurna yang dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
- b. Profil terukur adalah garis permukaan yang terukur
- c. Profil referensi/puncak/acuan merupakan garis yang digunakan sebagai acuan untuk menanalisa ketidak teraturan bentuk permukaan
- d. Profil alas adalah garis yang berada dibawah yang menyinggung terendah
- e. Profil tengah merupakan garis yang berada ditengah-tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam.



Gambar 2.7 Bentuk profil kekasaran permukaan (Saputro dkk, 2014).

Dari Gambar 2.7 dapat didefinisikan beberapa parameter kekasaran permukaan, yaitu

- a. Kekasaran total (R_t) merupakan jarak antara garis referensi dengan garis alas.
- b. Kekasaran perataan (R_p) merupakan jarak rata-rata antara garis referensi dengan garis terukur.
- c. Kekasaran rata-rata aritmatik (R_a) merupakan nilai rata-rata aritmatik antara garis tengah dan garis terukur.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h_1| dx \dots \dots \dots (2.6)$$

- d. Kekasaran rata-rata kuadratik (root mean square height), R_q (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h_i^2 dx} \dots \dots \dots (2.7)$$

- e. Kekasaran total rata-rata, R_z (μm) merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas keprofil terukur pada lima lembah terendah.

$$R_z = \sum \frac{|R_1+R_2+\dots+R_5-R_6\dots-R_{10}|}{5} \dots \dots \dots (2.8)$$

Parameter kekasaran yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan benda adalah kekasaran rata-rata (R_a). Harga R_a lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Toleransi harga R_a , seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros)

harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Harga toleransi kekasaran Ra ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra

	Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi	Panjang (mm)
1	N1	1	0.0025	0.02-0.04	0.08
2	N2	2	0.05	0.04-0.08	
3	N3	4	0.0	0.08-0.15	0.25
4	N4	8	0.2	0.15-0.3	
5	N5	16	0.4	0.3-0.6	
6	N6	32	0.8	0.6-1.2	
7	N7	63	1.6	1.2-2.4	
8	N8	125	3.2	2.4-4.8	0.8
9	N9	250	6.3	4.8-9.6	
10	N10	500	12.5	9.6-18.75	2.5
11	N11	1000	25.0	18.75-37.5	
12	N12	2000	50.0	37.5-75.0	8

(Sumber: Saputro,dkk. 2014)

Toleransi harga kekasaran rata-rata, Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Tabel 2.3 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra (μm)
<i>Flat and cylindrical lapping,</i>	N1 – N4	0.025 – 0.2
<i>Superfinishing Diamond turning</i>	N1 – N6	0.025 – 0.8
<i>Flat and cylindrical grinding</i>	N1 – N8	0.025 – 3.2
<i>Finishing</i>	N4 – N8	0.1 – 3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5 – N12	0.4 – 50.0
<i>Drilling</i>	N7 – N10	1.6 – 12.5
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	N6 – N12	0.8 – 50.0
<i>Sandcasting and forging</i>	N10 – N11	12.5 – 25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6 – N8	0.8 – 3.2
<i>Die casting</i>	N6 – N7	0.8 – 1.6

(Sumber: Saputro,dkk. 2014)

2.6 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

2.6.1 Tahap perencanaan eksperimen

Perencanaan eksperimen merupakan tahapan terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor-faktor, pemisahan faktor kontrol 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 kekasaran permukaan pada proses bubut adalah semakin kecil nilai kekasaran permukaan 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:

$$DK = c (b-1) \dots \dots \dots (2.9)$$

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.

$$L_a = (b^c) \dots \dots \dots (2.10)$$

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 2.4.

Tabel 2.4 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

2.6.2 Tahap pelaksanaan eksperimen

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

2.6.3 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 variasi 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 ortogonal dengan cara menghitung jumlah kuadrat pada masing-masing kolom.

1) Jumlah Kuadrat Faktor A (SS_A)

$$SS_A = \left[n_A \sum_{i=1}^{K_A} (A_i - \bar{y})^2 \right] \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

SS_A = Jumlah Kuadrat Faktor A (Metode)

A_i = Level ke i dari faktor A

n_{A_i} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor A

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

2) Jumlah Kuadrat Faktor B (SS_B)

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{K_B} \left(\frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

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

B_i = Level ke i dari faktor B

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

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

3) Jumlah Kuadrat Faktor C (SS_C)

$$SS_C = \left[\sum_{i=1}^{K_C} \left(\frac{C_i^2}{n_{C_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

SS_C = Jumlah Kuadrat Faktor C (Kombinasi)

C_i = Level ke i dari faktor C

n_{C_i} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor C

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

4) Derajat Kebebasan

$$DK = c(b - 1) \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

DK = Derajat Kebebasan

b = Banyak level yang diteliti

c = Banyak faktor yang diteliti

5) Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A} \dots\dots\dots(2.15)$$

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

$$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B} \dots\dots\dots(2.16)$$

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

$$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C} \dots\dots\dots(2.17)$$

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)

$$SS_T = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots(2.18)$$

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 (SSm)

$$SS_m = N.Y'^2 \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

SS_m = Jumlah kuadrat karena rata-rata

N = Jumlah total eksperimen

\bar{Y} = rata rata total dari seluruh eksperimen

10) Jumlah kuadrat error (SS_e)

$$SS_f = SS_A + SS_B + SS_c$$

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor} \dots \dots \dots (2.20)$$

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.

H_0 : Tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan ($\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$).

H_1 : 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.

$$S/N = -10 \text{Log} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana:

n = Jumlah pengulangan atau replikasi

r = Jumlah data

Y_i = Data variabel respon

2) Tertuju pada nilai tertentu

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

$$S/N = -10\log \left(\frac{V_m - V_e}{nV_e} \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

3) Semakin Besar Semakin Baik

$$S/N = -10\text{Log} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots (2.23)$$

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.

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots (2.24)$$

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

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

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

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)

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;Ve} MS_e}{n}} \dots\dots\dots(2.25)$$

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

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

Dimana:

$F_{\alpha;1;Ve}$ = 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)

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;Ve} MS_e}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(2.26)$$

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

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

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana:

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

V_2 = Derajat bebas varian kesalahan pooling

2.7.5 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan sebuah eksperimen yang digunakan untuk menguji kesimpulan yang di dapat. Tujuan dilakukannya eksperimen konfirmasi adalah membuat parameter faktor yang optimal sesuai hasil analisis eksperimen

2.7 Hipotesa

Berdasarkan studi pustaka dari jurnal dan teori-teori yang ada maka dapat ditarik hipotesa bahwa nilai kekasaran permukaan 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 nilai kekasaran permukaan. Metode *flood* merupakan metode yang akan mengurangi nilai kekasaran permukaan, karena cairan pendingin disemprotkan terus menerus.

BAB 3. METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu dengan membandingkan pengaruh 3 (tiga) variabel penelitian terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a), yaitu kedalaman potong (*depth of cut*); komposisi campuran pendingin; dan metode pemberian cairan pendingin. Variasi kedalaman potong (*depth of cut*) 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 *cutting fluid* pada penelitian ini ada tiga, yaitu MQL manual, MQL otomatis, dan *flood*.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian tentang pengaruh metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) yang 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 pada penelitian ini adalah mesin bubut manual 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.



Gambar 3.1 Mesin bubut merk GUT tipe C6236 x 1000

b. Pahat potong

Pahat potong insert DCMT 11 dapat dilihat pada Gambar 3.2 merupakan pahat jenis *carbide* karena mengandung tantalum karbida karbida niobium dan kegunaan utamanya untuk pahat bubut karena pahat jenis ini memiliki kekerasan sekitar 90 HRC



Gambar 3.2 Pahat insert DCMT 11

c. Alat ukur kekasaran permukaan

Surface roughness tester Gambar 3.3 merupakan alat pengukuran kekasaran permukaan dan Tabel 3.1 merupakan spesifikasi *surface roughness tester*. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan menggunakan *transducer* dan diolah dengan *mikroprocessor*. *Roughness tester* dapat digunakan di lantai di setiap posisi, horizontal, vertikal atau di mana pun. Hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan yang dapat diambil adalah Ra.



Gambar 3.3 *Surface roughness tester*

Tabel 3.1 Spesifikasi *surface roughness tester*

<i>Measurement Principle</i>	<i>Electromagnetic Inductance</i>
<i>Measurement Range</i>	160 μm
<i>Angle of Stylus</i>	90°
<i>Length wise Radius of Skid</i>	45 mm
<i>Material of Stylus Point</i>	<i>Diamond</i>
<i>Max Driver Distance</i>	18 mm / 0,7 inch
<i>On Measuring :</i>	
<i>If Cutoff Equal to 0,25 mm</i>	<i>Vt Equal 0,13 mm/s</i>
<i>If Cutoff Equal to 0,8 mm</i>	<i>Vt Equal 0,5 mm/s</i>
<i>If Cutoff Equal to 2,5 mm</i>	<i>Vt Equal 0,1 mm/s</i>
<i>On Returning</i>	<i>V = 1 mm/s</i>

(Sumber: Ariastanta, 2012)

- d. Gerinda potong
- e. Digital mikroskop

Kamera mikroskop USB pada Gambar 3.4 digunakan untuk mengambil gambar permukaan dari material Baja AISI 4340 yang sudah dilakukan proses permesinan. Kamera mikroskop USB ini memiliki pembesaran hingga 1000 kali.



Gambar 3.4 Mikroskop USB

- f. Alat yang digunakan untuk menghasilkan system pendingin yang diinginkan dimana dalam *controller* ini diatur oleh Arduino-uno dan dapat dilihat pada Gambar 3.5.

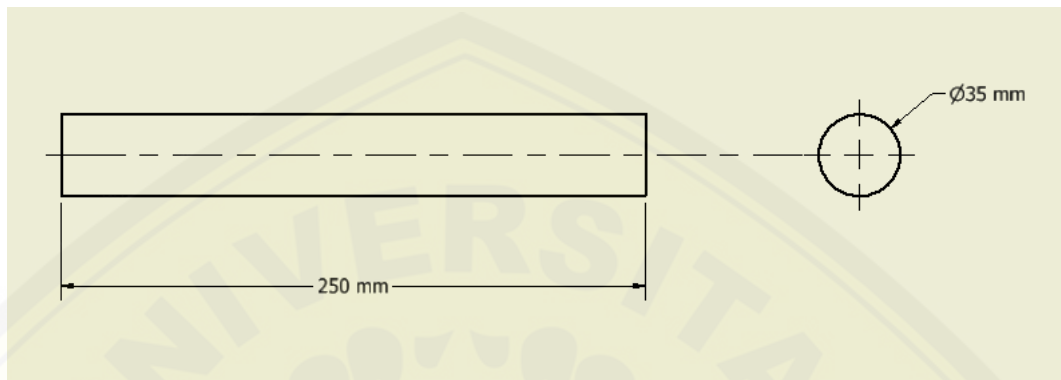


Gambar 3.5 Controller system pendingin MQL

3.3.2 Bahan

a. Baja AISI 4340

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon sedang AISI 4340, ukuran panjang spesimen lihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Spesimen Baja AISI 4340

b. Cairan pendingin

Cairan pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah *cutting oil* chromax 536 Gambar 3.7 yang dianjurkan untuk *cutting fluid* pekerjaan pemakanan logam pada mesin bubut dimana *cutting oil* chromax 536 merupakan jenis emulsi dan sangat baik digunakan untuk proses pengerjaan logam terutama pada mesin bubut.



Gambar 3.7 Cutting Oil

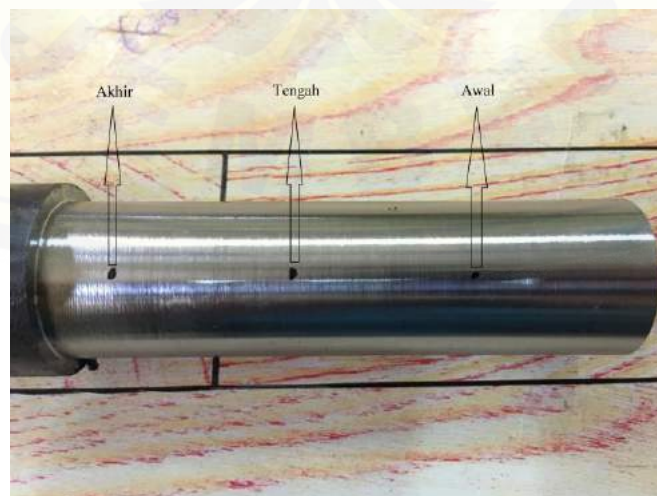
3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian memiliki beberapa tahapan diantaranya:

- Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan prose pembubutan *facing* pembubutan ini bertujuan agar permukaan benda kerja menjadi rata dan menghilangkan lapisan luar dari benda kerja.
- Melakukan setting putaran spindel, kedalaman potong, dan *feed rate* pada mesin bubut.
- Mencampur air dan *cutting oil* chromax 536 dengan 3 jenis perbandingan.
- Memasukkan cairan tersebut ke dalam gelas ukur 500 ml sebelum proses pembubutan dimulai.
- Melakukan proses pembubutan sesuai tabel parameter 3.3.
- Mengambil foto hasil dari proses pembubutan dengan menggunakan mikroskop.

3.4.1 Pengambilan Data

Data yang telah didapatkan dengan menggunakan *surface roughness tester* menunjukkan perbandingan dengan pengaruh 3 (tiga) variabel penelitian terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a), dan dimasukkan ke dalam Tabel acuan agar dapat dianalisa. Selanjutnya data yang telah dimasukkan ke dalam Tabel ditampilkan dalam bentuk grafik untuk melihat karakterisasi tiap faktor. Dan pada pengambilan data dilakukan pada bagian awal, tengah, dan akhir dan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Titik pengambilan data

3.4.2 Hasil Pengujian

- a. Melakukan pengambilan data, metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *ortogonal array taguchi* dapat dilihat pada Tabel 3.2.
- b. Pengambilan data menggunakan 3 kali pengulangan tiap sampel.
- c. Pengujian nilai kekasaran permukaan dan mengambil gambar kekasaran permukaan.

Tabel 3.2 Tabel parameter

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	2,0 mm	3:7	Flood
8	2,0 mm	5:5	MQL manual
9	2,0 mm	7:3	MQL otomasi

3.4.3 Analisa yang akan dilakukan

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

- a. Studi literatur
Jurnal atau penelitian sebelumnya digunakan sebagai acuan untuk keberhasilan dari penelitian ini.
- b. Pengambilan data
Pengambilan data diambil dari *orthogonal array* L9(3³)
- c. Menganalisa data yang diperoleh menggunakan perhitungan:
 - 1) Rasio S/N
 - 2) Analisis varian taguchi
 - 3) Uji F

Nilai Fhitung yang lebih besar daripada Ftabel menunjukkan bahwa ada faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil *fluid consumption*. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi α sebesar 5%. Hipotesa awal (H0) dan Hipotesa alternatif (H1) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F.

Parameter dari nilai konsumsi *fluid consumption*:

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

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

d. Interpretasi Hasil Eksperimen

- 1) Persen kontribusi.
- 2) Interval Kepercayaan.

3.5 Jenis *Orthogonal Array*

Pemilihan jenis *orthogonal array* berdasarkan jumlah parameter kendali dan jumlah level dari setiap parameter kendali yang akan digunakan. Pada penelitian ini terdapat 3 buah parameter kendali dan 3 buah level pada setiap parameter kendali. Oleh karena itu, program *orthogonal array* $L_9 (3^3)$ yang dipilih. Sebab, pada *orthogonal array* $L_9 (3^3)$ dapat digunakan hingga 3 parameter kendali, dan jumlah level dari setiap parameter kendali adalah 3. Pada Tabel 3.3 di bawah ini dapat dilihat parameter kendali dan level sedangkan pada Tabel 3.4 *orthogonal array* $L_9 (3^3)$.

Tabel 3.3 Parameter Kendali dan Level

Kontrol Faktor	Level		
	1	2	3
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3
C	C1	C2	C3

Tabel 3.4 *Orthogonal array taguchi* L₉ (3³)

No. Percobaan	Parameter Kendali		
	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

3.6 Variabel

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 3 jenis variabel yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing variabel penelitian.

3.6.1 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 3.5.

Tabel 3.5 Variabel Bebas dan Level

Kode	Kontrol Faktor	Level		
		1	2	3
A	<i>Depth of cut</i>	1,6 mm	1,8 mm	2,0 mm
B	Komposisi	3:7	5:5	7:3
C	Metode	MQL Manual	MQL Otomasi	Flood

3.6.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kekasaran permukaan dari setiap masing-masing faktor.

3.6.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah perlakuan tetap yang diberikan pada setiap pengujian penelitian. Pada pengambilan parameter variabel kontrol terdapat 2 *general recommendations* proses pembubutan yakni penentuan *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut* dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.9, sehingga variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah parameter proses permesinan bubut yang digunakan dalam penelitian ini. antara lain:

1. Cutting speed (n) 585 m/menit;
2. Feed rate (f) 0.108 mm/putaran.

Tabel 3.6 *General recommendation* dari pahat

General recommendations	
<i>Cutting speed</i> (m/menit)	200 - 300
<i>Feed rate</i> (mm/putaran)	0,12 – 0,3
<i>Depth of cut</i> (mm)	1,00 – 3,00

TABLE 23.4
General Recommendations for Turning Operations

Workpiece material	Cutting tool	General-purpose starting conditions			Range for roughing and finishing			
		Depth of cut, mm (in.)	Feed, mm/rev (in./rev)	Cutting speed, m/min (ft/min)	Depth of cut, mm (in.)	Feed, mm/rev (in./rev)	Cutting speed, m/min (ft/min)	
Low-C and free machining steels	Uncoated carbide	1.5-6.3 (0.06-0.25)	0.35 (0.014)	90 (300)	0.5-7.6 (0.02-0.30)	0.15-1.1 (0.006-0.045)	60-135 (200-450)	
	Ceramic-coated carbide	"	"	245-275 (800-900)	"	"	120-425 (400-1400)	
	Triple-coated carbide	"	"	185-200 (600-650)	"	"	90-245 (300-800)	
	TiN-coated carbide	"	"	105-150 (350-500)	"	"	60-230 (200-750)	
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	0.25 (0.010)	395-440 (1300-1450)	"	"	365-550 (1200-1800)	
	Cermet	"	0.30 (0.012)	215-290 (700-950)	"	"	105-455 (350-1500)	
	Medium and high-C steels	Uncoated carbide	1.2-4.0 (0.05-0.20)	0.30 (0.012)	75 (250)	2.5-7.6 (0.10-0.30)	0.15-0.75 (0.006-0.03)	45-120 (150-400)
Ceramic-coated carbide	"	"	185-230 (600-750)	"	"	120-410 (400-1350)		
Triple-coated carbide	"	"	120-150 (400-500)	"	"	75-215 (250-700)		
TiN-coated carbide	"	"	90-200 (300-650)	"	"	45-215 (150-700)		
Al ₂ O ₃ ceramic	"	"	0.25 (0.010)	335 (1100)	"	"	245-455 (800-1500)	
Cermet	"	"	0.25 (0.010)	170-245 (550-800)	"	"	105-305 (350-1000)	
Cast iron, gray	Uncoated carbide	1.25-6.3 (0.05-0.25)	0.32 (0.013)	90 (300)	0.4-12.7 (0.015-0.5)	0.1-0.75 (0.004-0.03)	75-185 (250-600)	
	Ceramic-coated carbide	"	"	200 (650)	"	"	120-365 (400-1200)	
	TiN-coated carbide	"	"	90-135 (300-450)	"	"	60-215 (200-700)	
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	0.25 (0.010)	455-490 (1500-1600)	"	"	365-855 (1200-2800)	
	SIN ceramic	"	0.32 (0.013)	730 (2400)	"	"	200-090 (650-3250)	
								(Continued)

Gambar 3.9 *General recommendation* dari material (sumber: Serope Kalpakjian, "Manufacturing Engineering and Technology")

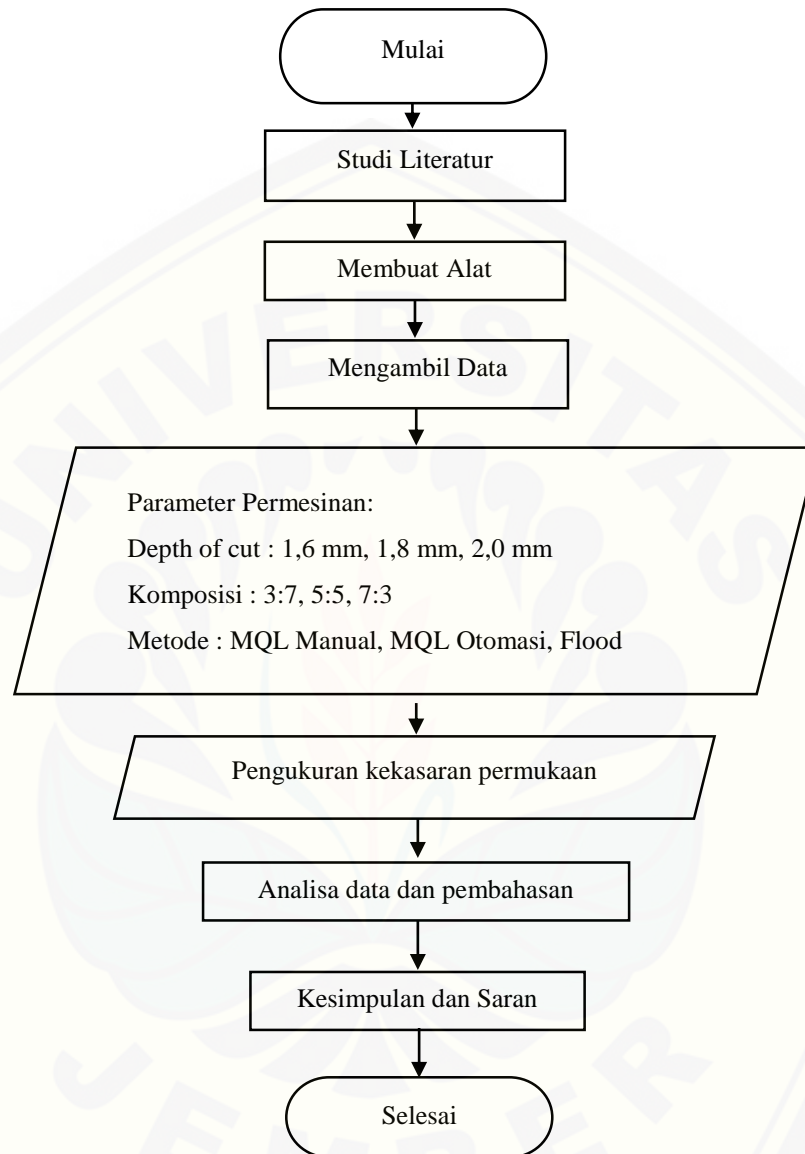
3.7 Data Percobaan

Tabel 3.7 Data Percobaan Penelitian

No	Parameter Kendali			Replikasi	Data Hasil Pengujian			Ra Rata-Rata (μm)
	<i>Depth of cut</i> (mm)	Komposisi (Air : Dromus)	Metode		Awal	Tengah	Akhir	
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				

3.8 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) terhadap nilai kekasaran permukaan, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Depth of cut* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan baja AISI 4340 pada proses pembubutan. *Depth of cut* 1,6 mm, 1,8 mm, 2,0 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang fluktuatif, yaitu terjadinya peningkatan dan penurunan nilai kekasaran permukaan.
2. Komposisi campuran antara air dan *cutting oil* sangat berpengaruh pada proses pembubutan, dimana *cutting fluid* melumasi pahat maupun benda kerja secara sempurna hal ini menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang sangat signifikan.
3. Metode pemberian *cutting fluid* sangat berpengaruh terhadap hasil nilai kekasaran permukaan yang menghasilkan kontribusi sebesar 53,152 % dengan tujuan agar temperatur gesekan antara pahat dan benda kerja tetap rendah sehingga nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan relatif rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan simpulan di atas, maka pada pengaruh metode pelumasan berkuantitas minimum (MQL) terhadap nilai kekasaran permukaan sebaiknya memperhatikan beberapa saran berikut ini:

1. Perlu dilakukan pengujian pada material lain yang lebih keras seperti baja karbon tinggi ataupun baja cor.
2. Dalam penelitian ini masih perlu dikembangkan lagi dengan cara menambah variabel bebasnya seperti variasi kedalaman pemakanan, komposisi *cutting fluid*, metode pemberian *cutting fluid*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrian, A. 2016. Pengaruh *Feeding* dan *Cutting Fluid* terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *Surface Grinding*. *Skripsi*. Semarang: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Arsana, P, dkk. 2019. Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Pembubutan Rata Pada Baja ST 37. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin. Universitas Pendidikan Ganesha. Singaraja.
- Attanasio, A. Gelfi, M. Giardini, C. Remino, C. 2004. *Minimal quantity lubrication in turning: Effect on tool wear*. *Wear*. 260 (2006) 333–338.
- Azhar, M. 2014. Analisa Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong. *Skripsi*. Bengkulu: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
- Basuki, B. 2013. Analisis Pengaruh Penggunaan Sistem *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) terhadap Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja. Prosiding SNTT Vol.1B. pp. 266-271. ISBN 978-602-14066-2-5.
- Basuki, B. 2014. Pengaruh Metode *Minimum Quantity Lubrication* Terhadap Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja AISI 4340. *Jurnal Teknologi Universitas Gadjah Mada*.
- Baubekri, N. 2015. *Minimum Quantity Lubrication (MQL) in Machining: benefits and drawbacks*. *Journal of Industrial and Intelligent Information*. 3(3).
- Dalimunthe, R. 2009. Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Umur Pahat HSS pada Proses Pembubutan AISI 4340. *Jurnal Sains dan Inovasi* 5 (2) 139-145 (2009). Fakultas Teknik. Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai. Lampung.
- Daniar. 2013. Pengaruh Jenis Pahat dan Cairan Pendingin Serta Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Baja ST 60 Pada Proses Bubut Konvensional. *Jurnal JTM*. 1: 83-90.
- 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*. (172): 299-304.

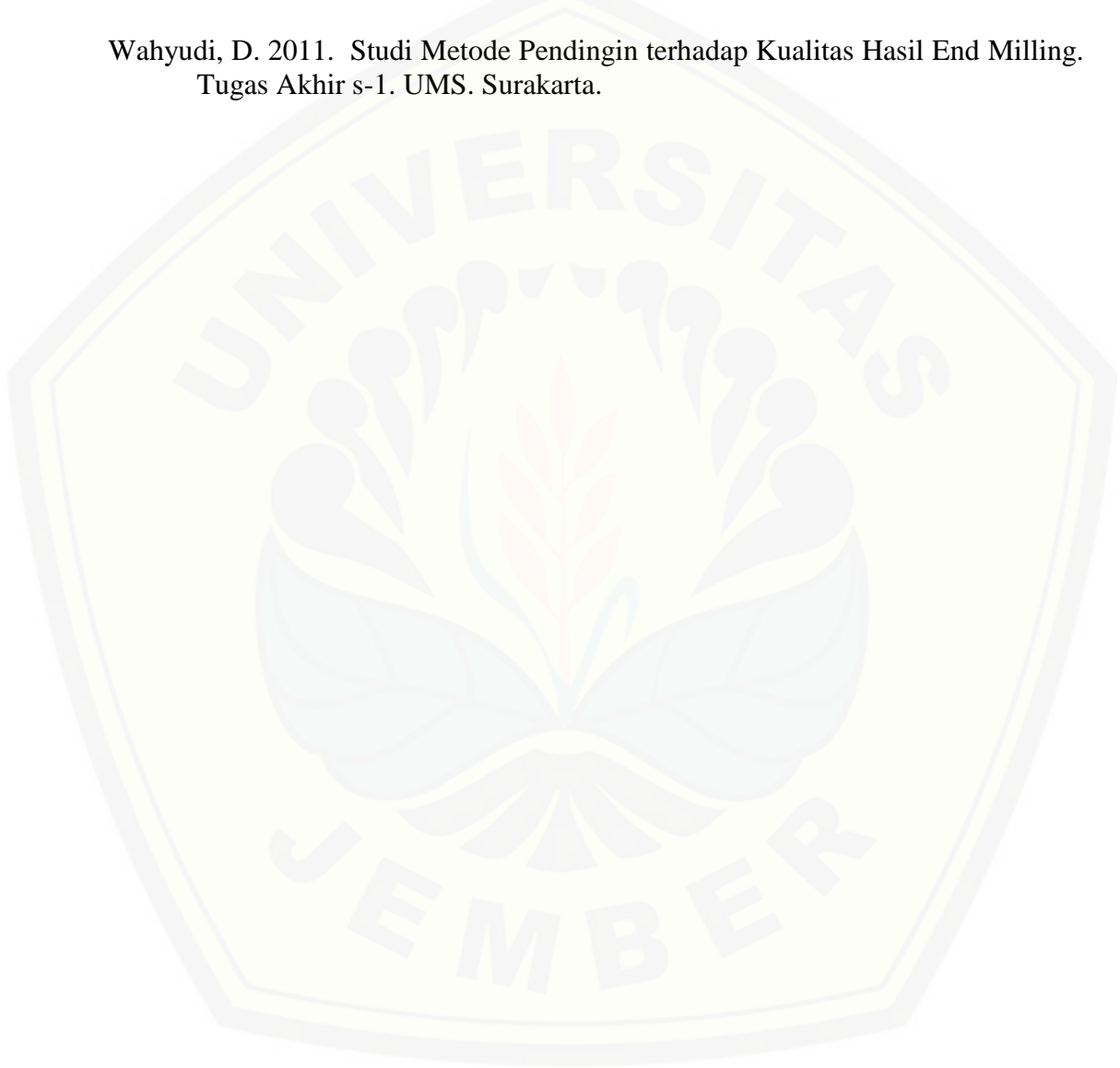
- Hadimi. 2008. Pengaruh Perubahan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Pembubutan. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 1, no. 1, 2008: 18-28.
- Ibrahim, G. 2015. Identifikasi Nilai Kekasaran Permukaan Pada Pemesinan Paduan Magnesium. *Jurnal Jurusan Teknik Mesin*. Universitas Lampung. Lampung.
- Kalpakjian, S. Schmid, S. 2000. *Manufacturing Engineering and Technology*. Fifth Edition. Addison Wesley. India.
- Kalpakjian, S. Schmid, S. 2001. *Manufacturing Engineering and Technology*. Fourth Edition. Addison Wesley. India.
- Kencanawati. 2017. Module Bahan Ajar Proses Pemesinan. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Denpasar. Bali.
- Marsyahyo, E. 2003. *Mesin Perkakas Pemotongan Logam*. Malang. Toga Mas.
- Muin, S. 1986. *Dasar-dasar Perencanaan dan Mesin-mesin Perkakas*. Jakarta: CV. Rajawali.
- Munadi, S. 1988. *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan, Jakarta.
- Patriawan, D, dkk. 2016. Studi Pendahuluan Penggunaan *Minimum Quantitiy Lubricant* pada Proses Pemesinan. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Surabaya.
- Rochim, T. 1993. Teori dan Teknologi Proses Pemesinan. ITB. Bandung.
- Rochim, T. 2007. Klasifikasi Proses Gaya dan Daya Pemesina. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Saputro, H, dkk. 2014. Karakterisasi Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Hasil Pemesinan CNC *Milling* ZK 7040 Efek Dari Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*) dan Awal Waktu Pemberian Pendingin. Pendidikan Teknik Mesin. FKIP. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sentot, Wijanarka. 2010. Teknik Permesinan Dasar. Jurusan pendidikan T. Mesin, FT-UNY.
- Siswanto, B. Sunyoto. 2018. Pengaruh Kecepatan dan Kedalaman Potong pada Proses Pembubutan Konvensional Terhadap Kekasaran Permukaan Lubang. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*. 172(2).

Soejanto, I., (2009), *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Sucipto, A. 2012. Cairan Pemotong Atau Pendingin pada Proses Manufaktur. Makalah.

Sugiyarto. 2015. Keausan alat potong (*Tool ware*). *Jurnal mesin CNC*. 8(1).

Wahyudi, D. 2011. Studi Metode Pendingin terhadap Kualitas Hasil End Milling. Tugas Akhir s-1. UMS. Surakarta.



LAMPIRAN

Lampiran 1 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 2 Perhitungan

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

$$\bar{A}_2 = \frac{(1,943) + (2,834) + (2,439)}{3} = 2,405$$

$$\bar{A}_3 = \frac{(2,308) + (2,510) + (1,941)}{3} = 2,253$$

Rata-rata respon komposisi level 1,2 dan 3

$$\bar{B}_1 = \frac{(2,677) + (1,943) + (2,308)}{3} = 2,309$$

$$\bar{B}_2 = \frac{(2,359) + (2,834) + (2,510)}{3} = 2,568$$

$$\bar{B}_3 = \frac{(2,486) + (2,439) + (1,941)}{3} = 2,289$$

Rata-rata respon metode pemberian *Cutting Fluid* level 1,2 dan 3

$$\bar{C}_1 = \frac{(2,677) + (2,439) + (2,510)}{3} = 2,542$$

$$\bar{C}_2 = \frac{(2,359) + (1,943) + (1,941)}{3} = 2,080$$

$$\bar{C}_3 = \frac{(2,486) + (2,834) + (2,308)}{3} = 2,543$$

Jumlah kuadrat faktor (komposisi)

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

$$S_B = \frac{[6,923]^2}{3} + \frac{[7,703]^2}{3} + \frac{[7,435]^2}{3} - \frac{[22,064]^2}{9}$$

$$S_B = 0,145$$

Jumlah kuadrat faktor (metode pemberian *Cutting Fluid*)

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

$$S_C = \frac{[7,626]^2}{3} + \frac{[6,241]^2}{3} + \frac{[7,628]^2}{3} - \frac{[21,495]^2}{9}$$

$$S_C = 0,427$$

Rata-rata kuadrat tengah faktor B(komposisi)

$$MSB = \frac{SS_B}{DK_B}$$

$$MSB = \frac{0,145}{2}$$

$$MSB = 0,073$$

Rata-rata kuadrat tengah faktor C(metode pemberian *Cutting Fluid*)

$$MSC = \frac{SS_C}{DK_C}$$

$$MSC = \frac{0,427}{2}$$

$$MSC = 0,214$$

F-Rasio *depth of cut*

$$F = \frac{MSA}{MS_{Error}}$$

$$F = \frac{0,049}{0,023}$$

$$F = 2,14$$

F-Rasio Komposisi

$$F = \frac{MSB}{MS_{Error}}$$

$$F = \frac{0,073}{0,023}$$

$$F = 3,16$$

F-Rasio Metode pemberian *Cutting Fluid*

$$F = \frac{MSC}{MS_{Error}}$$

$$F = \frac{0,214}{0,023}$$

$$F = 9,29$$

Persen kontribusi dari tiap faktor kendali komposisi

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

$$SS'B = 0,145 - 0,023 (2)$$

$$SS'B = 0,145 - 0,046$$

$$SS'B = 0,099$$

$$\begin{aligned}\rho_B &= \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100 \% \\ &= \frac{0,099}{0,717} \times 100 \% \\ \rho_B &= 13,861 \%\end{aligned}$$

Persen kontribusi dari tiap faktor kendali metode pemberian *Cutting Fluid*

$$\begin{aligned}SS'C &= SS_C - MS_e (DK_A) \\ SS'C &= 0,427 - 0,023 (2) \\ SS'C &= 0,427 - 0,046 \\ SS'C &= 0,381 \\ \rho_C &= \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100 \% \\ &= \frac{0,381}{0,717} \times 100 \% \\ \rho_C &= 53,152 \%\end{aligned}$$