



**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PEMBERIAN *FLUIDA*  
PERMESINAN BERBASIS *MQL* PADA MESIN BUBUT DAN  
ANALISIS PERFORMANYA**

**SKRIPSI**

Oleh

**Gerry Gardika Surya Dinata**

**NIM 151910101100**

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

**2019**



**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PEMBERIAN *FLUIDA*  
PERMESINAN BERBASIS *MQL* PADA MESIN BUBUT DAN  
ANALISIS PERFORMANYA**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Gerry Gardika Surya Dinata**

**NIM 151910101100**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
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. Keluarga saya, Bapak Gunawan, Ibu Alminnah, Adik Vina. Terimakasih saya ajukan dari segala bentuk dukungan kasih sayang, do'a, semangat, motivasi dan bimbingan.
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.

**MOTTO**

Hiduplah kamu seperti akan mati besok  
Dan berbahagialah seperti kamu akan hidup selamanya

(BJ Habibie)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gerry Gardika Surya Dinata

NIM : 151910101100

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Perancangan Sistem Kendali Pemberian Fluida Permesinan Berbasis MQL dan Analisis Performanya” 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, 15 Oktober 2019

yang menyatakan,

Gerry Gardika Surya Dinata

NIM 151910101100

**SKRIPSI**

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PEMBERIAN *FLUIDA*  
PERMESINAN BERBASIS *MQL* PADA MESIN BUBUT DAN  
ANALISIS PERFORMANYA**

Oleh

**Gerry Gardika Surya Dinata**

**NIM 151910101100**

Pembimbing

Pembimbing Utama

: Aris Zainul Muttaqin S.T.,MT

Pembimbing Anggota

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

**RINGKASAN**

**Perancangan Sistem Kendali Pemberian Fluida Permesinan Berbasis MQL dan Analisis Performanya;** Gerry Gardika Surya Dinata, 151910101100; 2019; 53 halaman; Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

Industri manufaktur saat ini dituntut untuk dapat bersaing di pasar regional maupun internasional. Semakin meningkatnya produktivitas dan kualitas dari sebuah produk merupakan tantangan bagi dunia manufaktur untuk dapat meningkatkan pengetahuan di dalam proses manufaktur itu sendiri. Salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas adalah dengan otomasi manufaktur. Tuntutan lain pada permesinan adalah harus mempertimbangkan aspek lingkungan. Pada permesinan biasanya menggunakan *cutting fluid*. Metode MQL (minimum quantity lubrication) merupakan alternatif mengurangi dampak lingkungan pada pemesinan. Kelebihan pada MQL yaitu lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Kekurangan dari MQL adalah masih dilakukan dengan cara menggunakan udara bertekanan tanpa adanya controller untuk mengatur *cutting fluid* pada permesinan. Hal tersebut akan mengakibatkan penggunaan cutting fluid tidak maksimal dan dapat mempengaruhi proses pada MQL menjadi tidak optimal. Alat controller membantu untuk menjalankan disertai dengan pengendalian pada mesin. Karakteristik operasional mesin dengan kendali controller menjadikan performa mesin dapat lebih optimal dalam pengoperasiannya. Maka dari itu alat controller ini sangat penting untuk sistem pemberian *cutting fluid* pada MQL. Keberhasilan dari controller MQL tergantung pada kemampuan pengendali ini menghidupkan dan menghentikan fluida sesuai kriteria yang dibuat. Selain itu sesuai dengan definisi MQL dibatasi oleh volume atau konsumsi fluida yang dikeluarkan maksimal 500 ml/jam. Untuk itu perlu diukur fluid consumption. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja alat MQL pada proses bubut dan setting parameter yang sesuai agar diperoleh nilai fluid consumption yang optimal.

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

Kontribusi faktor kendali dalam mengurangi nilai *fluid consumption* yang signifikan dipengaruhi oleh faktor kendali yaitu metode MQL otomasi 54,14%, komposisi 12,38%, dan *depth of cut* 1,68%. Kondisi optimal yang dihasilkan adalah pada metode level 3 (2 mm), komposisi level 1 (3:7), dan metode level 2 (MQL otomasi).

*SUMMARY*

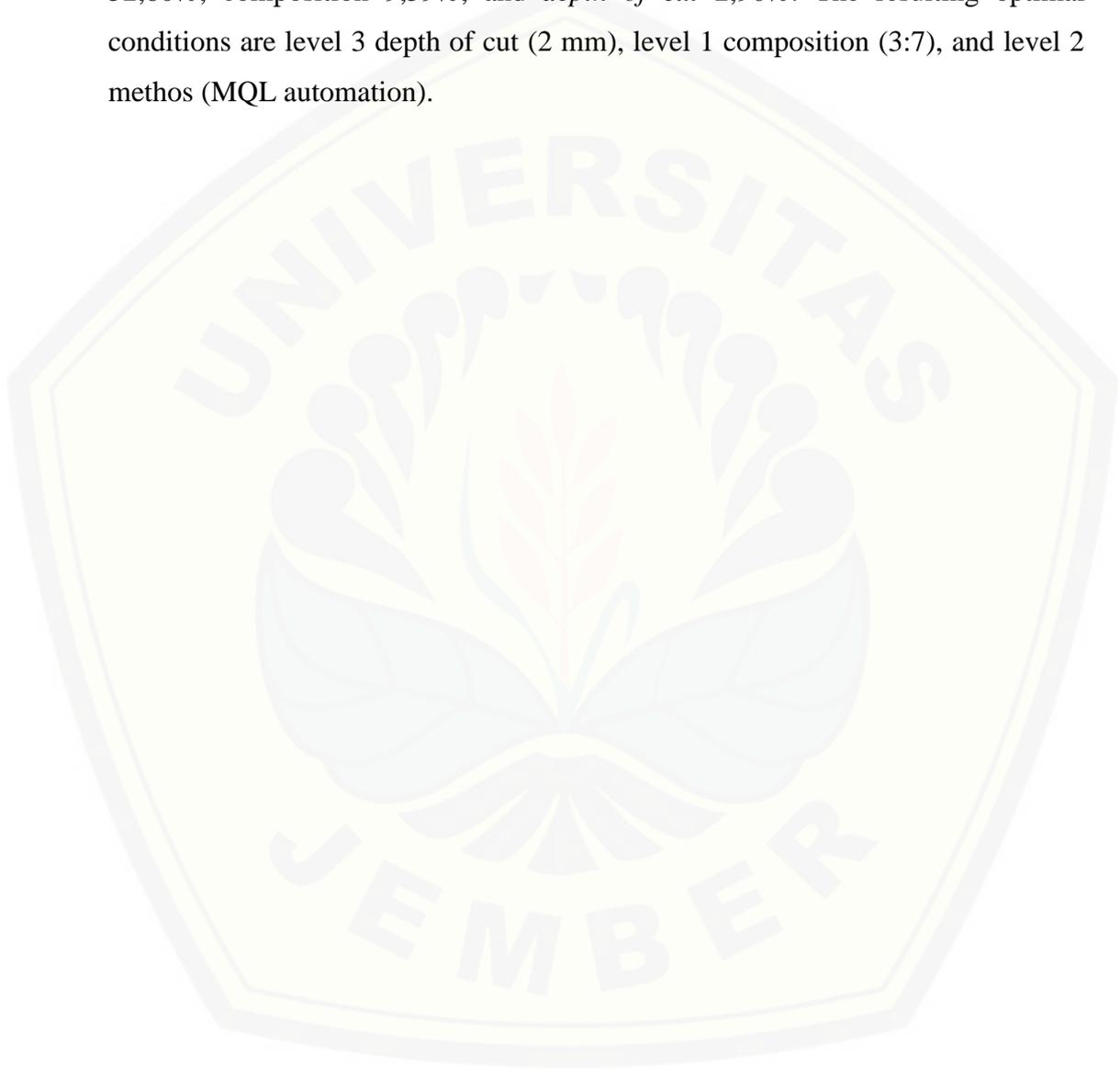
**Design of MQL Based Machining Fluid Control Systems and Performance Analysis;** Gerry Gardika Surya Dinata, 151910101100; 2019; 53 pages; majoring in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Manufacturing industry is currently required to be able to compete in regional and international markets. To increase productivity and quality of a product is a challenge for the manufacturing world to be able to increase knowledge in the manufacturing itself. One way to increase productivity is by manufacturing automation. Other demands on machinery are to consider environmental aspects. On machining usually use cutting fluid. MQL method is an alternative to reduce the environmental impact on machinery. The advantage of MQL is that it is more economical friendly. The disadvantage of MQL is that it is still done by using compressed air without a controller to regulate cutting fluid in machinery. This will result in the use of cutting fluid is not optimal and can affect the process on the MQL to be not optimal. The controller helps to run accompanied by control on the engine. Operational characteristics of the engine performance can be more optimal in its operation. Therefore this controller is very important for cutting fluid system in MQL. The success of the MQL control depends on the ability of the controller to turn on and stop the fluid according to the criteria made. Also according to the definition of MQL is limited by the volume or consumption of fluid the issued a maximum of 500 ml/hour. For that it needs to be measured fluid consumption. The purpose of this research is to find out how the MQL tool works on the lathe process and setting the appropriate parameters in order to obtain the optimal fluid consumption value.

This research was carried out in the metal work laboratory majoring in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember from May until September 2019. This study takes data on the value of fluid consumption

produced by the taguchi method. Based on the orthogonal matrix, it is L9 with repetition 3 times for each combination.

The contribution of control factors in reducing the value of consumer behavior which is significantly influenced by control factors that is method 52,80%, composition 9,59%, and *depth of cut* 2,90%. The resulting optimal conditions are level 3 depth of cut (2 mm), level 1 composition (3:7), 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 “Perancangan Sistem Kendali Pemberian Fluida Permesinan Berbasis MQL dan Analisis Performanya”. 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 Ir. Franciscus Xaverius Kristianta M.Eng selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mendampingi dan membimbing saya selama 4 tahun menjadi mahasiswa.
3. Dosen dan seluruh karyawan Teknik Mesin Universitas Jember.
4. Bapak Aris Zainul Muttaqin 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 Robertus Sidartawan S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Ibu Rika Dwi Hidayatul Qoryah 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, Dicky Aprilian Nugraha, Agil Widhy Azizi, Allen Luviandy.
7. Teman seperjuangan yang tidak selalu bersama Bobig, Wahyu, Prayogi, Ivandi, Bobby, Khamdan.

8. Agus Subekti Teknik Mesin 2012 terimakasih telah membantu terselesainya skripsi ini.
9. Dulur Teknik Mesin 2015 atas dukungan dan doanya dalam terselesainya skripsi ini.
10. 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, 15 Oktober 2019

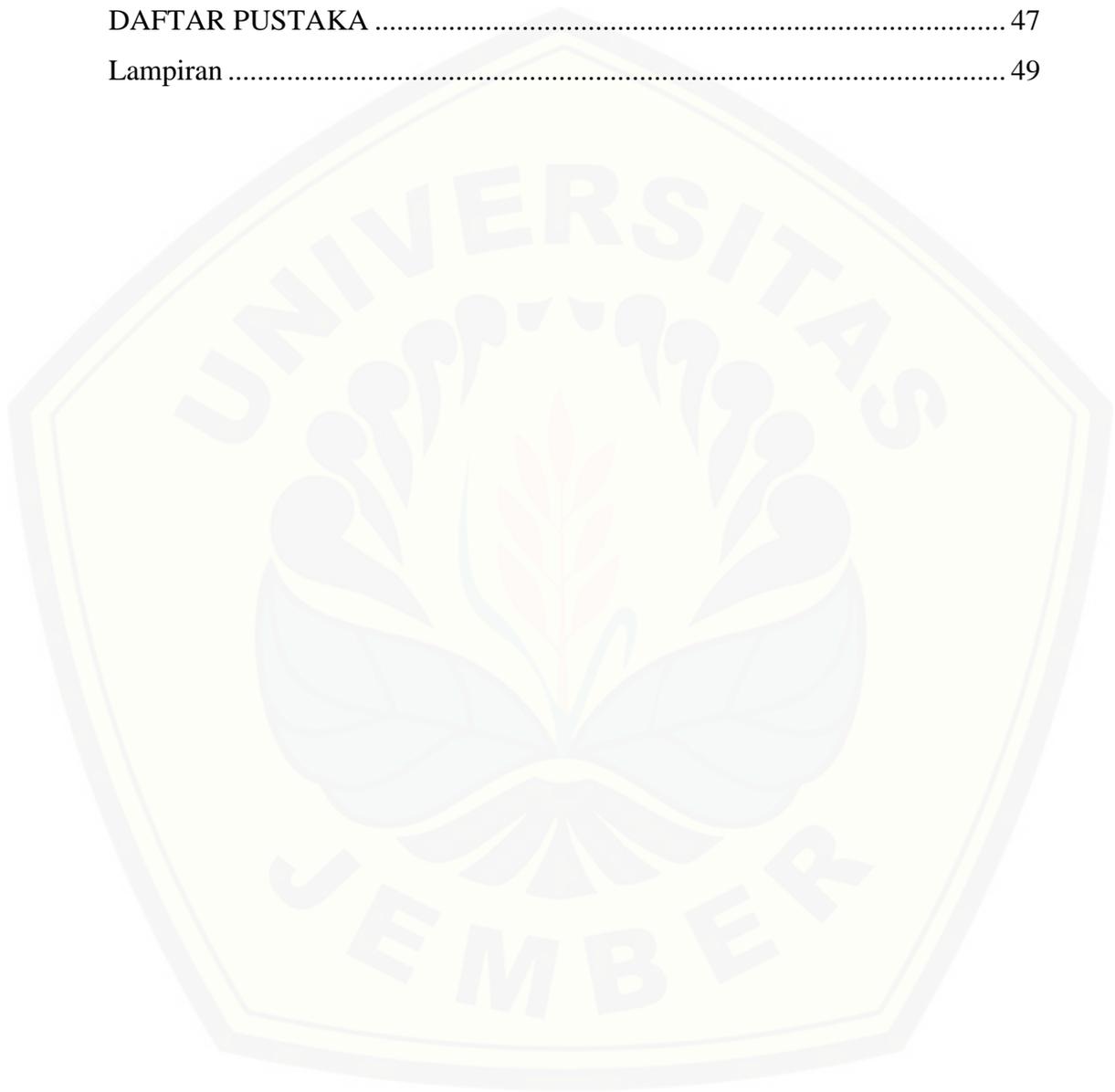
Penulis

**DAFTAR ISI**

|  |             |
|--|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                   | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN SAMPUL.....</b>                   | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>             | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN MOTTO .....</b>                   | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>               | <b>v</b>    |
| <b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>              | <b>vi</b>   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>               | <b>vii</b>  |
| <b>RINGKASAN .....</b>                       | <b>viii</b> |
| <b>SUMMARY .....</b>                         | <b>x</b>    |
| <b>PRAKATA .....</b>                         | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                       | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                    | <b>xvi</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                    | <b>xvii</b> |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>               | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                     | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                    | 2           |
| 1.3 Tujuan.....                              | 2           |
| 1.4 Manfaat.....                             | 2           |
| 1.5 Batasan Masalah.....                     | 3           |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>           | <b>4</b>    |
| 2.1 Otomasi Industri .....                   | 4           |
| 2.1.1 Otomasi Sistem Produksi .....          | 4           |
| 2.1.2 Keuntungan Sistem Manufaktur .....     | 4           |
| 2.1.3 Elemen Pada Sistem Otomasi .....       | 5           |
| 2.2 MQL .....                                | 5           |
| 2.3 Cutting Fluid.....                       | 6           |
| 2.3.1 Fungsi Cutting Fluid .....             | 6           |
| 2.3.2 Kriteria Pemilihan Cutting Fluid ..... | 7           |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4 Minyak Dromus .....                  | 8         |
| 2.5 Air .....                            | 9         |
| 2.6 Metode Taguchi .....                 | 9         |
| 2.6.1 Tahap Perencanaan Eksperimen ..... | 9         |
| 2.6.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....  | 11        |
| 2.6.3 Tahap Analisa .....                | 11        |
| 2.6.4 Interpretasi Hasil Eksperimen..... | 15        |
| 2.7 Hipotesis .....                      | 16        |
| <b>BAB 3 METODOLOGI.....</b>             | <b>17</b> |
| 3.1 Metode Penelitian .....              | 17        |
| 3.2 Tempat Penelitian .....              | 17        |
| 3.3 Alat dan Bahan .....                 | 17        |
| 3.3.1 Alat.....                          | 17        |
| 3.3.2 Bahan .....                        | 17        |
| 3.4 Tahapan Penelitian.....              | 22        |
| 3.5 Variabel Pengukuran .....            | 23        |
| 3.5.1 Variabel Bebas .....               | 23        |
| 3.5.2 Variabel Terikat .....             | 24        |
| 3.6 Pengambilan Data.....                | 24        |
| 3.6.1 Data Konsumsi Cutting Fluid .....  | 24        |
| 3.6.2 Hasil Pengujian .....              | 24        |
| 3.7 Metode Analisis .....                | 25        |
| 3.8 Diagram Alir.....                    | 26        |
| <b>BAB 4 Hasil dan Pembahasan .....</b>  | <b>27</b> |
| 4.1 Pembuatan Alat.....                  | 27        |
| 4.2 Alat MQL.....                        | 29        |
| 4.2.1 Cara Kerja Alat MQL .....          | 29        |
| 4.2.2 Durasi Waktu Kerja Alat MQL .....  | 33        |
| 4.3 Data Total Fluid Consumption .....   | 36        |
| 4.4 Perhitungan S/N Rasio.....           | 37        |
| 4.5 Hasil Optimasi .....                 | 38        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.6 Analisa Varian, Uji F, dan Persen Kontribusi ..... | 39        |
| 4.7 Prediksi Respon Optimal .....                      | 42        |
| 4.8 Pembahasan .....                                   | 43        |
| <b>BAB 5 Penutup .....</b>                             | <b>46</b> |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                   | 47        |
| Lampiran .....   | 49        |



**DAFTAR TABEL**

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Komposisi Minyak Dromus .....                             | 8  |
| Tabel 2.2 Tabel matriks ortogonal L9(3 <sup>3</sup> ).....          | 11 |
| Tabel 3.1 Variabel Bebas dan Level .....                            | 23 |
| Tabel 3.2 Kode Sampel.....  | 24 |
| Tabel 4.1 Perbandingan Suhu Pahat dan Cairan Pendingin.....         | 30 |
| Tabel 4.2 MQL Otomasi Replikasi 1 .....                             | 33 |
| Tabel 4.3 MQL Otomasi Replikasi 2 .....                             | 33 |
| Tabel 4.4 MQL Otomasi Replikasi 3 .....                             | 33 |
| Tabel 4.5 MQL Otomasi Replikasi 1 .....                             | 34 |
| Tabel 4.6 MQL Otomasi Replikasi 2 .....                             | 34 |
| Tabel 4.7 MQL Otomasi Replikasi 3 .....                             | 34 |
| Tabel 4.8 MQL Otomasi Replikasi 1 .....                             | 34 |
| Tabel 4.9 MQL Otomasi Replikasi 2 .....                             | 35 |
| Tabel 4.10 MQL Otomasi Replikasi 3 .....                            | 35 |
| Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian.....                                | 36 |
| Tabel 4.12 Data Hasil S/N Rasio .....                               | 37 |
| Tabel 4.13 Respon rata-rata means untuk setiap faktor kendali ..... | 38 |
| Tabel 4.14 Kombinasi parameter respons optimum .....                | 39 |
| Tabel 4.15 Hasil analisis varian untuk mean .....                   | 40 |
| Tabel 4.16 Kondisi Hipotesa H0.....                                 | 41 |
| Tabel 4.17 Persen Kontribusi Tiap Faktor Kendali .....              | 42 |

**DAFTAR GAMBAR**

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3.1 Mesin Bubut Type C6236 x 1000 .....                              | 17 |
| Gambar 3.2 Sensor DS18B20 .....   | 18 |
| Gambar 3.3 Arduino UNO.....   | 18 |
| Gambar 3.4 LM2596.....  | 19 |
| Gambar 3.5 Power Supply .....   | 19 |
| Gambar 3.6 Regulator 9V atau IC 7809.....                                   | 19 |
| Gambar 3.7 PCB .....  | 20 |
| Gambar 3.8 Water Pump.....  | 20 |
| Gambar 3.9 Pahat Insert.....  | 21 |
| Gambar 3.10 Diagram Alir .....  | 26 |
| Gambar 4.1 PCB dan jalur rangkaiannya.....                                  | 27 |
| Gambar 4.2 Rangkaian Alat.....  | 27 |
| Gambar 4.3 Skema jalannya alat MQL.....                                     | 28 |
| Gambar 4.4 Cara kerja alat MQL.....   | 29 |
| Gambar 4.5 Grafik perbandingan suhu pahat dan volume cairan pendingin... 30 |    |
| Gambar 4.6 Program MQL .....  | 31 |
| Gambar 4.7 Peletakan sensor pada pahat.....                                 | 31 |
| Gambar 4.8 Tampilan Data Sensor Suhu .....                                  | 32 |
| Gambar 4.9 Penyemprotan Cairan pada Pahat dan Benda Kerja .....             | 32 |
| Gambar 4.10 Waktu MQL dengan <i>Depth of Cut</i> 1,6 mm Kombinasi 5:5 ..... | 33 |
| Gambar 4.11 Nilai Plot Rata-rata Means .....                                | 38 |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur saat ini dituntut untuk dapat bersaing di pasar regional maupun internasional. Semakin meningkatnya produktivitas dan kualitas dari sebuah produk merupakan tantangan bagi dunia manufaktur untuk dapat meningkatkan pengetahuan di dalam proses manufaktur itu sendiri.

Salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas adalah dengan otomasi manufaktur. Otomasi dapat bersifat menyeluruh ataupun parsial. Pilihan akan tipe manufaktur terkait beberapa aspek termasuk biaya. Otomasi parsial pada mesin tertentu atau bahkan hanya salah satu bagian proses pemesinan akan meningkatkan produksi baik secara kualitas ataupun kuantitas.

Tuntutan lain pada permesinan adalah harus mempertimbangkan aspek lingkungan. Pada permesinan penggunaan *cutting fluid* (minyak dromus dan air) berdampak buruk pada lingkungan. Metode MQL (*minimum quantity lubrication*) merupakan alternatif mengurangi dampak lingkungan pada pemesinan. Kelebihan pada MQL yaitu lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Patriawan dkk, 2016). Kekurangan dari MQL adalah masih dilakukan dengan cara menggunakan udara bertekanan tanpa adanya *controller* untuk mengatur *cutting fluid* pada permesinan. Hal tersebut akan mengakibatkan penggunaan *cutting fluid* tidak maksimal dan dapat mempengaruhi proses pada MQL menjadi tidak optimal. Alat *controller* membantu untuk menjalankan disertai dengan pengendalian pada mesin. Karakteristik operasional mesin dengan kendali *controller* menjadikan performa mesin dapat lebih optimal dalam pengoperasiannya. Maka dari itu alat *controller* berbasis suhu ini sangat penting untuk sistem pemberian *cutting fluid* pada MQL.

Pada penelitian ini sensor yang digunakan adalah sensor suhu DS18B20 untuk membaca panas pada pahat. Penelitian sebelumnya mengenai sensor suhu DS18B20 *waterproof* yaitu digunakan sebagai alat monitoring dan pembatas suhu

pada proses pengeringan ikan (Agung, 2017). Kelebihan dari sensor suhu DS18B20 *waterproof* adalah sensitivitasnya yang baik dan bersifat digital sehingga pada saat digunakan untuk pembacaan sensor maka akan mengirimkan keluaran berupa angka (Ellia dkk, 2017).

Keberhasilan dari *controller* MQL tergantung pada sistem alat yaitu sensor yang dapat membaca suhu panas pada pahat dan pompa yang menghidupkan dan menghentikan *cutting fluid* sesuai kriteria yang dibuat. Selain itu sesuai dengan definisi MQL dibatasi oleh volume atau konsumsi cairan pendingin yang dikeluarkan maksimal 500 ml/jam. Untuk itu perlu diukur *fluid consumption*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dipaparkan di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah bagaimana unjuk kerja alat MQL yang digunakan pada proses bubut dan bagaimana kombinasi *setting* parameter yang sesuai agar diperoleh nilai *fluid consumption* yang optimum?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui cara merancang bangun alat MQL pada proses bubut;
2. Untuk mengetahui *setting* parameter yang sesuai agar diperoleh nilai *fluid consumption* yang optimal.

## 1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi *setting* alat MQL yang benar agar diperoleh nilai *fluid consumption* yang optimal;
2. Digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan MQL

### **1.5 Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah yang diterapkan yakni untuk mempermudah analisa dalam penelitian ini, antara lain:

1. Suhu lingkungan diabaikan;
2. Tidak membahas viskositas cairan pendingin.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem kendali atau disebut juga sistem kontrol yaitu suatu alat untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Pada sistem kendali mempunyai sebuah komponen yaitu perangkat keras. Perangkat keras adalah susunan dari sebuah alat yang menunjang dalam perancangan sistem kendali. Sistem kendali juga mempunyai perangkat lunak, yaitu bahasa pemrograman untuk mengolah data yang nantinya akan menjadi output dalam memberikan perintah pada sistem kendali. Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem kendali yaitu sistem kendali suhu dan memonitoring kelembahan udara (Hannif dkk, 2016). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah arduino uno R3, sensor suhu DS18B20 *waterproof*, *water pump* 6 V DC

### 2.1 Otomasi Industri

#### 2.1.1 Otomasi Sistem Produksi

Pengertian otomasi secara umum adalah sistem atau perangkat yang dikendalikan dan berjalan secara otomatis. Sistem otomasi sebagai teknologi yang berkaitan dengan aplikasi mekanik, eletronik yang berbasis computer. Hal tersebut saling berkaitan menjadi satu untuk memberikan fungsi terhadap mekanik yang digunakan untuk tujuan tertentu. Sistem ini dirancang untuk menggantikan peran manusia agar menjadi lebih presisi, cepat, efisien. Sukendar dkk, (2013) menyebutkan komponen sistem produksi adalah input, proses dan output.

#### 2.1.2 Keuntungan Sistem Manufaktur

Menurut Harki (2016), keuntungan yang didapat dalam penggunaan sistem otomasi dibandingkan dengan pekerjaan manual yang biasanya dikerjakan oleh manusia adalah:

- a. Meningkatkan produktivitas karena penggunaan sistem otomasi di bidang manufaktur memungkinkan produksi yang berjalan terus menerus tanpa berhenti.

- b. Memperbaiki kualitas produk dengan sistem otomasi, produk yang dihasilkan memiliki ketelitian yang sangat tinggi sehingga kualitas produk yang dihasilkan tinggi.
- c. Dengan tingginya harga bahan baku produksi maka membutuhkan efisiensi penggunaan bahan baku, teknologi otomasi dapat mengurangi kesalahan penggunaan.

### 2.1.3 Elemen Pada Sistem Otomasi

Pada sistem otomasi terdapat elemen-elemen penting yang saling berhubungan untuk menjalankan sistem otomasi seperti sensor, controller. Selain itu terdapat program atau otak yang menjalankan elemen tersebut. Program yang biasanya digunakan antara lain seperti *assembly*, *leader diagram* dll.

#### a. Sensor

Menurut Santoso dkk (2013), sensor merupakan suatu alat yang mengubah dari besaran fisika menjadi besaran listrik. Sensor memiliki kemampuan untuk mengukur beberapa jenis kualitas fisik yang terjadi, seperti tekanan atau cahaya. Kemudian sensor akan menerjemahkan ke dalam bahasa logika yang dapat dipahami oleh controller.

#### b. Controller

Menurut Suyanto (2007), controller pada sistem otomasi adalah sebuah komputer elektronik yang diberikan masukan yang dapat mengerjakan berbagai fungsi-fungsi kontrol sebagai keluaran atau output yang telah diprogram berupa instruksi-instruksi tertentu oleh operator agar dapat menerima sinyal dari suatu sensor dan diproses lalu memberikan sinyal kepada aktuator untuk aktif

## 2.2 MQL (*Minimum Quantity Lubrication*)

MQL adalah teknik lubrikasi dimana *cutting fluid* disemprotkan ke kontak antara *tool* dan benda kerja. MQL adalah teknologi terbaru dalam pemesinan yang dapat berguna untuk mendapatkan keunggulan dalam keselamatan lingkungan dan ekonomi, dengan mengurangi penggunaan *cutting fluid* dalam pemesinan. Dalam

MQL penggunaan *cutting fluid* sangat kecil yaitu kurang dari 500 ml/jam sehingga benda kerja, pahat, mesin, tatal, dan lingkungannya tetap relatif kering (Klocke, 2011). Keuntungan dari penggunaan MQL peningkatan umur alat, dan ramah lingkungan.

### 2.3 Cutting Fluid

*Cutting fluid* adalah media pendingin yang sering digunakan pada proses pemesinan karena mudah didapat dan efektif dalam mendinginkan sekaligus memberi pelumasan pada pengerjaan mesin. 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.

#### 2.3.1 Fungsi Cutting Fluid

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

1. 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;
2. Mengurangi temperatur pada ujung *cutting tool* dan benda kerja sehingga menghindari terjadinya *thermal deformation*;
3. Membersihkan geram yang timbul akibat proses pemakanan logam atau sebagai media flush untuk membawa chip hasil dari proses machining keluar dari *cutting zone*;
4. Memperbaiki penyelesaian permukaan benda kerja yang dihasilkan;
5. Memperpanjang umur *cutting tool*;
6. Mengurangi terjadinya korosi pada mesin perkakas (khususnya *cutting tool*) dan benda kerja;
7. Mencegah terjadinya penyatuan geram dengan *cutting tool*;
8. Mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi;
9. Memudahkan pengambilan benda kerja, karena bagian yang panas telah didinginkan.

### 2.3.2 Kriteria pemilihan *Cutting Fluid*

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

#### 1. Unjuk kerja proses

- a) Kemampuan penghantaran panas (*Heat transfer performance*)  
*Cutting fluid* harus mampu memindahkan panas dari benda kerja dan *cutting tool*.
- b) Kemampuan pelumasan (*Lubrication performance*)  
*Cutting Fluid* harus mampu melumasi *cutting tool* untuk mengurangi tingkat keausan.
- c) Pembuangan beram (*Chip flushing*)  
Aliran *cutting fluid* harus mampu menyingkirkan beram hasil pemotongan menjauh dari benda kerja dan *cutting tool*.
- d) Pembentukan kabut fluida (*Fluid mist generation*)  
Pembentukan kabut fluida harus memenuhi timing yang tepat agar berguna sesuai fungsinya dan tidak mengganggu penglihatan operator.
- e) 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*.
- f) Pencegahan korosi (*Corrosion inhibition*)  
*Cutting fluid* harus bisa mencegah korosi baik yang terjadi di benda kerja atau *cutting tool*.
- g) Stabilitas cairan / *fluid stability* (untuk emulsi)  
Komposisi *cutting fluid* dengan solvent-nya harus teratur, agar stabilitas pendinginan ataupun pelumasan tetap terjaga.
- h) Tidak merusakkan mesin (khususnya *cutting tool*) dan benda kerja

Bahan *cutting fluid* tidak bersifat reaktor terhadap material benda kerja, *cutting tool*, maupun mesin. Temperatur didih dan titik uap *cutting fluid* harus memiliki titik didih yang tinggi agar volumenya tidak cepat berkurang.

- i) Temperatur didih dan titik uap  
*Cutting fluid* harus memiliki titik didih yang tinggi agar volumenya tidak cepat berkurang
- j) Tidak berbuih  
*Cutting fluid* dipilih yang tidak bisa berbuih karena akan mengganggu sirkulasinya sendiri maupun pandangan operator

## 2. Harga

- a) Pemilihan *cutting fluid* hendaknya disesuaikan dengan biaya operasional suatu mesin Keamanan terhadap kesehatan (*Health Hazard Performance*).
- b) Tidak menimbulkan kendala secara fisiologis terhadap operator.

## 2.4 Minyak dromus

Minyak dromus merupakan minyak mineral hasil penyulingan dan adiptif. Minyak dromus memberikan pendinginan, pelumasan, perlindungan karat yang sangat baik dalam berbagai pengerjaan mesin. minyak dromus mempunyai kelarutan tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan dengan rasio air:minyak dromus biasanya 20:1 sampai 40:1. Kandungan dari minyak dromus dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Minyak Dromus

| No | Komposisi                       |            | Chemical Properties                          |
|----|---------------------------------|------------|--|
|    | Nama                            | Proportion |  |
| 1  | Sodium sulphonate               | 1 – 4,9%   | Initial boiling : > 100 °C                   |
| 2  | Polyolefin ether                | 1 – 3%     | Flash point : > 100 °C                       |
| 3  | Alkyl amide                     | 1 – 3%     | Density : 930 Kg/m <sup>3</sup> at 15 °C     |
| 4  | Long chain alkenyl amide borate | 1 – 2,4%   | Kinematic viscosity 400 mm <sup>2</sup> /sec |

(Sumber: Karmin dan Mukhtar Ginting, 2012)

## 2.5 Air

Air merupakan substansi kimia dengan rumus kimia H<sub>2</sub>O. Satu molekul air terdiri dari dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen dengan satu atom oksigen Mc. Murry (2004).

Air mempunyai laju pendinginan yang cukup baik sehingga banyak digunakan sebagai media pendingin dalam perlakuan panas. Oleh karena itu, pada baja karbon rendah dan sedang menggunakan air sebagai media pendinginnya.

## 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 variable tak bebas, identifikasi faktor-faktor, pemisahan faktor 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. Variabel respon pada penelitian ini adalah nilai *fluid consumption* pada proses bubut dan karakteristik kualitas yang dipakai adalah semakin kecil nilai *fluid consumption* 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 dikontrol disebut faktor kontrol. Sedangkan faktor gangguan adalah kebalikannya.
- f. 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:

$$DK = c (b-1) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

DK = Derajad 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.

$$L_a = (b^c) \dots\dots\dots(2.2)$$

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 eksperimenya berjumlah 9 baris dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.2 Tabel matriks ortogonal L9(3<sup>3</sup>)

| 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 orthogonal 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 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<sub>A</sub>)

$$SS_A = \left[ n_A \sum_{i=1}^{K_A} (A_i - \bar{y})^2 \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

SS<sub>A</sub> = Jumlah Kuadrat Faktor A (Metode)

A<sub>i</sub> = Level ke i dari faktor A

n<sub>Ai</sub> = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor A

- T = Jumlah data keseluruhan
- N = Jumlah total eksperimen

2. Jumlah Kuadrat Faktor B (SSB)

$$SS_B = \left[ \sum_{i=1}^{KB} \left( \frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- SS<sub>B</sub> = Jumlah Kuadrat Faktor B (*depth of cut*)
- B<sub>i</sub> = Level ke i dari faktor B
- NB<sub>i</sub> = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor B
- T = Jumlah data keseluruhan
- N = Jumlah total eksperimen

3. Jumlah Kuadrat Faktor C (SSC)

$$SS_C = \left[ \sum_{i=1}^{KC} \left( \frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

- SS<sub>C</sub> = Jumlah Kuadrat Faktor C (Kombinasi)
- C<sub>i</sub> = Level ke i dari faktor C
- NC<sub>i</sub> = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor C
- T = Jumlah data keseluruhan
- N = Jumlah total eksperimen

4. Derajat Kebebasan

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

Dimana:

- DK = Derajat Kebebasan
- b = Banyak level yang diteliti
- c = Banyak faktor yang diteliti

5. Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

- MS<sub>A</sub> = Rata-rata kuadrat faktor A
- SS<sub>A</sub> = Jumlah kuadrat faktor A

$DK_A$  = Derajat Kebebasan faktor A

6. Rata-rata Kuadrat Faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B} \dots\dots\dots(2.8)$$

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

$$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C} \dots\dots\dots(2.9)$$

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)

$$SS_T = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

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 ( $SS_m$ )

$$SS_m = N.Y'^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$SS_m$  = Jumlah kuadrat karena rata-rata

N = Jumlah total eksperimen

$Y'$  = rata rata total dari seluruh eksperimen

10. Jumlah kuadrat error ( $SS_e$ )

$$SS_f = SS_A + SS_B + SS_c$$

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor} \dots\dots\dots(2.12)$$

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.

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

Nilai  $F_{\text{sumber}}$  yang diperoleh dibandingkan dengan nilai  $F_{\text{tabel}}$  pada harga  $\alpha$  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  $\mu_i$  yang tidak sama.

Disaat  $F_{\text{hitung}}$  lebih kecil dari  $F_{\text{sumber}}$  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.

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

Dimana:

n = Jumlah pengulangan atau replikasi

r = Jumlah data

$Y_i$  = Data variabel respon

2. Tertuju pada nilai tertentu

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

$$S/N = -10\log \left( \frac{V_m - V_e}{nV_e} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

3. Semakin Besar Semakin Baik

$$S/N = -10\text{Log} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

n = Jumlah pengulangan atau replikasi

r = Jumlah data

Y<sub>i</sub> = Data variabel respon

#### 2.6.4 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.

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

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

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

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

Dimana:

ρ = Persen kontribusi

ρ<sub>A</sub> = Persen kontribusi pada faktor A

ρ<sub>B</sub> = Persen kontribusi pada faktor B

ρ<sub>C</sub> = Persen kontribusi pada faktor C

SS<sub>A</sub> = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor A

SS<sub>B</sub> = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor B

SS<sub>C</sub> = 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

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

b. Interval Kepercayaan (CI)

Interval Kepercayaan untuk Level Faktor (CI1)

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} MS_e}{n}} \dots\dots\dots(2.17)$$

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

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

Dimana:

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

$\alpha$  = resiko

V = 1

$V_e$  = derajat kebebasan error

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

N = jumlah yang diuji pada suatu kondisi

$\mu Ak$  = dugaan rata-rata faktor A pada level ke k

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

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

## 2.7 Hipotesis

Dengan penambahan kendali (kontroller) pada mekanisme penyemprotan *cutting fluid* berbasis MQL akan mampu mengurangi volume *cutting fluid* sesuai kriteria, maksimal 500 ml/jam

## BAB 3. METODOLOGI

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu metode yang digunakan untuk menguji kinerja alat *cutting fluid* berbasis MQL dan *fluid consumption*, yang kualitasnya dikendalikan dengan metode Taguchi. Variasi parameter konsumsi *cutting fluid* yang digunakan yaitu *depth of cut*, komposisi cairan, dan metode.

### 3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini meliputi pembuatan alat dan pengujian alat. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kerja Logam, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin bubut type C6236 x 1000. Mesin bubut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Mesin bubut type C6236 x 1000

#### 3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada alat MQL ini adalah:

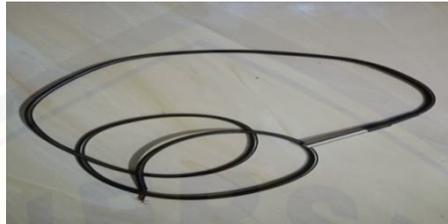
1. Sensor suhu

Sensor suhu yang digunakan tipe DS18B20 *waterproof* dengan spesifikasi

sebagai berikut:

- a. *Power supply range*: 3.0V ke 5.5V;
- b. Rentang suhu operasional:  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai  $125^{\circ}\text{C}$ ;

Sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Sensor DS18B20

## 2. Arduino UNO

Arduino UNO yang digunakan tipe R3 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. *Microcontroller*: Atmega328P;
- b. *Operating voltage*: 5V;
- c. *Input voltage*: 7-12V;
- d. *Input voltage (limit)*: 6-20V.

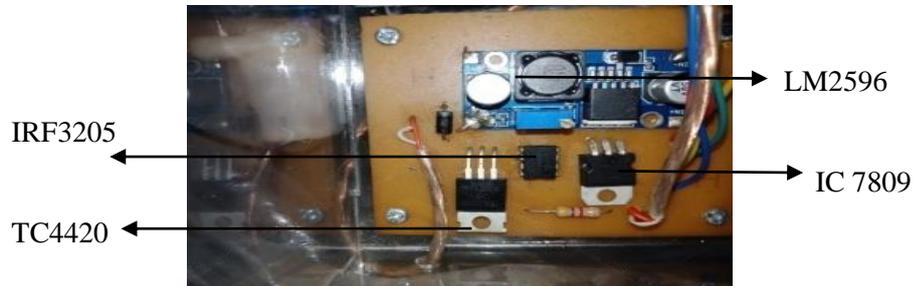
Arduino uno dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Arduino UNO

## 3. LM2596

LM2596 adalah rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah tegangan DC pada nilai tertentu menjadi tegangan DC yang lebih rendah. LM2596 dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 LM2596

4. *Power Supply*

*Power supply* digunakan untuk memberikan supply daya pada sistem kendali MQL. *Power supply* yang digunakan pada penelitian ini adalah *power supply* switching DVD dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Voltase keluaran : 12 V;
- b. Arus keluaran : 1A.

*Power supply* dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Power supply

5. Regulator 9V

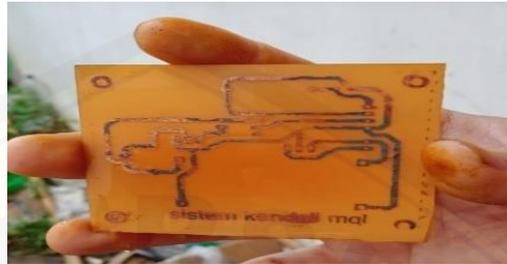
Regulator 9V atau IC 7809 digunakan untuk menurunkan tegangan dari *power supply*. IC 7809 dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Regulator 9V atau IC 7809

6. PCB (*Printed Circuit Board*)

PCB adalah *board* untuk mengoneksikan komponen-komponen elektronik dengan jalur (*track*). PCB dapat dilihat pada Gambar 3.7.



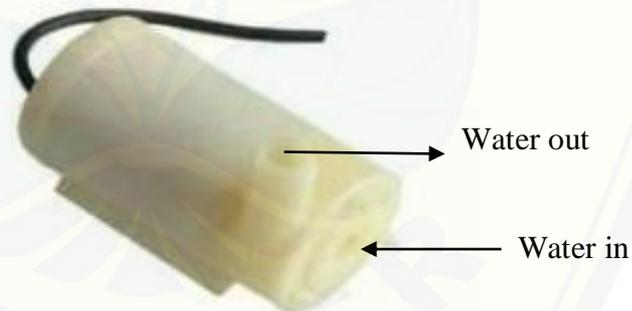
Gambar 3.7 PCB

7. *Water pump 6V DC*

*Water pump 6V DC* digunakan untuk menyemprotkan *lubricant* dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Tegangan : 3-6 V DC;
- b. Diameter nepel : 7 mm.

*Water pump 6V DC* dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 *Water pump*

Bahan-bahan yang digunakan untuk uji alat MQL terhadap *fluid consumption* adalah sebagai berikut :

1. Pahat *Insert Carbide*

Pada penelitian menggunakan metode MQL pahat yang digunakan adalah *insert carbide* DCMT 11. Pahat *insert carbide* dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan spesifikasinya.



Gambar 3.9 Pahat *insert*

Spesifikasi pahat insert carbida adalah sebagai berikut

- a. Depth of cut : 1,00 – 3,00 mm
- b.  $V_c$  : 200 – 300 m/min
- c. Feedrate : 0,12 – 0,3 mm/putaran

## 2. Material Benda Kerja AISI 4340

Pada penelitian ini, material benda kerja yang akan dibubut dengan metode MQL adalah AISI 4340 dengan 100 mm dan diameter 35 mm. Material AISI 4340 mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- a. C : 0,34%
- b. Si : Max 0,40%
- c. Mn : 0,65%
- d. Cr : 1,50%
- e. Mo : 0,23%
- f. Ni : 1,50%

## 3. Gelas Ukur

Gelas ukur pada penelitian ini mempunyai kapasitas 500 ml, digunakan untuk mengukur campuran air dan minyak dromus. Gelas ukur juga

digunakan untuk mengukur konsumsi *cutting fluid* yang digunakan pada penelitian ini.

### 3.4 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dua tahapan yaitu tahapan pembuatan dan pengujian. Tahapan pembuatan rangkaian controller sebagai berikut:

1. Membuat alur kerja sistem kendali;
2. Memasang komponen-komponen yang dibutuhkan untuk pembuatan sistem kendali pada PCB;
3. Membuat *coding* pada aplikasi arduino dengan menyetel suhu pada pahat sebesar 70 °C agar pompa bekerja, kemudian saat suhu pahat di bawah 70 °C pompa akan berhenti berkerja;
4. Melakukan simulasi untuk mengetahui hasil program yang telah dibuat untuk mengetahui ada kesalahan atau tidaknya;
5. Melakukan *debugging* untuk memperbaiki program yang tidak sesuai;
6. Menyimpan program tersebut.

Tahapan kedua yaitu pengujian rangkaian alat controller adalah sebagai berikut:

1. Mengisi tempat penampungan *cutting fluid*;
2. Menyetting peletakan sensor suhu DS18B20 pada pahat untuk membaca panas yang nanti akan muncul pada program arduino;
3. Meletakkan pompa 6V DC di wadah tempat penampungan *cutting fluid*;
4. Melakukan start pada program arduino untuk memulai kerja alat tersebut;
5. Memulai proses pembubutan untuk mengetahui kinerja alat tersebut.

Kriteria keberhasilan dari rangkaian alat controller ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan alat MQL ini dapat menghasilkan peredaman panas dan pendinginan yang lebih baik pada proses pembubutan dibanding dengan metode manual dan *flood*;

2. Alat ini dikatakan berhasil apabila sensor dapat membaca suhu pahat sampai 70 °C maka pompa dapat bekerja mengeluarkan *cutting fluid*, kemudian saat suhu pahat yang dibaca oleh sensor turun di bawah 70 °C maka pompa akan berhenti bekerja.

### 3.5 Variabel Pengukuran

Variabel yang digunakan dalam pengukuran ini adalah variabel bebas dan variabel terikat.

#### 3.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah variasi *depth of cut*, komposisi *cutting fluid* dan metode pemberian cairan. Variabel bebas dan level dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel bebas dan level

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

Pada variabel bebas di atas, kontrol faktor komposisi *cutting fluid* terdiri dari campuran air dan minyak dromus dengan jumlah cairan 1300 ml. Perbandingan 3:7 bermakna 3 bagian air yang berjumlah 400 ml dan 7 bagian minyak dromus yang berjumlah 900 ml. Perbandingan 7:3 adalah kebbaikannya, sedangkan perbandingan 5:5 berarti kadar air dan minyak dromus sama atau jumlahnya 650 ml.

### 3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variable bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai *fluid consumption* pada metode MQL otomasi.

## 3.6 Pengambilan Data

### 3.6.1 Data Konsumsi *Cutting fluid*

Nilai konsumsi *cutting fluid* dilakukan sebelum dan sesudah proses pembubutan berlangsung, yaitu dengan cara sebagai berikut:

1. Mencampur air dan minyak dromus dengan 3 jenis perbandingan;
2. Memasukkan cairan tersebut ke dalam gelas ukur 500 ml sebelum proses bubut dimulai;
3. Mencatat sisa *cutting fluid* yang ada di gelas ukur.

### 3.6.2 Hasil Pengujian

1. Melakukan pengambilan data, metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan Ortogonal Array (OA) Taguchi;
2. Pengambilan data menggunakan 3 kali pengulangan tiap sampel;
3. Perhitungan nilai *fluid consumption* dengan mengukur sisa *cutting fluid* yang telah digunakan pada gelas ukur.

Tabel 3.2 Kode sampel

| NO | Faktor Kendali      |           |             |
|----|---------------------|-----------|-------------|
|    | <i>Depth of cut</i> | Komposisi | 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 |

### 3.7 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

1. Studi literature

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

2. Pengambilan data

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

3. Menganalisa data yang diperoleh menggunakan perhitungan:

a. Rasio S/N;

b. Analisis varian Taguchi;

c. Uji F

Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar daripada  $F_{tabel}$  menunjukkan bahwa ada faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil *fluid consumption*. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 5%. Hipotesa awal ( $H_0$ ) dan Hipotesa alternatif ( $H_1$ ) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F. Parameter dari nilai konsumsi *fluid consumption*:

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

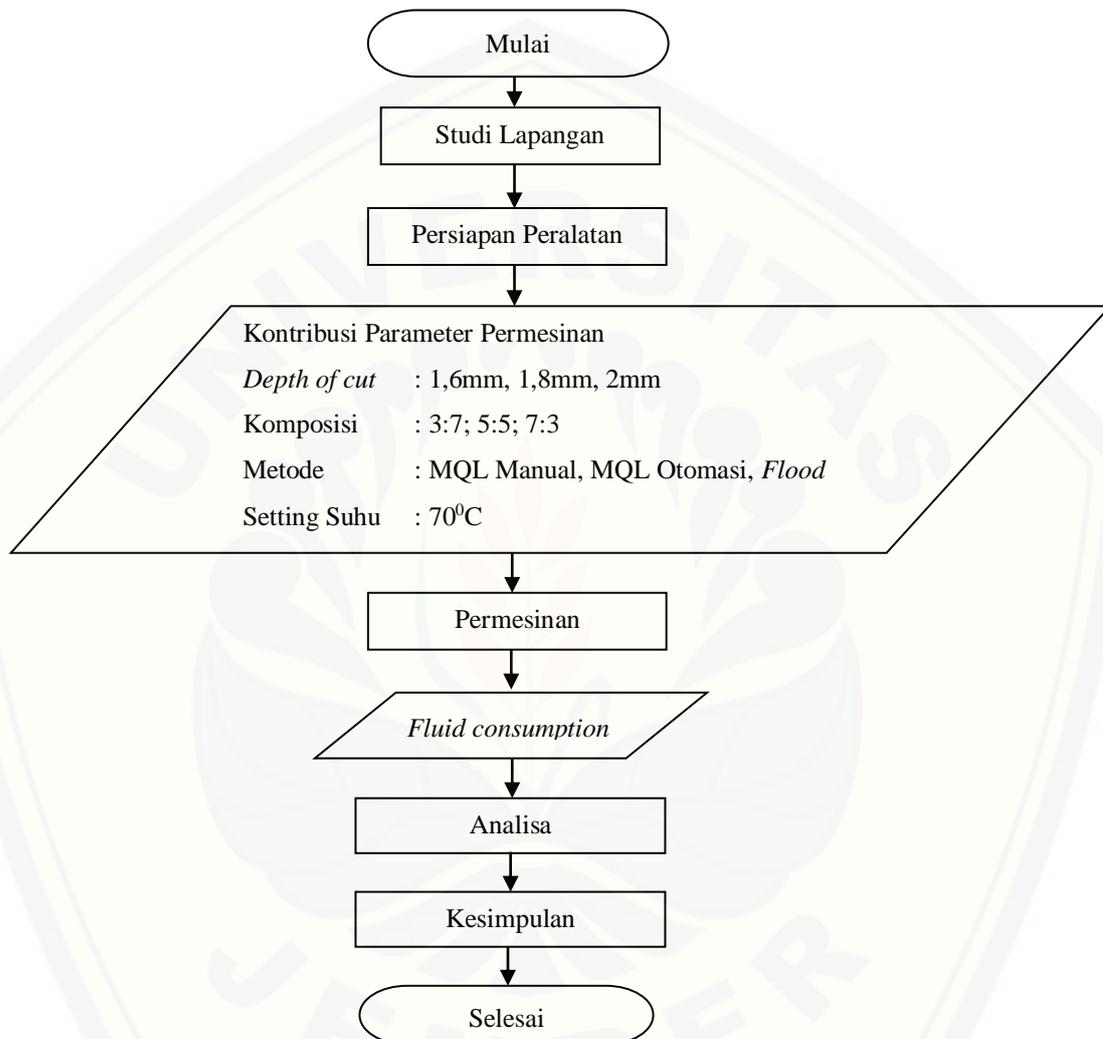
$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  (Adanya pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan);

d. Persen kontribusi;

e. Interval Kepercayaan.

### 3.8 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Diagram alir

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Hasil analisa pada alat MQL pada nilai *fluid consumption* didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Alat MQL bekerja dengan baik pada suhu pahat 70 °C. Setting suhu pahat 70 °C dipilih berdasarkan faktor keamanan sensor yang mempunyai suhu maksimal 125 °C dan suhu pahat insert carbida yang mempunyai suhu optimal 566 °C. Apabila suhu pahat naik mencapai 70 °C maka cairan pendingin akan keluar. Kemudian jika suhu pahat turun dibawah 70 °C, maka cairan pendingin akan berhenti secara otomatis. Hal ini dapat berulang-ulang sampai proses bubut selesai.
2. Parameter optimum nilai *fluid consumption* dari alat MQL ini yaitu depth of cut 2 mm, komposisi perbandingan cairan pendingin 3:7 bermakna 3 bagian dari air dan 7 bagian dari cutting oil, dan metode MQL otomasi.

### 5.2 Saran

Saran yang digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Diusahakan diameter lubang nozel lebih kecil, agar cairan pendingin yang disemprotkan ke pahat dan benda kerja tidak bersifat semburan;
2. Penambahan kapasitas suhu pada sensor agar mampu mencapai suhu optimal;
3. Diusahakan agar selang nozel tidak berbahan lentur dan ringan agar ketika dialiri oleh cairan pendingin selang tidak bergerak.

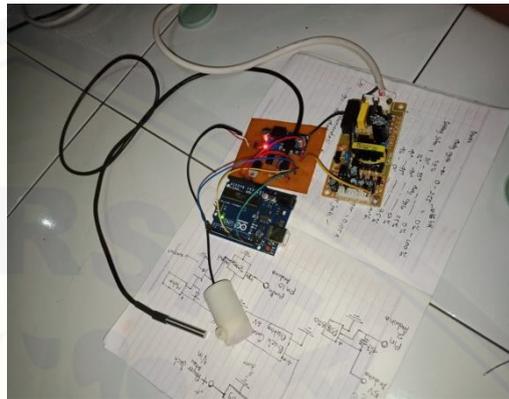
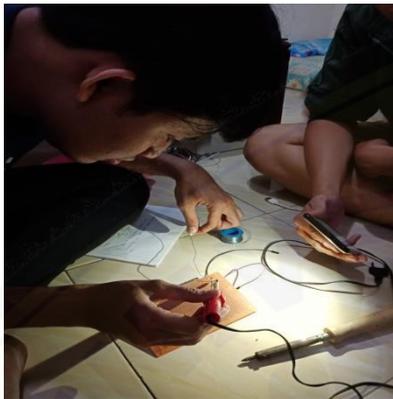
## DAFTAR PUSTAKA

- Agung. 2017. Implementasi Alat Pengering Ikan Otomatis Menggunakan Sensor Suhu DS18B20. *Skripsi*. Balikpapan: Teknik Elektronika
- Ardiansyah. 2016. Sistem Monitoring Air Layak Konsumsi Berbasis Arduino (Studi Kasus PDAM Patalassang). *Skripsi*. Makassar : Teknik Informatika UIN Alauddin.
- Basuki, B., Eko. 2014. Pengaruh Sistem Minimum Quantity Lubrication dengan Metode Tetesan terhadap Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja AISI 4340
- Candra, A., Tuwoso, dan Puspitasari, P. 2014. Pengaruh kadar dromus oil dalam media pendingin terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro baja ST60 yang mengalami proses hardening dan tempering
- 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.
- Ellia, N., Mohammad, R., Achmad, R. 2017. Rancang Bangun Termometer Digital Berbasis Sensor DS18B20 Untuk Penyandang Tunanetra. *Jurnal ISSN*. 4: 2355-9365
- Hannif, I., Nabilah, N., Sofyan., Dendy, H. 2016. Sistem Kendali Suhu dan Pemantauan Kelembapan Udara Ruangan Berbasis Arduino Dengan Menggunakan Sensor DHT22 dan Passive Infrared. *Jurnal ISSN*. 5: 1-6.
- Harki, S. 2016. Otomasi Mesin Filling Minyak Goreng Berbasis PLC Untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Juanda. 2008. Karakteristik Aus Pahat Karbida Berlapis Pada Proses Pembubutan Kering Bahan Otomotif. Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
- Karmin., Muchtar, G. 2012. Analisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit Menggunakan Media Pendingin Dromus. *Jurnal Austenit*. 4: 1-7
- Klocke. 2011. *Manufacturing Processes 1*. Springer. Berlin

- Nurazizah, E., Ramdani, M., Rizal, A. 2017. Rancang Bangun Termometer Digital Berbasis Sensor DS18B20 Untuk Penyandang Tunanetra. *Jurnal ISSN*. 4: 1-8.
- Patriawan, D.A., Irawan H., dan Widodo E.W.R. 2016. Studi Pendahuluan Penggunaan Minimum Quantity Lubricant Pada Proses Permesinan. *Jurnal Teknik Mesin* : 1-8.
- Priyahabsara, I. 2016. Karakteristik Minimum Quantity Lubrication Dengan Pelumas Nabati Terhadap Jarak Potong dan Flank Wear Pahat Carbide. *Jurnal ISSN*. 2: 1-7.
- Santoso, A.B., Martinus., Sugiyanto. 2013. Pembuatan Otomasi Pengaturan Kereta Api, Pengereman, dan Palang Pintu Pada Rel Kereta Api Mainan Berbasis Mikrokontroller. *Jurnal Fema*. 1: 1-8.
- Shihab, S., Zahid, A., Aas, M., Arshad, N. 2014. RSM Based Study of Cutting Temperature during Hard Turning with Multilayer Coated Carbide Insert. *Jurnal Science Direct*. 6: 1233 – 1242
- Sugiono. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Bandung: alfabeta.
- Sukendar, A., Martinus, dan Tanti. 2013. Pembuatan Sistem Otomasi untuk Pengaturan Mekanisme Mesin Cetak Kerupuk Menggunakan Mikrokontroller ATmega. *Jurnal Fema*. 1: 31-38.
- Suyanto, dan Y. Dedy. 2007. Otomasi Sistem Pengendalian Berbasis PLC Pada Mesin Vacuum Metalizer Untuk Proses Coating. *100 Gematek Teknik Komputer*. 9(2).
- Zaratul. 2016. Aplikasi Pengenalan Suara Sebagai Pengendali Peralatan Listrik Berbasis Arduino. *Skripsi*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

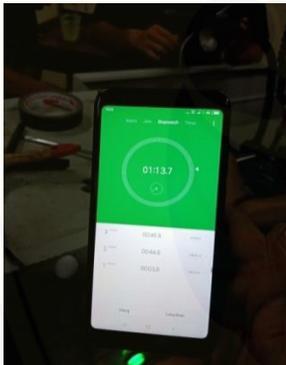
LAMPIRAN

Lmpiran 1 Pembuatan Alat

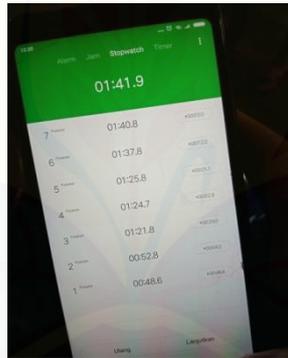


Lampiran 2 Durasi Waktu

MQL Otomasi depth of cut 1,6 mm komposisi 5:5



(b) 1,6 mm Replikasi 2

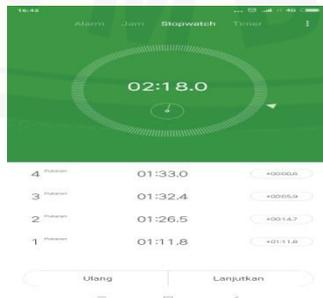


(c) 1,6 mm Replikasi 3

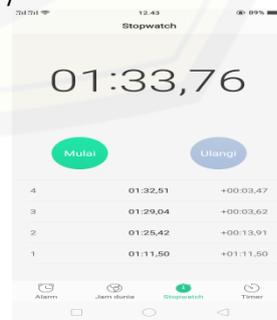
MQL otomasi depth of cut 1,8 mm komposisi 3:7



(a) Replikasi 1



(b) Replikasi 2

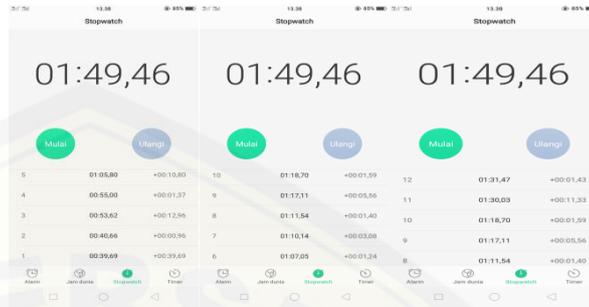


(c) Replikasi 3

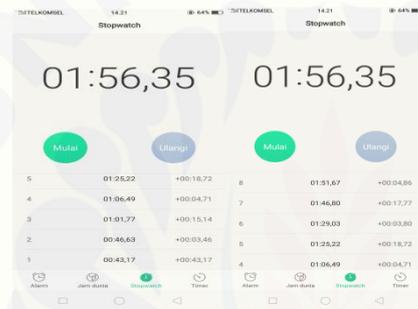
MQL otomasi depth of cut 2 mm komposisi 7:3



(a) Replikasi 1



(b) Replikasi 2



(c) Replikasi 3

Lampiran 3 Campuran Air dan Cutting Oil

Perbandingan campuran air dan cutting oil 3 : 7 yang terdiri dari 3 air dan 7 cutting oil yang mempunyai jumlah air 400 ml dan cutting oil 900 ml



Perbandingan campuran air dan cutting oil 7:3 yang terdiri dari 7 air dan 3 *cutting oil* yang mempunyai jumlah air 900 ml dan *cutting oil* 400 ml



Perbandingan campuran air dan cutting oil 5:5 yang terdiri dari 5 air dan 5 *cutting oil* yang mempunyai jumlah air 650 ml dan *cutting oil* 650 ml



#### Lampiran 4 Pengukuran Hasil Cairan Pendingin

Hasil cairan pendingin pada depth of cut 1,6 mm dan komposisi 5:5



(a) Replikasi 1

(b) Replikasi 2

(c) Replikasi 3

Hasil cairan pendingin pada depth of cut 1,8 mm dan komposisi 3:7



(a) Replikasi 1



(b) Replikasi 2



(c) Replikasi 3

MQL otomatis depth of cut 2 mm depth of cut 7:3



(a) Replikasi 1



(b) Replikasi 2



(c) Replikasi 3

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

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

**Lampiran 6 Perhitungan**

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

$$\bar{A}_2 = \frac{(63,33) + (826,66) + (406,66)}{3} = 432,22$$

$$\bar{A}_3 = \frac{(260,00) + (330,00) + (123,33)}{3} = 237,77$$

Rata-rata respon komposisi level 1,2 dan 3

$$\bar{B}_1 = \frac{(153,33) + (63,33) + (410,00)}{3} = 158,88$$

$$\bar{B}_2 = \frac{(50,00) + (826,66) + (330,00)}{3} = 402,22$$

$$\bar{B}_3 = \frac{(1040,00) + (406,66) + (123,33)}{3} = 523,33$$

Rata-rata respon metode level 1,2 dan 3

$$\bar{C}_1 = \frac{(153,33) + (406,66) + (330,00)}{3} = 296,66$$

$$\bar{C}_2 = \frac{(50,00) + (63,33) + (123,33)}{3} = 78,88$$

$$\bar{C}_3 = \frac{(1040,00) + (826,66) + (260,00)}{3} = 708,88$$

Jumlah kuadrat faktor (komposisi)

$$S_B = \left[ \sum_{i=1}^{KA} \left( \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

$$S_B = \frac{[476,66]^2}{3} + \frac{[1206,66]^2}{3} + \frac{[2126,66]^2}{3} - \frac{[3810,00]^2}{9}$$

$$S_B = 206698,76$$

Jumlah kuadrat faktor (metode)

$$S_C = \left[ \sum_{i=1}^{KA} \left( \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

$$S_C = \frac{[890,00]^2}{3} + \frac{[236,66]^2}{3} + \frac{[2126,66]^2}{3} - \frac{[3253,33]^2}{9}$$

$$S_C = 614254,32$$

Rata-rata kuadrat tengah faktor B(komposisi)

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

$$MSB = \frac{206698,76}{2}$$

$$MSB = 103349$$

Rata-rata kuadrat tengah faktor C(metode)

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

$$MSC = \frac{614254,32}{2}$$

$$MSC = 307127$$

Perhitungan F-rasio

F-Rasio *Depth of cut*

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

$$F = \frac{34667,9}{42890}$$

$$F = 0,81$$

F-Rasio Komposisi

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

$$F = \frac{103349}{42890}$$

$$F = 2,40$$

F-Rasio Metode

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

$$F = \frac{307127}{42890}$$

$$F = 7,16$$

Persen kontribusi dari tiap faktor kendali komposisi

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

$$SS'B = 206698,76 - 42890 (2)$$

$$SS'B = 206698,76 - 85780$$

$$SS'B = 120918,76$$

$$\begin{aligned}\rho_B &= \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\% \\ &= \frac{120918,76}{976069,13} \times 100\%\end{aligned}$$

$$\rho_B = 12,38\%$$

Persen kontribusi dari tiap faktor kendali metode

$$SS'C = SS_C - MS_e (DK_A)$$

$$SS'C = 528474,32 - 42890 (2)$$

$$SS'C = 614254,32 - 85780$$

$$SS'C = 528474,32$$

$$\begin{aligned}\rho_C &= \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\% \\ &= \frac{528474,32}{976069,13} \times 100\%\end{aligned}$$

$$\rho_C = 54,14\%$$