PERBEDAAN PENGGUNAAN METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL) DAN METODE *WET MACHINING* TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN LOGAM PADUAN Al-Zn PADA PROSES CNC *MILLING*

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Oleh

Wildan Shofiyandi

5201415019

PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Wildan Shofiyandi

NIM : 5201415019

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Judul :PERBEDAAN PENGGUNAAN METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICATION* (MQL) DAN METODE *WET MACHINING* TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN LOGAM PADUAN Al-Zn PADA PROSES CNC *MILLING*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 20 April 2020

Pembimbing I

Dr. Heri Yudiono, S.Pd, M.T
NIP.196707261993010003

PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul "Perbedaan Penggunaan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) dan Metode *Wet Machining* Terhadap Distribusi Kekerasan Logam Paduan Al-Zn pada Proses CNC *Milling*" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada:

Oleh

Nama : Wildan Shofiyandi

NIM : 5201415019

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Panitia:

Ketua	Sekretaris
Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002

Penguji 1	Penguji 2	Penguji 3/Pembimbing
Samsudin Anis, S.T., M.T.Ph.D. NIP. 197403211999031002	Drs. Sunyoto, M.Si. NIP.196511051991021001	Dr.Heri Yudiono, S.Pd, M.T NIP.19670726199301003

Mengetahui:
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 20 April 2020

Yang membuat pernyataan,

Wildan Shofiyandi

5201415019

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Allah bersama dengan orang-orang yang sabar.

PERSEMBAHAN

1. Untuk kedua orang tua yang saya sayangi, dan seluruh keluarga yang saya cintai, serta teman-teman ku yang saya banggakan, baik teman dekat maupun teman sekelas. Terimakasih atas support kalian.

SARI

Shofiyandi, W. 2020. Perbedaan Penggunaan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) dan Metode *Wet Machining* Terhadap Distribusi Kekerasan Logam Paduan Al-Zn pada Proses CNC *Milling*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. Heri Yudiono, S.Pd. M.T.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan metode pemberian *coolant* yang berbeda, 3 metode yang digunakan adalah metode *dry machining, Minimum Quantity Lubrication* (MQL), dan *wet machining.* Salah satu metode pendinginan yang menghemat penggunaan cairan pendingin adalah metode MQL.

Metode penelitian yang dipakai pada penelitian kali ini adalah metode eksperimen.. Metode ini mengungkapkan ada atau tidaknya pengaruh dari variabel-variabel yang telah dalam penelitian tersebut. Ada atau tidaknya pengaruh dari variabel tersebut dapat dilihat dari variabel kontrol. Metode MQL dan *wet machining* adalah variabel bebas dari penelitian ini, sedangkan metode *dry machining* digunakan sebagai kontrol.

Metode MQL merupakan metode yang digunakan untuk meminimalisir penggunaan *coolant* dengan mencampurkannya dengan udara bertekanan tinggi. Data yang didapat menunjukkan bahwa penggunaan metode MQL belum sebaik penggunaan metode *wet machining*. Distribusi kekerasan metode *wet machining* lebih rendah daripada MQL. Hal tersebut dapat terlihat dari geram yang dihasilkan oleh kedua penggunaan metode tersebut, geram yang dihasilkan dari metode MQL lebih gelap daripada metode *wet machining*. Hal tersebut menunjukkan bahwa, panas yang dihasilkan dari metode MQL lebih tinggi daripada panas yang dihasilkan dari metode *wet machining* panas tersebut mempengaruhi ikatan Al dan Zn pada metode MQL menjadi lebih rapat.

Kata kunci : MQL, *wet machining*, panas, distribusi kekerasan.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perbedaan Penggunaan Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) dan Metode *Wet Machining* Terhadap Distribusi Kekerasan Logam Paduan Al-Zn pada Proses CNC *Milling*" dengan baik dan tanpa suatu hambatan yang berarti. Shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang penulis nantikan syafa'atnya di hari akhir nanti.

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu persyaratan untuk melaksanakan ujian skripsi dan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan kerjasama berbagai pihak. Oleh Karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik UNNES, Rusiyanto, S.Pd.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNNES dan Dr. Heri Yudiono, S.Pd, M.T selaku dosen pembimbing yang berkenan membantu, memberikan waktu, dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.

3. Bapak, Ibu, dan keluarga yang telah memberikan doa, nasihat, dan kasih sayang.
4. Zuni Azmah yang telah membantu menemani dan mendengarkan keluh kesah ketika mengerjakan skripsi.
5. Rekan-rekan Pendidikan Teknik Mesin angkatan 2015 dengan kebersamaan dan semangatnya.
6. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak bisa dituliskan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak luput dari ketidak sempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun penulis terima dengan senang hati. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun pembaca.

Semarang,

Wildan Shofiyandi
NIM.5201415019

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i

PERSETUJUAN PEMBIMBING ii

PENGESAHAN iii

PERNYATAAN KEASLIAN iv

MOTO DAN PERSEMBAHAN v

SARI vi

PRAKATA vii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR LAMPIRAN xv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 3

1.3 Pembatasan Masalah 4

1.4 Rumusan Masalah 4

1.5 Tujuan 4

1.6 Manfaat 5

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 6

2.1 Kajian Pustaka 6

2.2 Landasan Teori 9

2.2.1 Aluminium 9

2.2.2 Paduan Al-Zn 9

2.2.3Mesin Frais 10

2.2.4 Mesin CNC 3A 12

2.2.5 Pisau Mesin Frais 16

2.2.6 Bahan Pisau Frais 17

2.2.7 *Micro Hardnest Test* 18
2.2.8 *Wet Machining* 20
2.2.9 *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) 22
2.2.10 Pelumasan 24
BAB III METODE PENELITIAN 27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 27
3.2 Desain Penelitian 27
3.2.1 Diagram Alir 29
3.2.2 Urutan Penelitian 31
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 33
3.4 Parameter Penelitian 37
3.4.1 Variabel Bebas 37
3.4.2 Variabel Terikat 38
3.4.3 Variabel Kontrol 38
3.5 Teknik Pengumpulan Data 38
3.6 Kalibrasi Instrumen 39
3.6.1 Jangka Sorong 40
3.6.2 Mesin *Micro Vicker* 41
3.7 Teknik Analisis Data 41
3.7.1 Studi Distribusi Kekerasan 42
BAB IV HASIL PENELITIAN 43
4.1 Deskripsi Data 43
4.1.1 Uji Komposisi 43
4.1.2 Uji Kekerasan *Micro Vickers* 44
4.1.2.1 Metode *Dry Machining* 44
4.1.2.2 Metode *Wet Machining* 45
4.1.2.3 Metode MQL 46
4.1.3Foto Struktur Mikro 46
4.1.4 Foto Geram 49
4.2 Analisis Data 50
4.3 Pembahasan Penelitian 51

4.3.1 Distribusi Kekerasan 51
4.3.2 Struktur Mikro 55
BAB V PENUTUP
6.1 Kesimpulan 61
6.2 Saran 62
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 65

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Struktur Program 14

Tabel 2.2 Nilai/Harga *Cutting Speed*Tiap Bahan 15

Tabel 2.3Kecepatan Pemakanan 15

Tabel 3.1 Uji Kekerasan Spesimen 29

Tabel 4.1 Unsur Benda Uji 43

Tabel 4.2 Distribusi Kekerasan Metode *Dry Machining* 44

Tabel 4.3 Distribusi Kekerasan Metode *Wet Machining* 45

Tabel 4.4 Distribusi Kekerasan Metode MQL 46

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambarr 2.1 Struktur Mikro Al-Zn 10

Gambar 2.2 Macam Masin Frais 11

Gambar 2.3 Masin Frais dengan Spindel Vertikal dan Horisontal 11

Gambar 2.4 Mesin CNC Frais 12

Gambar 2.5 Sumbu Koordinat Kaidah Tangan Kanan 13

Gambar 2.6 Jenis-Jenis Pisau Mesin Frais 17

Gambar 2.7 Uji Knoop Indentor Piramid 20

Gambar 2.8 *Eksternal* MQL *Supply* dan *Internal* MQL *Supply* 23

Gambar 3.1 Spesimen 28

Gambar 3.2 Bidang Uji Distribusi Kekerasan 28

Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian 29

Gambar 3.4 Spesimen Sebelum Proses Pemesinan 33

Gambar 3.5 Spesimen Sesudah Proses Pemesinan 33

Gambar 3.6 Mesin Mikro *Vickers* 35

Gambar 3.7 Mesin MQL 35

Gambar 3.8 Jangka Sorong 36

Gambar 3.9 Paduan Al-Zn 36

Gambar 3.10 Proses Pemesinan dengan Pendingin Dromus dan Air 37

Gambar 4.1 Struktur Mikro dengan Metode *Dry Machining* 47

Gambar 4.2 Struktur Mikro dengan Metode *Wet Machining* 47

Gambar 4.3 Struktur Mikro dengan Metode MQL 48

Gambar 4.4 *Chip* Metode *Dry Machining* 49

Gambar 4.5 *Chip* Metode MQL 49

Gambar 4.6 *Chip* Metode *Wet Machining* 50

Gambar 4.7 Grafik Distribusi Kekerasan..... 51

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing.....65

Lampiran 2. Persetujuan Seminar Proposal 66

Lampiran 3. Surat Tugas Dosen Penguji.....67

Lampiran 4. Lembar Selesai Revisi Proposal Skripsi.....68

Lampiran 5. Surat Izin Penelitian.....69

Lampiran 6. Hasil Pengujian Komposisi 70

Lampiran 7. Hasil Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers*.....72

Lampiiran 8. Rata-Rata Kekerasan Mikro *Vickers* 79

Lampiran 9. Dokumentasi Kegiatan 85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pemesinan modern dan robot-robot industri merupakan sistem otomasi lanjut yang menggunakan komputer sebagai pengontrolnya. Komputer digunakan sebagai pengontrol dalam proses pemesinan, seperti: pembubutan (*turning*), pengefraisan (*milling*), penggerindaan, pengeboran (*drilling*), pengelasan (*welding*) dan sebagainya. Penggunaan mesin CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan salah satu otomasi industri. CNC adalah mesin yang dilengkapi dengan komputer yang mampu menyimpan dan memproses sejumlah angka dan huruf (data) yang selanjutnya menjadi data lintasan, dan data perintah. Mesin frais merupakan salah satu mesin yang sudah mengalami otomasi. Penggunaannya juga sangat luas, seperti: pembuatan *molding*, proses *finishing*,pembuatan rodagigi, dan masih banyak lagi yang lainnya.

Proses pemesinan tidak bisa dipisahkan dari penggunaan cairan pendingin atau *coolant*. Metode pemesinan dengan menggunakan cairan pendingin ini biasa disebut *wet machining*. Metode ini menggunakan cairan pendingin yang dialirkan menuju benda kerja yang berfungsi untuk menghilakan geram dan juga berfungsi untuk mendinginkan shu dari benda kerja dan pisau yang saling bergesekan. Cairan pendingin yang telah dihunakan tadi akan menuju ke tempat penampungan yang nantinya akan digunakan kembali pada proses pemesinan yang akan datang. Penggunaan cairan pendingin yang berulang pastinya akan berdampak pada kualitas dari benda yang dikerjakan. Cairan pendingin yang digunakan berulang-

ulang akan mengalami penurunan performa. Tak terkecuali dampak yang ditimbulkan pada lingkungan, penggunaan cairan pendingin yang berlebihan dan dibuang sembarangan akan merugikan lingkungan sekitar industri berada. Oleh karena itu, penghematan penggunaan cairan pendingin harus dilakukan.

Salah satu metode pendinginan yang menghemat penggunaan cairan pendingin adalah metode MQL. Proses pemesinan dengan menggunakan MQL memerlukan jumlah pelumas atau *coolant* lebih sedikit sehingga tidak banyak pelumas yang terbuang. MQL dapat dikombinasikan dengan minyak nabati sehingga lebih ramah lingkungan (Patriawan dkk, 2016). *Minimum Quantity Lubrications* (MQL) menghasilkan peningkatan yang signifikan pada umur dari alat potong yang digunakan yaitu sekitar 30% dibandingakan dengan pemotongan kering (Chinchanikar dkk, 2015) .

Aluminium adalah salah satu logam yang memiliki sifat resistensi yang baik terhadap korosi, hal ini dikarenakan fenomena pasivasi. Fenomena pasivasi adalah terbentuknya lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara bebas, lapisan oksida ini yangmencegah oksidasi lebih lanjut (Amanto dan Daryanto, 2006). Aluminium memiliki sifat tahan korosi yang baik dan memiliki berat yang lebih ringan daripada baja. Aluminium memiliki tingkat keuletan yang baik ketika suhu dingin. Jenis logam ini dipakai secara luas dalam bidang transportasi, kimia, listrik, bangunan dan alat-alat penyimpanan (Abdullah dan Prayoga, 2016). Sifat-sifat inilah yang menjadikan aluminium dan paduannya banyak dipilih pada pengerjaan pemesinan. Pada dasarnya aluminium merupakan logam yang menghantarkan panas yang sangat baik. Oleh karena itu, ketika

aluminium dikerjakan pada proses pemesinan akan mengakibatkan aluminium menjadi panas karena terjadi gesekan antara alat potong dan benda kerja. Panas yang terjadi kemudian didinginkan secara mendadak oleh cairan pendingin yang disemprotkan. Pendinginan yang secara mendadak ini tentunya akan berpengaruh pada tingkat kekerasan bahan aluminium itu sendiri.

Menurut Haryadi (2006) bahwa kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi material lain pada permukaannya. Menurutnya uji kekerasan lekukan adalah uji yang sering digunakan pada bahan logam. Jenis-jenis pengujian lekukan, diantaranya: Uji Kekerasan Rockwell, Uji Kekerasan Brinell, Uji Kekerasan Vickers dan Uji Tarik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerassan dari suatu bahan yang sedang diteliti.

1.2 Identifikasi Masalah

Aluminium dan paduannya merupakan salah satu bahan yang digunakan diberbagai barang pada komponen otomotif. Tak hanya mobil konvensional tetapi juga digunakan pada mobil listrik. Tingkat korosif yang rendah membuat aluminium dan paduannya banyak digunakan pada komponen-komponen otomotif. Pembuatan beberapa komponennya harus memerlukan beberapa tahap pengerjaan. Salah satu tahapannya adalah proses *machining*. Pada era industri sekarang ini, pengerjaan *machining* sudah mencapai tahap otomasi yakni dengan menggunakan mesin CNC. Mesin CNC ini dapat menghemat waktu pengerjaan dengan detail pengerjaan yang tinggi, cocok untuk produksi masal.

Metode MQL merupakan sebuah metode untuk menghemat penggunaan *coolant* (cairan pendingin) dibandingkan dengan metode *wet machining*. Metode

ini dapat menggunakan jenis cairan pendingin nabati maupun jenis pendingin yang lain. Penggunaan cairan pendingin nabati tentunya akan lebih ramah lingkungan. Akan tetapi, panas yang terjadi dari gesekan antara bahan dan alat potong akan berdampak pada distribusi kekerasan suatu benda.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini ditentukan batasan-batasan permasalahan sebagai berikut:

1 Material yang digunakan adalah logam paduan Al-Zn.

2 Metode yang digunakan adalah metode MQL dan metode *wet machining.*

3 Mesin CNC yang digunakan adalah mesin CNC 3A.

4 Pahat yang dipakai adalah pahat dengan jenis HSS dengan ukuran Ø12 mm.

5 Kedalaman pemakanan adalah 2mm.

6 Jenis cairan pendingin yang digunakan adalah dromus dengan konsentrasi 10%.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang timbul dari uraian pendahuluan di atas, adalah sebagai berikut:"Bagaimana perbedaan distribusi kekerasan paduan Al-Zn yang dikerjakan menggunakan mesin CNC dengan menggunakan metode *wet machining* dan *Minimum Quantity Lubrication* (MQL)?"

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah: "Untuk menganalisis perbedaan distribusi kekerasan Paduan Al-Zn dengan menggunakan metode *wet machining* dan *Minimum Quantity Lubrication*."

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat teori

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu kepada pembaca tentang penggunaan metode MQL dalam proses CNC 3A. Menambah wawasan terhadap berbagai metode pemberian cairan pendinginyang dapat diaplikasikan dalam kegiatan *Manufacture.*

2. Pengembangan industri

Hasil dari penelitian ini diharap kan dapat memberikan kontribusi dalam bidang *machining* logam. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat berperan positif dalam usaha konservatif karena melakukan penghematan dalam penggunaan bahan pendingin yang ada. Meminimalisir penggunaan pendingin ini berdampak pada penghematan produksi barang yang dilakukan oleh industri.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Metode MQL (*Minimum Quantity Lubrication*) adalah suatu metode pemberian pendingin yang menyampurkan antara bahan pendingin dan udara bertekanan yang disemprotkan ke permukaan pahat dan benda kerja yang saling bergesekan. Menurut Patriawan dkk (2016) mengungkapkan bahwa MQL memerlukan jumlah pelumas atau *coolant* yang lebih sedikit sehingga tidak banyak pelumas yang terbuang, MQL juga bisa dikombinasikan dengan minyak nabati sehingga ramah lingkungan. Hasil dari berbagai macam penelitian menunjukan bahwa MQL lebih baik daripada *dry cutting*, namun saat *hard turning* dan *grinding* performa MQL tidak lebih baik pada gaya tangensial, *flank wear* dan kekasaran permukaannya.

Umur kelelahan akan lebih tinggi jika dibandingkan antara suatu komponen yang belum dilakukan proses pemesinan akan berbeda tingkat kekerasan permukaan dan tegangan sisa tekan, hal ini diakibatkan karena proses pemotongan. Proses pemotongan yang terjadi dapat menimbulkan tingkat kekerasan yang berbeda. Perbedaan ini diakibatkan oleh jenis pahat yang digunakan, bahan atau material yang digunakan serta jenis cairan pendingin yang digunakan. Hal-hal tersebut mempengaruhi panas yang terjadi pada permukaan,

distribusi panas yang terjadi serta kecepatan pendinginan suatu bahan sehingga tingkat kekerasan permukaan pun akan berbeda juga.

Liao dan Lin (2007) menyatakan bahwa saat kecepatan potong dibawah kecepatan optimal, ada lapisan oksida yang menyelimuti permukaan dan akan meningkatkan umur dari pisau atau alat potong secara signifikan. Akan tetapi, ketika kecepatan potongnya diatas keceptan optimal akan mengurangi umur dari alat potomg yang digunakan. Pernyataan ini didukung oleh pernyataan lanjutan dari penelitian Liao dan Lin (2007) yang menyatakan bahwa kecepatan potong yang jauh lebih tinggi dari nilai kecepatan optimal, tidak adanya oksida yang melndungi permukaan, dan terbentuknya retak termal yang dihasilkan dari fluktuasi besar suhu yang ditemukan pada alat potong. Gesekan yang terjadi antara alat potong dan permukaan benda terjadi sangat cepat sehingga cairan pendingin tidak mampu untuk menyelimuti permukaan benda. Sebelum cairan pendingin bekerja cairan itu sudah menguap terlebih dahulu tidak berhasil untuk mendinginkan pahat dan benda yang saling bergessekan, sehingga pahat akan cepat panas dan mengalami retak.

Uysal dkk (2015) menyatakan bahwa peningkatan laju fluida pada MQL dapat mengurangi harga kekasaran dan mengurangi keausan pahat. Hal ini didasarkan karena akan semakin cepatnya aliran yang mengenai gesekan antara pisau dan permukaan benda kerja sehingga semakin cepat pula laju pendinginan antara alat potong dan bahan yang sedang dikerjakan. Benda tidak akan cepat panas begitu juga dengan alat potongnya, sehingga alat potong yang digunakan juga selalu pada keadaan yang optimal. Hal ini dapat dilakukan ketika gerak

pemakanan yang dilakukan juga sangat cepat ditanggulangi dengan pemberian cairan pendingin dengan cepat juga agar pendinginan yang terjadi juga cepat dilakukan sehingga pisau yang digunakan juga tidak cepat memanas karena gesekan yang terjadi.

Panas yang terjadi akibat gesekan antara benda kerja dan pisau akan mempengaruhi kekerasan benda, ketika proses pendinginan tidak dilakukan secara benar.. Perbedaan kekerasan disebabkan pendinginan yang terjadi dikarenakan cairan pendingin dan pendinginan secara perlahan karena suhu atau udara kamar (pendinginan perlahan).

Penggunaan alat potong yang tumpul akan berpengaruh pada nilai kekerasan pada benda kerja itu sendiri, karena alat potong atau pisau yang telah tumpul akan menambah gaya gesek antara benda dan pisaunya. Oleh karena itu, penggunaan pisau yang tajam wajib digunakan untuk mengurangi gaya gesek pisau dengan benda kerja yang sedang dibuat. Penggunaan pisau yang tajam bisa mengurangi gaya gesek yang terjadi, akan tetapi adanya *chip* yang menempel pada pisau juga bisa mempengaruhi kinerja dari pisau tersebut. Oleh karena itu, pada proses MQL digunakan aliran udara bertekanan untuk membersihkan *chip* yang masih menempel pada benda kerja dan juga pisau frais. Udara yang disemprotkan ini akan menghilangkan *chip* dari benda kerja dan juga pisau yang sedang digunakan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Aluminium

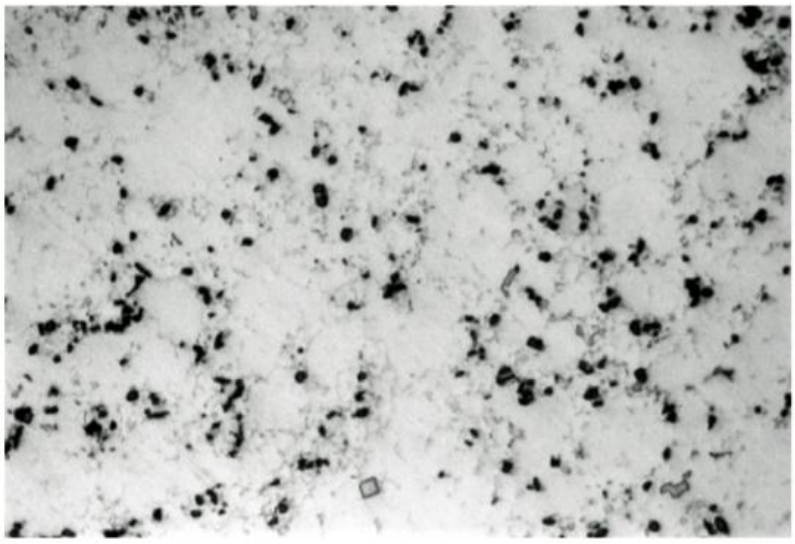
Menurut Sari (2018) Aluminium ialah logam berwarna putih terang dan sangat mengkilap dengan titik cair 660C sangat tahan terhadap pengaruh Atmosphere juga bersifat konduktor listrik dan konduktor termal dengan koefisien yang sangat tinggi. secara komersial Al memiliki tingkat kemurnian hingga 99.9% dan kekuatan tariknya 60N/mm2 dan dapat ditingkatkan hingga 140N/mm2 dengan pengerjaan dingin.

Aluminium dalam keadaan murni sangat lunak, ringan, tidak beracun (sebagai logam), dan non-magnetik. Al juga mudah dibentuk dimesin dan dituang. Peningkatan kekuatannya Aluminium dipadu dengan beberapa jenis logam lain yang memiliki struktur kristal yang sama. Al paduan kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa seri sesuai dengan logam paduannya. Paduan Al digunakan sebagai peralatan pesawat terbang, mobil serta peralatan teknik secara luas karena sifatnya yang kuat dan ringan (Sari, 2018).

2.2.2 Paduan Al-Zn

Paduan aluminium adalah campuran Aluminium dengan logam lain disebut paduan (*Alloy*). Aluminium sering dipadukan dengan Magnesium, Seng, Mangan, Silikon, atau Magnesium. Mereka Lebih ringan dan lebih tahan korosi dibandingkan Baja Karbon biasa, namun tidak lebih tahan korosi dibandingkan Aluminium murni (Sari, 2018).

Menurut Bobic, dkk (2009) menyatakan bahwa matriks logam berbasis aluminium dan seng dapat memberikan ketahanan yang baik untuk keausan geser dan abrasi. Pemilihan matriks logan dan fasa penguat pada umumnya didasarkan pada pencapaian sifat komposit yang diinginkan.

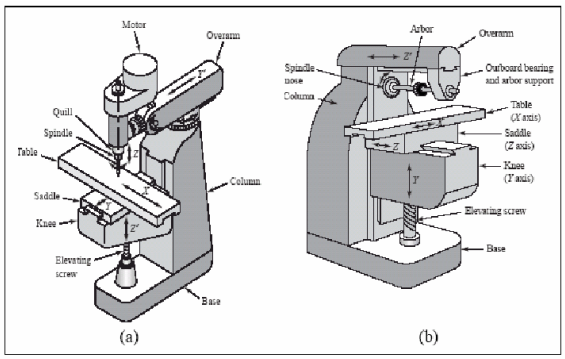


Gambar 2.1 Struktur Mikro Al-Zn

Sumber : Bobic, dkk

2.2.3 Mesin Frais

Pengefraisan merupakan suatu proses pelepasan logam dengan penyayatan benda kerda oleh pisau yang berputar. Dalam pengoperasiannya jumlah logam tersayat adalah secepat putaran pisau pada putaran yang tinggi dan sebanyak mata potong yang ada. Banyaknya mata potong pada pahat berpengaruh pada kualitas permukaan benda dan juga kecepatan pemakanan benda. Pekerjaan yang bisa dilakukan oleh mesin frais, diantaranya: pengerjaan rata, kurva, alur lurus maupun *helix*, dan lain sebagainya.



Gambar 2.2 Macam Masin Frais (a) Mesin Frais Vertikal Tipe *Column and Knee* (b) Mesin Frais Horisontal Tipe *Column and Knee.*

Sumber : Rahdiyanta, 2010

Mesin frais ada yang dikendalikan secara manual dan ada pula yang dikendalikan dengan komputer (CNC). Mesin konvensional memeliki 2 macam spindel yakni vertikal dan horisontal. Mesin CNC biasanya hanya memiliki jenis vertikal saja.

Gambar 2.3 Mesin Frais Konvensional dengan Spindel Vertikal dan Horisontal

Sumber: Widarto dkk, 2008

Sedangkan Mesin frais CNC menggunakan pengontrol yang berupa program yang dimasukkan kekomputer. Program yang dimasukkan ini berupa huruf dan angka. Pembuatan program pada mesin CNC dapat dibantu dengan aplikasi CAM. Pengerjaan menggunakan mesin CNC tentunya akan lebih teliti

dibandingkan dengan penggunaan Mesin konvensional. Mesin CNC Frais dapat kita lihat pada Gambar 2.4.

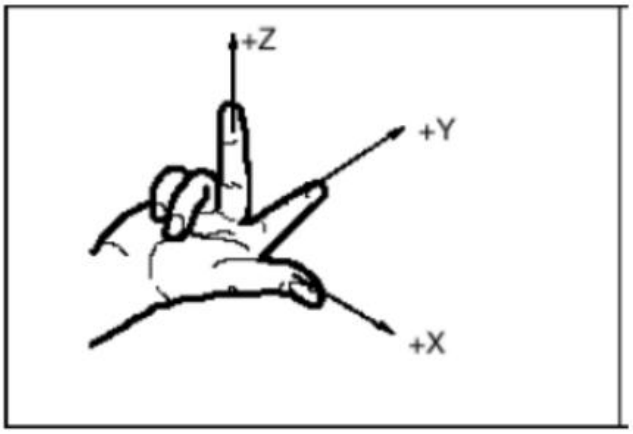
Gambar 2.4 Mesin CNC Frais

Mesin CNC Frais memungkinkan untuk penggunaan alat potong lebih dari satu buah, mengganti alat potong secara otomatis ketika mesin tersebut dilengkapi oleh *magazine*. Akan tetapi, banyak Mesin CNC Frais yang tidak dilengkapi *magazine* sehingga penggantian alat potongnya secara manual.

2.2.4 Mesin CNC 3A

Mesin CNC merupakan mesin yang bergerak secara otomatis dan dikontrol dengan bahasa numerik dan dikendalikan oleh sistem komputer, mesin ini memiliki 3 sumbu utama, yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z. Sumbu X merupakan sumbu memanjang atau menghasilkan gerak pahat menyamping (kekanan dan kekiri). Sumbu Y merupakan gerak pahat maju dan mundur. Sumbu Z merupakan gerak pahat keatas dan kebawah. Ketiga sumbu ini lebih dikenal

dengan sistem koordinatsegi empat dengan kaidah tangan kanan seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sumbu Koordinat Kaidah Tangan Kanan

Sumber: Yuniarto, 2014

Mesin CNC 3A (Frais) sistem koordinat tersebut dapat diterapkan pada sistem koordinat mesin (MCS= *Machine Coordinate System*) dan sistem koordinat benda kerja (WCS= *Workpiece Coordinate System*). Sistem koordinat mesin merupakan titik awal (titik referensi) yang ditetapkan pada mesin tersebut. Sistem koordinat bendakerja merupakan titik yang ditentukan oleh operator yang digunakan untuk mendeskripsikan benda kerja. Program CNC merupakan Program numerik yang terdiri dari huruf dan angka. Program ini merupakan blok yang berurutan dimana setiap blok merupakan langkah pemesinan. Perintah/instruksi pada satu blok ditulis dalam bentuk kata-kata dan blok terakhir Berisi kata khusus untuk mengakhiri program tersebut. Struktur program dalam satu blok dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Struktur Program

	Word	*Word*	*Word*	...	*;Coment*
Block	*N10*	*G0*	*X30*	....	*; 1 st block*
Block	*N20*	*G2*	*Z-1*	...	...
Block	*N30*	*G91*	....	...	....
Block	*N40*	....	....	...	...
Block	*N50*	*M2*		...	*; End 0f Progra*

Sumber: Wijanarka,2012

Pada mesin CNC kecepatan putaran spindel dituliskan dengan huruh S dan diikuti oleh harga kecepatan putaran yang diinginkan. Arah putarannya pun dapat diatur dengan menggunakan perintah M3 untuk putaran spindel searah jarum jam dan M4 untuk putaran spindel berlawanan arah jarum jam. Menghentikan putaran spindel dengan memberikan perintah M5. Kecepatan putar spindel ini dapat dicari dengan rumus:

$$n = \frac{cs}{\pi d} \tag{2.1}$$

Dimana:

n = Kecepatan putaran spindel (RPM)

cs = *Cutting speed* (m/men)

d = Diameter alat potong (mm)

Nilai/harga dari *Cutting speed* tiap bahan yang dikerjakan maupun bahan dari tiap alat potong berbeda. Pengerjaan kasar dan halus pun memiliki harga yang berbeda. Nilai dari *Cutting speed* dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai/Harga *Cutting Speed* Tiap Bahan

Bahan	*Cutter Frais Hss*		*Cutter Frais Carbida*	
	m/menit	*Ft/menit*	*m/menit*	*Ft/menit*
Baja lunak	*18-21*	*60-70*	*30-250*	*100-800*
Baja tuang	*14-17*	*45-55*	*40-150*	*150-500*
Perunggu	*21-24*	*70-80*	*90-200*	*300-700*
Tembaga	*45-90*	*150-200*	*150-450*	*500-1500*
Kuningan	*30-90*	*100-400*	*120-300*	*400-1400*
Aluminium	*90-150*	*300-500*	*90-180*	*< 600*

Gerak makan (F) merupakan kecepatan pergerakan pisau yang merupakan harga Absolut. Satuan F ada dua yakni mm/menit yang merupakan satuan yang selalu aktif dan mm/putaran yaitu satuan yang bisa diaktifkan ketika spindel berputar. Harga F dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya: material benda, material alat potong, kedalaman pemotongan, kehalusan permukaan setelah pemotongan, bentuk dari alat potong serta kondisi dari pemotongan itu sendiri. Harga kecepatan pemotongan (F) dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kecepatan Pemakanan

Material Benda Kerja	*Kedalaman Potong 0,05" (1,25mm)*			*Kedalaman Potong 0,25"(6mm)*	
	Diameter Alat Potong				
	3 mm	*10mm*	*12,5 mm*	*10mm*	*18 mm*
Plain Carbon Steel	*0,0012-0,025*	*0,050-0,075*	*0,075-0,1*	*0,0025-0,050*	*0,050-0,1*
High Carbon Steel	*0,0012-0,025*	*0,025-0,075*	*0,050-0,1*	*0,0003-0,025*	*0,025-0,1*
Tool Steel	*0,0012-0,025*	*0,025-0,075*	*0,05-0,1*	*0,025-0,05*	*0,075-0,1*
Cast Aluminium Alloy	*0,050*	*0,075*	*0,125*	*0,075*	*0,2*
Cast Hard Aluminium	*0,025*	*0,075*	*0,125*	*0,075*	*0,15*
Brasses & Bronze	*0,0012-0,025*	*0,075-0,1*	*0,1-0,15*	*0,05-0,075*	*0,1-0,15*
Plastics	*0,05*	*0,1*	*0,125*	*0,075*	*0,2*

Sumber: B. Sentot Wijanarka,2012

2.2.5 Pisau Mesin Frais

Mesin Frais merupakan mesin perkakas dengan jenis pekerjaan yang kompleks. Dari banyaknya jenis pekerjaan tentu saja banyak jenis pahat yang digunakan dalam pekerjaan tersebut, pekerjaan yang menggunakan Mesin Frais horisontal dan Mesin Frais Vertikal. Jenis-jenis pahat yang digunakan oleh kedua Mesin Frais tersebut, diantaranya:

1.Pisau Mantel digunakan untuk Mesin Frais horisontal. Pisau jenis ini digunakan untuk pemakanan kasar (*roughing*) dan pemakanan yang memanjang.

2.Pisau Alur (*Slot Milling Cutter*) berfungsi untuk membuat alur pada bidang permukaan benda kerja. Pahat ini memiliki gigi bagian kelilingnya dan pahat ini digunakan untuk pemotongan celah dan alur pasak.

3.Pisau Frais Gigi (*Gear Cutter*) digunakan untuk membuat roda gigi sesuai dengan jumlah dan jenis roda gigi yang akan dibuat.

4.Pisau Frais Radius Cekung (*Convex Cutter*) digunakan untuk pembuatan radius dalam.

5.Pisau Frais Radius Cembung (*Concave Cutter*) digunakan untuk pembuatan radius luar.

6.Pisau Frais Alur T (*T Slot Cutter*) digunakan untuk pembuatan alur T.

7.Pisau Frais Sudut digunakan untuk membuat sudut yang sesuai dengan pahat/pisau yang digunakan.

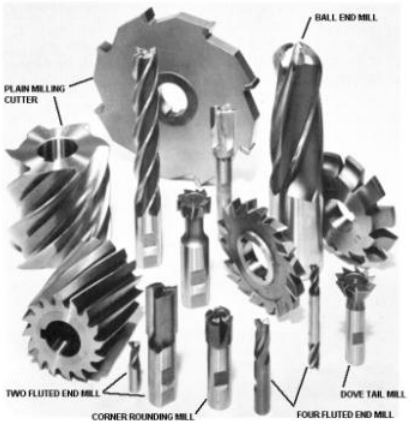
8.Pisau Frais Jari (*Endmill Cutter*) digunakan untuk Mesin Frais Vertikal akan tetapi dalam keadaan tertentu juga bisa digunakan dalam Mesin Frais horisontal.

Pahat/pisau ini bisa digunakan untuk membuat alur dan juga bisa digunakan untuk pengefraisan muka.

9.Pisau Muka dan Sisi (*Shell Endmill Cutter*) digunakan untuk pengefraisan permukaan yang rata maupun permukaan yang bertingkat.

10.Pisau Frais Pengasaran memiliki cirikhas daripada pisau jenis lainnya, yakni pada sisi yang berbentuk alur heliks dapat digunakan untuk menyayat benda kerja. Oleh karena itu, pisau jenis ini mampu melakukan penyayatan yang cukup besar.

11.Pisau Frais Gergaji berfungsi untuk memotong benda kerja dan bisa juga untuk membuat alur dengan ukuran yang kecil.



Gambar 2.6 Jenis-jenis Pisau Mesin Frais

Sumber: Widiarto dkk, 2008

2.2.6 Bahan Pisau Mesin Frais

Pisau frais dapat dibedakan menjadi 2 yakni pisau frais *solid* dan *inserted*. Untuk menghemat pembuatan badan pisau frais *solid* biasanya terbuat dari *alloyed steel*. Pisau *inserted* dapat dilepas apabila mata potongna telah mengalami

kerusakan/ketumpulan untuk diganti dengan yang baru. Pisau frais pada umumnya terbuat dari:

a. *Nonalloyed Tool Steel* (Baja Perkakas Bukan Paduan)

Baja perkakas bukan paduan memiliki kadar karbon 0.5-1.5% kekerasannya akan menghilang pada suhu kerja mencapai 250˚C. Material ini tidak cocok untuk kecepatan potong yang tinggi.

b. *Alloy Tool Steel*

Baja perkakas paduan yang mengandung *cromium, vanadium* dan *molybdenum*. Baja ini terdiri dari baja paduan tinggi dan baja paduan rendah. Pisau HSS (*High Speed Steel*) adalah baja paduan tinggi yang tahan terhadap keausan dan suhu kerja yang mencapai 600˚C.

c. *Cemented Carbide*

Susunan bahan ini terdiri dari *molibdenum, cobalt* dan *carbon*. Bahan ini masih bisa bekerja dengan baik pada suhu 900˚C, sehingga sangat cocok dalam proses pengefraisan berkecapatan tinggi. Oleh karena itu, pengerjaan ini dapat lebih cepat dan dengan kecepatan yang tinggi dapat menghasilkan kualitas permukaan yang halus.

2.2.7 Micro Hardnest Test

Menurut Suarsana (2017) kekerasan sering dinyatakan sebagai kemampuan untuk menahan indentasi/penetrasi/abrasi. Terdapat 3 jenis pengukuran kekerasan, tergantung cara melakukan pengujian, yaitu: (1) Kekerasan gores (*Scratch Hardness*), (2) Kekerasan lekukan (*Indentation Hardness*), (3) Kekerasan pantulan (*Rebound*). Pengujian kekerasan yang menarik

yang berkaitan dengan bidang rekayasa untuk material logam adalah pengujian lekukan. Pengujian bahan jenis lekukan ini memiliki beberapa cara, antaralain: Pengujian Brinel, Pengujian Rockwell, Pengujian Vickers, Pengujian *Microhardnets* dan lain-lain.

Microhardnest test merupakan pengukuran kekerasan pada suatu bahan pada daerah yang sangat kecil, misalnya pada salah satu strukturmikro atau pada lapisan yang sangat tipis misalnya pada lapisan *electroplating*. Uji kekerasan mikro ini dapat menyediakan data yang diperlukan ketika diperlukan struktur mikro individu dalam matriks yang lebih besar, atau bisa juga saat mengujibahan seperti foil yang sangat tipis dan juga saat menentukan gradien kekerasan spesimen material. Pengujian ini dilakukan dengan gaya relatif kecil, yakni dibawah 1kg menggunakan mesin yang dikombinasi dengan mikroskop. Cara ini dikenal dengan Mikro Vickers atau Knoop.

Pengukuran mikro Vickers menggunakan indentor yang sama dengan uji Vickers dan perhitungan angka kekerasannya. Gaya tekan yang digunakan relaif kecil, yaki antara 1-1000gr dengan panjang diagonal diukur dengan mikron. Gaya yang diberikan semakin kecil maka semakin tinggi *finishing metallograpgic* yang dibutuhkan. Hal-hal yang harus diperhatikan ketika melakukan pengijian kekerasan mikro, yaitu permukaan benda uji, dimensi material, data yang diinginkan dan ketersediaan alat uji.

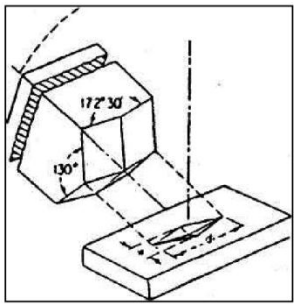
Knoop Microhardness Test menggunakan indentor piramid intan dengan alasnya berbentuk belah ketupat dengan perbandingan diagonal 1:7. Permukaan

benda yang akan diuji haruslah halus dan bebas kotoran. Pengukuran angka kekerasan Knoop dihitung dengan menggunakan rumus:

$$HK = \frac{14.229P}{l^2} \qquad (2.2)$$

Dimana:

P = gaya tekan (g) l = panjang diagonal tapak tekan yang terpanjang (µ)



Gambar 2.7 Uji Knoop Indentor Piramid

Sumber : Suarsana 2017

Mikroskop yang digunakan adalah mikroskop yang memiliki tingkat pembesaran sebesar sekitar 500X untuk mengukur lekukan agar lebih akurat. Standart yang digunakan dalam *micro vickers* yaitu ASTM E 92 untuk gaya indentasi sebesar 1 kgf sampai 120 kgf dan ASTM E 384 untuk gaya dibawah 1 kgf.

2.2.8 *Wet Machining*

Metode pemesinan basah adalah proses pemesinan yang menggunakan cairan pendingin sebagai bahan untuk mendinginkan *tools* yang digunakan dalam proses pemesinan. Cairan pendingin yang biasa digunakan dalam metode ini adalah campuran antara dromus dengan air. Jenis pendingin ini sering digunakan

selain mudah untuk didapatkan tetapi juga karena *coolant* ini melakukan pendinginan secara optimal. Menurut cara pemberian *coolant* pada metode *wet machining* dapat dibagi kedalam 3 jenis proses pendinginan, yaitu: *Flood aplication of fluid* (dibanjirkan ke benda kerja), *Jet aplication fluid* (disemprotkan) dan *Mist aplication fluid* (dikabutkan).

Metode ini menggunakan pendingin yang sangat banyak pada proses pemesinannya. Banyaknya pendingin yang digunakan ini selain bertujuan untuk mendinginkan permukaan benda kerja dan pisau pemotong yang saling bergesekan tetapi juga sebagai pengalir bram agar terbuang pada tempat yang telah disediakan. Cairan pendingin akan ditempatkan dalam wadah penampung yang berada dalam mesin CNC. Cairan pendingintersebut akan dipompa keatas, kemudian disalurkan ke pipa yang menuju pada pahat mesin CNC. Pipa tersebut dapat diatur sudut dan arah semburannya. Cairan pendingin tadi akan bekerja pada benda kerja dan pisau yang saling bergesekan. Selain untuk mendinginkan pisau dan juga benda kerja, cairan pendingin juga bisa mengalirkan geram menuju tempat penampungan. Setelah mengalirkan geram pada tempat penampungannya, cairan pendingin yang bercampur dengan geram tadi akan disaring dan kemudian dipakai kembali.

Penggunaan *coolant* yang banyak ini tentunya akan mempercepat laju pendinginan yang terjadi pada proses pemesinan yang terjadi. Menurut Galanis dkk (2008) dengan material yang dia teliti adalah jenis baja AISI 422 menyatakan bahwa, untuk suhu mesin basah berada di kisaran 26 - 30 ° C, yang merupakan

suhu CF menyebar di seluruh memotong permukaan dengan tekanan dari pompa mesin, dan menyerap suhu dari alat, benda kerja dan geram.

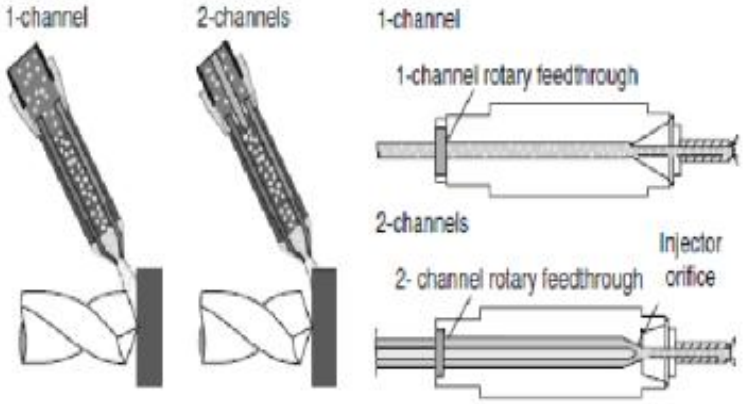
Akan tetapi, pemeliharaan rutin dan penggantian *coolant* secara berkala harus dilakukan. Hal itu disebabkan karena, kualitas *coolant* lama-kelamaan akan menurun sehingga akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Tidak hanya itu, penyumbatan pada saluran *coolant* juga sering terjadi karena ada geram yang berukuran sangat kecil yang masuk pada penampungan *coolant*. Sehingga, pipa yang seharusnya untuk mengangkut *coolant* dari penampungnya akan tersumbat oleh geram yang bercampur dengan *coolant*.

2.2.9 *Minimum Quantity Lubrication* (MQL)

Diperkenalkannya ISO 140001 yaitu, undang-undang yang mengatur tentang lingkungan hidup, diundang-undang ini setiap perusahaan dianjurkan untuk mengurangi penggunaan *coolant* dalam proses pemesinan. Diperlukanlah metode dengan menggunakan *coolant* yang seminimal mungkin dengan menggunakan minyak nabati atau bahan yang lebih ramah lingkungan. Salah satu metode yang digunakan adalah MQL (*Minimum Quantity Lubrication*). MQL sendiri dapat didefinisikan sebagai media suplai pelumasan dalam bentuk aerosol (Klocke,2011).

MQL merupakan suatu teknologi dalam proses pemesinan yang menggunakan gas bertekanan yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan *coolant* dalam suatu proses pemesinan. Salah satu jenis gas yang dapat digunakan adalah udara dengan suhukamar. MQL sendiri merupakan metode yang ekonomis dan ramah lingkungan. Penambahan udara ini berfungsi agar *coolant* yang

dihasilkan membentuk aerosol yang nantinya akan diseprotkan pada ujung mata pisau. Terdapat dua metode suplai *coolant* pada MQL, yaitu *External MQL supply* dan *Internal MQL Supply*.



Gambar 2.8 *Eksternal MQL Supply dan Internal MQL Supply*

Sumber: Klockle, 2011

Pada proses MQL walaupun pemberian cairan pendingin yang minimum tetapi memberikan fungsi pendingin dan pelumasan yang baik. Pemberian cairan pendingin secara manual dan konstan terhadap parameter pemesinan. Teknik ini akan mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja sehingga mengurangi laju kenaikan temperatur pahat dan akhirnya akan menaikan umur pahat (Basuki, 2014). Penggunaan fluida lubrikasi sangat kecil yaitu kurang dari 500ml/jam sehingga benda kerja, pahat, mesin, tatal, dan lingkungannya relatif kering (Klockle,2011).

Penggunaan metode MQL ini tentunya sangat berpengaruh pada kualitas dari cairan pendingin yang digunakan. Cairan yang digunakan pada proses MQL hanya digunakan sekali dan tidak digunakan lagi, karena ketika cairan pendingin digunakan kembali cairan ini juga akan terkontaminasi oleh pelumas dari mesin

sehingga kualitas cairan pendingin itu akan turun. Turunnya kualitas dari cairan pendingin ini akan berdampak pada kualitas hasil pekerjaan yang menurun pula. Selain itu, penggunaan MQL tentunya akan menurunkan atau menghemat penggunaan cairan pendingin yang digunakan. Penurunan penggunaan cairan pendingin ini tentunya akan berdampak pada pengurangan pencemaran lingkungan akibat limbah yang dhasilkan oleh cairan pendingin tersebut.

Pada metode MQL fluida yang digunakan adalah jenis minyak nabati. Oleh karena itu, penggunaan metode ini sangat ramah terhadap lingkungan karena belakangan ini penanggulangan masalah lingkungan sering dilakukan. Begitu banyak keunggulan MQL dengan menggunakan minyak nabati ini, diantaranya: ramah lingkungan, meningkatkan kualitas daur ulang *chip*, mengurangi biaya produksi dan mengurangi pemeliharaan mesin karena kontaminasi pendingin.

2.2.10 Pelumasan

Cairan pendingin digunakan pada proses pemotongan logam atau pemesinan. Pada dasarnya pelumasan ini berfungsi untuk mengurangi gaya gesek yang terjadi antara dua benda atau lebih. Pada proses pelumasan ini tidak dapat lepas dari cairan pendingin. Cairan pendingin yang digunakan dalam proses pemesinan dapat dikategorikan menjadi 4 jenis, yaitu:

a. *Straight Oils* (Minyak Murni)

Minyak murni merupakan minyak yang tidak bisa diemulsikan dan digunakan pada proses pemesinan dalam bentuk yang sudah diencerkan. Minyak ini berasal dari minyak dasar atau minyak bumi, tetapi ada pula yang sudah dicampur dengan pelumas lain seperti: lemak, minyak tumbuhan dan ester.

Minyak murni menghasilkan pelumasan terbaik akan tetapi memiliki sifat pendingin yang terburuk dari jenis pendingin yang lain.

b.*Soluble Oils*

Minyak jenis ini akan membentuk emulsi ketika dicampur dengan air. Minyak ini biasanya digunakan dalam bentuk sudah diencerkan dengan ko

nsentrasi 3-10%. Memiliki unjuk kerja penghantar pemanasan yang bagus. Harganya yang relatif terjangkau, menjadikan minyak ini digunakan luas oleh industri.

c. *Semisynthetic Fluids* (Cairan Semi Sintetik)

Cairan semi sintetik adalah percampuran dari cairan sinteik dan *soluble oil*, sehingga minyak jenis ini memiliki karakteristik minyak-minyak pembentuknya. Memiliki unjuk kerja yang berada diantara cairan sintetik dan *soluble oil*.

d. *Synthetic Fluids* (Cairan Sintetik)

Minyak sintetik adalah minyak yang dibuat dari campuran bahan organik, inorganik alkaline dan bahan penambah untuk penangkal korosi. Biasanya digunakan dalam bentuk yang telah diencerkan degan rasio3-10%. Minyak sintetik memiliki unjuk kerja pendingin terbaik.

Penggunaan cairan pendingin pada proses pemesinan memiliki 2 fungsi, yaitu fungsi utama dan fungsi kedua. Fungsi utama adalah fungsi yang dikehendaki dan tersa langsung oleh perencana dan operator. Fungsi utama antara lain: melumasi proses pemotongan, mendinginkan benda kerja dan membuang bram dari daerah pemotongan. Fungsi kedua adalah fungsi yan secara tidak langsung menguntunkan dengan penggunaan cairan pendingin. Fungsi kedua

antara lain: menghindarkan permukaan yang disayat dari korosi dan memudahkan pengambilan benda kerja karena benda telah didinginkan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

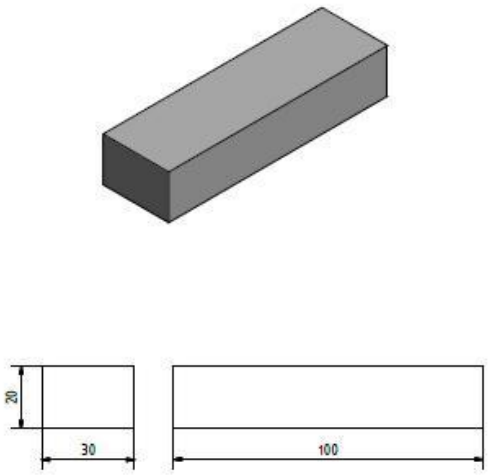
Penelitian ini akan dilakukan di UPT Logam Yogyakarta untuk proses pemesinan CNC. Tempat ini dipilih karena memiliki mesin CNC 3 A dan memiliki mesin MQL dan akan dilakukan pada bulan September 2019. Pengujian komposisi logam dilaksanakan di Polman Ceper, Klaten. Pengujian kekerasan dan struktur mikro dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang pada bulan Oktober 2019- Januari 2020.

3.2 Desain Penelitian

Metode penelitian yang dipakai pada penelitian kali ini adalah metode eksperimen. Menurut Sugiyono (2009) metode penelitian eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan. Metode ini mengungkapkan ada atau tidaknya pengaruh dari variabel-variabel yang telah dalam penelitian tersebut. Ada atau tidaknya pengaruh dari variabel tersebut dapat dilihat dari variabel kontrol. Metode penelitian berfungsi untuk mendapatkan data yang diinginkan. Data yang didapatkan pada penelitian ini selanjutnya akan diolah dan dibuat menjadi sebuah laporan penelitian.

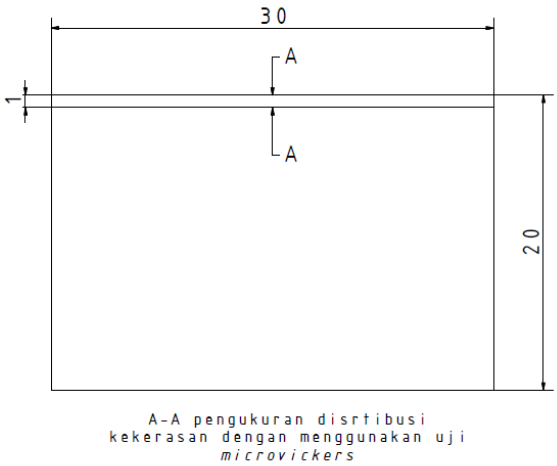
Penelitian dengan metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan. Perlakuan (*treatment)* yang dimaksud adalah metode pemberian cairan pendingin, yaitu dengan menggunakan metode MQL dan *wet machining*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berpengaruh atau tidaknya

metode tersebut pada tingkat kekerasan bahan aluminium yang dikerjakan dengan menggunakan mesin CNC 3A (*Milling*). Spesimen yang digunakan adalah paduan Al-Zn dengan ukuran 100x30x20 mm. Gambar 3.1 menunjukkan spesimen yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.1 Spesimen

Eksperimen akan dilakukan 3 kali pemakanan pada tiap metode yang digunakan. Setelah itu, benda uji akan dilakukan pengujian distribusi kekerasan pada mesin *micro vickers*. Tabel 3.1 adalah tabel pengukuran distribusi kekerasan benda uji.



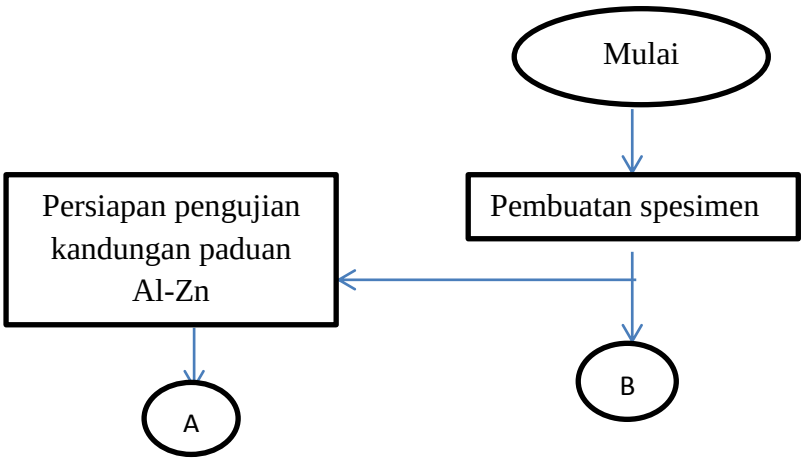
Gambar 3.2 Bidang Uji Distribusi Kekerasan

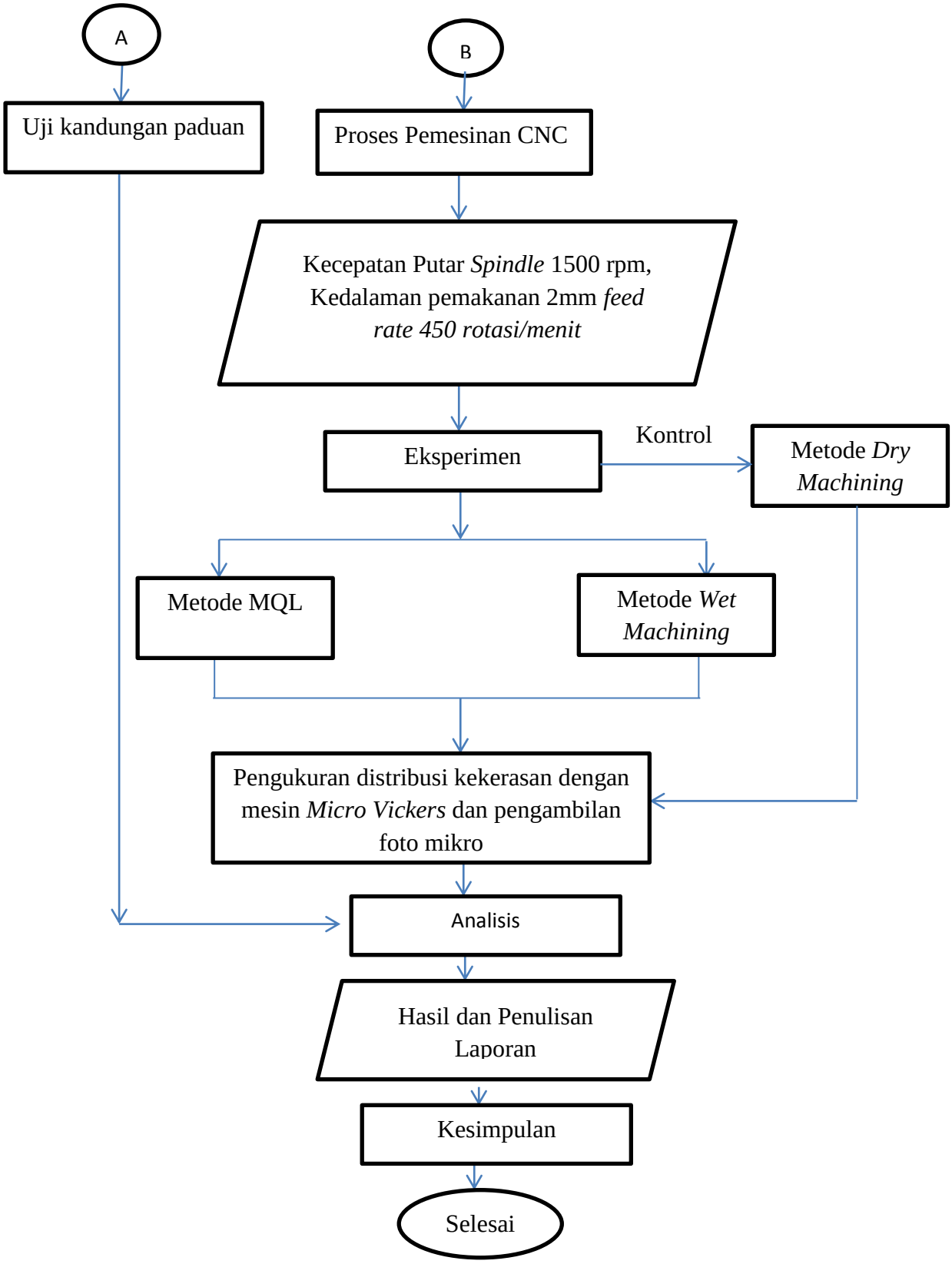
Tabel 3.1 Tabel Uji Kekerasan Spesimen

No	Metode	Distribusi Kekerasan Bahan (VHN)			Rata-Rata	Keterangan
		1	2	3		
1	Minimum Quantity Lubrication (MQL)					
2	Wet Machining					
3.	Dry Machining					

Penelitian ini menggunakan 3 spesimen ditiap metode yang digunakan. Tiap spesimen menggunakan 1 buah *endmill* yang berbeda pula. Hal ini ditujukan agar hasil yang digunakan dapat valid karena tiap spesimen mendapat perlakuan yang sama. Uji distribusi kekerasan dilakukan pada bidang yang tidak diberikan proses pemesinan, karena yang akan diukur atau diteliti adalah perbedaan kekerasan yang terjadi pada spesimen uji tersebut. Pengujian dilakukan pada bidang lebar dan tinggi yaitu pada ukuran 20 x 30mm. Pengukuran dilakukan 10 kali sepanjang 10 mm. Hal ini ditujukan untuk melihat seberapa besar distribusi kekerasan yang terjadi pada tiap metode yang digunakan.

3.2.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.2.2 Urutan Penelitian

Langkah-langkah eksperimen yang akan dilakukan sebagai berikut:

1.Pemeriksaan kondisi mesin CNC *Milling* yang akan digunakan.

2.Menyiapkan peralatan pendukung dan *endmill* HSS dengan Ø16mm

3.Memotong spesimen (Al-Zn) dengan ukuran 100mm x 30mm x 20 mm. Pasang spesimen pada ragum mesin frais, pastikan pemasangan sudah kencang.

4.Memasang *endmill* pada *Spindel mesin*.

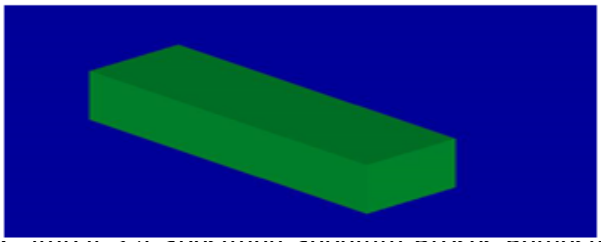
5.Memasukkan program CNC Milling yang sebelumnya telah dibuat dalam *software Master CAM,* :

```
(MATERIAL – ALUMINIUM ALLOY - 2024)
( T1 | 16. FLAT ENDMILL | H1 )
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T1 M6
N106 G0 G90 G54 X-17.6 Y29.998 S1500 M3
N108 G43 H1 Z25. M8
N110 Z5.
N112 G1 Z-.5 F0.5
N114 X117.6 F0.02
N116 G0 Z22.5
N118 X-17.6 Y19.999
N120 Z2.5
N122 G1 Z-2.5 F5.
N124 X117.6 F.2
N126 G0 Z22.5
N128 X-17.6 Y10.001
N130 Z2.5
N132 G1 Z-2.5 F5.
N138 X-17.6
N140 G0 Z22.5
N142 Y29.998
N144 Z2.5
N146 G1 Z-5. F5.
```

```
N134      X117.6 F.2
N136 Y.002
N148      X117.6 F.2
N150 G0 Z20.
N152 X-17.6 Y19.999
N154 Z0.
N156 G1 Z-5. F5.
N158 X117.6 F.2
N160 G0 Z20.
N162 X-17.6 Y10.001
N164 Z0.
N166 G1 Z-5. F5.
N168 X117.6 F.2
N170 Y.002
N172 X-17.6
N174 G0 Z20.
N176 Y29.998
N178 Z0.
N180 G1 Z-6. F5.
N182 X117.6 F.2
N184 G0 Z19.
N186 X-17.6 Y19.999
N188 Z-1.
N190 G1 Z-6. F5.
N192 X117.6 F.2
N194 G0 Z19.
N196 X-17.6 Y10.001
N198 Z-1.
N200 G1 Z-6. F5.
N202 X117.6 F.2
N204 Y.002
N206 X-17.6
N208 G0 Z19.
N210 M5
N 212 G 91 G 28 Z 0.
M 9
N214 G28 X0. Y0. A0.
N216 M30
```

6.Melakukan *Setting* atau mencari titik 0 benda.

7.Melakukan proses *Milling* dengan menggunakan metode MQL dan metode *wet machining*. Proses ini telah diatur oleh program dan kita hanya mengawai dari pergerakan pisau dan benda kerja yang sedang dikerjakan.



Gambar 3.4 Spesimen Sebelum Proses Pemesinan

Gambar 3.5 Spesimen Setelah Proses Pemesinan

8.Setelah [illegible] yang telah dikerjakan di lepas untuk dilakukan pengujian kekerasan.

9.Dilakukan pengukuran dengan menggunakan jangka sorong, hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa spesimen diproses dengan kedalaman yang sama.

10.Melakukan pengujian distribusi dengan menggunakan mesin *micro Vickers*. Dilakukan pencatatan tingkat kekerasan pada tiap spesimen.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat:

1. Mesin CNC *Milling* Fanuc Seri 32i

Mesin CNC *Milling* adalah mesin yang digerakan menggunakan kode huruf dan angka. Kode ini sebelumnya bisa dibuat disebuah *software* yaitu MasterCam. *Software* ini memungkinkan agar pemrogram/programer lebih mudah dalam membuat suatu program yang nantinya akan dijalankan pada mesin CNC.

2. Pahat HSS Ø12mm K-55

Pahat HSS merupakan pisau atau alat potong yang digunakan pada peoses pemesinan ini. Pahat ini sangat pas untuk bahan aluminium. Pahat HSS ini tidak menimbulkan panas yang berlebih. Pahat ini juga mudah dicari dan dijual bebas disetiap toko teknik.

3. Palu plastik

Palu plastik digunakan untuk meratakan benda kerja yang akan dilakukan perlakuan pemesinan. Palu ini juga digunakan untuk memastikan benda yang terpasang telah kencang betul, dengan cara memukul benda tersebut dan menggeser *paralel block* untuk memastikan benda kerja yang terpasang sudah rata.

4. Mesin *Micro Vickers*

Mesin ini digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan benda yang sudah diberikan perlakuan pemesinan. Untuk permukaan yang diuji adalah permukaan yang terletak disamping. Pengujiannya dengan memotret permukaan tersebut dari bidanng yang paling dekat dengan bidang yang diberi perlakuan pemesinan sampai dengan bidang yang paling luar. Angka yang didapat akan dirata-rata karena terdapat 3 spesimen untuk tiap metode yang dilakukan.

5. Mesin MQL Chen 01

Mesin MQL adalah mesin yang membantu selama proses pemberian cairan pendingin. Mesin ini memberikan cairan pendingin berupa dromus yang telah dicamur dengan air dan dimasukan kedalam penampungnya. Setelah itu, cairan akan disemprotka mesin dengan ditambahkan udara bertekanan sehingga cairan pendingi yang berada dalam penampung berubah menjadi aerosol.

Gambar 3.7 Mesin MQL Chen 01

6. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah salah satu alat ukur panjang yang sering digunakan untuk mengukur suatu benda dengan ketilitian berkisar 0,1 sampai dengan yang paling teliti adalah 0,01.

Gambar 3.8 Jangka Sorong

Bahan :

1. Logam Paduan Al-Zn Ukuran 100x30x20mm

Logam Al-Zn merupakan benda uji maupun spesimen yang digunakan dalam pengujian ini. Digunakannya logam paduan Al-Zn dalam penelitian ini dikarenakan penggunaan alumnium sudah sangatlah luas tak hanya pada peralatan rumah tangga tetapi juga digunakan dalam industri otomotif.

Gambar 3.9 Paduan Al-Zn

2. Dromus dan Air

Dromus dan air merupakan campuran yang berfungsi sebagai cairan pendingin yang digunakan dalam proses pemesinan. Cairan ini digunakan dalam proses pemesinan CNC maupun *turning* dan *milling* konvensional. Penggunaannya Znkup mudah, yaitu dengan mencampurkan antara dromus dengan air dengan skala dromus antara 3-10% dari campuran yang dibuat.

Gambar 3.10 Proses Pemesinan dengan Pendingin Dromus dan Air

3.4 Parameter Penelitian

Tingkat kekerasan yang berbeda antara penggunaan pendingin dromus dengan menggunakan metode pendinginan MQL dan *wet machining*. Dilakukan pengujian kekerasan *micro hardness test*, dilihat perbedaannya antara ke 2 metode pemberian pendingin tersebut. Manakah yang memberikan dampak terkecil ketika dilakukan proses pemesinan berupa pengefraisan dengan kedalaman pemakanan dan jenis pisau yang sama. Terdapat variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi hasil dari sebuah penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah

penggunaan metode *wet machining* dan metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL). Metode *dry machining* sebagai kontrol dalam penelitian ini.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbedaan distribusi kekerasan bahan aluminium setelah perlakuan pemesinan menggunakan tiga metode yang berbeda.

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat konstan dan terikat, sehingga hubungan antara variabel dependen dan independen tidak terpengaruh oleh faktor luar yang tidak diteliti (Sugiyono,2011). Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin yang digunakan merupakan Mesin CNC 3 A
2. Pisau yang digunakan adalah *endmill* dengan Ø12mm
3. Kedalaman pemakanan benda adalah 2mm.
4. Kecepatan *Spindel* 1500 rpm
5. Dromus atau cairan pendingin dengan konsentrasi 10%,
6. Bahan ujinya yang berupa Al-Zn berukuran 100x30x20mm
7. Uji distribusi kekerasan yang digunakan adalah uji *microhardnestest*.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah penelitian yang didalamnya melibatkan manipulasi terhadap kondisi subjek yang diteliti, disertai upaya kontrol yang ketat terhadap faktor-faktor luar serta

melibatkan subjek pembanding atau metode ilmiah yang sistematis yang dilakukan untuk membangun hubungan yang melibatkan fenomena sebab akibat.

Pengambilan data dalam penelitian pada spesimen uji hasil pemesinan CNC milling dengan perbadaan metode pemberian zat pencingin diambil dari setiap spesimen dengan data yang disajikan berupa data tabel dan grafik. Metode yang dipakai merupakan metode MQL dan metode *wet machining*. Kedua metode ini sama-sama menggunakan cairanpendingin pada proses pemesinannya. Akan tetapi, pemberian cairan pendingin dilakukan dengan cara yang berbeda. Proses MQL menggunakan sedikit cairan pendingin dengan menambahkan udara bertekanan 45 psi pada proses pemesinannya sehingga mengurangi kadar penggunaan cairan pendingin. Metode *wet machining* menggunakan cairan pendingin yang relatif lebih bayak. Kedua metode ini tentunya akan menghasilkan sesuatu yang berbeda karena proses pendinginan bendanya pun berbeda.

Untuk mengetaui distribusi kekerasan dari setiap spesimen uji maka dilakukan pengukuran distribusi kekerasan ke seluruh spesimen uji dengan menggunakan mesin *micro vickers*. Penelitian akan dilaksanakan sampai terjadi perbedaan distribusi kekerasan yang terjadi pada logam Al-Zn.

3.6 Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi instrumen merupakan proses menyesuaikan indikasi dari perangkat pengukuran agar sesuai dengan besaran yang digunakan dalam akurasi tertentu. Kalibrasi dilakukan untuk menentukan valifitas dan reslibilitas instrumen tersebut. Penelitian kali ini kalibrasi instrumen yang dilakukan adalah dengan menggunakan uji kekerasan mikro (*micro hardness test*) untuk mengetahui

seberapa besar dampak yang dihasilkan dari metode pemberian cairan pendingin yang berbeda. Dalam penelitian ini ada beberapa alat yang harus dikalibrasi, diantaranya:

3.6.1 Jangka sorong

Jangka sorong merupakan alat yang digunakan untuk mengukur dimensi suatu benda. Ketelitian jangka sorong berkisar antara 0,01mm-0,1mm. Jangka sorong sering digunakan untuk mengukur benda-benda silindris baik itu diameter luar, diameter dalam, panjang lubang dan masih banyak lagi yang lainnya. Penggunaan jangka sorong pada industri-industri sudah digantikan dengan menggunakan jangka sorong digital. Jangka sorong digital dipakai karena praktis dan pengukuran yang sangat teliti. Akan tetapi, jangka sorong digital ini juga sangat sensitif. Adanya debu atau kotoran, bergetar ketika dipakai, sedikit terkena hentakan akan mengakibatkan pengukurannya tidak presisi. Oleh karena itu, jangka sorong harus dikalibrasi sebelum dipakai. Tahap-tahap kalibrasi jangka sorong adalah sebagai berikut:

1.Pertama-tama buka skrup pengunci yang ada pada bagan atas jangka sorong, kemudian tutup rahang jangka sorong. Arahkan pada cahaya, lihat apakah pada rahang tersebut masih terdapat celah yang dapat ditembus cahaya atau tidak.

2.Pastikan angka pada monitor sudah menunjukan angka 0.00 ketika rahang jangka sorong ditutup.

3.Bersihkan batang jangka sorong agar terhindar dari beram dan kotoran yang menempel.

4.Simpan jangka sorong pada temperatur ruangan laboratorium dengan suhu 21˚C ± 1˚C dengam kelembaban udara berkisar antara 55%-60%.

3.6.2 Mesin *Micro Vickers*

Sebelum alat dipakai, sebaiknya alat dipastikan dulu apakah alat ini berfungsi dengan baik atau tidak. Yaitu dengan cara:

1. Memasang indentor pada knok mesin *Vickers*
2. Tempatkan spesimen pada "*Plate".*
3. Putar mikroskop dan arahkan lensa ke material yang akan diuji. Lakukan pembesaran gambar hingga pada skala yang kita inginkan.
4. Fokuskan dengan menggunakan "*focusing knop*"
5. Setelah itu akan dilakukan penekanan pada benda uji.
6. Ulangi pengukuran untuk mengetahui kalibrasi telah berhasil dilakukan.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisa data yang dipakai adalah teknik analisa deskriptif analitis. Teknik ini digunakan untuk menjelaskan perbedaan atau perubahan yang terjadi sebelum dan setelah benda uji diberikan perlakuan tertentu. Perlakuan yang diberikan adalah metode *dry machining*, *wet machining*, dan MQL. Perbedaan nanti akan terlihat pada diagram yang dihasilkan dari test *microhardnes*. Teknik ini disebut dengan metode pengumpulan data secara kuantitatif, karena data yang dihasilkan berupa angka kekasaran disetiap spesimen yang diuji. Anilis data terhadap distribusi kekerasan logam Al-Zn, adalah sebagai berikut.

3.7.1 Studi Distribusi Kekerasan

Studi distribusi kekerasan ini akan mengambil data pada permukaan benda yang terdampak oleh panas yang terjadi akibat gesekan antara *endmill* dan benda kerja. Perbedaan panas akan terjadi pada tiap jarak antara permukaan yang dilakukan proses pemesinan sampai dengan permukaan yang tidak dilakukan proses pemesinan sehingga didapatkan data yang valid.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

4.1 Deskripsi Data

4.1.1 Uji Komposisi

Pengujian komposisi bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur pembentuk suatu benda yang kan di uji. Pengujian ini berguna untuk menganalisis kekuatan mekanis yang dimiliki oleh benda uji. Berikut ini adalah hasil pengujian komposisi benda uji.

Tabel 4.1 Unsur Benda Uji

Unsur	*Kadar %*
Al	*94,27*
Si	*<0,05*
Fe	*<0,05*
Cu	*0,254*
Mn	*<0,02*
Mg	*0,348*
Cr	*<0,015*
Ni	*1,05*
Zn	*3,49*
Sn	*<0,05*
Ti	*<0,01*
Pb	*<0,03*
Be	*0,0006*
Ca	*0,0028*
Sr	*<0,0005*
V	**0,377*
Zr	*<0,003*

Pengujian komposisi kimia dari benda uji dilakukan dengan menggunakan mesin *Spectrometer Metal Scan* dengan pembacaan secara otomatis memberikan hasil komposisi kimia. Standart pengujian ini menggunakan ASTM D7751-16. Komposisi diatas menunjukkan benda uji tersebut berjenis aluminium 7075.

4.1.2 Uji Kekerasan *Micro Vikers*

Pada penelitian yang dilakukan ini data yang didapat adalah tingkat kekerasan pada tiap titik benda yang telah dikerjakan dengan mesin CNC *Milling*. Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin *Micro Vickers.* Ada jenis metode pemesinan yang digunakan, yaitu: metode *dry machining*, metode *wet machining* dan metode *Minimum Quantity Lubrication.*

4.1.2.1 Metode *Dry Machining*

Tabel 4.2 Distribusi Kekerasan Metode *Dry Machining*

No	*Metode*	*Jarak*	*Distribusi Kekerasan Benda (HV)*			
			1	*2*	*3*	*Rata-rata*
1	*Dry Machining*	*2µm*	*219,93*	*220,37*	*219,6*	*219,87*
2		*4µm*	*216,53*	*212,13*	*213*	*213,89*
3		*6µm*	*211,27*	*208,3*	*210,87*	*210,11*
4		*8µm*	*207,97*	*205,67*	*207.43*	*207,02*
5		*10µm*	*204,37*	*202,5*	*204,87*	*203,91*
6		*12µm*	*199,2*	*196,8*	*199,47*	*198,49*
7		*14µm*	*193,4*	*193,4*	*193,03*	*193,28*
8		*16µm*	*188,57*	*188,1*	*188,17*	*188,28*
9		*18µm*	*181,93*	*182*	*182,6*	*182,18*
10		*20µm*	*178,5*	*179,83*	*178,87*	*179,07*

Tabel di atas menunjukan tingkat kekerasan yang diambil pada setiap titik yatingkat kekerasan pada setiap titik yang telah diberikan perlakuan pemesinan yaitu

dengan melakukan pemakanan dengan mesin CNC *Milling* tanpa menggunakan *coolant* sama sekali. Metode ini memberikan peningkatan kekerasan yang sangat signifikan, dapat dilihat dari perbedaan kekerasan yang terjadi pada tiap titik yang diambil.

4.1.2.2 Metode *Wet Machining*

Tabel 4.3 Distribusi Kekerasan Metode *Wet Machining*

No	*Metode*	*Jarak*	*Distribusi Kekerasan Benda (HV)*			
			1	*2*	*3*	*Rata-rata*
1	*Wet Machining*	*2µm*	*198,93*	*198,87*	*198,43*	*198,74*
2		*4µm*	*184,87*	*185,53*	*185,27*	*185,22*
3		*6µm*	*179,47*	*176,87*	*175,87*	*177,4*
4		*8µm*	*170,5*	*171,27*	*170,63*	*170,8*
5		*10µm*	*168,7*	*167,97*	*168,57*	*168,41*
6		*12µm*	*166,7*	*166,47*	*165,2*	*166,12*
7		*14µm*	*165,9*	*164,07*	*164,13*	*164,7*
8		*16µm*	*162,57*	*161,87*	*161,37*	*161,94*
9		*18µm*	*160,87*	*160*	*159,23*	*160,03*
10		*20µm*	*159,23*	*157,67*	*157,9*	*158,26*

Tabel tersebut menjelaskan distribusi kekerasan yang terjadi pada tiap titik spesimen yang telah diberikan perlakuan berupa pemakanan dengan menggunakan mesin CNC *Milling*. Pengambilan data distribusi kekerasan pada spesimen tersebut diambil secara vertikal dengan jarak yang telah ditentukan. Penggunaan *coolant* pada proses pemesinannya inilah yang menyebabkan metode ini disebut dengan metode basah/ *Wet machining*, karena benda kerja yang dihasilkan dibasahi oleh *coolant*. Tidak terjadi peningkatan kekerasan benda yang terlalu signifikan, hal ini dikarenakan *coolant* bekerja dengan sangat baik.

4.1.2.3 Metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL)

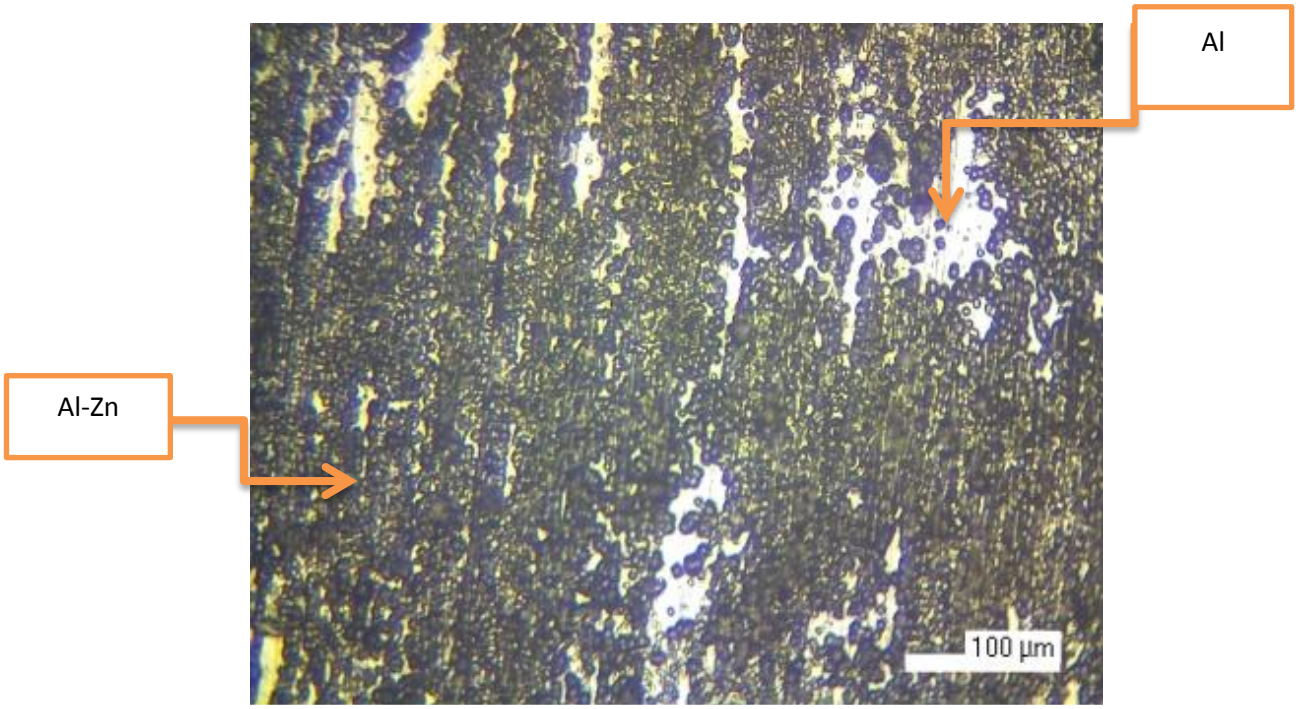
Tabel 4.4 Distribusi Kekerasan Metode MQL

No	*Metode*	*Jarak*	*Distribusi Kekerasan Benda (HV)*			
			1	*2*	*3*	*Rata-rata*
1	*MQL*	*2µm*	*203,6*	*204,87*	*204,47*	*204,31*
2		*4µm*	*200,03*	*196,4*	*196,4*	*197,61*
3		*6µm*	*194,03*	*192,83*	*192,13*	*192,99*
4		*8µm*	*186,53*	*186,13*	*184,6*	*185,75*
5		*10µm*	*182,57*	*182,53*	*181,13*	*182,08*
6		*12µm*	*179,37*	*178,2*	*176,3*	*177,96*
7		*14µm*	*176,43*	*174,8*	*173,73*	*174,99*
8		*16µm*	*171,17*	*172,17*	*168,67*	*170,67*
9		*18µm*	*167,03*	*167,03*	*164,8*	*166,29*
10		*20µm*	*162,8*	*161,97*	*161,07*	*161,95*

Tabel diatas menunjukan data distribusi kekerasan dengan menggunakan metode MQL. Metode ini menggunakan campuran dari *coolant* dan dengan menggunakan udara bertekanan tinggi. Metode ini digunakan guna mengurangi penggunaan *coolant* tetapi tidak mengurangi kualitas dari benda yang dikerjakan. Hasil yang diperoleh adalah peningkatan kekerasan yang tidak terlalu signifikan, hal ini menujukan bahwa penggunaan coolant yang minimum dapat mengurangi tingkat kekeraan yang dapat terjadi pada benda yang telah dikerjakan.

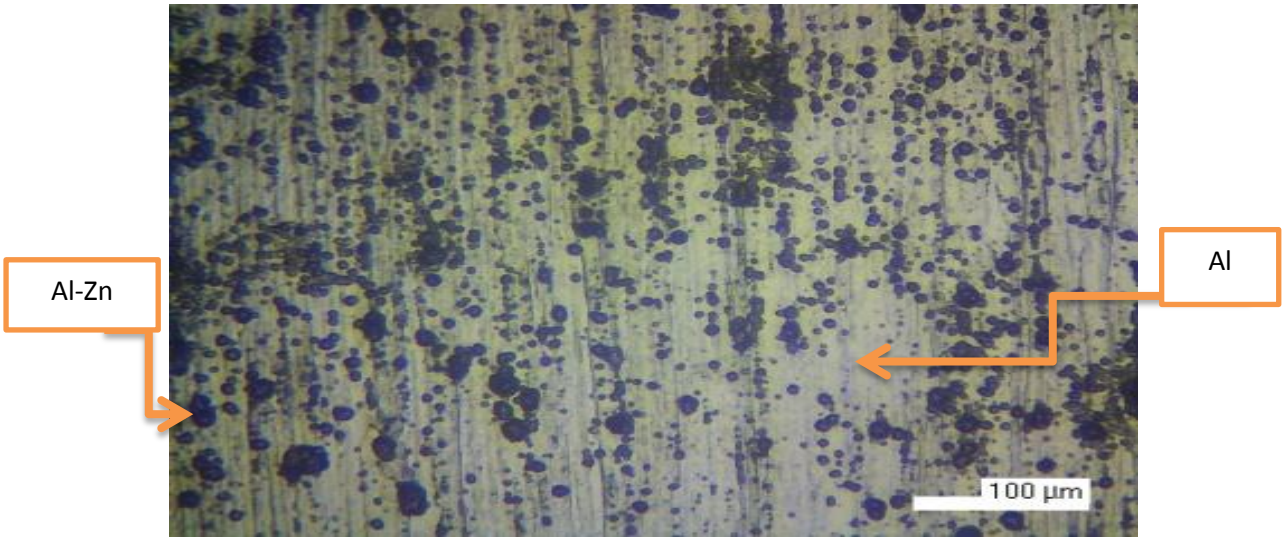
4.1.3 Foto Struktur Mikro

Adapun perbedaan dari struktur mikro yang diambil dari setiap benda adalah sebagai berikut:



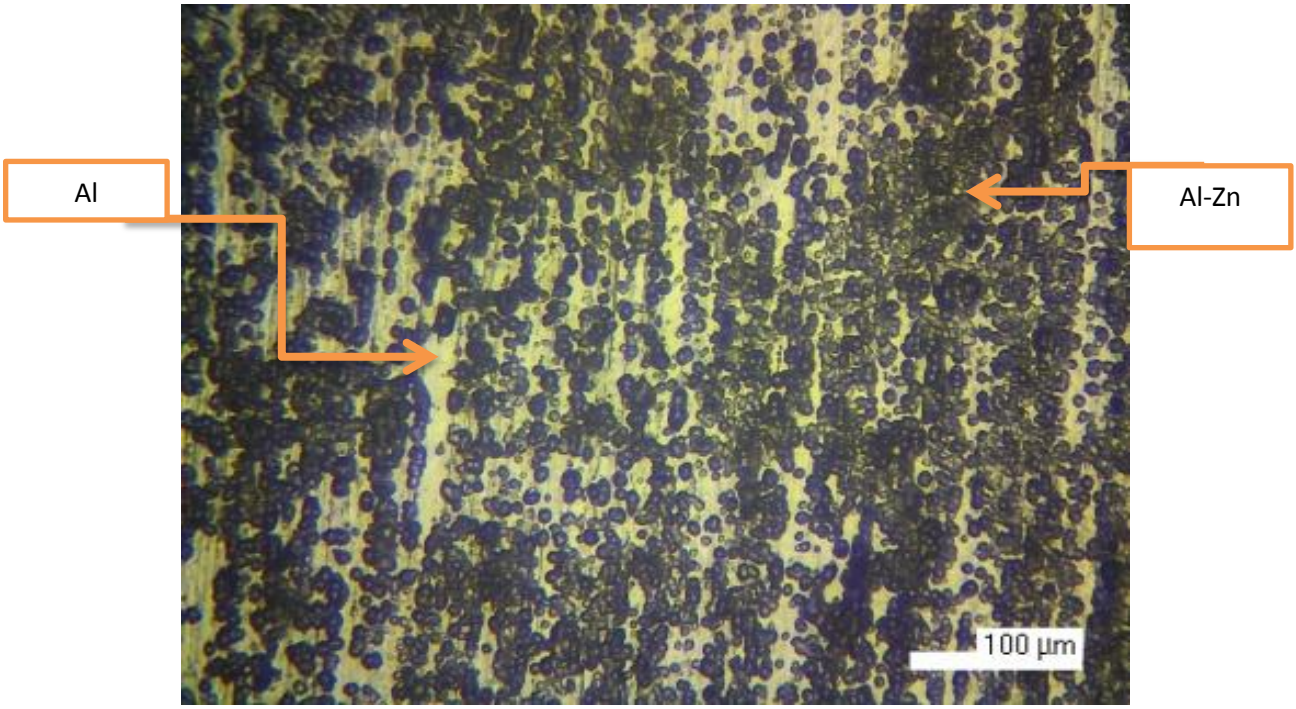
Gambar 4.1 Struktur Mikro dengan Metode *Dry Machining*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa ikatan struktur Al-Zn akan lebih rapat, hal ini dipengaruhi dari tingkat panas yang dihasilkan oleh proses pemesinan dengan metode *dry machining*. Semakin rapat fase Al-Zn maka semakin keras pula tingkat kekerasan yang dihasilkan oleh benda tersebut.



Gambar 4.2 Struktur Mikro dengan Metode *Wet Machining*

Aluminium ditunjukan dari warna putih kusam yang ada pada gambar tersebut, dan Al-Zn ditunjukan dengan warna gelap hitam. Gambar 4.2 menunjukan Al-Zn masih sedikit dan sangat renggang, hal ini menunjukkan bahwa panas yang menembus benda yang menggunakan metode *wet machining* sangat kecil sehingga sangat sedikit mempengaruhi ikatan Al-Zn sehingga ikatan antara Al dengan Zn masih terlihat sangat renggang



Gambar 4.3 Struktur Mikro dengan Metode MQL

Ikatan Al-Zn terlihat agak rapat, tetapi ikatan Al-Zn ini masih dipisahkan oleh Al. Hal ini menunjukkan bahwa, panas yang dihasilkan berhasil menembus benda kerja tetapi tidak terlalu dalam. Penembusan yang tidak terlalu dalam inilah yang mengakibatkan fase Al-Zn sudah bertambah akan tetapi masih terlihat renggang.

4.1.4 Foto Geram/*Chip*

Geram/*chip* adalah bekas pemotongan dari proses fabrikasi. Dari ketiga metode diatas akan menghasilkan foto makro geram sebagai berikut:

Gambar 4.4 *Chip* Metode *Dry Machining*

Gambar 4.4 menunjukkan hasil foto *chip* dari spesimen dengan menggunakan metode pemesinan *dry machining*. Terlihat *chip* berwarna sedikit gelap karena proses pemesinan yang diberikan pada aluminium tersebut.

Gambar 4.5 *Chip* Metode MQL

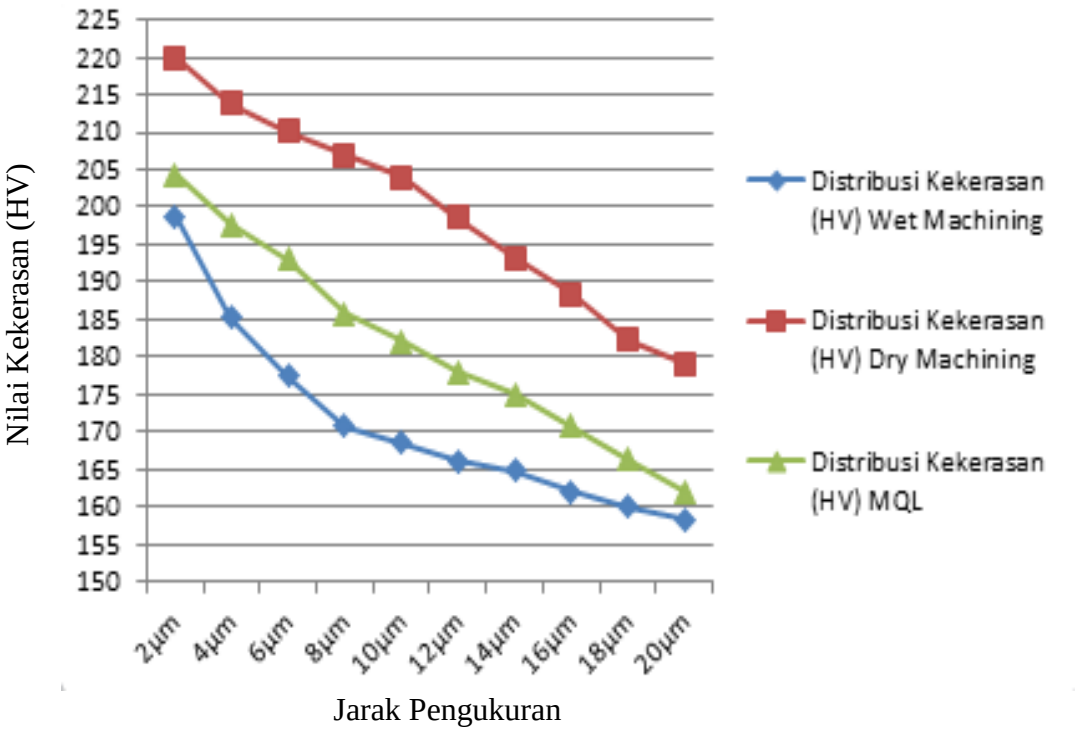
Gambar 4.5 menunjukkan hasil foto dari geram/*chip* penggunaan metode MQL. *Chip* tersebut terlihat sedikit gelap dan berbentuk sedikit spiral .

Gambar 4.6 *Chip* Metode *Wet Machining*

Gambar 4.6 menunjukkan hasil foto dari *chip*/geram hasil penyayatan benda dengan menggunakan metode *wet machining.* Gambar tersebut menunjukkan geram dengan permukaan yang bersih dan mengkilap.

4.2 Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan pada pengujian kekerasan selanjutnya dibuat menjadi satu bentuk diagram yang nantinya akan menjelaskan distribusi kekerasan dari tiap metode yang dilakukan. Adapun tabel rata-rata tingkat kekerasan berbagai metode sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Distribusi Kekerasan Al-Zn

Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kekerasan kontrol (*dry machining*) memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari yang lain. Nilai kekerasan MQL berada diantara metode *dry machining* dan *wet machining*. Hal ini menunjukkan bahwa, nilai kekerasan *dry machining* lebih tinggi daripada nilai kekerasan 2 metode yang lain. Hal ini disebabkan oleh panas yang terjadi akibat gesekan antar endmill dengan benda kerja. Gesekan yang terjadi mengakibatkan panas dan meningkatkan distribusi kekerasan dan mengubah struktur mikro dari bahan yang dikerjakan.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Distribusi Kekerasan

Grafik di atas menjelaskan tentang perbedaan tingkat kekerasan pada tiap metode yang dilakukan. Metode *dry machining* menghasilkan tingkat kekerasan yang

paling tinggi. Pada metode *wet machining* dan MQL ada perbedaan yang terjadi pada tingkat kekerasan benda dengan metode MQL lebih tinggi dibandingkan dengan metode *wet machining*. Menurut Barglik (2018), ada beberapa parameter yang mempengaruhi distribusi kekerasan yang benar seperti: suhu pengerasan, laju pemanasan dan pendinginan, sifat material dan ketergantungannya terhadap suhu, parameter perpindahan panas, dan lain-lain.

Pada Proses fabrikasai, ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi tingkat kekerasan suatu benda, antara lain:

1. Gesekan Benda dan Alat Potong

Hal ini terjadi ketika alat potong menyayat benda, besarnya gesekan dipengaruhi oleh permukaan benda. Benda yang dipotong/disayat akan menghasilkan geram, geram ini lah yang menyebabkan gaya gesek yang terjadi sangatlah tinggi kalau tidak disingkirkan. Olehkarena itu, digunakanlah udara maupun cairan *coolant* untuk membuang sisa-sisa geram pada permukaan benda kerja. Menurut Fortunato dkk (2015) bahwa sumber panas akan terbentuk dan terletak pada bidang antarmuka gesek. Tidak hanya pada bidang antarmuka tetapi juga agak menusuk ke dalam.

Dari data yang diperoleh metode *dry machining* sebagai fariabel kontrol memiliki tingkat kekerasan yang paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode *dry machining* gaya gesek yang terjadi sangatlah tinggi sehingga dapat mempengaruhi distribusi kekerasannya.

2. Panas

Panas dipengaruhi dari gesekan antara pahat dengan benda yang kemudian diberikan media pendingin. Pada metode *wet machining* dan MQL yang menggunakan media pendingin memiliki penyerapan yang lebih lambat dibandingkan metode *dry machining.* Panas yang terjadi terhalang media pendingin (*coolant*) sehingga tidak berpengaruh banyak pada tingkat distribusi kekerasan benda, berbeda halnya dengan metode *dry machining* panas yang diserap banyak dan berakibat pada meningkatnya tingkat kekerasan logam tersebut. Menurut Facasso (2010) tujuan dari adanya perlakuan panas berbeda-beda: peningkatan kekuatan, peningkatan kekerasan, menurunkan tingkat stres, meningkatkandaktilitas dan lan sebagainya. Dari pernyataan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa panas yang terjadi pada suatu bahan dapat meningkatkan tingkat kekerasan bahan tersebut.

3. Geram/*Chip*

Perbedaan yang terjadi antara geram hasil sayatan metode *dry machining*, *wet machining*, dan MQL adalah hasil sayatannya. Pada metode *dry machining* sayatan geram warnanya menjadi gelap, metode MQL geram yang dihasilkan warnanya tidak segelap metode *dry machining*, dan metode *wet machining* geram yang dihasilkan terlihat sangat mengkilap. Hal ini dikarenakan, pada proses *dry machining* banyak geram-geram yang sangat halu yang menyangkut pada ujung alat potongnya, sehingga geram yang halus tadi ikut bergesekan dengan permukaan bidang potong dan mengakibatkan gaya gesek yang sangat besar. Metode MQL dapat menyemburkan geram dengan angin yang bertegangan tinggi, akan tetapi masih ada

geram yang menempel pada permukaan alat potong (*end mill*) sehingga masih ada bekas sayatan kecil pada permukaan geram. Sedangkan metode *wet machining* dengan membanjiri permukaan benda dan permukaan alat potong (*end mill*) dengan cairan pendingin mengakibatkan geram yang sangat halus tadi terbawa oleh aliran cairan pendingin keluar dari bidang kerja dan membuat alat potong tetap bersih dari geram yang menempel.

Menurut Rusnaldi dan Setiyana (2006), menyatakan bahwa pada proses pemotongan hampir seluruh energi diubah menjadi panas melalui proses gesekan antara geram dengan pahat dan antara pahat dengan benda kerja, serta perusakan molekuler atau ikatan atom pada bidang geser (*shear plane*). Panas tersebut akan membuat geram berwarna lebih gelap (gosong) sehingga penggunaan metode *wet machining* lebih efektif karena penyerapan panas dari proses pemesinan diserap oleh *coolant*. Sedangkan metode *dry machining* panas yang terjadi sangatlah tinggi dan tidak ada cairan pendingin sebagai penyerap panas, dan akhirnya membuat geram hasil pemesinan menjadi berwarna lebih gelap dari metode yang lainnya.

Semakin kebawah tingkat kekerasan benda antara metode *dry machining*, MQL, dan *wet machining* semakin mendekati tingkat kekerasan dari *raw material*-nya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Negara, dkk (2015), menurutnya distribusi kekerasan dari permukaan ke inti akan semakin rendah tingkat kekerasannya. Penurunan tingkat kekerasannya tergantung metode yang dilakukan, metode *dry machining* akan lebih dalam penembusannya dibandingkan dengan metode MQL dan *wet machining*. Metode *wet machinning* dan MQL dapat

menghentikan distribusi panas yang terjadi dengan menyerapkan panas tersebut pada *coolant*, baik secara dibanjirkan maupun disemprotkan dengan tekanan tinggi. akan tetapi, hasil dari metode MQL dan *wet machining* memiliki perbedaan yaitu dari tingkat kekerasan ditiap titiknya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan metode *wet machining* lebih efektif dalam hal penyerapan panas yang dihasilkan dari gesekan benda dan alat potong.

Semakin dekat suatu titik terhadap permukaan pemakanan akan berdampak pada tingginya tingkat kekerasan suatu benda. Tingkat kekerasan suatu benda dipengaruhi oleh panas yang dihasilkan oleh benda itu sendiri baik melalui gesekan dengan alat potong maupun yang lainnya. Proses pemberian *coolant* juga memberi pengaruh terhadap tingkat kekerasan benda tersebut. Pemberian *coolant* secara dibanjiri mengakibatkan distribusi kekerasan suatu benda tidak berubah secara signifikan dan penembusan panasnya sangat dangkal yang berakibat pada dangkalnya wilayah yang terdampak proses *machining*. Distribusi kekerasan yang dangkal mengakibatkan wilayah yang mengalami kenaikan tingkat kekerasan pun semakin dangkal pula.

4.3.2 Struktur Mikro

Berdasarkan foto mikro yang telah dilakukan menunjukkan bahwa foto struktur mikro pada spesimen dengan menggunakan metode *dry machining* (Gambar 4.1) memiliki susunan Al dan Zn yang sangat rapat. Hal ini dikarenakan laju pendinginan pada spesimen yang diberikan perlakuan pemesinan dengan metode *dry*

machining berjalan sangat lambat. Adapun karakteristik dari hasil pemesinan dengan metode *dry machining* setelah diketahui fasa-fasanya adalah sebagai berikut:

1. Fasa Al (berwarna terang) semakin sedikit karena tertutup oleh fasa Al-Zn.
2. Fasa Al-Zn(berwarna gelap) terlihat lebih rapat sehingga meningkatkan nilai kekerasan spesimen tersebut. Akan tetapi, karena semakin rapatnya fasa ini akan menurunkan sifat ketahanan terhadap korosi.

Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen yang telah mendapat perlakuan pemesinan dengan metode *wet machining* (Gambar 4.2) memiliki susunan Al dan Zn yang renggang. Hal ini dikarenakan, laju pendinginan pada spesimen dengan metode *wet machining* memiliki laju pendinginan yang sangat cepat. Adapun karakteristik dari logam paduan setelah diketahui fasa-fasanya adalah sebagai berikut:

1. Fasa Al (berwarna terang) terlihat sangat lebar.
2. Fasa Al-Zn (berwarna gelap) ikatan yang sangat longgar sehingga nilai kekerasannya tidak naik secara signifikan.

Struktur mikro yang terbentuk dari metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) terlihat sudah mulai merapat (Gambar 4.3). Hal ini dikarenakan laju pendinginan pada spesimen ini tidak terlalu cepat dan tidak juga terlalu lambat yang mengakibatkan ikatan struktur Al dan Zn sudah mulai merapat. Adapun karakteristiknya setelah diketahui fasanya adalah:

1. Fasa Al (berwarna terang) sudah mulai menyempit.
2. Fasa Al-Zn (berwarna gelap) ikatan yang terjadi mulai merapat menghasilkan nilai kekerasan yang mulai meningkat tetapi tidak terlalu signifikan.

Menurut Lamrous, dkk (2013) kekerasan mikro yang berada pada paduan akan meningkat dengan adanya Zn. Oleh karena itu, peningkatan kekerasan logam paduan terjadi ketika pada fasa Al-Zn ikatannya rapat. Pernyataan ini sejalan dengan menelitian yang dilakukan oleh Bobic, dkk (2009) menyatakan bahwa matriks logam berbasis aluminium dan seng dapat memberikan ketahanan yang baik untuk keausan geser dan abrasi. Paduan Zn inilah yang meningkatkan nilai kekerasan paduan yang ada. Paduan Zn juga yang akan mengurangi nilai tahan korosi yang ada pada aluminium.

Rapatnya fase Al-Zn ini hampir seperti yang terjadi pada metode *dry machinning* akan tetapi, pada metode MQL ini terlihat lebih renggang daripada metode *dry machinning*. Jika dibandingkan dengan metode *wet machinning*, fase Al-Zn dari metode MQL lebih rapat dilihat dari banyaknya titik-titik hitam yang dihasilkan pada foto mikro diatas.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yan telah dilakukan tentang perbedaan penggunaan metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) dan metode *wet machining* terhadap distribusi kekerasan paduan Al-Zn dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode *dry machining* (kontrol) memiliki tingkat distribusi kekerasan yang paling tinggi, hal ini ditunjukkan dari grafik distribusi kekerasan yang terjadi. Tingginya nilai distribusi kekerasan dipengaruhi karena ada panas yang terjadi akibat gesekan antara benda kerja dan alat potong dan mengakibatkan ikatan Al-Zn menjadi sangat rapat. Adanya panas juga dapat dilihat dari geram yang terbentuk sangat kusam.
2. Metode MQL memiliki nilai distribusi kekerasan yang lebih baik dibandingkan kontrol. Distribusi kekerasan metode ini dapat dilihat dari grafik distribusi kekerasan, walaupun lebih baik daripada kontrol metode ini belum lebih baik dibanding metode *wet machining*. Penggunaan *coolant* yang minimal belum bisa menyerap panas secara maksimal, dapat dilihat pada foto mikro yang menunjukkan ikatan Al-Zn pada metode ini lebih rangkap dibanding metode *wet machining*. Geram yang dihasilkan tidak terlalu kusam jika dibandingkan dengan kontrolnya.

3. Metode *wet machining* menghasilkan grafik distribusi kekerasan yang lebih rendah daripada metode-metode sebelumnya. Metode ini menggunakan *coolant* yang banyak sehingga panas yang diasilkan terserap sempurna oleh *coolant* tersebut. Foto mikro dari metode ini menunjukkan paduan Al-Zn yang masih renggang yang berarti panas yang terjadi belum berpengaruh besar pada struktur mikronya. Geram/*chip*-nya berwarna sangat mengkilap dan paling baik jika dibandingkan metode-metode sebelumnya.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian di atas, maka peneliti menyarankan sebagai berikut:

1. Metode *wet machining* sebaiknya digunakan pada pengerjaan yang tidak memerlukan tingkat distribusi kekerasan yang tinggi pada permukaan benda.
2. Penggunaan metode *dry machining* sebaiknya digunakan pada pembuatan pisau, karena menghasilkan distribusi kekerasan yang tinggi pada permukaaan benda.
3. Bagi penelitian selanjutnya alangkah lebih baiknya jika *coolant* yang digunakan lebih bervariasi agar didapatkan *coolant* yang bisa menggantikan campuran dromus sehingga didapatkan distribusi kekerasan yang lebih baik dari metode *wet machining.* Metode MQL mememungkinkan penggunaan *coolant* yang lebih bervariasi, contohnya adalah penggunaan minyak nabati.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, T.T.,dan B. Prayoga. 2016. Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Proses *Friction Welding Stir* Aluminium 5052. *Journal of Industrial Research* 10(2), 70-82.

Amanto, H., dan Daryanto. 2006. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara

Basuki, B. 2014. Pengaruh Metode Minimum Lubrication Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda AISI 4340. *Jurnal Teknologi* 7(2), 112-117

Barglik, J. 2018. Identification of Temperature and Hardness Distribution During Dual Frequenzy Induction Hardening of Gear Wheels. *Journal Archives of Electrical Enggineering* 67(4): 913-923.

Bobic, B., S. Mitrovic, M. Babic, dan I. Bobic. 2009. Corrosion of Aluminium and Zimc-Alluminium Alloys Based Metal-Matrics Composites. *Journal of Tribilogy in Industry* 31: 44-53.

Chinchanikar, S., A.P. Kulkarni, dan S.K. Choudhury. 2015. Hard Turning Under Dry and Minimum Quantity Lubrication (MQL): Comparative Asessment Through Multy-Objective Optimization. *Journal of Production Engineering* 18 (2): 16-20.

Fortunato, G., V. Ciaravola, A.Furno, B. lorenz, dan B.N.J. persson. 2015. General Theory of Frictional Heating With Aplication to Rubber Friction. *Journal of Phisyc: Condens ed Matter*.

Fracasso, F. 2010. Influence of Quench Rate on The Hardness Obtained After Artifical Ageing of An Al-Si-Mg Alloy. *Thesis*. Tekniska Hogskolan.

Galannis,N.I., D.E. Manolakos, dan N.M. Vaxenidis.2008. *Comparison of Dry and Wet Machining of Stainless steels.* Internasional conferensces on manufacturing engineering

Haryadi, G.D. (2006). Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik, dan Struktur Mikro pada Baja K-460. *Journal Rotasi*

Klockle. 2011. *Manufacturing Proses.* Berlin: Springger.

Lamrous, D., M.Y. debilli, dan E. Boehm-Courjault. 2013. Microstructure and Phase Composition of Al-Zn Alloys. *Journal of Advanced Microscopy Research* 8: 266-269.

Liao, Y.S. dan H. M. Lin. 2015. Mechanism of Minimum Quantity Lubrication in High-Speed Milling of Hardened Steel. *International Journal of Machine Tool & Manufacture* 47: 1660-1666.

Najiha, M. S., M.M Rahman, K. Kagirgama, M.M. Noor, dan D. Ramasamy. 2015. Multi-Objective Optimization of Minimum Quantity Lubrocation in

End millof Aluminium Alloy AA6061T6. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering* 12: 3003-3017.

Negara, D.N.K.P,I D.M.K Muku, I.K.G Sugita, I Made astika, I wayan Mustika, dan D.G.R. Prasetya. 2015. Hardness Distribution and Effective Case Depth of Low Carbon Steel After Pack Carburizing Process under Different Carburizer. *Journal of Mechanincs and Materials* 776: 201-207.

Patriawan, D.A., H. Irawan, E.W.R. Widodo. 2016. *Studi Pendahuluan Penggunaan Minimum Quantity Lubricant pada Proses Pemesinan.* Makalah Disajikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IV Institut Teknologi Adhi Tama. Surabaya. 153-160.

Rahdiyanta, D. 2010. *Proses Frais (Milling)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Rusnaldy, dan B. Setiyana. (2006).Pengaruh Pemakanan (Feed*)* Terhadap Geometri dan Kekerasan Geram pada High Speed Machining Process. *Rotasi Volume* 8(1).

Sari, N.H. 2018. *Material Teknik*. Sleman: CV. Budi Utama.

Suarsana. 2017. *Ilmu Material Teknik.* Denpasar: Universitas Udayana

Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D.* Bandung : Alfabeta.

Uysal, A., F. Demiren, dan E. Altan. 2015. Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Methon on Milling of Martensitic Stainless Steel by Using Nano Mos2 Reinforced VegetablesCutting Fluid. *International Journal of Social and behavioral science* 195: 2742-2747

Widiarto, B. S. Wijanarka, dan Paryanto. 2008. *Teknik Permesinan.* Direktorat Jendral Pendidikan Dasar dan Menengah. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMK.

Wijanarka, B. S. 2012. *Modul Pemesinan Frais CNC*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Yuniarto, D. 2014. *Mengoperasikan dan Memprogram Mesin CNC Tu-3A.*https://www.google.com/amp/s/dwiyuniarto.wordpress.com/2013/10/25/mengoprasikan-dan-memprogram-mesin-cnc-frais-tu-3a/amp/ 10 Maret 2019 (09:08)

Lampiran 1

UNNES

KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Nomor: 1368 / FT - UNNES / 2018
Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2018/2019

Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.

Mengingat :
1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;

Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Tanggal 25 September 2018

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:

Nama	: Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T.
NIP	: 196707261993031003
Pangkat/Golongan	: IV/a
Jabatan Akademik	: Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing	

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

Nama	: Wildan Shofiyandi
NIM	: 5201415019
Jurusan/Prodi	: Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin
Topik	: Metode pemakanan cnc milling dengan variasi coolant

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 1 Oktober 2018
DEKAN

Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP 196911301994031001

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

5201415019
...:: FM-03-AKD-24/Rev. 00 ::...

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
Gedung E9, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang. 50229
Telepon/Fax: 024-8508101
Laman: http://mesin.unnes.ac.id; E-mail: teknik.mesin@mail.unnes.ac.id

PERSETUJUAN SEMINAR PROPOSAL

Yang bertanda tangan dibawah ini menyetujui usulan pelaksanaan seminar proposal skripsi mahasiswa dibawah ini:

Nama /NIM : Wildan Shofiyandi / 5201415019
Prodi : Pendidikan Teknik Mesin
Judul TA/Skripsi : Perbedaan Penggunaan Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) dan Metode Wet Manchinig Terhadap Distribusi Kekerasan Logam Paduan Al-Cu pada Proses CNC Milling
Hari/ Tgl. Seminar : Senin / 20 Mei 2019
Jam : 09.00 - Selesai
Tempat : .....

Berdasarkan pertimbangan program studi diputuskan calon penguji untuk diundang sebagai berikut:

1. Penguji 1. Bp. Dr. Sunaryo Anis, MT
2. Pembimbing 1 : Bp. Dr. Hari Yudiono, MT
3. ~~Pembimbing~~ Penguji 2 : Bp. Dr. Sungoto, MSi

Semarang, 13/5/19
Koordinator Prodi Pend. Teknik Mesin S1

Rusiyanto, SPd, MT
NIP. 19740321 1999031002

dan telah memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Bukti pernah mengikuti seminar proposal minimal 5 kali
2. Selesai bimbingan proposal
3. Pengumuman undangan mahasiswa (sesuai format)
4. Lembar presensi peserta
5. Ringkasan proposal untuk peserta seminar

Semarang, 15 Mei 2019
Petugas Administrasi,

Vita Yuliana

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
Gedung Dekanat Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
Telepon/Fax (024) 8508101 - 8508009
Laman : http://www.ft.unnes.ac.id, email: ft@mail.unnes.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 4995 /UN37.1.5/TU/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang memberi tugas kepada Saudara yang namanya tersebut di bawah ini sebagai Penguji Seminar Proposal Skripsi Mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Adapun nama-namanya sebagai berikut:

No	Nama / NIP	Pangkat / Golru	Tugas
1	Samsudin Anis, S.T., M.T., P.hD. 197601012003121002	Penata Tk. I, III/d	Penguji 1
2	Drs. Sunyoto, M.Si. 196511051991021001	Pembina Tk. I, IV/b	Penguji 2
3	Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T. 196707261993031003	Pembina, IV/a	Pembimbing

untuk menguji mahasiswa :

Nama : Wildan Shofiyandi
NIM : 5201415019
Prodi : S1 Pendidikan Teknik Mesin
Topik : PERBEDAAN PENGGUNAAN METODE MINIMUM QUANTITY LUBRICATION (MQL) DAN METODE WET MANCHING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN LOGAM PADUAN AL-CU PADA PROSES CNC MILLING

Waktu : Senin, 20 Mei 2019
Jam : 09.00 WIB-selesai
Tempat : Gedung E9, Ruang Seminar, Lantai 2
Pakaian : Hitam Putih Jas Almamater

Demikian agar tugas dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Semarang, 15 Mei 2019
Dekan

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

Tembusan :
1. Wakil Dekan Bidang II;
2. Ketua Jurusan TM;
3. Kasubbag Keuangan,

Fakultas Teknik UNNES

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
Gedung E9, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang. 50229
Telepon/Fax: 024-8508101
Laman: http://mesin.unnes.ac.id; E-mail: teknik.mesin@mail.unnes.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN SELESAI REVISI PROPOSAL SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji Skripsi mahasiswa:

Nama	: Wildan Shofiyandi
NIM	: 5201415019
Prodi	: Pendidikan Teknik Mesin, S1

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah SELESAI melaksanakan revisi porosal yang berjudul:

"PERBEDAAN PENGGUNAAN METODE *MINIMUM QUANTITY LUBRICANTION* (MQL) DAN METODE *WET MACHINING* TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN LOGAM PADUAN Al-Cu PADA PROSES CNC *MILLING*"

Dan penelitian tersebut siap untuk dilaksanakan.

Semarang, 2019

Calon Dosen Penguji 1

Samsudin Anis,S.T, M.T., Ph.D.

NIP. 197601012003121002

Calon Dosen Penguji 2

Drs. Sunyoto, M.Si..

NIP. 196511051991021001

Dosen Pembimbing

Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T.

NIP. . 196707261993031003

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
Gedung Dekanat FT, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang
Telepon (024) 8508101, Faksimile (024) 8508009
Laman: http://ft.unnes.ac.id, surel: ft@mail.unnes.ac.id

Nomor : B/12719/UN37.1.5/LT/2019 16 Oktober 2019
Hal : Izin Penelitian

Yth. Kepala Laboratorium Teknik Mesin Unnes
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan hormat, bersama ini kami sampaikan bahwa mahasiswa di bawah ini:

Nama	: Wildan Shofiyandi
NIM	: 5201415019
Program Studi	: Pendidikan Teknik Mesin, S1
Semester	: Gasal
Tahun akademik	: 2019-2020
Judul	: Pengaruh Penggunaan metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) terhadap Distribusi Kekerasan Al-Zn-Mg-Cu

Kami mohon yang bersangkutan diberikan izin untuk melaksanakan penelitian skripsi di perusahaan atau instansi yang Saudara pimpin, dengan alokasi waktu 16 Oktober- 16 November 2019.

Atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami mengucapkan terima kasih.

a.n. Dekan FT
Wakil Dekan Bid. Akademik,

Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.
NIP 197805312005011002

Tembusan:
Dekan FT;
Universitas Negeri Semarang

Nomor Agenda Surat : 712 874 847 5

Sistem Informasi Surat Dinas - UNNES (2019-10-16 11:08:25)

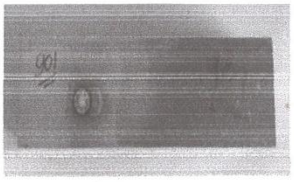
POLITEKNIK MANUFAKTUR CEPER
LABORATORIUM LOGAM CEPER
Batur, Tegalrejo, Ceper, Klaten 57465 - Jawa Tengah,Telp./Fax. (0272) 552968
Website : www.polmanceper.ac.id; E-mail : lab_polmanceper@yahoo.co.id

LAPORAN PENGUJIAN

Nomor : 362/UJI/SPMS/IX/2019
Pelanggan : **Wildan Shofiyandi**
NIM 5201415019
Univ. Negeri Semarang
Ket.Sampel : Langsung Produk
Hasil :

Jenis Pengujian : Komposisi Kimia
Tanggal Diterima : 19 September 2019
Tanggal Pengujian : 19 September 2019
Program : Aluminium

UNSUR	SAMPEL UJI	
	19/S901 (%)	Deviasi
Al	94,27	0,2669
Si	<0,0500	<0,0000
Fe	<0,0500	<0,0000
Cu	0,254	0,0036
Mn	<0,0200	<0,0000
Mg	0,348	0,0261
Cr	<0,0150	<0,0000
Ni	1,05	0,159
Zn	3,49	0,0604
Sn	<0,0500	<0,0000
Ti	<0,0100	<0,0000
Pb	<0,0300	<0,0000
Be	0,0006	0,0001
Ca	0,0028	0,0001
Sr	<0,0005	<0,0000
V	*0,377	*0,0545
Zr	<0,0030	<0,0000



Klaten, 20 September 2019
Manajer Teknik

Lutiyatmi, ST., MT.

Laporan ini tidak boleh digandakan sebagian
Laporan pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji

Menguasai Logam Menguasai Dunia

POLITEKNIK MANUFAKTUR CEPER

LABORATORIUM LOGAM CEPER - KLATEN
Batur, Tegalrejo, Ceper - Klaten 57465
Jawa - Tengah, Indonesia
Telp. +62 272 - 552 968 ; Fax. +62 272 - 555 423
E-mail : polman@polmanceper.ac.id
website : http://www.polmanceper.ac.id

Jam : 12:35
Tanggal : 19/09/2019

Sample : 19/S901
Alloy : Aluminium

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Pb	Be	Ca	Sr	V	Zr
94.02	<0.050	<0.050	0.258	<0.020	0.357	<0.015	1.17	3.55	<0.050	<.0100	<0.030	.0005	.0029	<.0005	*0.435	<.0030
94.23	<0.050	<0.050	0.251	<0.020	0.369	<0.015	1.10	3.50	<0.050	<.0100	<0.030	.0007	.0029	<.0005	*0.327	<.0030
94.55	<0.050	<0.050	0.253	<0.020	0.319	<0.015	0.867	3.43	<0.050	<.0100	<0.030	.0006	.0028	<.0005	*0.368	<.0030

Mean.

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Pb	Be	Ca	Sr	V	Zr
94.27	<.0500	<.0500	0.254	<.0200	0.348	<.0150	1.05	3.49	<.0500	<.0100	<.0300	.0006	.0028	<.0005	*0.377	<.0030

Dev.

.2669	<.0000	<.0000	.0036	<.0000	.0261	<.0000	0.159	.0604	<.0000	<.0000	<.0000	.0001	.0001	<.0000	*.0545	<.0000

POLITEKNIK MANUFAKTUR CEPER

Lampiran7

163 P= 100gf d1= 30.28 d2= 30.73 HV=199
.3
164 P= 100gf d1= 31.36 d2= 31.70 HV=186
.5
165 P= 100gf d1= 32.25 d2= 32.66 HV=176
.1
166 P= 100gf d1= 32.88 d2= 33.00 HV=170
.9
167 P= 100gf d1= 33.13 d2= 33.37 HV=167
.7
168 P= 100gf d1= 33.36 d2= 33.45 HV=166
.2
169 P= 100gf d1= 33.67 d2= 33.67 HV=163
.6
170 P= 100gf d1= 33.97 d2= 33.76 HV=161
.7
171 P= 100gf d1= 34.15 d2= 33.95 HV=160
.0
172 P= 100gf d1= 34.34 d2= 34.53 HV=156
.4

32 P= 100gf d1= 29.69 d2= 29.53 HV=211.
5
33 P= 100gf d1= 29.92 d2= 31.38 HV=197.
4
34 P= 100gf d1= 30.63 d2= 30.49 HV=198.
6
35 P= 100gf d1= 33.52 d2= 30.23 HV=182.
5
36 P= 100gf d1= 31.83 d2= 32.33 HV=180.
2
37 P= 100gf d1= 32.17 d2= 30.51 HV=188.
8
38 P= 100gf d1= 31.61 d2= 31.61 HV=185.
6
39 P= 100gf d1= 32.09 d2= 32.84 HV=176.
0
40 P= 100gf d1= 33.35 d2= 33.34 HV=166.
8
41 P= 100gf d1= 33.06 d2= 33.82 HV=165

143 P= 100gf d1= 30.34 d2= 30.56 HV=200
.0
144 P= 100gf d1= 31.54 d2= 31.74 HV=185
.2
145 P= 100gf d1= 32.37 d2= 32.25 HV=177
.6
146 P= 100gf d1= 32.78 d2= 32.95 HV=171
.7
147 P= 100gf d1= 33.08 d2= 33.31 HV=168
.3
148 P= 100gf d1= 33.34 d2= 33.39 HV=166
.6
149 P= 100gf d1= 33.55 d2= 33.64 HV=164
.3
150 P= 100gf d1= 33.87 d2= 33.61 HV=162
.9
151 P= 100gf d1= 34.01 d2= 34.05 HV=160
.1
152 P= 100gf d1= 34.25 d2= 34.04 HV=159

Scanned with CamScanner

52 P= 100gf d1= 30.75 d2= 30.93 HV=195.
0
53 P= 100gf d1= 31.96 d2= 30.90 HV=187.
7
54 P= 100gf d1= 31.74 d2= 32.72 HV=178.
5
55 P= 100gf d1= 32.93 d2= 33.69 HV=167.
1
56 P= 100gf d1= 32.07 d2= 32.61 HV=177.
3
57 P= 100gf d1= 32.88 d2= 33.37 HV=169.
0
58 P= 100gf d1= 33.39 d2= 33.95 HV=163.
6
59 P= 100gf d1= 34.06 d2= 34.10 HV=159.
7
60 P= 100gf d1= 34.29 d2= 34.61 HV=156.
3
61 P= 100gf d1= 34.78 d2= 34.80 HV=153.
2

Scanned with CamScanner

36 P= 100gf d1= 29.10 d2= 29.10 HV=219.
0
37 P= 100gf d1= 29.84 d2= 30.01 HV=207.
1
38 P= 100gf d1= 30.15 d2= 30.44 HV=202.
1
39 P= 100gf d1= 30.98 d2= 31.04 HV=192.
9
40 P= 100gf d1= 31.12 d2= 31.53 HV=189.
0
41 P= 100gf d1= 31.16 d2= 31.04 HV=191.
7
42 P= 100gf d1= 31.44 d2= 31.64 HV=186.
4
43 P= 100gf d1= 31.81 d2= 31.71 HV=183.
9
44 P= 100gf d1= 31.93 d2= 31.98 HV=181.
6
45 P= 100gf d1= 32.00 d2= 32.15 HV=180.
3
46 P= 100gf d1= 32.28 d2= 32.09 HV=179.

22 P= 100gf d1= 28.95 d2= 29.72 HV=215.
5
23 P= 100gf d1= 29.96 d2= 29.63 HV=208.
9
24 P= 100gf d1= 30.55 d2= 30.99 HV=195.
9
25 P= 100gf d1= 30.93 d2= 30.99 HV=193.
5
26 P= 100gf d1= 31.13 d2= 29.97 HV=198.
7
27 P= 100gf d1= 30.20 d2= 31.28 HV=196.
3
28 P= 100gf d1= 32.28 d2= 31.29 HV=183.
6
29 P= 100gf d1= 32.30 d2= 35.19 HV=162.
9
30 P= 100gf d1= 35.01 d2= 32.22 HV=164.
1
31 P= 100gf d1= 32.21 d2= 33.62 HV=171.
2

16 P= 100gf d1= 29.10 d2= 29.46 HV=216.
3
17 P= 100gf d1= 29.58 d2= 29.58 HV=211.
9
18 P= 100gf d1= 30.22 d2= 30.14 HV=203.
6
19 P= 100gf d1= 31.10 d2= 30.94 HV=192.
7
20 P= 100gf d1= 31.12 d2= 31.02 HV=192.
1
21 P= 100gf d1= 31.43 d2= 31.76 HV=185.
8
22 P= 100gf d1= 31.78 d2= 32.03 HV=182.
2
23 P= 100gf d1= 32.08 d2= 32.26 HV=179.
2
24 P= 100gf d1= 32.90 d2= 32.98 HV=170.
9

Scanned with CamScanner

183 P= 100gf d1= 30.61 d2= 30.73 HV=197
.2
184 P= 100gf d1= 31.41 d2= 31.89 HV=185
.1
185 P= 100gf d1= 32.37 d2= 32.64 HV=175
.5
186 P= 100gf d1= 32.86 d2= 33.03 HV=170
.9
187 P= 100gf d1= 33.21 d2= 32.99 HV=169
.3
188 P= 100gf d1= 33.64 d2= 33.36 HV=165
.2
189 P= 100gf d1= 33.58 d2= 33.81 HV=163
.3
190 P= 100gf d1= 33.95 d2= 34.09 HV=160
.2
191 P= 100gf d1= 34.18 d2= 34.05 HV=159
.3
192 P= 100gf d1= 34.26 d2= 34.44 HV=157

Scanned with CamScanner

285 P= 100gf d1= 30.08 d2= 30.21 HV=204
.1
286 P= 100gf d1= 30.58 d2= 30.82 HV=196
.8
287 P= 100gf d1= 31.00 d2= 31.12 HV=192
.2
288 P= 100gf d1= 31.74 d2= 31.84 HV=183
.5
289 P= 100gf d1= 32.17 d2= 31.96 HV=180
.4
290 P= 100gf d1= 32.33 d2= 32.64 HV=175
.7
291 P= 100gf d1= 32.66 d2= 32.[illegible] HV=173
.4
292 P= 100gf d1= 33.38 d2= 32.94 HV=168
.7
293 P= 100gf d1= 33.42 d2= 33.72 HV=164
.6
294 P= 100gf d1= 34.09 d2= 33.81 HV=160
.9

265 P= 100gf d1= 30.03 d2= 30.14 HV=204
.9
266 P= 100gf d1= 30.68 d2= 30.83 HV=196
.1
267 P= 100gf d1= 31.22 d2= 30.90 HV=192
.2
268 P= 100gf d1= 31.58 d2= 31.72 HV=185
.1
269 P= 100gf d1= 32.10 d2= 31.83 HV=181
.5
270 P= 100gf d1= 32.56 d2= 32.17 HV=177
.0
271 P= 100gf d1= 32.50 d2= 32.70 HV=174
.5
272 P= 100gf d1= 33.22 d2= 33.02 HV=169
.1
273 P= 100gf d1= 33.33 d2= 33.73 HV=165
.0
274 P= 100gf d1= 33.84 d2= 34.03 HV=161
.0

71 P= 100gf d1= 29.00 d2= 28.89 HV=221.
4
72 P= 100gf d1= 29.40 d2= 29.62 HV=213.
0
73 P= 100gf d1= 29.77 d2= 29.99 HV=207.
7
74 P= 100gf d1= 30.09 d2= 30.12 HV=204.
6
75 P= 100gf d1= 30.14 d2= 30.48 HV=201.
9
76 P= 100gf d1= 30.83 d2= 30.90 HV=194.
7
77 P= 100gf d1= 31.26 d2= 31.30 HV=189.
5
78 P= 100gf d1= 31.71 d2= 31.94 HV=183.
1
79 P= 100gf d1= 31.70 d2= 31.88 HV=183.
5
80 P= 100gf d1= 32.04 d2= 32.13 HV=180.

Scanned with CamScanner

91 P= 100gf d1= 29.06 d2= 29.06 HV=219.
6
92 P= 100gf d1= 29.38 d2= 29.54 HV=213.
7
93 P= 100gf d1= 29.66 d2= 29.66 HV=210.
8
94 P= 100gf d1= 29.91 d2= 29.98 HV=206.
8
95 P= 100gf d1= 30.10 d2= 30.15 HV=204.
3
96 P= 100gf d1= 30.37 d2= 30.49 HV=200.
3
97 P= 100gf d1= 30.35 d2= 30.76 HV=198.
6
98 P= 100gf d1= 31.15 d2= 31.53 HV=188.
8
99 P= 100gf d1= 31.86 d2= 31.89 HV=182.
5
100 P= 100gf d1= 32.10 d2= 32.33 HV=17[illegible]

Scanned with CamScanner

Lampiran7

81 P= 100gf d1= 29.09 d2= 28.91 HV=220.
5
82 P= 100gf d1= 29.18 d2= 29.26 HV=217.
2
83 P= 100gf d1= 29.58 d2= 29.63 HV=211.
6
84 P= 100gf d1= 29.85 d2= 29.78 HV=208.
6
85 P= 100gf d1= 30.08 d2= 30.04 HV=205.
2
86 P= 100gf d1= 30.36 d2= 30.55 HV=199.
9
87 P= 100gf d1= 30.97 d2= 31.03 HV=193.
0
88 P= 100gf d1= 31.16 d2= 31.49 HV=189.
0
89 P= 100gf d1= 31.89 d2= 31.92 HV=182.
2
90 P= 100gf d1= 32.03 d2= 32.43 HV=178.
5

06 P= 100gf d1= 29.14 d2= 30.23 HV=210.
5
07 P= 100gf d1= 29.44 d2= 31.05 HV=202.
7
08 P= 100gf d1= 30.10 d2= 31.17 HV=197.
6
09 P= 100gf d1= 30.77 d2= 31.05 HV=194.
1
10 P= 100gf d1= 31.00 d2= 31.19 HV=191.
8
11 P= 100gf d1= 31.05 d2= 31.46 HV=189.
8
12 P= 100gf d1= 32.01 d2= 32.95 HV=175.
8
13 P= 100gf d1= 33.11 d2= 31.83 HV=175.
9
14 P= 100gf d1= 31.99 d2= 31.97 HV=181.
3

15 P= 100gf d1= 32.09 d2= 31.26 HV=184.

Scanned with CamScanner

92 P= 100gf d1= 30.52 d2= 30.88 HV=196.
8
93 P= 100gf d1= 30.40 d2= 30.64 HV=199.
1
94 P= 100gf d1= 30.60 d2= 31.28 HV=193.
7
95 P= 100gf d1= 30.36 d2= 31.89 HV=191.
4
96 P= 100gf d1= 31.83 d2= 31.54 HV=184.
7
97 P= 100gf d1= 31.99 d2= 32.32 HV=179.
4
98 P= 100gf d1= 32.43 d2= 32.67 HV=175.
0
99 P= 100gf d1= 33.54 d2= 33.76 HV=163.
8
99 P= 100gf d1= 33.84 d2= 34.26 HV=160.
0
101 P= 100gf d1= 34.18 d2= 34.28 HV=158
.3

275 P= 100gf d1= 30.08 d2= 30.16 HV=204
.4
276 P= 100gf d1= 30.52 d2= 30.95 HV=196
.3
277 P= 100gf d1= 31.13 d2= 31.02 HV=192
.0
278 P= 100gf d1= 31.44 d2= 31.85 HV=185
.2
279 P= 100gf d1= 32.02 d2= 31.91 HV=181
.5
280 P= 100gf d1= 32.32 d2= 32.56 HV=176
.2
281 P= 100gf d1= 32.57 d2= 32.85 HV=173
.3
282 P= 100gf d1= 33.31 d2= 33.10 HV=168
.2
283 P= 100gf d1= 33.56 d2= 33.54 HV=164
.8
284 P= 100gf d1= 33.80 d2= 34.02 HV=161

Scanned with CamScanner

193 P= 100gf d1= 30.30 d2= 30.84 HV=198
.4
194 P= 100gf d1= 31.33 d2= 31.77 HV=186
.3
195 P= 100gf d1= 32.29 d2= 32.65 HV=175
.9
196 P= 100gf d1= 32.97 d2= 33.27 HV=169
.1
197 P= 100gf d1= 33.37 d2= 33.17 HV=167
.5
198 P= 100gf d1= 33.67 d2= 33.38 HV=165
.0
199 P= 100gf d1= 33.84 d2= 33.43 HV=163
.9
200 P= 100gf d1= 34.01 d2= 33.67 HV=161
.9
201 P= 100gf d1= 33.90 d2= 34.27 HV=159
.6
202 P= 100gf d1= 34.37 d2= 34.04 HV=158
.5

173 P= 100gf d1= 30.60 d2= 30.34 HV=199
.7
174 P= 100gf d1= 31.67 d2= 31.76 HV=184
.4
175 P= 100gf d1= 32.13 d2= 32.75 HV=176
.2
176 P= 100gf d1= 33.03 d2= 32.66 HV=171
.9
177 P= 100gf d1= 33.26 d2= 33.02 HV=168
.9
178 P= 100gf d1= 33.48 d2= 33.48 HV=165
.4
179 P= 100gf d1= 33.61 d2= 33.38 HV=165
.3
180 P= 100gf d1= 33.91 d2= 33.75 HV=162
.0
181 P= 100gf d1= 34.08 d2= 34.26 HV=158
.8
182 P= 100gf d1= 34.44 d2= 34.09 HV=158
.0

26 P= 100gf d1= 28.83 d2= 29.41 HV=218.
7
27 P= 100gf d1= 29.20 d2= 29.29 HV=216.
8
28 P= 100gf d1= 29.68 d2= 30.05 HV=207.
9
29 P= 100gf d1= 30.30 d2= 30.16 HV=202.
9
30 P= 100gf d1= 30.48 d2= 30.44 HV=199.
9
31 P= 100gf d1= 30.75 d2= 30.96 HV=194.
8
32 P= 100gf d1= 30.96 d2= 31.10 HV=192.
6
33 P= 100gf d1= 30.66 d2= 30.94 HV=195.
5

12 P= 100gf d1= 31.28 d2= 30.81 HV=192.
4
13 P= 100gf d1= 30.81 d2= 29.28 HV=205.
4
14 P= 100gf d1= 30.83 d2= 29.79 HV=201.
9
15 P= 100gf d1= 30.71 d2= 31.07 HV=194.
4
16 P= 100gf d1= 30.87 d2= 31.04 HV=193.
5
17 P= 100gf d1= 32.35 d2= 30.68 HV=186.
7
18 P= 100gf d1= 31.89 d2= 31.98 HV=181.
8
19 P= 100gf d1= 32.18 d2= 31.53 HV=182.
8
20 P= 100gf d1= 32.30 d2= 31.52 HV=182.
1
21 P= 100gf d1= 32.63 d2= 30.82 HV=184.
3

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Lampiran7

101 P= 100gf d1= 29.09 d2= 29.13 HV=218
.8
102 P= 100gf d1= 29.22 d2= 29.69 HV=213
.8
103 P= 100gf d1= 29.78 d2= 29.63 HV=210
.2
104 P= 100gf d1= 29.91 d2= 29.97 HV=206
.9
105 P= 100gf d1= 30.07 d2= 30.07 HV=205
.1
106 P= 100gf d1= 30.50 d2= 30.69 HV=198
.1
107 P= 100gf d1= 30.38 d2= 30.53 HV=199
.9
108 P= 100gf d1= 31.02 d2= 31.04 HV=192
.6
109 P= 100gf d1= 31.80 d2= 31.85 HV=183
1
[illegible] P= 100gf d1= 32.01 d2= 32.29 HV=179

213 P= 100gf d1= 30.13 d2= 30.35 HV=202
.8
214 P= 100gf d1= 30.59 d2= 30.40 HV=199
.4
215 P= 100gf d1= 30.86 d2= 31.02 HV=193
.7
216 P= 100gf d1= 31.45 d2= 31.76 HV=185
.7
217 P= 100gf d1= 31.78 d2= 32.02 HV=182
.2
218 P= 100gf d1= 32.06 d2= 32.37 HV=178
.7
219 P= 100gf d1= 32.59 d2= 32.26 HV=176
.4
220 P= 100gf d1= 32.86 d2= 33.02 HV=170
.9
221 P= 100gf d1= 33.39 d2= 33.12 HV=167
.7
222 P= 100gf d1= 33.60 d2= 33.84 HV=163
.1

153 P= 100gf d1= 30.55 d2= 30.76 HV=197
.3
154 P= 100gf d1= 31.76 d2= 31.58 HV=184
.9
155 P= 100gf d1= 32.25 d2= 32.51 HV=176
.9
156 P= 100gf d1= 32.83 d2= 32.99 HV=171
.2
157 P= 100gf d1= 33.18 d2= 33.29 HV=167
.9
158 P= 100gf d1= 33.49 d2= 33.24 HV=166
.6
159 P= 100gf d1= 33.66 d2= 33.54 HV=164
.3
160 P= 100gf d1= 33.87 d2= 34.00 HV=161
.0
161 P= 100gf d1= 34.16 d2= 33.95 HV=159
.9
162 P= 100gf d1= 34.16 d2= 34.47 HV=157
.5

Scanned with CamScanner

243 P= 100gf d1= 30.08 d2= 29.95 HV=205
.9
244 P= 100gf d1= 30.85 d2= 30.73 HV=195
.6
245 P= 100gf d1= 30.86 d2= 31.14 HV=193
.0
246 P= 100gf d1= 31.43 d2= 31.74 HV=185
.9
247 P= 100gf d1= 31.88 d2= 31.75 HV=183
.2
248 P= 100gf d1= 32.36 d2= 32.20 HV=178
.0
249 P= 100gf d1= 32.69 d2= 31.48 HV=180
.1
250 P= 100gf d1= 33.17 d2= 33.40 HV=167
.4
251 P= 100gf d1= 33.48 d2= 33.27 HV=166
.5
252 P= 100gf d1= 33.81 d2= 33.99 HV=161
.4

Scanned with CamScanner

62 P= 100gf d1= 30.87 d2= 30.64 HV=196.
1
63 P= 100gf d1= 31.97 d2= 31.68 HV=183.
1
64 P= 100gf d1= 32.12 d2= 34.00 HV=169.
7
65 P= 100gf d1= 32.85 d2= 31.98 HV=176.
5
66 P= 100gf d1= 32.38 d2= 33.32 HV=171.
9
67 P= 100gf d1= 33.01 d2= 32.76 HV=171.
5
68 P= 100gf d1= 33.10 d2= 33.18 HV=168.
9
69 P= 100gf d1= 33.48 d2= 34.54 HV=160.
3
70 P= 100gf d1= 34.26 d2= 34.42 HV=157.
3
71 P= 100gf d1= 34.64 d2= 35.33 HV=151.

Scanned with CamScanner

42 P= 100gf d1= 31.04 d2= 30.84 HV=193.
7
43 P= 100gf d1= 31.37 d2= 31.44 HV=188.

Scanned with CamScanner

40 P= 100gf d1= 30.86 d2= 31.19 HV=192.
7
41 P= 100gf d1= 31.33 d2= 31.52 HV=187.
8

Scanned with CamScanner

253 P= 100gf d1= 32.53 d2= 32.66 HV=174
.6
254 P= 100gf d1= 33.12 d2= 31.94 HV=175

Scanned with CamScanner

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1		2µm	220,1	220,2	219,5	219,93
2		4µm	215,9	217,6	216,4	216,53
3		6µm	210,3	211,3	212,2	211,27
4		8µm	207,6	209,3	207	207,97
5	Dry Machining	10µm	204,5	204,3	204,3	204,37
6	Spesimen 1	12µm	199,2	198,8	199,6	199,2
7		14µm	193,2	194,2	192,8	193,4
8		16µm	188,9	188,4	188,4	188,57
9		18µm	181,4	182,6	181,8	181,93
10		20µm	179,9	177,2	178,4	178,5

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1		2µm	220,1	219,6	221,4	220,37
2		4µm	210,2	213,2	213	212,13
3		6µm	208,9	208,3	207,7	208,3
4		8µm	206,5	205,9	204,6	205,67
5	Dry Machining	10µm	202,5	203,1	201,9	202,5
6	Spesimen 2	12µm	197,3	196,8	196,3	196,8
7		14µm	193,7	192,7	193,8	193,4
8		16µm	188	187,8	188,5	188,1
9		18µm	181,5	181.4	183,1	182
10		20µm	179,8	179,6	180,1	179,83

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	Dry Machining Spesimen 3	2µm	220,5	219,6	218,8	219,6
2		4µm	211,5	213,7	213,8	213
3		6µm	211,6	210,8	210,2	210,87
4		8µm	208,6	206,8	206,9	207.43
5		10µm	205,2	204,3	205,1	204,87
6		12µm	199,9	198,6	199,9	199,47
7		14µm	193,5	193	192,6	193,03
8		16µm	189,0	188,8	186,7	188,17
9		18µm	182,2	182,5	183,1	182,6
10		20µm	178,5	178,7	179,4	178,87

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	Dry Machining	2µm	219,93	220,37	219,6	219,87
2		4µm	216,53	212,13	213	213,89
3		6µm	211,27	208,3	210,87	210,11
4		8µm	207,97	205,67	207.43	207,02
5		10µm	204,37	202,5	204,87	203,91
6		12µm	199,2	196,8	199,47	198,49
7		14µm	193,4	193,4	193,03	193,28
8		16µm	188,57	188,1	188,17	188,28
9		18µm	181,93	182	182,6	182,18
10		20µm	178,5	179,83	178,87	179,07

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	Wet Machining Spesimen 1	2µm	198,6	199,3	198,9	198,93
2		4µm	185,8	184,8	184,0	184,87
3		6µm	181,5	178,1	178,8	179,47
4		8µm	170,4	170,4	170,7	170,5
5		10µm	169,1	167,8	169,2	168,7
6		12µm	165,6	166,9	167,6	166,7
7		14µm	163,9	165,3	166,1	165,9
8		16µm	162,6	162,4	162,7	162,57
9		18µm	160,6	160,5	161,5	160,87
10		20µm	158,6	159,4	159,7	159,23

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	Wet Machining Spesimen 2	2µm	200	199,3	197,3	198,87
2		4µm	185,2	186,5	184,9	185,53
3		6µm	177,6	176,1	176,9	176,87
4		8µm	171,7	170,9	171,2	171,27
5		10µm	168,3	167,7	167,9	167,97
6		12µm	166,6	166,2	166,6	166,47
7		14µm	164,3	163,6	164,3	164,07
8		16µm	162,9	161,7	161	161,87
9		18µm	160,1	160	159,9	160
10		20µm	159,1	156,4	157,5	157,67

Lampiran 8

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1		2µm	198,4	199,7	197,2	198,43
2		4µm	186,3	184,4	185,1	185,27
3		6µm	175,9	176,2	175,5	175,87
4		8µm	169,1	171,9	170,9	170,63
5	Wet Machining	10µm	167,5	168,9	169,3	168,57
6	Spesimen 3	12µm	165	165,4	165,2	165,2
7		14µm	163,9	165,3	163,3	164,13
8		16µm	161,9	162	160,2	161,37
9		18µm	159,6	158,8	159,3	159,23
10		20µm	158,5	158	157,2	157,9

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1		2µm	198,93	198,87	198,43	198,74
2		4µm	184,87	185,53	185,27	185,22
3		6µm	179,47	176,87	175,87	177,4
4		8µm	170,5	171,27	170,63	170,8
5	Wet Machining	10µm	168,7	167,97	168,57	168,41
6		12µm	166,7	166,47	165,2	166,12
7		14µm	165,9	164,07	164,13	164,7
8		16µm	162,57	161,87	161,37	161,94
9		18µm	160,87	160	159,23	160,03
10		20µm	159,23	157,67	157,9	158,26

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	MQL Spesimen 1	2µm	203,8	202,8	204,2	203,6
2		4µm	202,1	199,4	198,6	200,03
3		6µm	193,2	193,7	195,2	194,03
4		8µm	185,8	185,7	188,1	186,53
5		10µm	182,2	182,2	183,3	182,57
6		12µm	179,3	178,7	180,1	179,37
7		14µm	176,1	176,4	176,8	176,43
8		16µm	171,4	170,9	171,2	171,17
9		18µm	166,2	167,7	167,2	167,03
10		20µm	161,9	163,1	163,4	162,8

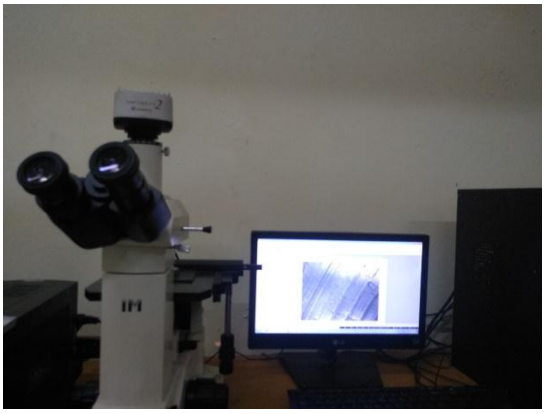
No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	MQL Spesimen 2	2µm	205,9	204,3	204,4	204,87
2		4µm	195,6	197	196,6	196,4
3		6µm	193	192	193,5	192,83
4		8µm	185,9	186,3	186,2	186,13
5		10µm	183,2	181,4	183	182,53
6		12µm	178	178,5	178,1	178,2
7		14µm	175,3	174,4	174,7	174,8
8		16µm	174,6	170,9	171	172,17
9		18µm	166,5	166,5	168,1	167,03
10		20µm	161,4	161,6	162,9	161,97

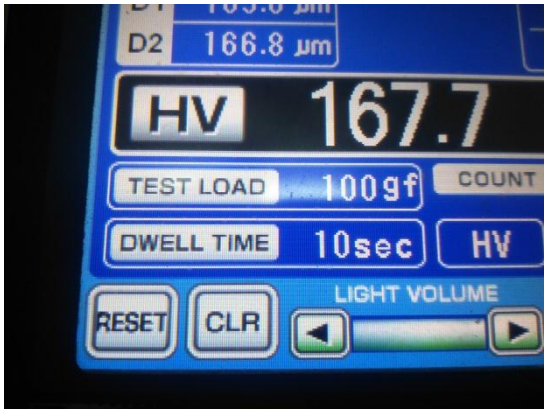
Lampiran 8

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	MQL Spesimen 3	2µm	204,9	204,1	204,4	204,47
2		4µm	196,1	196,8	196,3	196,4
3		6µm	192,2	192,2	192	192,13
4		8µm	185,1	183,5	185,2	184,6
5		10µm	181,5	180,4	181,5	181,13
6		12µm	177	175,7	176,2	176,3
7		14µm	174,5	173,4	173,3	173,73
8		16µm	169,1	168,7	168,2	168,67
9		18µm	165	164,6	164,8	164,8
10		20µm	161	160,9	161,3	161,07

No	Metode	Jarak	Distribusi Kekerasan Benda (HV)			
			1	2	3	Rata-rata
1	MQL	2µm	203,6	204,87	204,47	204,31
2		4µm	200,03	196,4	196,4	197,61
3		6µm	194,03	192,83	192,13	192,99
4		8µm	186,53	186,13	184,6	185,75
5		10µm	182,57	182,53	181,13	182,08
6		12µm	179,37	178,2	176,3	177,96
7		14µm	176,43	174,8	173,73	174,99
8		16µm	171,17	172,17	168,67	170,67
9		18µm	167,03	167,03	164,8	166,29
10		20µm	162,8	161,97	161,07	161,95

Lampiran 9




D2
166.8 µm
HV
167.7
TEST LOAD
100gf
COUNT
DWELL TIME
10sec
HV
LIGHT VOLUME
RESET
CLR