# APLIKASI *BOX BEHNKEN DESIGN* UNTUK OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN BUBUT MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN PAHAT PUTAR DAN UDARA DINGIN BERTEKANAN

(Skripsi)

**Oleh**

**OPI SUMARDI**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2018**

## ABSTRACT

## APPLICATIONS BOX BEHNKEN DESIGN FOR OPTIMIZATION PARAMETER MACHINING PROCESS MAGNESIUM AZ31 USING MODULAR ROTARY TOOL AND COLD AIR PRESSURE

**By**

**OPI SUMARDI**

Magnesium alloy AZ31 is one of the most popular alloy metal. Magnesium alloy is used in electric appliance, sport equipment, biomedic and automotive industry. The one of which machining process Magnesium alloy AZ31 is the lathe process. This research is to optimize cutting speed (Cs), rotary tools speed (RTs), and feeding (f) to surface roughness value. In addition, the study also obtained a mathematical model of optimal surface roughness values at lathe machining magnesium alloy AZ31 using modular rotary tools and pressurized cold air.

This research uses Response Surface Methode Box Behnken Design, with three factors and three levels. Based on Box-Behnken Design, this research data was conducted 15 experiments.

The result of the analysis shows, the optimum value of surface roughness magnesium alloy AZ31 process using Response Surface Methode Box Behnken Design is at variable cutting speed (Cs) of 80 m/min, feeding (f) 0.2 mm/rev and modular rotary tools speed (RTs) is 25 m/min, the value of Ra obtained is 0.55 μm. As for the mathematical modeling obtained is Ra = 2,12 - 0,0242 Cs - 3,9 f + 0,0108 RTs + 0,000105 Cs*Cs - 26,8 f*f -0,000271 RTs*RTs + 0,0621 Cs*f - 0,000027 Cs*RTs + 0,1027 f*RTs.



Keywords : Optimization, Magnesium Alloy AZ31, Box Behnken Design, Modular Rotary Tools, Pressurized Cold Air.

## ABSTRAK

## APLIKASI *BOX BEHNKEN DESIGN* UNTUK OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN BUBUT MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN PAHAT PUTAR DAN UDARA DINGIN BERTEKANAN

**Oleh**

**OPI SUMARDI**

Paduan logam Magnesium AZ31 adalah salah satu jenis logam paduan yang penggunaanya semakin berkembang. Pekembangan penggunaan logam paduan Magnesium AZ31 digunakan pada alat-alat listrik, alat olah raga, biomedik dan industri otomotif. Salah satu proses pemesinan pada Magnesium AZ31 adalah proses pembubutan. Penelitian ini ditujukan untuk mengoptimasi kecepatan potong (Cs), kecepatan putar pahat (RTs), dan gerak makan (f) terhadap nilai kekasaran permukaan. Selain itu, juga untuk mendapatkan model matematik nilai kekasaran permukaan yang optimal pada pemesinan bubut material magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan secara bersamaan.

Penelitian ini menggunakan *Responce Surface Methode* yaitu *Box Behnken Design*, dengan tiga faktor dan tiga level. Berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design*, data penelitian ini dilakukan 15 kali percobaan.

Hasil analisa menunjukan bahwa nilai optimum kekasaran permukaan pada proses pembubutan paduan Magnesium AZ31 menggunakan *Responce Surface Methode Box-Behnken Design* adalah pada variabel kecepatan potong (Cs) 80 m/min, gerak makan (f) 0.2 mm/rev dan kecepatan modulur pahat putar adalah (RTs) 25 m/min dengan nilai Ra yang didapat sebesar 0.55 μm. Sedangkan untuk pemodelan matematik yang diperoleh adalah Ra = 2,12 - 0,0242 Cs - 3,9 f + 0,0108 RTs + 0,000105 Cs*Cs - 26,8 f*f -0,000271 RTs*RTs + 0,0621 Cs*f - 0,000027 Cs*RTs + 0,1027 f*RTs



Kata kunci : Optimasi, Magnesium AZ31, *Box-Behnken Design*, Pahat Putar, Udara Dingin Bertekanan.

**APLIKASI *BOX BEHNKEN DESIGN* UNTUK OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN BUBUT MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN PAHAT PUTAR DAN UDARA DINGIN BERTEKANAN**

**Oleh**

**OPI SUMARDI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar**

**SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITSA LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2018**

| | | |
|---|---|---|
| Judul Skripsi | : | **APLIKASI *BOX BEHNKEN DESIGN* UNTUK OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN BUBUT MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN PAHAT PUTAR DAN UDARA DINGIN BERTEKANAN** |
| Nama Mahasiswa | : | Opi Sumardi |
| Nomor Pokok Mahasiswa | : | 1215021064 |
| Program Studi | : | S1 Teknik Mesin |
| Fakultas | : | Teknik |

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

| | |
|---|---|
| **Ir. Arinal Hamni,M.T.** | **Achmad Yahya T.P., S.T., M.T.** |
| NIP. 19641228 199603 2 001 | NIP. 19800205 200501 1 002 |

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**
NIP. 19740816 200012 1 001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Arinal Hamni, M.T.** .....

Anggota Penguji : **Achmad Yahya T.P., S.T., M.T.** .....

Penguji Utama : **Dr. Gusri Akhyar Ibrahim,S.T., M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

**Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D**
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 Februari 2018**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi dengan judul "APLIKASI *BOX BEHNKEN DESIGN* UNTUK OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN BUBUT MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN PAHAT PUTAR DAN UDARA DINGIN BERTEKANAN" adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiatisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya; saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Februari 2018

ang Membuat

Opi Sumardi

NPM. 1215021064

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di DaerahSubang Provinsi Jawa Barat pada tanggal 01 Februari 1994 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Bapak Topi dan Ibu Iin Darsini. Menempuh Sekolah Dasar di SDN Sawah Baru diselesaikan pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Ciasem-Subang selesai pada tahun 2009, Sekolah Menengah Kejuruan di SMKN 1 Cikampek-Karawang selesai tahun 2012. Tahun 2012, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa pada Program Studi S1 Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama kuliah penulis aktif dibeberapa organisasi kemahasiswaan tingkat Fakultas maupun tingkat Universitas diantarnya, menjadi Kepala Biro Usaha Mandiri pada UKMF FOSSI FT Unila selama satu periode kepengurusan tahun 2013-2014, Ketua Kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) tahun 2014-2015, Kepala Departemen Hubungan Masyarakat Bimbingan Rohani Mahasiswa (BIROHMAH) Unila tahun 2014-2015, Dewan Pembina Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) tahun 2014-2015 dan menjadi Ketua Majelis Permusyawaratan Mahasiswa (MPM) Keluarga Besar Mahasiswa Unila pada tahun 2015-2016.

Kemudian, pada tahun 2015 penulis melaksanakan Kerja Praktik pada perusahaan PT. Nipress, Tbk selama kurang lebih 2 (dua) bulan dan menjadi asisten laboratorium CNC/CAM selama dua (tahun) pada tahun 2015-2017.

**MOTTO**

*"Harus Tetap Terus Bergerak"*

*"Semangat BERTRANSFORMASI Menuju Lebih Baik,*

*Hanya Karena-NYA dan Hanya Untuk-NYA"*

# PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT serta shalawat serta salam senantiasa disanjungkan kepada Nabi Muhammad SAW, dengan mengucap *bismillahirahmanirahim* Penulis persembahkan karya ini kepada :

## Ibu dan Bapakku

*Atas segala doa, keikhlasan, kesabaran, cinta serta kasih sayangnya*

## Sang Murabbi

*Atas semua pengajaran hidup yang telah diberikan*

## Kakak dan Adikku

*Memberikan semangat dan keceriaan serta tempat berbagi cerita*

## Dosen Teknik Mesin Unila

*Yang sudah memberikan pengajaran, bimbingan, motivasi serta saran yang baik*

## Rekan – Rekan Mesin 12

*Yang selalu membuat semangat dan sudah memberikan warna – warni kehidupan kampus*

## SANWACANA

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, shalawat serta salam senantiasa disanjungkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga Skripsi dengan judul "Aplikasi *Box Behnken Design* Untuk Optimasi Parameter Proses Pemesinan Bubut Magnesium Az31 Menggunakan Pahat Putar Dan Udara Dingin Bertekanan" ini dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) dalam bidang keahlian Teknik Mesin Universitas Lampung.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Prof. Suharno M S, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Harnowo Supriadi, S.T.,M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Ibu Ir. Arinal Hamni, M.T. selaku dosen pembimbing utama Skripsi, yang telah memberikan bimbingannya.

5. Bapak Achmad Yahya T.P, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan motivasi, bimbingan serta saran yang bermanfaat bagi penulis.
6. Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. selaku dosen pembahas dalam Skripsi ini yang telah memberikan saran serta masukan yang membangun.
7. Kedua orang tua saya Bapak Topi dan Ibu Iin Darsini, serta Adiku Riza Ramadhan dan Sri Nulita serta seluruh keluarga besar atas semua doa, motivasi dan semangat yang telah diberikan.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi.
9. Staf Akademik dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.
10. Saudara satu liqo yang telah memberikan banyak motivasi serta ilmunya.
11. Keluarga besar FOSSI FT Unila kepengurusan periode 2013/2014.
12. Keluarga besar BIROHMAH Unila kepengurusan periode 2015/2016.
13. Keluarga besar MPM dan DPMU KBM Unila 2016.
14. Sahabat FT2012 yang sudah banyak memberikan semangat, cerita dan ukhuwahnya.
15. Rekan–rekan yang turut membantu dalam pelaksanaan tugas akhir. Dhika Arifian, Bagus Purnomo serta Wafda Nadhira selaku rekan satu tim Tugas Akhir Skripsi, dan Fahmi Bastiar, Razis Arif Wibowo, Dedi Tiyadi, Muchdy Kurniawan, Muhammad Rifai, Muhammad Fariz yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis.

16. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin khususnya rekan seperjuangan angkatan 2012 untuk kebersamaan yang telah dijalani. Merasa senang dan bangga menjadi bagian dari angkatan 2012. Salam ***"Solidarity M Forever"***.
17. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, penulis menyadari akan kekurangan dan kelemahan dalam penyajian Skripsi ini, oleh karena itu Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang sifat membangun dan sangat demi perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 15 Februari 2018

Penulis,

Opi Sumardi

**DAFTAR ISI**

Halaman

ABSTRACT ..... i

ABSTRAK ..... ii

COVER DALAM ..... iii

LEMBAR PENGESAHAN ..... iv

SURAT PERNYATAAN ..... vi

DAFTAR RIWAYAT HIDUP ..... vii

MOTTO ..... ix

PERSEMBAHAN..... x

SANWACANA ..... xi

DAFTAR ISI ..... xii

DAFTAR GAMBAR ..... xvi

DAFTAR TABEL ..... xix

**I. PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Tujuan..... 6

1.3 Batasan Masalah ..... 6

1.4 Hipotesis ..... 7

1.5 Sistematika Penulisan ..... 7

**II. TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Magnesium ..... 9

2.2 Metalurgi Magnesium ..... 11

2.3 Produk Magnesium ..... 12

2.4 Mesin Bubut ..... 13

2.5 Parameter Mesin Bubut ..... 15

2.6 Pemesinan Magnesium ..... 18

2.7 Modular Pahat Putar ..... 20

2.8 *Vortex Tube* ..... 23

2.9 Jenis-Jenis *Vortex Tube* ..... 25

2.10Geometri *Vortex Tube* ..... 27

2.11Kekasaran Permukaan ..... 29

2.12*Respon Surface Methode* (RSM) ..... 33

2.13*Design Of Experiments* ..... 39

2.14*Full Factorial Design* ..... 40

2.15*D Optimal Design* ..... 40

2.16*Box Behnken Design* ..... 41

**III. METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian ..... 45

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian ..... 45
3.3 Alur Penelitian ..... 47
3.4 Alat dan Bahan ..... 48
1. Alat ..... 48
a. Laptop ..... 48
b. Minitab ..... 48
c. Mesin bubut ..... 49
d. Modular pahat putar ..... 51
e. *Vortex Tube* ..... 52
f. *Stopwatch* ..... 54
g. Thermometer ..... 54
h. Pahat insert *carbide* ..... 55
i. Tachometer ..... 56
j. Kompresor ..... 57
k. *Roughness tester* ..... 57
l. Mikroskop USB ..... 58
m. Vernier caliper ..... 59
2. Bahan ..... 60
3.5 Prosedur Penelitian ..... 61

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Nilai Kekasaran pada Proses Pemesinan ..... 70

4.2 Metode RSM *Box Behnken Design* Pada Proses Pemesinan Bubut Magnesium AZ31 Menggunakan Udara Dingin Bertekanan ..... 74
1. Uji Koefisien Regresi ..... 74
2. Data ANOVA ..... 79
3. Uji Identik ..... 81
4.3 Kondisi Optimum Kekasaran Permukaan Magnesium AZ31 ..... 84
4.4 Model Matematika Untuk Nilai Kekasaran Permukaan Magnesium AZ3 ..... 86
4.5 Interaksi Antara Uji Statistik Pemesinan Bubut Dengan Pahat Putar Dengan Pahat Dian ..... 86
4.6 Profil Permukaan Magnesium AZ31 ..... 89

**V. SIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Simpulan ..... 91
5.2 Saran ..... 92

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Halaman


1. Gambar 2.1 Mesin bubut ..... 14
2. Gambar 2.2 Panjang permukaan benda kerja yang dilalui pahat setiap putaran ..... 16
3. Gambar 2.3 Gerak makan (f) dan kedalaman potong (a) ..... 17
4. Gambar 2.4 Ilustrasi pemesinan bubut menggunakan pahat potong berputar ..... 21
5. Gambar 2.5 Modular pahat putar ..... 22
6. Gambar 2.7 Struktur aliran udara pada *counter flow vortex tube* ..... 25
7. Gambar 2.8 *Uni-flow vortex tube* ..... 26
8. Gambar 2.9 *Uni-flow vortex tube* ..... 27
9. Gambar 2.10.a *Conventional nozzle* ..... 28
10. Gambar 2.10.b Wu Et Al *nozzle* ..... 28
11. Gambar 2.10.c Archimedes *nozzle* ..... 28
12. Gambar 2.11.a *Spherical* ..... 28
13. Gambar 2.11.b *Plate-shaped* ..... 28
14. Gambar 2.11.c *Cone-shaped* ..... 28
15. Gambar 2.12 Profil kekasaran permukaan ..... 30

16. Gambar 2.13 *Full Factorail Design* ..... 40

17. Gambar 2.14 Tabel *Box Behnken* ..... 42

18. Gambar 2.15 Contoh experimen *Box behnken design* untuk k=3 ..... 43

19. Gambar 3.1 Diagram alir penelitia ..... 45

20. Gambar 3.2 Mesin bubut konvensional ..... 48

21. Gambar 3.3 Modular pahat putar ..... 49

22. Gambar 3.4 Perangkat *Vortex Tube* ..... 51

23. Gambar 3.5 *Stopwatch* ..... 52

24. Gambar 3.6 *Thermocouple* ..... 52

25. Gambar 3.7 Pahat RCMT 1606 ..... 53

26. Gambar 3.8 Tachometer ..... 54

27. Gambar 3.9 Kompresor ..... 54

28. Gambar 3.10 *Surface roughness tester* ..... 55

29. Gambar 3.11 Mikroskop USB ..... 56

30. Gambar 3.12 Vernier caliper ..... 56

31. Gambar 3.13 Magnesium AZ31 ..... 58

32. Gambar 3.14 Ikon Minitab pada desktop ..... 64

33. Gambar 3.15 Jendela *worksheet* Minitab ..... 65

34. Gambar 3.16 Jendela *Creat Response Surface Design* ..... 65

35. Gambar 3.17 Jendela *Display Available Designs* ..... 66

36. Gambar 3.18 *Worksheet Box Behnken Design* ..... 66

37. Gambar 3.19 Jendela *Define Custom Response Surface Design* ..... 67

38. Gambar 3.20 Jendela *Select Optimal Design* ..... 67

39. Gambar 3.21 Jendela *Optimal Design Analyze Response Surface Design* ..... 68

40. Gambar 4.1 Pengambilan nilai Ra pada satu kali pengujian..... 73

41. Gambar 4.2 Nilai Ra pada setiap Pengujian ..... 73

42. Gambar 4.3 *Residual fitted*..... 81

43. Gambar 4.4 *Residual Order* ..... 82

44. Gambar 4.5 Pengujian asumsi residual berdistribusi normal..... 82

45. Gambar 4.6 Grafik plot titik optimum ..... 85

46. Gambar 4.7 Model matematika Ra ..... 86

47. Gambar 4.8 Profil permukaan magnesium AZ31 ..... 91

# DAFTAR TABEL

Halaman


1. Tabel 2.1 Magnesium paduan ..... 10
2. Tabel 2.2 Toleransi nilai kekasaran rata-rata Ra permukaan..... 32
3. Tabel 2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut pross pengerjaannya ..... 33
4. Tabel 3.1 Waktu pengambilan data ..... 44
5. Tabel 3.2 Spesifikasi mesin bubut ..... 48
6. Tabel 3.3 Spesifikasi modulur pahat putar..... 48
7. Tabel 3.4 Spesifikasi kompresor..... 48
8. Tabel 3.5 Spesifikasi alat *surface roughness tester* ..... 56
9. Tabel 3.6 Spesifikasi mikroskop USB ..... 57
10. Tabel 3.7 Karakteristik fisik dan thermal material paduan magnesium AZ31. 58
11. Tabel 3.8 Parameter penelitian ..... 59
12. Tabel 3.9 Parameter Penelitian *Box Behnken Design*..... 60
13. Tabel 3.10 Data Nomer *Run Order Box Behnken Design* ..... 61
14. Tabel 3.11 Nilai kekasaran permukaan..... 63
15. Tabel 4.1 Data nilai kekasaran permukaan (Ra) ..... 69
16. Tabel 4.2 *Response Surface Regression* ..... 71

17. Tabel 4.3 ANOVA untuk setiap parameter..... 74

18. Tabel 4.4 Respon Optimasi..... 79

19. Tabel 4.5 Fenomena hasil uji statistik dilihat dari tingkatan level pada setiap parameter bebas ..... 88

20. Tabel 4.6 Fenomena nilai kekasaran permukaan pada proses pemesinan bubut menggunakan pahat diam ..... 89

# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Beberapa unsur yang terkandung dalam kerak Bumi salah satunya adalah Magnesium yaitu sekitar 2%. Magnesium adalah salah satu jenis logam ringan diantara logam-logam industri lainnya (Surdia, 1999) , dan bukan termasuk kedalam logam jenis Be dan Li, memiliki berat jenis 1.738 dan koefisien *thermal* yang tinggi yaitu 14 x $10^{-6}$ in/in. F (25 x $10^{-6}$ m/m K), dan memiliki sifat konduktifitas listrik dan *thermal* yang cukup tinggi (31% IACS dan 79 Btu/h $ft^2$ $^oF/ft$ (137 W/m K). Nilai modulus elastisitas magnesium paduan adalah sekitar 6.5 x $10^6$ psi (4.5 x $10^4$ Mpa), dan juga dikatakan memiliki kapasitas nilai redaman yang tinggi. Titik leleh magnesium adalah 1201$^o$F atau 650$^o$C. Salah satu ciri fisik magnesium adalah warnanya yang putih (Budinski, 1999).

Magnesium juga memiliki karakteristik peredam getaran yang baik. Magnesium digunakan dalam berbagai aplikasi struktural maupun non struktural. Paduan Magnesium biasanya digunakan pada komponen pesawat dan rudal, alat-alat listrik *portable*, sepeda, alat-alat olahraga dan komponen ringan lainnya. Seperti alumunium, penggunaan magnesium terjadi

peningkatan pada sektor otomotif, hal ini dilakukan dalam rangka untuk mengurangi berat dari setiap komponen yang dibuat. Paduan magnesium yang tersedia baik sebagai coran (seperti *die cast* frame kamera) atau produk tempa. Paduan magnesium juga digunakan dalam pencetakan dan mesin tekstil untuk meminimalkan gaya inersia pada komponen kecepatan tinggi (Kalpakjian, 2009).

Pengaplikasian magnesium biasanya berada dibagian depan kendaraan dimana letak mesin mobil berada. Pengurangan berat di bagian ini dapat membantu meningkatkan performa dan kesetimbangan berat kendaraan (Mahrudi, 2013), yaitu pada pesawat terbang dan mobil (Surdia, 1999). Terjadinya kenaikan minat pada konstruksi material yang ringan di bidang otomotif salah satunya dikarenakan adanya komitmen industri mobil untuk mengurangi sebesar 25% konsumsi bahan bakar untuk semua mobil baru mulai tahun 2005 (C. Blawerd, 2004).

Pada proses pemesinan, magnesium memiliki karakteristik pemotongan yang sangat baik dan menguntungkan seperti kekuatan potong spesifik yang rendah, potongan gram yang pendek, keausan pahat yang relatif rendah, kualitas permukaan yang baik serta dapat dipotong pada kecepatan pemotongan dan pemakanan yang tinggi. Dengan perbandingan gaya pemotongan spesifik rendah berarti tuntutan kinerja untuk pemesinan magnesium adalah sangat rendah dibandingkan logam lain (Harun, 2012). Meski demikian logam magnesium juga dikenal sebagai bahan logam yang

mudah terbakar karena memiliki titik nyala yang rendah, seperti magnesium AZ31 (Budinski, 1999). Pendingin digunakan untuk menurunkan temperatur pemotongan pada saat proses pemesinan (Nur, 2008).

Proses perpindahan panas dalam proses pemesinan merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan benda kerja (Asmed, 2010). Sedangkan pada komponen mesin, nilai kekasaran permukaan pada benda kerja merupakan hal yang penting untuk meningkatkan umur dari benda kerja tersebut dari korosi dan *fatique* (Manohar, 2013).

Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan serta untuk meningkatkan produktivitas pemesinan yang telah dicoba adalah dengan menggunakan pahat potong berputar pada proses pemesinan bubut (Harun, 2012). Dalam metode pemotongan dengan pahat potong berputar, mata pisau (*cutting edge*) mengalami pendinginan selama periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) dalam satu putaran pahat potong. Selama periode itu diharapkan suhu pahat potong dapat menurun (Doni, 2015).

Banyak peneliti sepakat bahwa karakteristik kekasaran permukaan dapat mempengaruhi kinerja mekanik benda kerja dan biaya produksi (Manohar, 2013). Mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang baik pada akhir proses pemesinan dapat dilakukan dengan mengendalikan input dari parameter yang terlibat dalam proses pemesinan (Ezugwu, 1995). Dengan kata lain,

mengukur dan melihat karakteristik kekasaran permukaan dapat menjadi pertimbangan untuk melakukan evaluasi kinerja parameter proses pemesinan (Hamdi, 2012) (S.M. Darwish, 2000).

Selain dengan mengembangkan alat pemesinan untuk meningkatkan produktifitas pada saat proses pemesinan, upaya lain telah dilakukan untuk proses pemesinan dan mengoptimalkan parameter untuk mencapai produktivitas secara bersamaan yang lebih tinggi dan kualitas permukaan benda kerja yang lebih baik dengan menggunakan metode *Respon Surface Methode* (RSM) (Manohar, 2013). Metodelogi permukaan respon (RSM) adalah kumpulan matematika dan statistik teknik. Dengan desain yang cermat dari percobaan, tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon (variabel *output*) yang dipengaruhi oleh beberapa variabel independen (variabel *input*) (Burgeon, 2000). Salah satu metodologi permukaan respon (RSM) adalah *Taguchi design*, *Central Composite Design* dan *Box Behnken Design*. Secara umum, dari ketiga metodologi permukaan respon (RSM), *Box Behnken Design* lebih efisien dibandingkan dengan metode *Taguchi design* atau *Central Composite Design*, salah satunya adalah karena *Box Behnken Design* memiliki *run order* lebih sedikit dari keduanya, yaitu hanya 15 *run order*. Hal ini membuat *Box Behnken Design* lebih efisien.

Manohar pada jurnalnya tahun 2013 yang berjudul "*Application of Box Behnken design to optimize the parameters for turning Inconel 718 using coated carbide tools*" dengan tiga variabel yaitu gerak makan (*feed* rate),

kecepatan potong (*cutting speed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*) menggunakan Metode Respon Permukaan *Box Behnken Design* dibandingkan dengan *Taguchi Design* untuk percobaannya, karena metode *Box Behnken Design* direkomendasikan untuk proses optimasi dengan tiga variabel (Manohar, 2013) (Taraman, 1979). Kemudian penelitian Endang tahun 2013 tentang optimasi parameter proses pemotongan *stainless steel* SUS 304 untuk kekasaran permukaan dengan Metode *Response Surface* menyebutkan bahwa salah satu perbedaan *Box-Behnken Design* dengan *Central Composite Design* adalah pada *Box-Behken Design* tidak ada axial/star runs pada rancangannya. Tidak adanya axial/star runs ini menyebabkan box-behken lebih effisien dalam rancangan, karena melibatkan lebih sedikit unit percobaan (Purwanti, 2013). Oguz Perincek juga pada thesisnya tahun 2013 yang berjudul "*Use of Experimental Box-Behnken Design for the Estimation of Interactions Between Harmonic Currents Produced by Single Phase Loads*" menyebutkan bahwa *Box Behnken Design* cocok digunakan dalam optimasi yang memakai tiga variabel, karena memakai sample dengan jumlah sedikit yaitu 15, dan langsung mampu memprediksi nilai optimum baik linier dan kuadratik (Perincek, 2013).

Dari hasil penelitian yang dilakukan diatas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Respon Rurface Methode* (RSM) *Box Behnken Design* dapat digunakan pada proses optimasi yang memiliki tiga variabel yang dapat memprediksi nilai optimum yang terbaik. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan pengaplikasian metode respon permukaan *Box Behnken Design*

untuk optimasi parameter pembubutan magnesium AZ31 menggunakan pahat putar yang diberi udara dingin bertekanan secara konstan. Metode ini diharapkan dapat menentukan nilai parameter proses pembubutan magnesium AZ31 yang optimum guna mendapatkan nilai kekasaran permukaaan yang baik.

## 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengaplikasi metode RSM *Box Behnken Design* pada proses pemesinan magnesiun menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan.
2. Menentukan kondisi optimum nilai kekasaran permukaan magnesium AZ31 hasil dari proses pembubutan menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan.
3. Membuat model matematika untuk kondisi optimal permesinan magnesium menggunakan mesin bubut dengan menggunakan metode *Box Behnken Design.*

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini diberikan agar pembahasan setelah hasil percobaan menjadi lebih fokus dan tertuju pada tujuan yang telah dipaparkan, adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan pada proses pemesinan mesin bubut adalah adalah paduan magnesium AZ31.
2. Proses permesinan magnesium menggunakan mesin bubut konvensional.

3. Proses pemesinan menggunakan *vortex tube* sebagai alat penyuplai udara dingin.
4. Pahat potong yang digunakan adalah pahat jenis insert carbida dengan kode pahat RCMT 1606.
5. Pemodelan matematika dibuat dengan menggunakan metode permukaan respon dan desain eksperimen yang digunakan dalam metode permukaan respon untuk penelitian ini adalah *Box Behnken Design.*

## 1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses pemesinan bubut magnesium AZ31 dapat di aplikasikan pada metode permukaan respon *Box Behnken Design* dan dapat disusun model matematika untuk kondisi optimum nilai kekasaran permukaan magnesium AZ31.
2. $H_0$ diterima jika nilainya lebih kecil dari α (0.05). dimana $H_0$ adalah hipotesis pada metode optimasi.
3. Adanya perbedaan profil permukaan dari hasil pemesinan.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang terdapat pada laporan penelitian ini terdiri dari:

1. BAB I. PENDAHULUAN

   Bab ini berisi latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

2. BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

   Bab ini berisi teori mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian, yaitu: penjelasan material magnesium, permesinan magnesium, mesin bubut, *vortex tube*, metode *Box Behnken Design*.

3. BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

   Bab ini berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat dan waktu penelitian, bahan penelitian, peralatan, dan prosedur pengujian.

4. BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

   Bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari data-data yang diperoleh saat melaksanaakan proses pemodelan.

5. BAB V. PENUTUP

   Bab ini berisi hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian yang dilakukan.

6. DAFTAR PUSTAKA

   Memuat referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

7. LAMPIRAN

   Berisikan data-data tambahan laporan tugas akhir.

# BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Magnesium

Beberapa unsur yang terkandung dalam kerak Bumi salah satunya adalah Magnesium yaitu sekitar 2%. Penyebaran unsur Magnesium yang paling banyak ada dalam air laut dan beberapa juga ada yang berada dibebatuan, salah satunya ada berada pada bantu gamping. Magnesium (Mg) adalah salah satu logam ringan yang tersedia dibumi, dan memiliki karakteristik peredam getaran yang baik. Magnesium digunakan dalam berbagai aplikasi struktural maupun non struktural. Magnesium juga merupakan elemen paduan dalam berbagai logam *nonferrous*.

Magnesium memiliki berat jenis 1.738 dan koefisien thermal yang tinggi yaitu 14 x $10^{-6}$ in/in. F (25 x $10^{-6}$ m/m K), dan memiliki sifat konduktifitas listrik dan thermal yang cukup tinggi (31% IACS dan 79 Btu/h $ft^2$ $^oF$/ft (137 W/m K). Nilai modulus elastisitas magnesium paduan adalah sekitar 6.5 x $10^6$ psi (4.5 x $10^4$ Mpa), dan juga dikatakan memiliki kapasitas nilai redaman yang tinggi. Titik leleh magnesium adalah 1201$^o$F atau 650$^o$C. Salah satu ciri fisik magnesium adalah warnanya yang putih.

Magnesium murni memiliki kekuatan yang tidak cukup bagus, sehingga dilakukan paduan pada magnesium untuk memperoleh sifat-sifat tertentu yang diinginkan, khususnya untuk rasio kekuatan dan beratnya. Paduan magnesium memiliki sifat yang baik digunakan pada proses pengecoran, pembentukan dan proses pemesinan.

Paduan Magnesium biasanya digunakan pada komponen pesawat dan rudal, alat-alat listrik portable, sepeda, alat-alat olahraga dan komponen ringan lainnya. Seperti alumunium, penggunaan magnesium terjadi peningkatan pada sektor otomotif, hal ini dilakukan dalam rangka untuk mengurangi berat dari setiap komponen yang dibuat. Paduan magnesium yang tersedia baik sebagai coran (seperti *die cast* frame kamera) atau produk tempa. Paduan magnesium juga digunakan dalam pencetakan dan mesin tekstil untuk meminimalkan gaya inersia pada komponen kecepatan tinggi.

Tabel 2. 1 Magnesium paduan (Kalpakjian, 2009)

| Paduan | Komposisi (%) | | | | | Tegangan Tarik (Mpa) | *Yield Strength* (Mpa) | *elongation in 50mm* | *Typical Form* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Al | Zn | Mn | Zr | Th | | | | |
| AZ31B | 3.0 | 1.0 | 0.2 | - | - | 260 | 200 | 15 | *Ekstrusion* |
| AZ80A | 8.5 | 0.5 | 0.2 | - | - | 380 | 275 | 7 | *Ekstrusion and forgings* |

| Paduan | Komposisi (%) | | | | | Tegangan Tarik (Mpa) | *Yield Strength* (Mpa) | *elongation in 50mm* | *Typical Form* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Al | Zn | Mn | Zr | Th | | | | |
| HK31B | - | - | - | 0.7 | 3 | 255 | 200 | 8 | *Sheet and plates* |
| ZK60A | - | 5.7 | - | 0.55 | - | 365 | 300 | 11 | *Ekstrustion and forgings* |

Tabel diatas menunjukan komposisi, tegangan dan reganan dari setiap magnesium paduan. Dimana setiap magnesium paduan memiliki nilai komposisi yang berbeda beda (Kalpakjian, 2009).

## 2.2 Metalurgi Magnesium

Sebagai logam murni, magnesium memiliki sifat sangat lemah, kekuatan tariknya hanya 10 ksi (69.7 Mpa). Oleh karena itu, magnesium murni biasanya dijadikan sebagai salah satu logam paduan, unsur-unsur utama pada logam paduan adalah alumunium, mangan dan juga seng, sedangkan untuk elemen yang kurang umum seperti thorium, zirkonium dan tanah jarang digunakan. Unsur-unsur seperti alumunium, mangan dan seng memiliki nilai kelarutan relatif rendah sehingga dapat menurunkan nilai kelarutan dan menurunkan suhunya jika digunakan pada logam paduan. Sehingga waktu pengerasan pada logam paduan memiliki nilai yang relatif lebih cepat. Alumunium bisa dikatakan adalah suatu unsur paduan yang paling penting, alumunium memiliki kelarutan 12.7% pada suhu eutektik dan hanya sekitar

2% pada suhu kamar. Konsentrasi kecil menghasilkan penguatan solid, dan konsentrasi yang tinggi menyebabkan kemampuan untuk menambah umur material logam.

Magnesium memiliki struktur kristal jenis *Hexagonal Close Packed* (HCP). Signifikasi ini dari pengguna standpoin adalah bahwa dalam jenis dislokasi struktur tidak dapat bergerak bebas, misalnya logam seperti tembaga yang memiliki struktur *Face Centered Cubic* (FCC). Hal ini menyebabkan terjadinya cacat plastis yang dikarenakan pergerakan dislokasi berkurang. Presentase penambahan unsur seng dalam paduan magnesium sangat kecil yaitu < 1% yang digunakan untuk meningkatkan *castabillity* dan ketahanan korosi. Sedangkan unsur mangan juga digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi pada logam magnesium paduan. Dalam paduan magnesium ditambahkan juga elemen lain dalam konsentrasi kecil untuk penguatan larutan padat dan untuk meningkatkan sifat magnesium paduan pada suhu tinggi.

## 2.3 Produk Magnesium

Lebih dari setengah unsur magnesium yang di hasilkan oleh Negara - Negara digunakan dalam bentuk bubuk dan batang untuk digunakan pada logam paduan magnesium. Sekitar 30% digunakan untuk proses kimia dan aplikasi nonstruktural lainnya. Sedangkan sisanya yaitu sekitar 70% digunakan pada bidang industri diantaranya digunakan pada bagian-bagian pesawat, otomotif

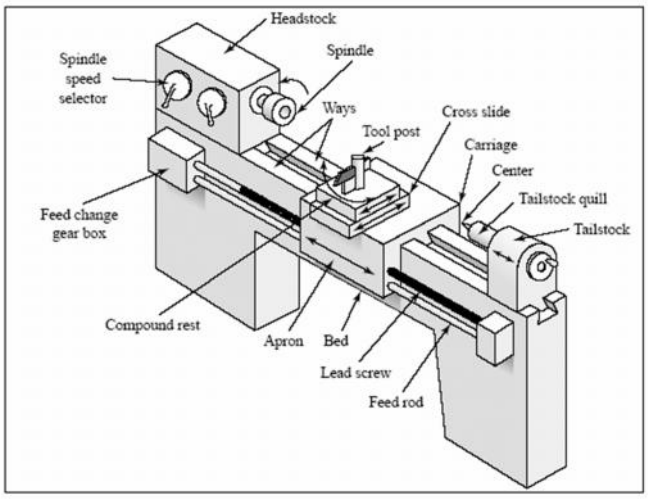
dan juga dibentuk kembali melalui pengecoran dengan berbagai jenis bentuk seperti plat, strip, bar, kawat, ekstrusi dan juga *forging*.

Kode magnesium paduan yang paling banyak digunakan adalah dengan menggunakan standar *American Society for Testing Material* (ASTM). Beberapa contoh kode spesifikasi pada paduan magnesium adalah B90 untuk plat, B91 untuk penempaan, B92 untuk batang dan *Casting* dengan kode (B93, B94, B199, B 403). Sistem paduan magnesium ditunjukan dengan menggunakan nomor dan huruf. Dua huruf pertama menunjukan unsur paduan utama, pada bagian kedua menunjukan jumlah nominal elemen paduan utama dan pada bagian ketiga yaitu A-Z kecuali I dan O digunakan untuk menunjkan paduan yang berbeda dengan nominal komposisi yang sama. Akhiran pada kode digunakan untuk menunjukan kondisi dan perawatan panas dari magnesium paduan (Budinski, 1999).

## 2.4 Mesin Bubut

Mesin bubut adalah salah satu jenis mesin perkakas untuk proses *finishing* pembuatan suatu produk (Kalpakjian, 2009). Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan Mesin Bubut. Prinsip dasar dari proses bubut adalah sebagai proses pemesinan permukaan luar benda silindris atau bubut rata, dengan benda kerja yang berputar, dengan satu pahat bermata potong tunggal (*with a single-point cutting tool*) (Kalpakjian, 2009), dengan

gerakan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja (Widarto, 2008).




Gambar 2.1 Mesin bubut (Widarto, 2008)

Adapun bagian-bagian dari mesin bubut adalah sebagai berikut:

1. Kepala tetap (*headstock*)

   Terdiri atas unit penggerak, digunakan untuk memutar spindel yang memutar bendakerja.

2. Ekor tetap (*tailstock*)

   terletak bersebrangan dengan kepala tetap, yang digunakan untuk menopang bendakerja pada ujung yang lain.

3. Pemegang pahat (*tool post*)

   Ditempatkan di atas peluncur lintang (*cross slide*) yang dirakit dengan pembawa (*carriage*)

4. Peluncur lintang

   Berfungsi untuk menghantarkan pahat dalam arah yang tegaklurus dengan gerakan pembawa.

5. Pembawa

   Dapat meluncur sepanjang batang hantaran (*ways*) untuk menghantarkan perkakas dalam arah yang sejajar dengan sumbu putar.

6. Batang hantaran

   merupakan rel tempat meluncurnya pembawa, dibuat dengan akurasi kesejajaran yang relatif tinggi dengan sumbu spindel.

7. Ulir pengarah (*leadscrew*)

   Berfungsi untuk menggerakkan pembawa. Ulir berputar dengan kecepatan tertentu sehingga dihasilkan hantaran dengan kecepatan sesuai dengan yang diinginkan.

8. Bangku (*bed*)

   Berfungsi untuk menyangga komponen-komponen yang lainnya.

Selain bagaian-bagian diatas, mesin bubut juga memiliki bagian pendukung yang lain, yang digunakan untuk proses pembubutan tertentu (Doni, 2015).

## 2.5 Parameter Mesin Bubut

Parameter yang dapat diatur pada mesin bubut tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada Mesin Bubut. Kecepatan putar, n *(speed*), selalu dihubungkan dengan sumbu utama (spindel) dan benda kerja. Kecepatan

putar dinotasikan sebagai putaran per menit (*rotations per minute*, rpm). Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*cutting speed* atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/keliling benda kerja. Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar atau :

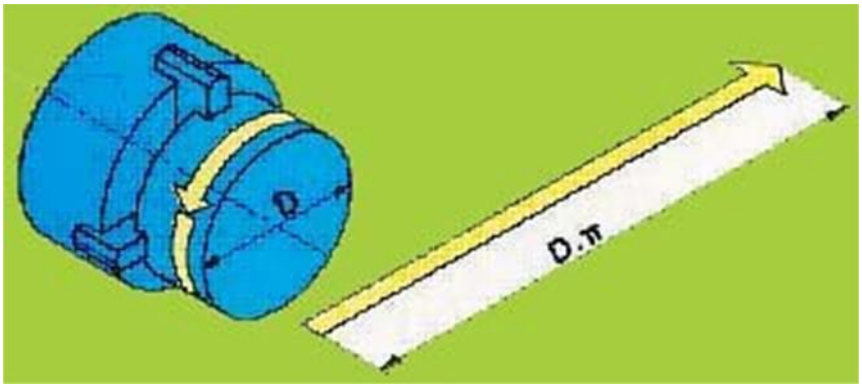
$$v = \frac{\pi dn}{1000} \quad \text{..... (2.1)}$$

Dimana :

v = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter benda kerja (mm)

n = putaran benda kerja (putaran/menit)

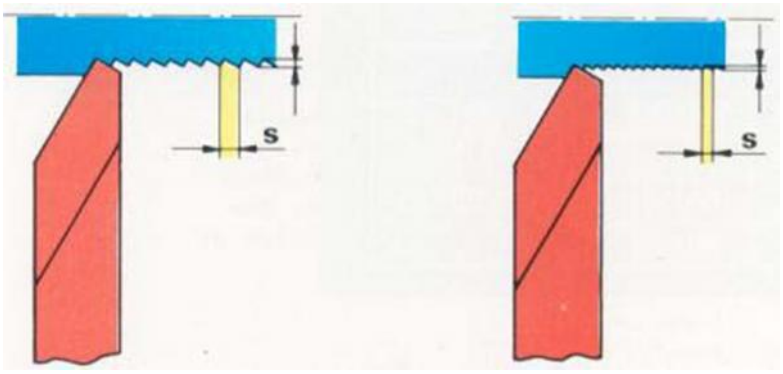



Gambar 2.2 Panjang permukaan benda kerja yang dilalui pahat setiap putaran (Widarto, 2008)

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

Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat.

Gerak makan, f (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali, sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong.




Gambar 2.3 Gerak makan (f) dan kedalaman potong (a) (Widarto, 2008)

Kedalaman potong (*depth of cut*), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong. Ketika pahat memotong sedalam a, maka diameter benda kerja akan berkurang 2a, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar. Beberapa proses pemesinan selain proses *facing*. Mesin Bubut dapat juga dilakukan proses pemesinan yang lain, yaitu bubut dalam (*internal turning*), proses pembuatan lubang dengan mata bor (*drilling*), proses

memperbesar lubang (*boring*), pembuatan ulir (*thread cutting*), dan pembuatan alur (*grooving/partingoff*). Proses tersebut dilakukan di Mesin Bubut dengan bantuan atau tambahan peralatan lain agar proses pemesinan bisa dilakukan (Widarto, 2008).

## 2.6 Pemesinan Magnesium

Magnesium merupakan matrial yang mudah terbakar terutama pada saat permesinan dengan kecepatan potong dan pemakanan yang tinggi (Ansyori, 2015). Pembentukan dengan pemesinan (*machining*) sering kali diperlukan perhatian khusus karena pada akhir pemotongan sering kali terjadi kegosongan (hangus) yang mengakibatkan sisa pemotongan menjadi mudah terbakar, hal ini disebabkan oleh terjadinya gesekan selama pemotongan, untuk itu ketajaman alat potong ini harus diperhatikan serta menyediakan peralatan pemadam kebakaran yang sesuai yaitu *dry-fire extinguisher*. Proses pendinginan dengan media *water base colant* tidak sesuai pemakaiannya (Andriansyah, 2014).

Ada dua perhatian utama dalam pemesinan magnesium yaitu resiko kebakaran dan pembentukan Built-up Edge (BUE) (Doni, 2015). Dalam pemesinan magnesium, kecepatan putar tinggi mesin dapat menimbulkan atau terjadinya percikan api yang dapat membakar chip atau tatal dari magnesium. Sumber nyala api juga dapat disebabkan pahat tumpul atau rusak, sehingga gesekan yang terjadi pada pahat dan benda kerja sangat besar. Untuk

meminimumkan resiko kebakaran, praktek-praktek berikut harus diperhatikan pada saat melakukan proses pemesinan magnesium adalah:

1. Pahat yang tajam dengan sudut relief besar

   Mata pahat yang tajam akan mengurangi nilai gesekan antar mata pahat dan benda kerja, sehingga gaya proses pemotongan relatif kecil. Kemudian memperbesar sudut relief juga akan menurunkan gaya pemotongan sehingga suhu pemotongan juga relatif kecil.

2. Kecepatan makan yang besar harus digunakan

   Magnesium memiliki titik leleh cendrung lebih rendah dibandingkan logam yang lain (Budinski, 1999). Kecepatan makan yang tinggi pada proses pemesinan magnesium tidak direkomendasikan. Sehingga kecepatan makan tinggi pada proses pemesinan dapat menimbulkan terbakarnya chip dari magnesium.

3. Menggunakan pendingin yang tepat pada pemesinan kecepatan makan dan kedalaman potong sangat kecil

   Menggunakan cairan pendingin dapat digunakan guna meminimalisir terbakarnya chip magnesium. Akan tetapi cairan pendingin tidak dianjurkan pada proses pemesinan magnesium karena geram magnesium bereaksi dengan air dan membentuk magnesium hidroksida dan gas hidrogen bebas, pendingin berbasis air harus dihindarkan. Praktek yang diterima adalah pemotongan kering bila mungkin dan menggunakan pendingin minyak mineral bila perlu.

Pemesinan kering komponen magnesium dalam volume besar menimbulkan masalah pemeliharaan kebersihan terutama untuk proses gurdi dan pengetapan yang menghasilkan geram halus. Sekarang ini pendingin berbasis air yang menghasilkan sedikit hidrogen ketika bereaksi dengan magnesium telah digunakan dalam produksi. Dilaporkan juga pendingin ini dapat meningkatkan umur pahat dan mengurangi resiko kebakaran dibandingkan pemesinan kering. Namun masalah pembuangan limbah cairan pendingin tetap menjadi masalah. Bila dibuang begitu saja jelas dapat mencemari lingkungan. Sebaliknya bila limbah diolah sebelum dibuang jelas akan memerlukan biaya yang cukup besar (Doni, 2015).

## 2.7 Modular Pahat Putar

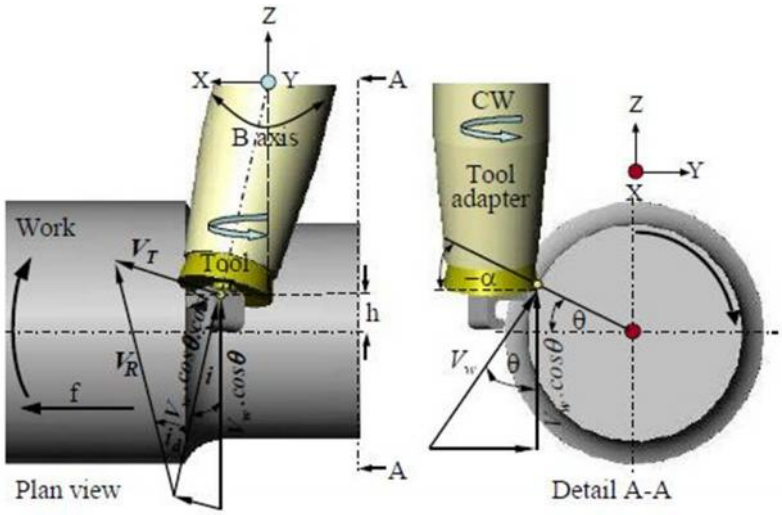
Selama proses pembubutan berlangsung, pahat diam dapat mengalami kegagalan dari fungsinya karena beberapa sebab antara lain :

1. Keausan yang secara bertahap memperbesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat
2. Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat
3. Deformasi plastik yang akan mengubah bentuk / geometri pahat

Jenis kerusakan yang terakhir diatas jelas disebabkan oleh penggunaan parameter pemotongan yang tinggi sehingga menimbulkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersamaan dengan naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang utama pahat dikarnakan naiknya tekanan

temperatur tersebut akan lebih cepat mengurangi umur pakai dari pahat diam yang menyebab kan tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan akan tinggi.

Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan serta untuk meningkatkan produktivitas pemesinan adalah dengan menggunakan pahat potong berputar (*rotary cutting tool*) dalam proses pemesinan bubut (Harun, 2009). Gambar 2.6 mengilustrasikan prinsip dari proses pemesinan ini. Seperti terlihat pada gambar, dalam metode pemotongan ini, dengan pahat potong yang berputar maka mata pisau (*cutting edge*) akan mengalami proses pendingginan selama periode tanpa pemotongan (*non cutting period*) dalam satu putaran pahat potong.




Gambar 2.4 Ilustrasi pemesinan bubut menggunakan pahat potong berputar (Harun, 2009)

Hal ini diharapkan bahwa suhu pahat potong akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional (pahat potong diam). Selain itu

juga diharapkan bahwa proses pemesinan dengan pahat berputar ini dapat menghasilkan tingkat kekasaran yang rendah pada permukaan benda kerja serta dapat digunakan untuk pemotongan kecepatan tinggi (*high speed cutting*) untuk material Magnesium (*Magnesium Alloy*) dan material yang sulit dipotong (*difficult to-cut materials*) seperti paduan Nikel (*Nickel Alloy*), paduan Titanium (*Titanium Alloy*) (Doni, 2015).

Gambar 2.5 Modular Pahat Putar

Adapun bagian – bagian dari modular pahat putar adalah sebagai berikut:

1. Motor

   Motor berfungsi sebagai daya penggerak dari pahat putar, dimana putaran motor di transmisikan melalui poros yang terhubung ke rumah pahat.

2. Rumah pahat

   Rumah pahat atau *tool holder* berfungsi sebagai dudukan pahat insert yang digunakan.

3. *Tool Post*

   *Tool Post* atau dudukan rumah pahat memiliki fungsi sebagai tempat untuk rumah pahat, dimana *tool post* ini dipasang pada eretan lintang pada modular *rotary tool*

4. Eretan

   Eretan perfungsi sebagai penghantar *tool post* untuk menaik turunkan titik center dari sudut bidang kontak pahat terhadap benda kerja.

5. *Bad*

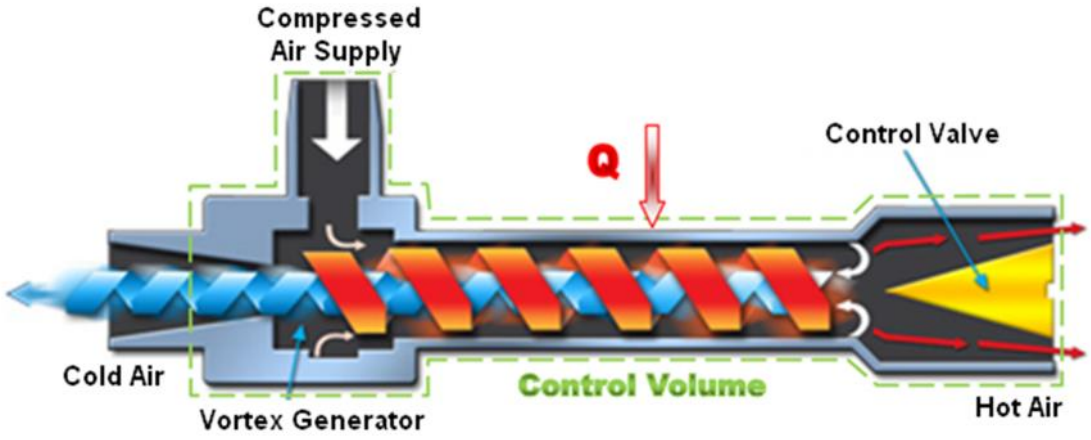
   *Bad* berfungsi sebagai dudukan penghubung antar modular pahat putar dan *tool post* pada mesin bubut.

Selain bagaian-bagian utama diatas, modular pahat putar juga memiliki bagian pendukung yang lain, diantarnya saklar. (Novriadi, 2016)

## 2.8 *Vortex Tube*

*Vortex Tube* diciptakan oleh fisikawan Prancis Georges J. Ranque pada tahun 1933 (Liew, 2012). Ia menemukan bahwa ketika udara dikompresi dan dialirkan secara tangensial ke dalam tabung, aliran udara yang memiliki temperatur lebih rendah dan lebih tinggi dari udara masuk, keluar dari tempat yang berbeda. Aliran udara dingin keluar dari pusat dekat inlet dan aliran udara panas akan keluar dari ujung tabung lainnya. Ranque menjelaskan terjadinya pemisahan udara yang terjadi pada *vortex tube* tergantung dari nilai ekspansi dan kompresinya.

Efek ini dihasilkan dari efek dinamis fluida saja, karenanya tidak ada bagian yang bergerak atau reaksi kimia dalam tabung. Hal ini ditunjukan pada Gambar 2.5 bahwa tabung *counter-flow* pusaran khas berisi tabung lurus dengan injeksi tangensial, dimana gas dikompresi dan diinjeksikan kedalam tabung, dan dua keluaran yang terletak disetiap ujung tabung, yang memungkinkan udara berbeda temperatur akan habis dari pusaran tabung. Seperti yang dapat dilihat bagian tabung benar-benar kosong dan tidak ada bagian lain didalam tabung, oleh karena itu pemisah udara beda temperatur dalam tabung didasarkan pada beberapa efek dinamis atau termodinamika cair.




Gambar 2.6 Struktur aliran udara pada *vortex tube* (Liew, 2012)

Ketika fluida gas dikompresi ke dalam tabung tangensial dengan kecepatan tinggi, udara mulai berputar dan mengalir ke sisi ujung panas, yaitu ujung keluaran udara panas fotexs tube (Xue, 2010). Sebagian kecil udara keluar dari celah antara *steker* kontrol dan tabung dengan suhu lebih tinggi dari pada udara masuk, dalam literatur titik aliran yang dimaksud adalah titik aliran

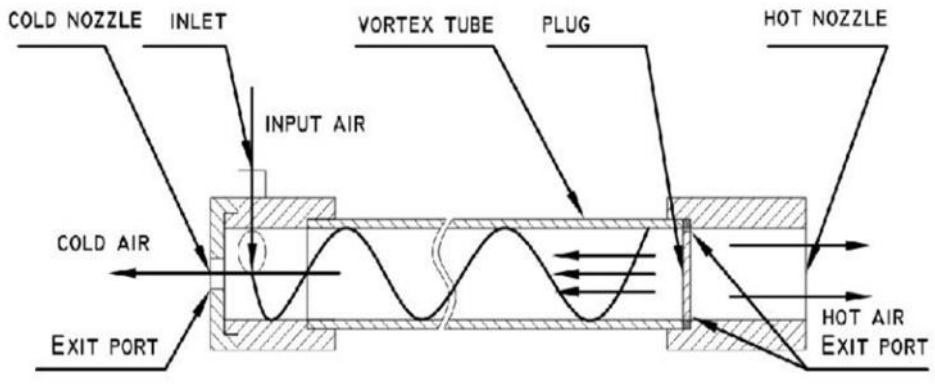
panas. Udara yang mengalir ke pembuangan udara panas, sebagian udara dipaksa kembali oleh plug kontrol untuk mengalir ke ujung saluran udara dingin melalui daerah pusat tabung.

Aliran pusat ini kemudian keluar dari lubang pusat yang dekat dengan saluran masuk udara yang suhunya lebih rendah dari suhu udara masuk dan menghasilkan udara dingin. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa aliran udara masuk dibagi menjadi dua aliran yang memiliki temperatur yang berbeda, fenomena ini disebut dengan efek ranque atau pemisahan suhu dalam kisaran tabung (Liew, 2012) (Xue, 2012).

## 2.9 Jenis-Jenis Vortex Tube

Jenis-Jenis utama *vortex tube* adalah *counter flow Vortex tube, uniflow Vortex Tube, conical vortex tube, double circuit vortex tube, two stage vortex tube* dan lain lain.

1. *Counter Flow Vortex Tube*

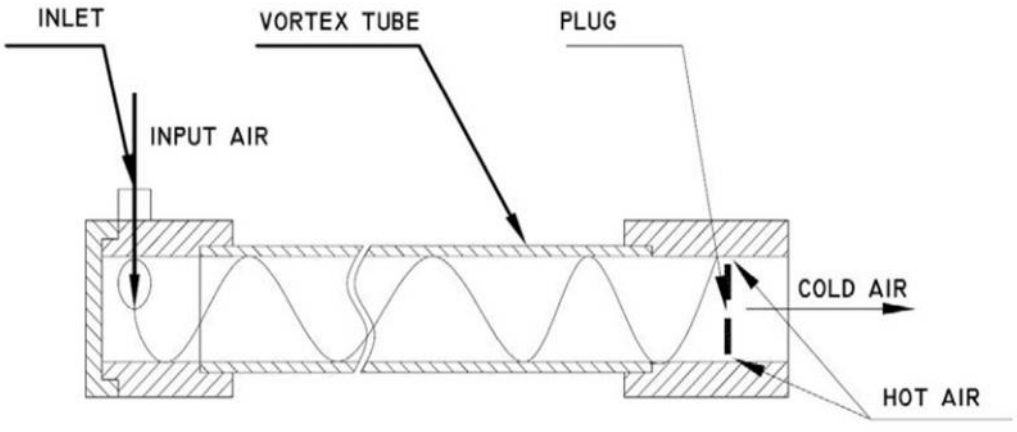



Gambar 2.7 Struktur aliran udara pada *counter flow vortex tube* ( Xue, 2010)

Seperti yang ditunjukan pada gambar 2.6 *counter flow vortex tube* standar terdiri dari dinding *nozzle*, ruang vortex dengan injeksi tangensial, tabung panjang dimana pemisahan terjadi dan prefier nozzel untuk keluarnya udara panas. Bagian sebuah *Counter Flow Vortex Tube* secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian dingin dan bagian panas, karena gradien aliran suhu yang berada dalam tabung. Bagian dingin berada pada didekat titik injeksi dan bagian panas terletak pada ujung tabung.

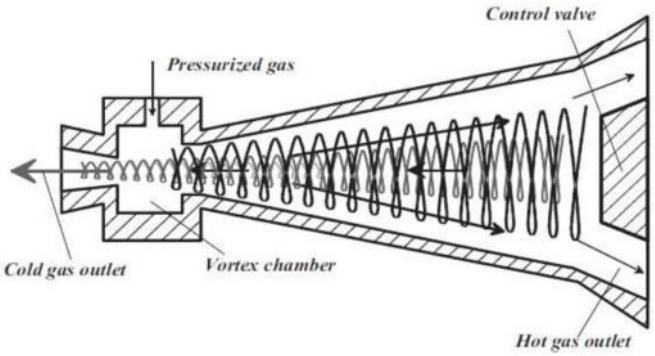
2. *Uni-flow Vortex Tube*

Struktur dari Uni-flow vortex tube hampir mirip dengan struktur dari counter flow vortex tube seperti yang ditunjukan pada gambar 2.7, *uni-flow vortex tube* memiliki dua lubang keluar diujung tabung disisi yang sama. *Uni-flow vortex* tube memiliki efesiensi lebih rendah dari *counter flow vortex tube* karena proses keluar dari udara dingin dan panas saling berdekatan (Behera, 2008).




Gambar 2.8 *Uni-flow vortex tube* (Behera, 2008)

3. *Unicorn Vortex Tube*



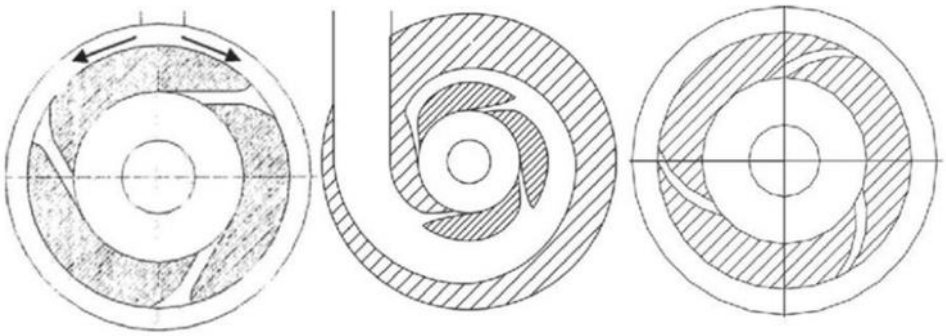

Gambar 2.9 *Unicorn vortex tube* (Shannak, 2004)

Dalam optimalisasi *vortex tube, unicorn vortex tube* memiliki efektifitas dimensi, yaitu panjang dari jenis *vortex tube* ini lebih pendek dari jenis yang lain, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.8. Parikuler dalam penelitiannya pada tahun 1961 menemukan bahwa $L_{vt}$ / $D_{vt,}$ dengan memvariasikan sudut *conical vortex tube* (Shannak, 2004).

## 2.10 Geometri *Vortex Tube*

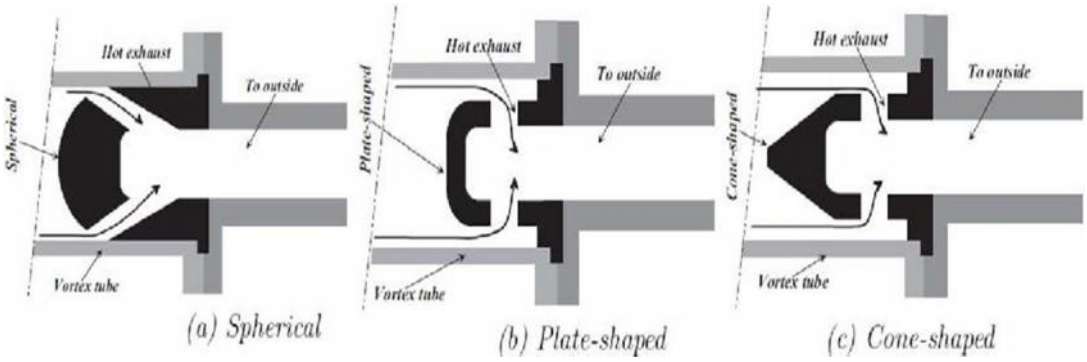
Kinerja dari *vortex tube* salah satunya dipengaruhi oleh struktur geometrinya, termasuk ukuran dan bentuk dari *control plug*, saluran masuk udara, diameter dan panjang tabung, volume ruang tabung, diameter nozel udara dingin dan panas dan juga yang lain. Geometri *vortex tube* berpengaruh juga terhadap pemisahan udara dingin dan udara panas, sehingga hal ini berkaitan dengan mengoptimalkan kinerja dari *vortex tube*. Pada *vortex tube*, laju aliran massa pada injeksi dan aliran pusaran umumnya ditemtukan oleh *nozzle inlet*. Wu Et Al dalam eksperimennya melakukan modifikasi pada *nozzle* yang telah ada, dari hasil eksperimen menunjukan bahwa efek pendinginan meningkat sekitar

2.2 $^{o}$C lebih rendah dari *conventional nozzle*, dan 5$^{o}$C lebih rendah dari Archimedes *nozzle* (Wu. Y.T, 2007).



Gambar 2.10 Perbedaan inlet *nozzle* pada *vortex tube*
(a) *Conventional nozzle* (b) Wu Et Al *nozzle* (c) Archimedes *nozzle* (Y.T. Wu, 2007)

*Control plug* pada ujung keluaran udara panas merupakan komponen yang mempengaruhi suhu dari keluaran udara dingin yang dihasilkan. Pengaruh dimensi dari *steker control* telah diteliti dan menunjukan bahwa rasio dari aliran udara dingin ditentukan oleh *control plug* (Arjomandi, 2010). Akan tetapi pada tabung vortex jenis RHVT, bentuk *control plug* tidak terlalu menjadi komponen penting.




Gambar 2.11 Macam-macam *control plug*

(a) *Spherical* (b) *Plate-shaped* (c) *Cone-shaped* (Arjomandi, 2007)

## 2.11 Kekasaran Permukaan

Permukaan benda adalah batas yang memisahkan antara benda padat tersebut dengan sekelilingnya. Konfigurasi permukaan merupakan suatu karakteristik geometri golongan mikrogeometri, yang termasuk golongan makrogeometri adalah permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik, misalnya permukaan lubang, permukaan poros, permukaan sisi dan lain-lain yang tercakup pada elemen geometri ukuran, bentuk dan posisi ( Doni, 2015).

Kekasaran permukaan dibedakan menjadi dua bentuk, diantaranya :

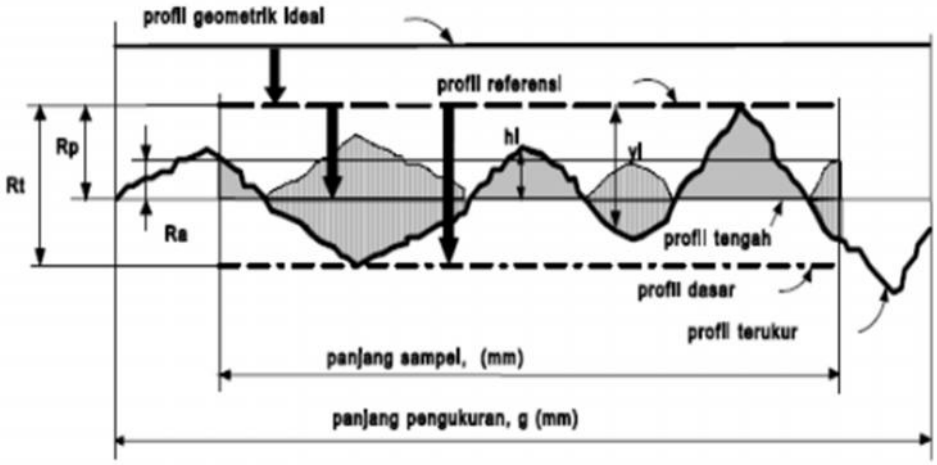
1. Ideal Surface Roughness

   Yaitu kekasaran ideal yang dapat dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal.

2. Natural Surface Roughness

   Yaitu kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi proses permesinan diantaranya :

   a. Keahlian operator,
   b. Getaran yang terjadi pada mesin,
   c. Ketidakteraturan feed mechanisme,
   d. Adanya cacat pada material,




Gambar 2.12 Profil kekasaran permukaan (Saputro, 2014)

Berdasarkan profil kurva kekasaran di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan.

Profil kekasaran permukaan terdiri dari :

1. Profil geometrik ideal Merupakan permukaan yang sempurna dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
2. Profil terukur (measured profil) Profil terukur merupakan profil permukaan terukur.
3. Profil referensi Merupakan profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidakteraturan konfigurasi permukaan.
4. Profil akar / alas Yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
5. Profil tengah Profil tengah adalah profil yang digeserkan ke bawah sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah diatas profil tengah sampai profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur.

Berdasarkan profil-profil di gambar 2.12 di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu:

1. Kekasaran total (*peak to valley height/total height*), Rt(µm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas
2. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean line*), Rp (µm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur
3. Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index/center line average*, CLA)
4. Ra (µm) adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Ra = 1\ l \int hi\ 2\ x\ dx\ 1\ 0\ (\mu m) \quad \text{..... (2.2)}$$

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

$$Rq = \sqrt{}\ 1\ l \int hi\ 2\ dx\ l\ 0 \quad \text{..... (2.3)}$$

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

$$Rz = \sum [\ R1 + R2 + \cdots + R5 - R6 \ldots R10\ 5\ ] \quad \text{..... (2.4)}$$

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

Harga toleransi kekasaran Ra ditunjukkan pada tabel 2.2. Toleransi harga kekasaran rata-rata, Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut, sedangkan pada Tabel 2.3 memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.2 Toleransi nilai kekasaran rata-rata Ra permukaan (Saputro, 2014)

| No | Kelas kekasaran | Harga C.L.A (µm) | Harga Ra (µm) | Toleransi N 50% -25% | Panjang sampel (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | N1 | 1 | 0.0025 | 0.02-0.04 | 0.08 |
| 2 | N2 | 2 | 0.05 | 0.04-0.08 | |
| 3 | N3 | 4 | 0.0 | 0.08-0.015 | 0.25 |
| 4 | N4 | 8 | 0.2 | 0.15-0.3 | |
| 5 | N5 | 16 | 0.4 | 0.3-0.6 | |
| 6 | N6 | 32 | 0.8 | 0.6-1.2 | |
| 7 | N7 | 63 | 1.6 | 1.2-2.4 | |
| 8 | N8 | 125 | 3.2 | 2.4-4.8 | 0.8 |
| 9 | N9 | 250 | 6.3 | 4.8-9.6 | |

| No | Kelas kekasaran | Harga C.L.A (µm) | Harga Ra (µm) | Toleransi N 50% -25% | Panjang sampel (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | N10 | 500 | 12.5 | 9.6-18.75 | 2.5 |
| 11 | N11 | 1000 | 25.0 | 18.75-37.5 | |
| 12 | N12 | 2000 | 50.0 | 37.5-75.0 | 8 |

Tabel 2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut pross pengerjaannya (Saputro, 2014)

| Proses Pengerjaan | Selang (N) | Harga (Ra) |
|---|---|---|
| *Flat and cylindrical lapping* | N1-N4 | 0.025 - 0.2 |
| *Superfinishing Diamond turning* | N1-N6 | 0.025 - 0.8 |
| *Flat cylindrical grinding* | N1-N8 | 0.025 - 3.2 |
| *Finishing* | N4-N8 | 0.1 - 3.2 |
| *Face and cyndrical turning, milling and reaming* | N5-N12 | 0.4 - 50.0 |
| *Drilling* | N7-N10 | 1.6 - 12.5 |
| *Shapping, Planning, Horizontal milling* | N6-N12 | 0.8 - 50.0 |
| *Sandcasting and forging* | N10-N11 | 12.5 - 25.0 |
| *Extruding, cold rolling, drawing* | N6-N8 | 0.8 - 3.2 |
| *Die casting* | N6-N7 | 0.8 - 1.6 |

Nilai kekasaran permukaan suatu benda kerja hasil dari proses pemesinan tergantung dari proses pengerjaannya. Proses pemesinan bubut memiliki tingkat kekasaran rata-rata Ra yaitu 0.4-5.0. Sedangkan pada proses pembubutan menggunakan intan, nilai kekasaran permukaan jauh lebih rendah.

## 2.12 *Response Surface Methode* (RSM)

*Response Surface Methodology* (RSM) merupakan suatu metode gabungan antara teknik matematika dan teknik statistik, digunakan untuk membuat

model dan menganalisa suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas/faktor x guna mengoptimalkan respon tersebut. Hubungan antara respon y dan variabel bebas x adalah:

$$Y = f(X1, X2,...., Xk) + \varepsilon \quad \text{..... (2.5)}$$

dimana:

Y = variabel respon

Xi = variabel bebas/ faktor ( i = 1, 2, 3,...., k )

ε = error

Langkah pertama dari RSM adalah menemukan hubungan antara respon y dan faktor x melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan *first-order model* (model orde I) :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i \quad \text{..... (2.6)}$$

Rancangan eksperimen orde I yang sesuai untuk tahap penyaring faktor adalah rancangan faktorial 2k (*Two Level Factorial Design*). Selanjutnya untuk model orde II, biasanya terdapat kelengkungan dan digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} X_i^2 + \sum\sum_{i<j} \beta_{ij} X_i X_j + \text{£} \quad \text{..... (2.7)}$$

Rancangan eksperimen orde II yang digunakan adalah rancangan faktorial 3k (*Three Level Factorial Design*), yang sesuai untuk masalah optimasi. Kemudian dari model orde II ditentukan titik stasioner, karakteristik permukaan respon dan model optimasinya (Wahjudi, 2012).

*Response Surface Methodology* (RSM) adalah kumpulanmatematika dan statistik teknik untuk empiris model bangunan. Dengan desain yang cermat dari percobaan, tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon (variabel output) yang dipengaruhi oleh beberapa variabel independen (variabel input). Eksperimen adalah serangkaian tes, disebut berjalan, di mana perubahan yang dibuat dalam variabel input untuk mengidentifikasi alasan untuk perubahan respon output.

Awalnya, RSM dikembangkan untuk model tanggapan eksperimental (Box, 1987), dan kemudian bermigrasi ke dalam pemodelan eksperimen numerik. Perbedaannya adalah dalam jenis kesalahan yang dihasilkan oleh respon. Dalam percobaan fisik, ketidaktelitian dapat disebabkan, misalnya, kesalahan dalam pengukuran sementara, dalam komputer, percobaan kebisingan numerik adalah hasil konvergensi lengkap dari hasil pengulangan, proses kesalahan *round-off* atau representasi diskritfisik terus menerus fenomena (Giunta, 1996) di RSM, kesalahan diasumsikan acak. Penerapan RSM untuk merancang optimasi bertujuan untuk mengurangi biaya metode analisis mahal (misalnya metode elemen hingga atau analisis CFD) danyang kebisingan numerik terkait.

Beberapa istilah yang sering digunakan dalam desain eksperimen:

1. Koefisien Regresi ($R^2$)

   Koefisien ini dinyatakan dalam %, yang menyatakan kontribusi regresi, secara fisik adalah akibat prediktor, terhadap variasi total variabel respon, yai-tu Y. Makin besar nilai $R^2$, makin besar pula kontri-busi atau peranan prediktor terhadap variasi respon. Biasanya model regresi dengan nilai $R^2$ sebesar 70% atau lebih dianggap cukup baik, meskipun tidak selalu. Rumus koefisien determinasi adalah sebagai berikut :

$$R^2 = \frac{\mathrm{JK}_{\mathrm{Regresi}}}{\mathrm{JK}_{\mathrm{Total}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.8)$$

   Hubungan antara prediktor *X* dengan respon *Y*, selain dapat dinyatakan oleh koefisien regresi, yaitu $b_1$, dapat pula dinyatakan dengan koefisien korelasi, yang dinotasikan $r_{X,Y}$. Bedanya, koefisien regresi dapat digunakan untuk memprediksi nilai respon, sedang pada koefisien korelasi tidak dapat. Persamaan yang menyatakan hubungan ini adalah :

$$b_1 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2} \right\}^{1/2} r_{X,Y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.9)$$

2. Lack of Fit

   Lack of fit artinya penyimpangan atau ketidak tepat-an terhadap model linier order pertama. Pengujian *lack of fit* artinya pengujian untuk mendeteksi apa-kah model linier order pertama tepat. Bila *lack of fit* tidak bermakna maka model linier order pertama tepat, sedang bila *lack of fit*

bermakna maka model linier order pertama tidak tepat, perlu dikembangkan menjadi model linier kuadratik atau model nonlinier. Pengujian *lack of fit* ini diperlukan bila terdapat pengamatan berulang, yaitu satu nilai prediktor atau satu kombinasi nilai prediktor (bila digunakan beberapa prediktor) yang berpasangan dengan beberapa nilai respon. Berikut ini akan ditampilkan organisasi data hasil pengamatan berulang pada eksperimen dengan satu dan dua prediktor. Organisasi Data Untuk Perhitungan Jumlah Kuadrat *Error* Murni.

3. *Coef*

   *Coef* atau *Coefficient* digunakan untuk menggambarkan ukuran atau arah hubungan antara variabel bebas dengan variabel tetap. Dimana nilai dari Coef dapat menentukan seberapa besar kenaikan variabel tetap jika variabel bebas dirubah.

4. SE *Coef*

   SE *Coef* atau *Standart Error Coefficient* adalah nilai kesalahan yang terjadi pada nilai *Coef*. SE *Coef* memprediksi berapa kesalahan yang terjadi jika suatu pengujian dilakukan secara berulang-ulang. Semakin kecil nilai SE *Coef* maka semakin kecil juga kesalahan yang akan terjadi jika pengujian dilakukan pengulangan.

5. T-*Value*

   T-*Value* adalah nilai rasio antara *Coef* dan SE *Coef*. Dalam minitab T-Value digunakan untuk menentukan nilai P-*Value*. Dimana semakin kecil nilai P-*Value*, maka semakin signifikan pengaruh variabel bebas terhadap variabel tetap.

6. P-*Value*

   P-*Value* atau nilai probabilitas adalah suatu nilai yang menunjukan seberapa berpengaruh suatu variabel bebas suatu percobaan terhadap variabel tetap. Semakin kecil nilai P-*Value* (mendekati nol) suatu variabel bebas, maka variabel bebas tersebut memiliki pengaruh yang kuat terhadap nilai variabel tetep.

7. VIF

   VIF atau *Variance Inflation Factor* adalah suatu nilai yang yang dapat mengindikasikan adanya multikolinearitas (korelasi antara variabel bebas), dimana nilai multikolinearitas dapat menyebabkan terlihat atau tidaknya pengaruh dari satu variabel bebas terhadap variabel tetap. Dimana jika nilai VIF=1 artinya tidak ada multikolinearitas, jika VIF>5 menunjukkan bahwa koefisien regresi diperkirakan buruk karena multikolinearitas yang parah.

8. DF

   DF atau *Degrees of Freedom* adalah suatu nilai atau data yang menunjukan jumlah informasi parameter yang digunakan pada proses pengujian. DF dipengruhi oleh pengamatan dan jumlah sampel yang digunakan.

9. Adj SS

   Adj SS atau *Adjusted sums of squares* adalah ukuran variasi untuk beberapa model dalam percobaan. Dimana dalam minitab Adj SS digunakan untuk menghitung nilai P-*Value*.

10. Adj MS

    Adj MS atau *Adjusted mean squares* digunakan untuk mengukur seberapa banyak variasi atau model, dengan asumsi bahwa semua persyaratan lainnya ada dalam model, terlepas dari urutan yang dimasukkan. *Adjusted mean squares* disesuaikan dengan mempertimbangkan derajat kebebasan.

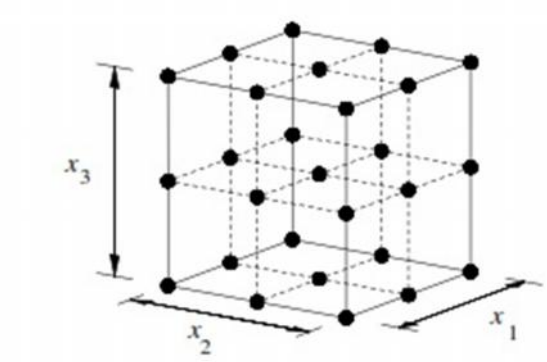
## 2.13 *Design Of Experiments*

Sebuah aspek penting dari RSM adalah desain eksperimen (Box, 1987), biasanya disingkat DoE. Strategi ini awalnya dikembangkan untuk model pas percobaan fisik, tetapi juga dapat diterapkan untuk numerik eksperimen. Tujuan dari DoE adalah pemilihan titik-titik di mana respon harus dievaluasi. Sebagian besar kriteria desain yang optimal dari eksperimen yang terkait dengan model matematis dari proses. Umumnya, model-model matematika adalah polinomial dengan struktur yang tidak diketahui, sehingga percobaan sesuai dirancanghanya untuk setiap masalah tertentu. Pilihan desain eksperimen dapat memiliki pengaruh besar pada keakuratan perkiraan dan biaya pembangunan permukaan respon.

Dalam DoE tradisional, skrining eksperimen dilakukan pada tahap awal proses,ketika ada kemungkinan bahwa banyak variabel desain awalnya dianggap memiliki sedikit atau tidak berpengaruh pada respon. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi  desain variabel yang memiliki efek besar untuk penyelidikan lebih lanjut. Pemrograman genetik telah menunjukkan sifat skrining yang baik (Gilbert, 1998).

## 2.14 *Full Factorial Design*

Untuk membangun model pendekatan yang dapat menangkap interaksi antara N desain, variabel pendekatan faktorial lengkap (Montgomery, 1997) mungkin diperlukan untuk menginvestigasi semua kombinasi. Sebuah percobaan faktorial merupakan eksperimental strategi di mana variabel desain bervariasi bersama-sama, bukan satu per satu. Batas bawah dan atas masing-masing dari N variabel desain dalam optimasi masalah perlu didefinisikan. Rentang yang diijinkan kemudian *discretized* pada yang tingkat berbeda. Jika masing-masing variabel didefinisikan pada hanya batas bawah dan atas (dua tingkat), rancangan percobaan disebut $2^N$ penuh faktorial. Demikian pula, jika titik-titik tengah disertakan, desain ini disebut $3^N$ faktorial penuh dan ditunjukkan pada Gambar 2.13.




Gambar 2.13 *Full Factorail Design* (27 Faktor)

## 2.15 D Optimal Design

Kriteria D-optimalitas memungkinkan konstruksi yang lebih efisien dari model kuadrat (Montgomery, 1991). Tujuannya adalah untuk memilih P desain poin dari satu set yang lebih besar dari poin calon sebagai:

$$Y = X * B + e \quad \text{..... (2.8)}$$

di mana Y adalah vektor pengamatan, e adalah vektor dari kesalahan, X adalah matriks nilai-nilai variabel desain di rencana poin dan B adalah vektor dari parameter talakuadrat-sebagai. B dapat diperkirakan dengan menggunakan metode:

$$B = (X^{t} * X)^{-1} X^{T} Y \quad \text{..... (2.9)}$$

kriteria D-optimal menyatakan bahwa set terbaik dari poin dalam percobaan memaksimalkan determinan $| X^{T}X |$. "D" adalah singkatan dari determinan dari $X^{T}X$matriks terkait dengan model. Dari sudut pandang statistik, D-optimal desainmengarah ke model permukaan respon yang varians maksimum tanggapan diprediksi diminimalkan. Ini berarti bahwa titik percobaan akan meminimalkan kesalahan dalam estimasi koefisien dari model respon. Keuntungan dari metode ini adalah kemungkinan untuk menggunakan bentuk tidak teratur dan kemungkinan untuk memasukkan poin desain tambahan. Umumnya, D-optimal adalah salah satu kriteria yang paling banyak digunakan dalam desain yang dihasilkan komputer eksperimen (Giunta, 1996).

## 2.16 *Box Behnken Design*

*Box-Behnken* adalah desain respon permukaan tiga tingkat desain faktorial (Tekindal, 2012). Menggabungkan dua tingkat desain faktorial dengan desain

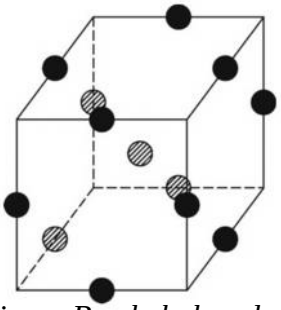
blok lengkap dengan cara tertentu. Desain *Box-Behnken* diperkenalkan untuk membatasi ukuran sampel sebagai jumlah parameter tumbuh. Ukuran sampel disimpan ke nilai yang cukup untuk estimasi koefisien dalam derajat kedua kuadrat mendekati jumlahnya banyak.

Dalam desain *Box-Behnken*, blok sampel yang sesuai dengan dua level desain faktorial diulang lebih dari set yang berbeda dari parameter. Parameter yang tidak termasuk dalam desain faktorial tetap pada tingkat rata-rata mereka di seluruh blok. Jenis (penuh atau pecahan), ukuran faktorial, dan jumlah blok yang dievaluasi, tergantung pada jumlah parameter dan dipilih sehingga desain memenuhi, persis atau sekitar, kriteria rotatability. Desain eksperimental dikatakan diputar jika varians dari respon diprediksi pada setiap titik merupakan fungsi dari jarak dari titik pusat saja.

| Block | Parameter | | |
|---|---|---|---|
| | ± | ± | 0 |
| | ± | 0 | ± |
| | 0 | ± | ± |
| | 0 | 0 | 0 |

Gambar 2.14 Tabel *Box Behnken* k=3 (Teknindal, 2012)

Dimana 3 parameter: 3 dari 3 blok dengan $2^2$ faktorial lengkap, ditambah titik pusat, 13 sampel keseluruhan, 10 koefisien yang diperlukan untuk interpolasi polinomial.



Gambar 2.15 Contoh experimen *Box behnken design* untuk k=3 (Teknindal, 2012)

Desain faktorial dibuat, ‘’0’’ singkatan dari variabel-variabel yang diblokir pada rata-rata. Mempertimbangkan desain *Box-Behnken* dengan tiga parameter (Gambar 2.14), dalam hal ini $2^2$ faktorial lengkap diulang tiga kali:

1. pada pertama dan parameter kedua menjaga parameter ketiga di tingkat rata-rata (*sampel*: *llm, lhm, hlm,hhm*)
2. pada pertama dan parameter ketiga menjaga parameter kedua pada tingkat rata-rata (*sampel*: *lml, lmh, hml, hmh*)
3. pada kedua dan parameter ketiga menjaga parameter pertama pada rata-rata (*sampel* : *mill, mlh, mhl, mhh*)

maka pusat titik (*mmm*) ditambahkan. secara grafis, sampel berada di titik tengah dari tepi ruang desain dan di tengah (Gambar 2.15). Sebuah interpretasi grafis hipotetis untuk k=4 kasus adalah bahwa sampel ditempatkan pada setiap titik tengah dari dua puluh empat wajah dua dimensi dari desain ruang empat dimensi dan di pusat. Adapun CCC dan CCI, semua sampel memiliki jarak yang sama dari titik pusat. Simpul dari ruang desain terletak relatif jauh dari sampel dan di luar convex hull mereka, untuk alasan ini permukaan respon berdasarkan pada *Box-Behnken design* eksperimental mungkin tidak akurat dekat simpul dari ruang desain. Hal yang sama terjadi untuk desain CCI. Respon analisis metodologi permukaan telah ditinjau. RSM dapat digunakan untuk pendekatan kedua tanggapan eksperimental dan numerik. Dua langkah yang diperlukan, definisi fungsi pendekatan dan desain rencana eksperimen (Teknindal, 2012).

# BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengunakan metode analisis eksprimental untuk mengetahui dan mendapatkan nilai parameter operasi yang tepat sehingga didapatkan kondisi optimum pada proses permesinan bubut menggunakan pahat putar pada magnesium paduan AZ31. Terlebih dahulu disiapkan 15 sampel yang termasuk di dalam 3 faktor 3 level dan 3 titik pusat dalam metode permukaan respon *Box Behnken design*.

Setelah didapat sample uji, kemudian dilakukan proses pemesinan bubut magnesium AZ31. Setelah data didapat, data kemudian diolah menggunakan aplikasi minitab.

## 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data penelitan dilaksanakan pada laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Pengujian tersebut berada pada kondisi temperatur ruang ± 27°C-35°C. Setelah data didapat, kemudian data tersebut diolah menggunakan Matlab untuk dilakukan proses statistik untuk menentukan nilai optimum untuk proses pemesinan bubut magnesium AZ31.

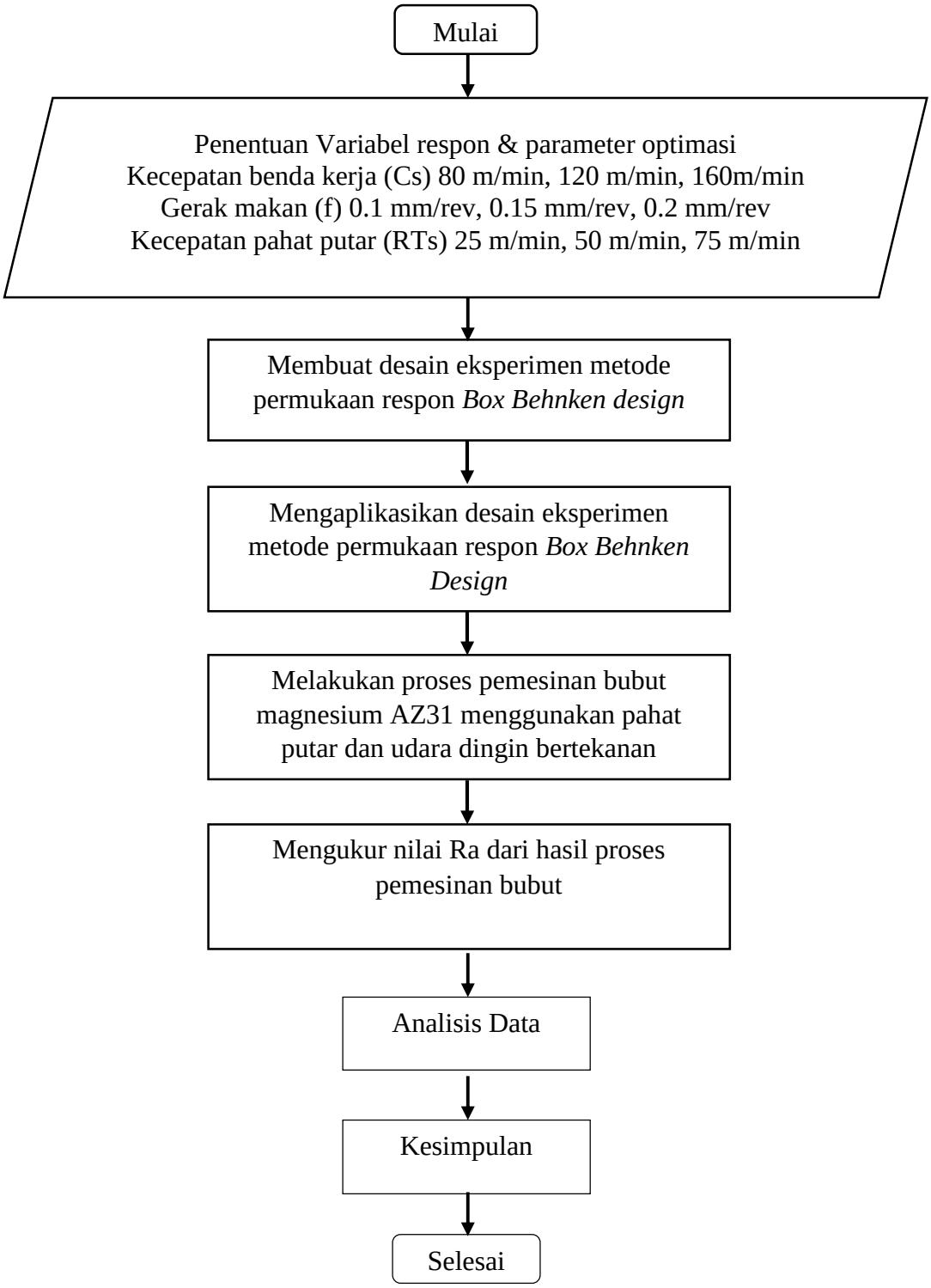
Adapun waktu pengambilan data adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Waktu pengambilan data

| Kegiatan | | Juni | | | | Juli | | | | Agustus | | | | September | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Studi Literatur | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Persiapan Alat dan Bahan Pengujian | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Pengujian dan Pengambilan Data | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Pengolahan Data | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Pembuatan Laporan Akhir | | | | | | | | | | | | | | | | |

### 3.3 Alur Penelitian

Adapun alur penelitian ini adalah sebagai berikut:




Gambar 3.1 Diagram Alir penelitia

## 3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian mengenai optimasi nilai kekasaran permukaan magnesium AZ31 pada proses pemesinan bubut menggunakan pahat putar dan udara bertekanan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Alat

   Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

   a. Laptop

      Laptop pada penelitian ini digunakan sebagai tempat pengolahan data dengan menggunakan *software* Minitab.

   b. Minitab

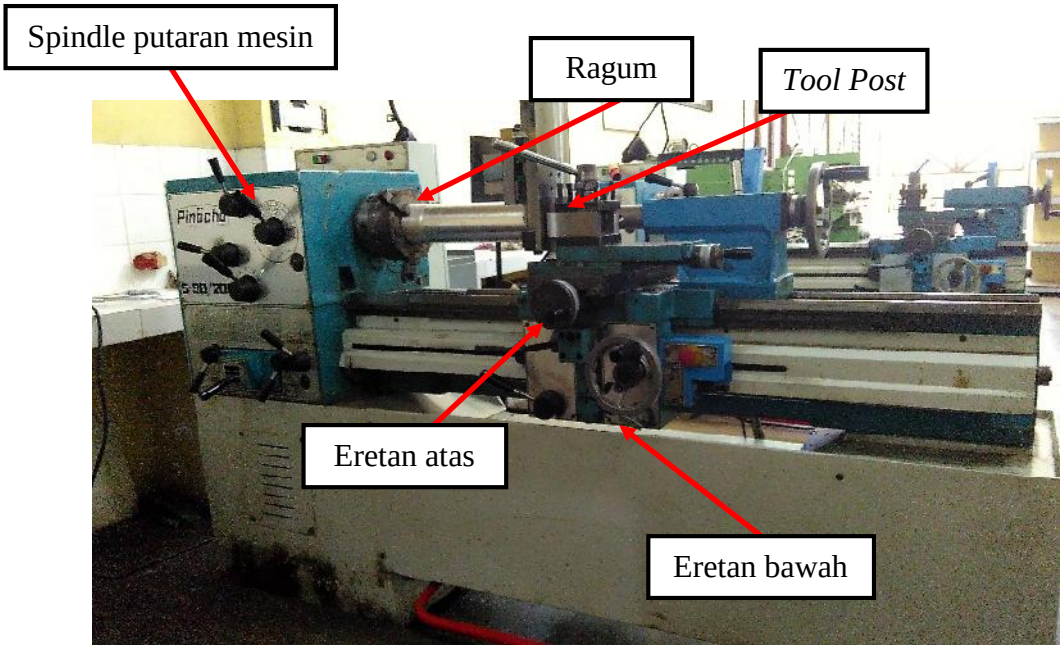
      MINITAB adalah program komputer yang dirancang untuk melakukan pengolahan statistika. Minitab mengkombinasikan kemudahan penggunaan layaknya Microsoft excel dengan kemampuannya melakukan analisis statistik yang kompleks (Simarmata, 2010). MINITAB adalah perangkat lunak statistik yang menyediakan berbagai kemampuan untuk analisis statistik baik dasar dan lanjutan. Program ini memiliki kemampuan yang kuat dan mudah digunakan menjadikannya ideal sebagai alat pengajaran. Sebagai buktinya MINITAB telah digunakan di lebih dari 4000 perguruan tinggi, universitas dan sekolah menengah di seluruh dunia. Dikembangakan lebih dari 30 tahun yang lalu dari professor ke psrofesor, MINITAB telah menjadi standar untuk pembelajaran statistik. Dan karena MINITAB adalah paket terdepan yang digunakan

untuk meningkatkan proses dan kualitas dalam perusahaan, murid yang mempelajari MINITAB pasti mendapatakan keuntungan dari mengetahui dan juga dapat menggunakan alat yang digunakan dalam dunia bisnis sebenarnya (Ryan, Joiner, & Cryer, 2005). Pada penelitian ini, *software* Minitab digunakan untuk pengaplikasian metode permukaan respon *Box Behnken Design* yaitu untuk mengetahui nilai optimasi proses permesinan bubut menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan terhada bahan uji magnesium AZ31.

c. Mesin bubut

Mesin bubut adalah salah satu mesin perkakas yang dapat digunakan untuk melakukan proses pemesinan untuk berbagai material (Kalpakjian, 2009). Proses bubut adalah proses pemesinan yang sering digunakan dalam proses produksi. Dalam pengoprasiannnya, mesin bubut memiliki beberapa paramaeter pada setiap proses pemesinan bubut. Tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar mesin (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Proses pemesinan bubut menghasilkan benda kerja yaitu bagian bagian mesin berbentuk silindris (Widarto, 2008).

Pada penelitian ini, mesin bubut yang digunakan adalah mesin bubut Laboratorium Teknologi Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dimana mesin bubut yang dimaksud adalah mesin bubut konvensional.




Gambar 3.2 Mesin bubut konvensional

Mesin bubut ini digunakan untuk melakukan proses pengujian pemesinan untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan dari magnesium AZ31.

Adapun spesifikasi mesin bubut yang digunakan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

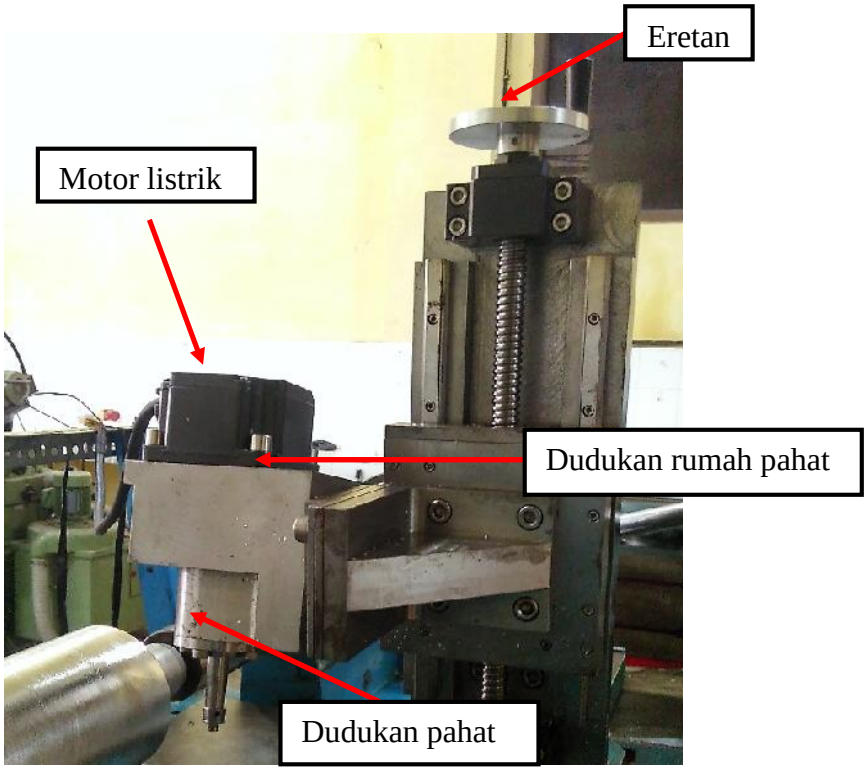
Tabel 3.2 Spesifikasi mesin bubut

| No | Spesifikasi Mesin Bubut | |
|---|---|---|
| 1 | Merk | PHINACO |
| 2 | Type | S-90/200 |
| 3 | Motor | Main Motor Power: 4 Kw |
| 4 | Central High | 200 mm |
| 5 | Central Distance | 750-1150 mm |
| 6 | Swing Over Bed | 400 mm |
| 7 | Swing Over Grap | 600 mm |
| 8 | Swing Over Carriage | 370 mm |
| 9 | Swing Cross Slide | 210 mm |

(Sumber : Doni, 2015)

d. Modular pahat putar

Pada penelitian ini, pahat yang digunakan adalah pahat putar (*rotary tools* ). Pahat putar telah menerima perhatian dari banyak penelitian terakhir ini, karena penerapannya dalam proses pemesinan dapat dapat menurunkan suhu pemotongan serta untuk meningkatkan produktivitas proses pemesinan (Shaw, 1952) (Lei Liu, 2002) (V. Dessoly, 2004). Selain dapat menurunkan temperatur suhu pemotongan, karena kecepatan rotasi pahat putar tidak tergantung pada mesin, sehingga kecepatan rotasi pahat putar dapat dirubah dengan mudah, hal ini dapat meningkatkan produktivitas pemesinan (Harun, 2009).




Gambar 3.3 Modular Pahat putar

Tabel 3.3 Spesifikasi Modulur Pahat Putar

| No | Spesifikasi Modulur Pahat Putar | |
|---|---|---|
| 1 | Merk | - |
| 2 | Type | - |
| 3 | Motor | BLDC |
| 4 | Max RPM motor | 2000 rpm |
| 5 | Panjang Bed | 750 mm |
| 6 | Lebar Bed | 150 mm |
| 7 | Tinggi Bed | 200 mm |
| 8 | Arus Motor | DC |

(Sumber : Novriadi, 2016)

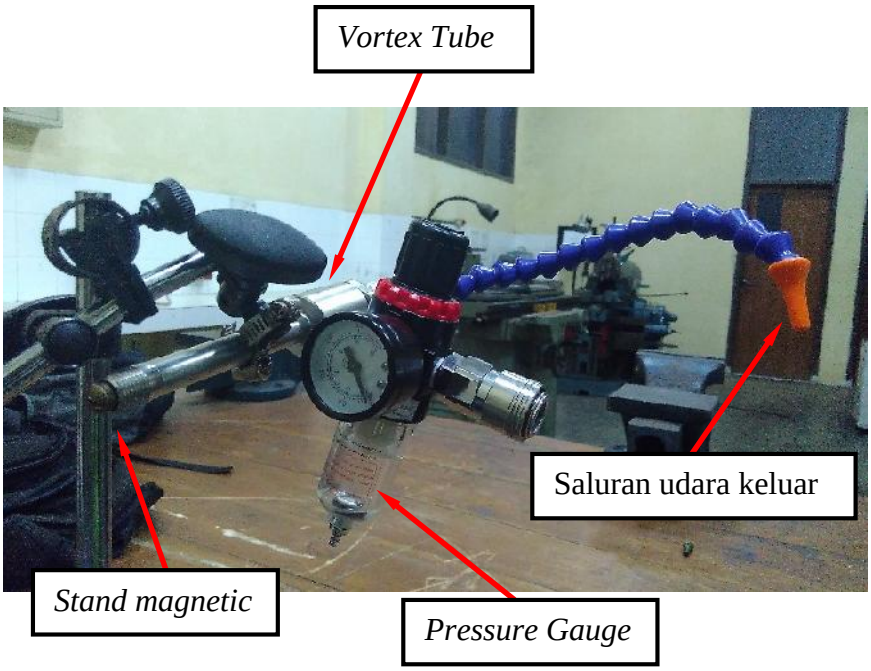
Putaran pahat digerakan menggunakan motor lisrik. Motor listrik yang digunakan pada pahat putar ini memiliki kecepatan 0-2000 rpm dengan arah putaran CW (*Clockwise*) dan CCW (*Counter Clockwise*).

e. *Vortex tube*

Tabung vortex, juga dikenal sebagai tabung pusaran *ranque-Hilsch*, adalah perangkat mekanis yang memisahkan gas terkompresi ke dalam aliran panas dan dingin. Penggunaan *vortex tube* atau tabung ranque-Hilsch (RHVT) sangat sederhana, biaya murah, perangkat kecil, ringan, mudah digunakan dan tidak memerlukan energi listrik (Taha, 2013). Pada umumnya *vortex tube* terbuat dari *stainless steel* (Exair Corporation, 2013).

Banyak peneliti melakukan penelitian tentang vortex tube dengan menggunakan dua jenis desain, pertama desain vortex tube dengan penurunan temperatur maksimum untuk menghasilkan jumlah udara kecil dengan temperatur yang sangat rendah. Kedua, desain vortex

tube dengan kapasitas pendinginan maksimum untuk menghasilkan jumlah udara besar dengan temperatur yang sesuai. Parameter yang dipakai dalam penelitian, digunakan untuk mengetahui hubungan dan pengaruhnya terhadap performa vortex tube yang meliputi : diameter nosel, diameter *cold orifice*, aliran massa udara dingin dan panas, panjang tabung dan luasan area pada keluaran udara panas (Andriyansyah, 2014).

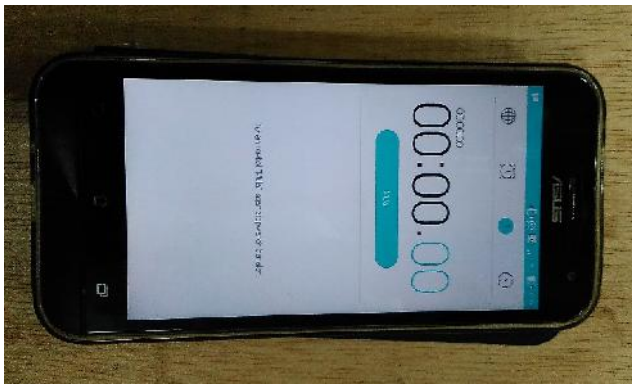



Gambar 3.4 Perangkat *Vortex Tube*

*Vortex tube* pada penelitian ini digunakan sebagai perangkat untuk menyuplai udara dingin bertekanan pada saat proses pemesinan berlangsung. Dimana *Vortex tube* dipasangkan pada *stand magnetic* sebagai dudukannya.

f. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk mencatat waktu setiap kali melakukan proses pemesinan. *Stopwatch* yang digunakan pada pengujian proses pemesinan ini adalah *stopwatch* yang berada pada aplikasi *smartphone* dengan ketelitian waktu dua angka dibelakang koma.




Gambar 3.5 *Stopwatch*

g. Thermometer

Thermometer yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *thermocouple* Lutron TM2000 dengan spesifikasi memiliki persimpangan dingin +/- $5^{o}$ C dan memiliki akurasi pembacaan +/- 3% dari temperatur sebenarnya (Riadi, 2014).

Gambar 3.6 *Thermocouple* (Riadi, 2014)

*Thermocouple* ini digunakan untuk menentukan temperatur udara dingin yang dihasilkan oleh *vortex tube*. Penentukan temperatur dilakukaan pada saat sebelum proses pengujian berlangsung.

h. Pahat insert *carbide*

Pada penelitan ini, mata potong atau pahat potong yang digunakan adalah insert *carbide*. Pahat insert *carbide* atau karbida digunakan untuk menyayat berbagai jenis baja, besi tuang dan non ferro yang mempunyai sifat mampu mesin yang baik (Widarto, 2008).

Gambar 3.7 Pahat RCMT 1606

Bentuk dari pahat yang digunakan berbentuk seperti sebuah mangkuk yang berlubang ditengahnya. Pahat insert karbida yang digunakan adalah merk sanvik dengan kode pahat RCMT 1606.

i. Tachometer

Tachometer adalah sebuah instrumen atau alat yang mampu untuk mengukur kecepatan putaran dari poros engkol atau piringan, seperti yang terdapat pada sebuah motor atau mesin lainnya. Alat ini biasanya menampilkan *revolutions perminute* (RPM) pada sebuah pengukur

skala analog, namun yang versi tampilan digital juga sudah semakin popular (Izar, 2012).

Gambar 3.8 Tachometer (sumber : http://souduredesign.com)

Tachometer digunakan untuk menentukan nilai putaran dari motor listrik pada pahat putar. Hal ini dilakukan juga bertujuan untuk mengkalibrasi putaran yang motor listrik penggerak pahat putar.

j. Kompresor

Kompresor merupakan alat mekanik yang digunakan untuk menyuplai udara bertekanan. Pada penelitian ini, kompresor berfungsi sebagai alat untuk menyuplai udara bertekanan untuk *vortex tube*.

Gambar 3.9 Kompresor

Tabel 3.4 Spesifikasi kompresor

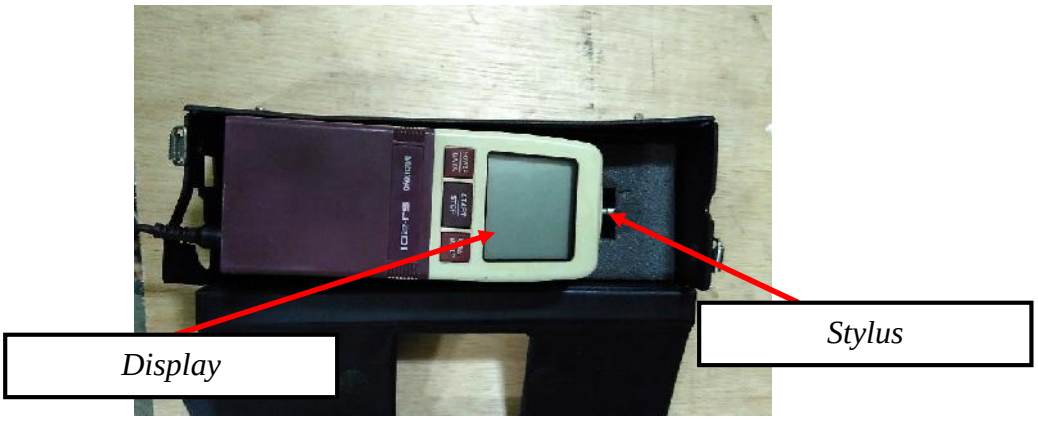
| No | Spesifikasi Kompresor | |
|---|---|---|
| 1 | Merk | SWAN |
| 2 | Type | SDU-203 |
| 3 | Motor (hp) | 3 |
| 4 | Pressure (kg/cm2.g) | 8 |
| 5 | Capacity (cfm) | 10 |
| 6 | Dimensi L x W x H (mm) | 1480 x 520 x 950 |

(Sumber : http:// swanair.com)

Jenis kompresor yang digunakan adalah SWAN *oil less compressor* 3HP 8 Bar. Kompresor ini digerakan menggunakan motor listrik tiga phasa.

k. *Roughness tester*

*Surface Roughness Tester* merupakan alat pengukuran kekasaran permukaan (Fridayadi, 2013)**.** Pada penelitian, alat ini digunakan untuk menentukan nilai kekasaran permukaan benda uji setelah dilakukan proses pemesinan bubut magnesium AZ31 menggunakan udara dingin bertekanan.




Gambar 3.10 *Surface roughness tester*

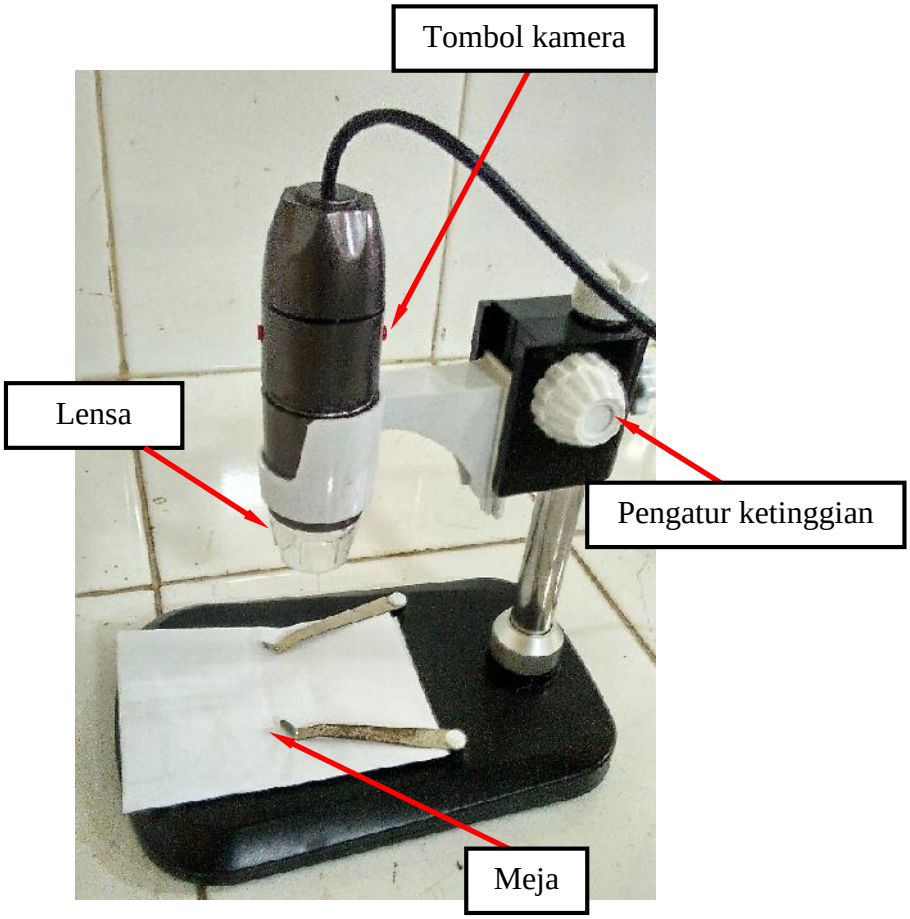
Adapun spesifikasi dari alat *Surface Roughness Tester* adalah :

Tabel 3.5 Spesifikasi alat *surface roughness tester*

| No | Spesifikasi | |
|---|---|---|
| 1 | Merk | Mitutoyo SJ-210 |
| 2 | Pabrikasi | Japan |
| 3 | Ketelitian | 0.01m |

l. Mikroskop USB

Kamera Mikroskop USB digunakan untuk mengambil gambar profil permukaan dari material magnesium yang sudah dilakukan proses permesinan. Memiliki pembesaran hingga 1000 kali dan mudah digunakan.




Gambar 3.11 Mikroskop USB

Adapun spesifikasi dari Mikroskop USB adalah:

Tabel 3.6 Spesifikasi mikroskop USB

| No | Spesifikasi |
|---|---|
| 1 | HD *Color* dengan CMOS sensor |
| 2 | *High Speed* SPS |
| 3 | 24 bit DSP |
| 4 | 5x *Digital Zoom* |
| 5 | *Digital Measurenment Software* |
| 6 | *Calibration Ruler* |
| 7 | Usb Port 2.0 & Usb 1.1 |

m. Vernier caliper

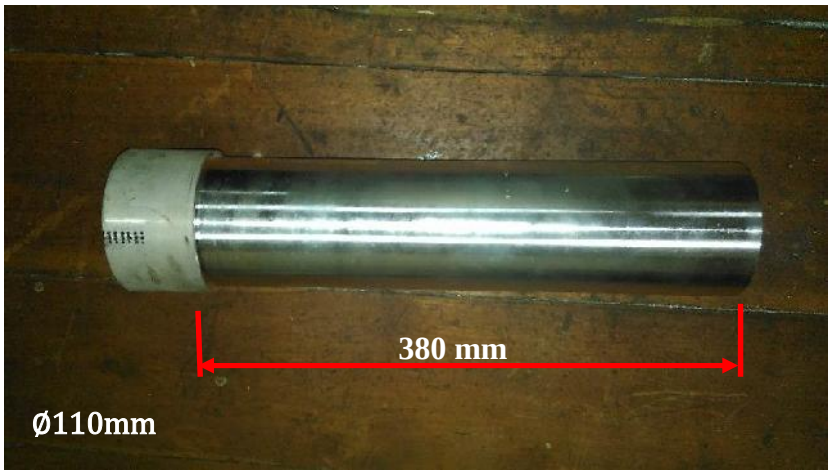
Vernier caliper digunakan untuk proses pengukuran. Pengukuran dilakukan untuk menentukan besaran dalam bentuk angka (Koes Sulistiadji. 2009).

Gambar 3.12 Vernier caliper

Pada pengujian, vernier caliper yang digunakan adalah vernier caliper dengan ketelitian 0.05. alat ukur ini digunakan untuk mengetahui dimensi dari benda kerja yang akan diuji.

2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada pengujian adalah magnesium AZ31. Magnesium adalah salah satu jenis logam ringan dan bukan termasuk kedalam logam jenis Be dan Li, memiliki berat jenis 1.738 dan koefisien thermal yang tinggi yaitu 14 x $10^{-6}$ in/in. F (25 x $10^{-6}$ m/m K), dan memiliki sifat konduktifitas listrik dan thermal yang cukup tinggi (31% IACS dan 79 Btu/h $ft^2$ $^oF$/ft (137 W/m K) (Budinski, Kenneth G.1999).




Gambar 3.13 Magnesium AZ31

Tabel 3.7 Karakteristik fisik dan thermal material paduan magnesium AZ31

| No | Karakteristik | Nilai |
|---|---|---|
| 1 | Density [kg/$mm^3$] | 1,77 x $10^{-6}$ |
| 2 | Modulus Young[kN/$mm^2$] | 45,000 |

| No | Karakteristik | Nilai |
|---|---|---|
| 3 | Possion's ratio | 0.35 |
| 4 | Temperatur Leleh [K] | 891 |
| 5 | Konduktifitas thermal [w/(mK)] | 77 + 0.096T |
| 6 | Kapasitas Spesifik panas [J/(kgK)] | 1000 + 0.666T |
| 7 | Koefisien muai panas[$K^{-1}$] | 2.48 x $10^{-5}$ |

(Sumber : *Analysis of surface integrity in dry and cryogenic machining of AZ31B Mg Alloys*, 2011)

## 3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menetapkan angka untuk variabel dan respon dalam sebuah tabel yang digunakan pada saat proses permesinan berlangsung :

Tabel 3.8 Parameter penelitian

| No | Kecepatan benda kerja (Cs) | Gerak makan (f) | Kecepatan pahat putar (RTs) |
|---|---|---|---|
| | (m/min) | (mm/rev) | (m/min) |
| 1 | 80 | 0.10 | 25 |
| 2 | 120 | 0,15 | 50 |
| 3 | 160 | 0,20 | 75 |

2. Menyiapkan tabel penelitian untuk metode permukaan respon *Box Behnken,* adapun tabelnya adalah sebagai berikut :

Tabel 3.9 Parameter Penelitian *Box Behnken Design*

| No. Eksperimen | Run Order | Kode Untuk Variabel | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Kec. benda kerja (Cs) (m/min) | Gerak makan (f) (mm/rev) | Kec. pahat putar (RTs) (m/min) |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 8 | 1 | 0 | -1 |
| 3 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 13 | -1 | 0 | -1 |
| 5 | 6 | -1 | 0 | 1 |
| 6 | 5 | 0 | -1 | 1 |
| 7 | 4 | -1 | -1 | 0 |
| 8 | 2 | -1 | 1 | 0 |
| 9 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 10 | 1 | 0 | 1 |
| 11 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 15 | 0 | -1 | -1 |
| 13 | 12 | 1 | -1 | 0 |
| 14 | 7 | 0 | 1 | 1 |
| 15 | 14 | 0 | 1 | -1 |

Dengan keterangan tabel penjelasan mengenai keterangan faktor yaitu :

Tabel 3.10 Data Nomer *Run Order Box Behnken Design*

| No | Parameter Pemotongan | Nomer *Coding Box Behnken* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **-1** | **0** | **1** |
| 1 | Cs (m/min) | 25 | 50 | 75 |
| 2 | f (mm/rev) | 0.10 | 0.15 | 0.20 |
| 3 | RTs (m/min) | 80 | 120 | 160 |

3. Mempersiapkan bahan uji, yaitu magnesium AZ31

   Paduan Magnesium AZ31 yang sebelumnya berbentuk silinder dengan penampang lingkaran tidak sempurna diameter +/- 150mm dan panjang +/- 500mm. Kemudian dilakukan proses pemesinan bubut untuk mendapatkan bentuk silinder dengan diameter 110 mm dan panjang 480 mm.

4. Melakukan pemesinan bubut pada bahan uji

   Paramater pemesinan bubut yang digunakan adalah parameter yang sudah ditentukan. Adapun tahapan pelaksanaan proses pemesinan bubut pada pengujian ini adalah sebagai berikut :

   a. Melakukan *set up* mesin bubut.
   b. Melakukan *set up* benda uji.
   c. Melakukan *set up* perangkat *vortex tube* dan pahat putar pada mesin bubut.
   d. Melakukan pengukuran suhu udara dingin bertekanan pada selang keluar *voertex tube.*
   e. Melakukan kalibrasi putaran motor pahat putar pada putaran tertentu.

f. Melakukan kalibrasi mesin bubut pada kondisi parameter tertentu.
g. Menentukan kondisi parameter pemotongan ( kecepatan potong, kedalaman potong, gerak makan, dan kecepatan motor pahat putar ) sesuai urutan pada tabel 3.7 *run order*.
h. Melakukan proses pemesinan bubut magnesium sesuai urutan pada tabel 3.7 *run order*.
i. Mengamati kondisi kontur permukaan setelah proses pemesinan bubut dengan menggunakan mikroskop USB.
j. Mengukur nilai kekasaran permukaan benda uji setelah proses pemesinan bubut menggunakan *Roughness tester*. Pengukuran kekasaran permukaan menggunakan alat surface tester. Pada tiap-tiap unit pengukuran kekasaran per urutan run order, dilakukan sebanyak 3 kali pengambilan pada titik yang berbeda. Hal ini guna memperoleh hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan benda uji yang lebih akurat.
k. Mengumpulkan data hasil penelitian berupa nilai kekasaran sebagai hasil utama dan waktu proses pemesinan serta kontur permukaan magnesium setiap satu parameter uji sebagai data hasil tambahan. Tabel data waktu keausan sebagai berikut :

Tabel 3.11 Nilai kekasaran permukaan

| Run Order | Kecepatan benda kerja (Cs) (m/min) | Gerak makan (f) (mm/rev) | Kecepatan pahat putar (RTs) (m/min) | Nilai kekasaran permukaan benda uji |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 80 | 0.1 | 50 | |
| 2 | 160 | 0.1 | 50 | |
| 3 | 80 | 0.2 | 50 | |
| 4 | 160 | 0.2 | 50 | |
| 5 | 80 | 0.15 | 25 | |
| 6 | 160 | 0.15 | 25 | |
| 7 | 80 | 0.15 | 75 | |
| 8 | 160 | 0.15 | 75 | |
| 9 | 120 | 0.15 | 75 | |
| 10 | 120 | 0.2 | 25 | |
| 11 | 120 | 0.1 | 75 | |
| 12 | 120 | 0.2 | 75 | |
| 13 | 120 | 0.15 | 50 | |
| 14 | 120 | 0.15 | 50 | |
| 15 | 120 | 0.15 | 50 | |

5. Mengaplikasikan data kedalam metode permukaan respon *Box Behnken design*.

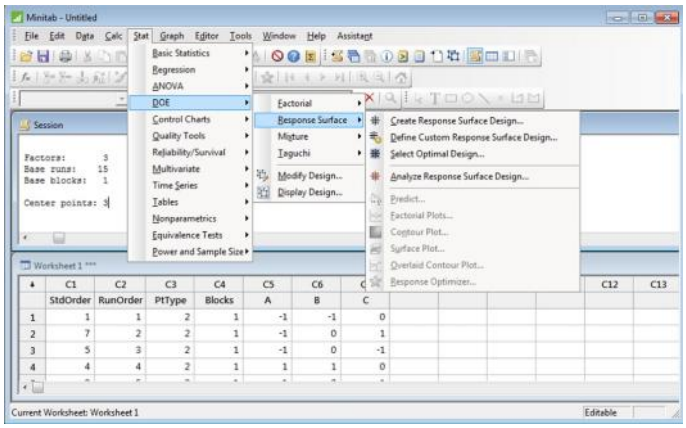
   Data yang sudah didapat kemudian diolah kedalam metode permukaan respon *Box Behnken* design menggunakan *software* Minitab. Sehingga didapatkan nilai optimal untuk kemudian diterapkan pada proses permesinan magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara bertekanan dan menghasilkan material produk yang memiliki kekasaran permukaan yang memiliki nilai rendah

   Adapun langkah-langkah penerapan metode permukaan respon *box behnken design* pada *software* Minitab adalah sebagai berikut :

   a. Membuka aplikasi minitab yang ada pada komputer atau laptop dengan cara mengklik dua kali ikon Minitab pada desktop.

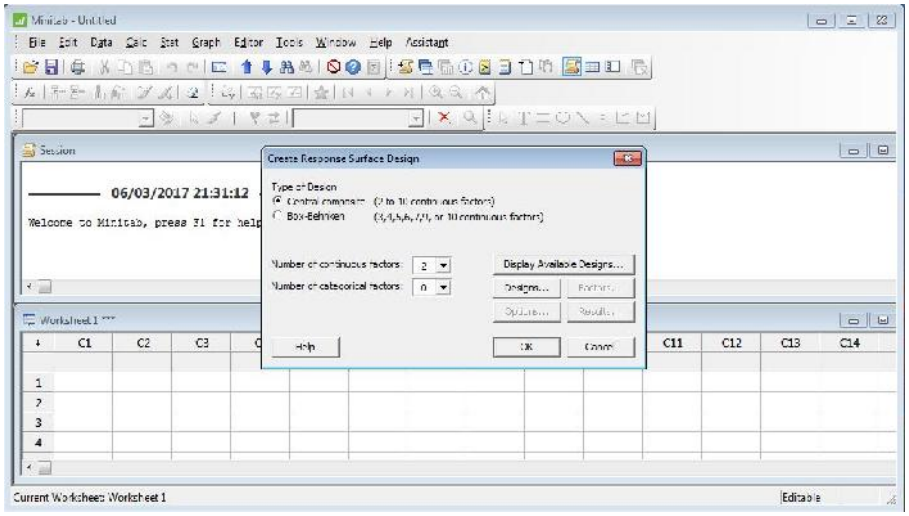
Gambar 3.14 Ikon Minitab pada desktop

   *b.* Setelah jendela *worksheet* pada Minitab muncul, kemudian mengklik *Start- DOE- Response Surface- Creat Response Surface Design*




Gambar 3.15 Jendela *worksheet* Minitab

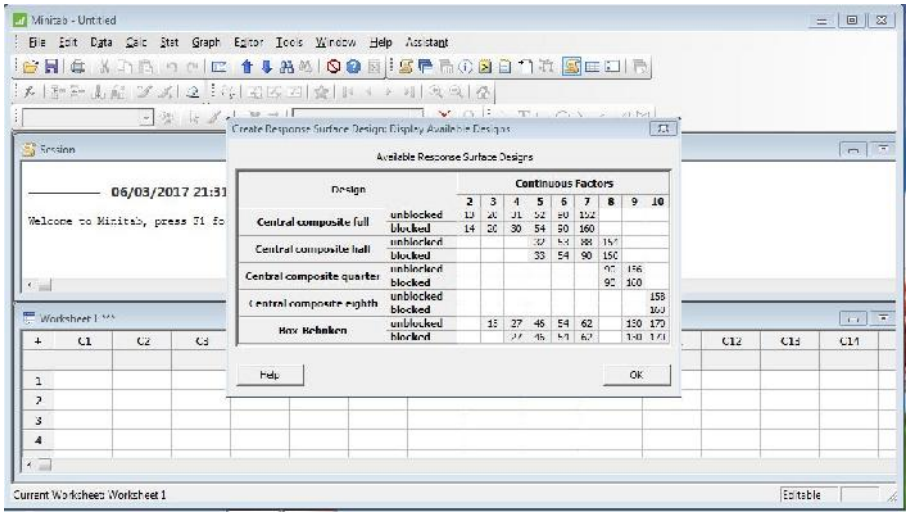
c. Setelah mengklik *Creat Response Surface Design* maka muncul jendela pilihan *Creat Response Surface Design.*




Gambar 3.16 Jendela *Creat Response Surface Design*

Pada jendela *Creat Response Surface Design*, kemudian memilih *Box Behnken Design*, dengan mengisi *Number of countinuous factor* 3 (tiga) dan *Number of categorical factor* 0 (nol).

d. Mengklik *Display Available Designs*

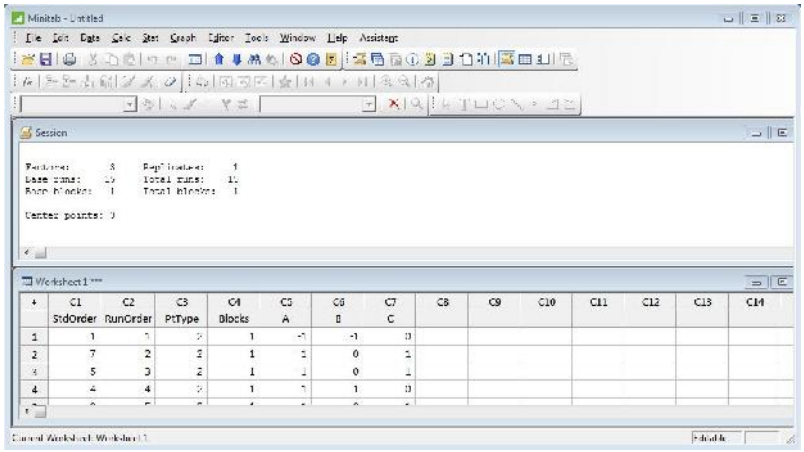



Gambar 3.17 Jendela *Display Available Designs*

Kemudian memilih *Designs Box Behnken Unblocked* dengan *Countinuous Factors* 15 (limabelas) pada jendela. Kemudian klik OK.

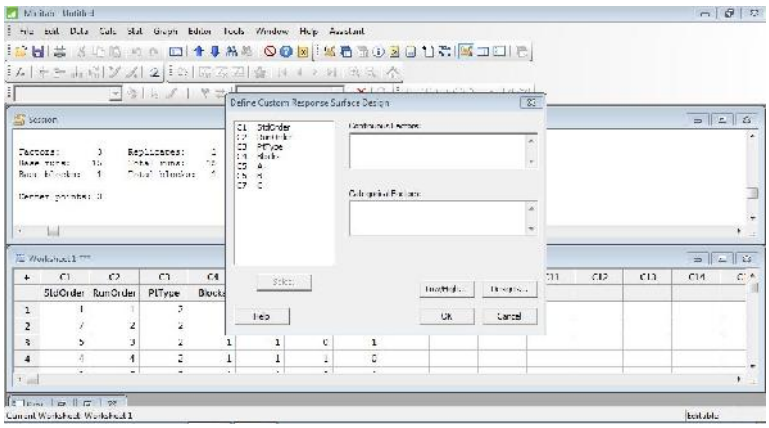
e. Kemudian klik *Designs* klik OK, lalu klik *Factors* klik OK, klik *Options* klik OK dan klik *Result* dan pilih *Summary Table* atau *summary table and design table*.

f. Kemudian muncul *worksheet* seperti pada gambar




Gambar 3.18 *Worksheet Box Behnken Design*

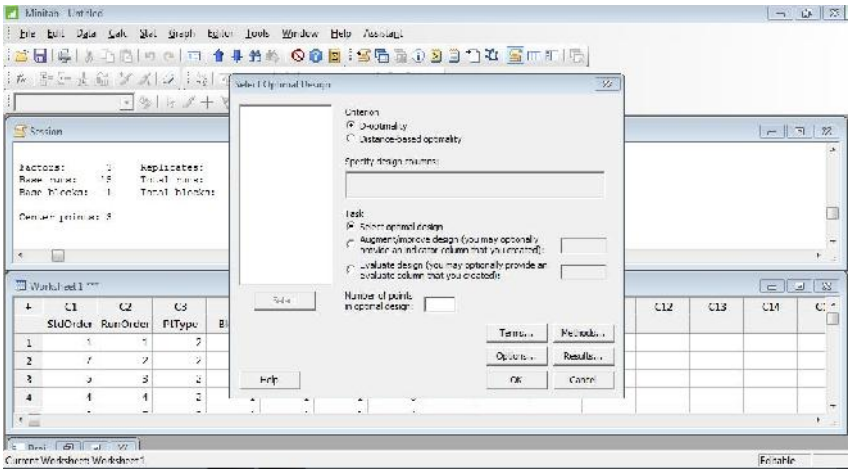
g. Klik *Start- DOE- Response Surface- Define Custom Response Surface Design*



Gambar 3.19 Jendela *Define Custom Response Surface Design*

Pada *Continuous Factor* diisi dengan variabel tetap, yaitu Cs,f, RTs sedangkan pada *Catarogical Factor* diisi dengan Ra

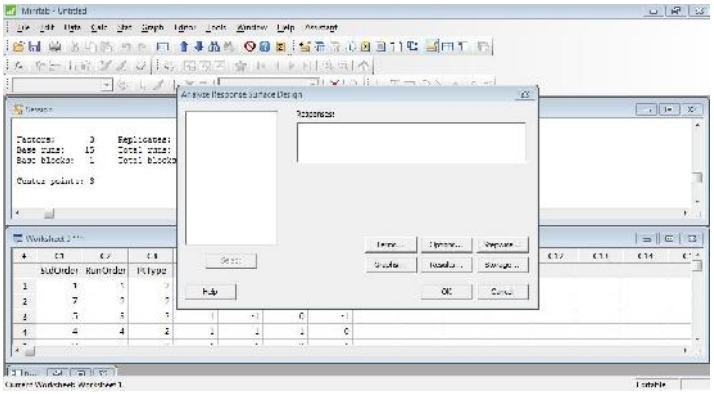
h. Setelah step *Define Custom Response Surface Design* selesai, kemudian klik *Start- DOE- Response Surface- Select Optimal Design.*



Gambar 3.20 Jendela *Select Optimal Design*

Pilih *Distance-Based Optimality*, kemudian input variabel Cs, f, RTs dan Ra pada *Specify Design Columns*. Lalu isi kolom pada *Number of points in optimal design*.

i. Kemudian klik *Start- DOE- Response Surface- Select Optimal Design Analyze Response Surface Design,* pada kolom *Responses* klik variabel Cs, f, RTs dan Ra. Kemudian klik OK



Gambar 3.21 Jendela *Optimal Design Analyze Response Surface Design*

j. Setelah *Analyze Response Surface Design* berhasil, maka dapat menentukan *Predict*, *Factorial plot* sampai kepada *Response optimizer* untuk proses pemesinan magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan.

# BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian mengenai pengaplikasian metode *Box Behnken Design* pada proses pemesinan bubut magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan adalah :

1. Metode RSM *Box Behnken Design* dapat digunakan untuk proses optimasi pada proses bubut magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan.
2. Data hasil uji pemodelan respon optimasi menunjukan bahwa pediksi nilai varabel bebas untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang baik adalah pada kecepatan benda kerja (Cs) 80 m/min, gerak makan (f) 0.2 mm/rev, dan kecepatan pahat putar (RTs) 25 m/min, dengan nilai prediksi kekasaran permukaan yang didapat sebesar 0.552083 µm.
3. Model matematika untuk mendapatkan nilai kekasaran (Ra) pada proses pemesinan bubut magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara dingin bertekanan:

   `Ra=2,12(0,0242*Cs)(3,9*f)+(0,0108*RTs)+(0,000105*Cs*Cs)(26,8*f*f)(0,000271*RTs*RTs)+(0,0621*Cs*f)0,000027*Cs*RTs)+(0,1027*f*RTs)`

## 5.2 Saran

Adapun saran yang bisa penulis sampaikan untuk penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan kembali pemodelan optimasi pada proses pemesinan bubut magnesium AZ31 menggunakan pahat putar dan udara bertekanan dengan metode RSM yang lain.
2. Memvariasikan parameter proses pemesinan bubut pada pembubutan magnesium dengan variasi parameter yang lain, diantarnya kedalaman pemotongan dan temperatur udara dingin yang disuplai.
3. Menggunakan metode RSM *Box Behnken Design* pada proses pemesinan yang lain. Seperti proses pemesinan frais, pemesinan bor dan sebagainya.
4. Melakukan uji metode RSM *Box Behnken Design* pada proses pembubutan yang sama dengan material uji (benda kerja) yang berbeda.

# DAFTAR PUSTAKA


Afriyany, Reny. Dkk. 2018. Pengaruh Gerak Makan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Ss 316l Pada Proses Bubut. Universitas IBA Palembang. Lampung.

Andriansyah. 2014. Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Dalam Pengefreisan Magnesium Tersuplai Udara Dingin. Universitas Lampung. Lampung

Anonymous. 2017. http://www.alatuji.com/kategori/113/roughness-tester. Diakses pada Februari 2017

Ansyori, Anang. 2015. Pengaruh Kecepatan Potong dan Makan terhadap Umur Pahat pada Pemesinan Freis Paduan Magnesium. Universitas Malhayati. Bandarlampung.

Arjomandi. Dkk. 2010. A critical review of temperature separat-ion in vortex tube. Experimental Thermal and Fluid Science.

Asmed. Dkk. 2010. Pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan proses bubut untuk material ST37. Politeknik Negeri Padang. Padang.

Behera. Dkk. 2008. Numerical investigations on flow behavior and energy separation in Ranque-Hilsch vortex tube. International Journal of Heat and Mass Transfer.

Blawerd, N. Hort and K.U. Kainer. 2004. *Automotive Applications Of Magnesium And Its Alloys*. Trans. Indian Inst. Met. Vol.57, No. 4, pp. 397- 408.

Box, G.E.P. and Draper, N.R. 1987. Empirical model-building and response Surfaces, John Wiley & Sons: New York.

Budinski, Kenneth G.1999. Engineering Materials Sixth Editions.Prenticel Hal International, Inc. United States of America. Amerika.

Burgeon, Luis. http://www.brad.ac.uk/staff/vtoropov/burgeon/thesis_luis/chapter.-pdf. tahun 2000. diakses pada Februari 2017.

Darwish. 2000. Machining of difficult to cut materials with bonded tools, International Journal of Adhesion & Adhesives 20, 279-289

Dessoly. V, Melkote, S.N , Lescailer, C.2004. Modeling and Verification of Cutting Tool Temperatures in Rotary Tool Turning of Hardened Steel. International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol.44 pp 1463-1470

Doni, Ahmad Rama. 2015. Analisa Nilai Kekasaran Permukaan P-Aduan Magnesium AZ31 Yang Dibubut Menggunakan Pahat Potong Berputar. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung: Bandar Lampung.

Ezugwu, E.O ,Tang S.H. 1995. Surface abuse when machining cast iron (G-17) and nickelbase superalloy (Inconel 718) with ceramic tools. Journal of Materials Processing Technology 55, 63-69.

Fridayadi, Eko. 2013. Analisis Kekasaran Permukaan Benda Kerja Hasil Proses Milling Horizontal Pada Baja St 37 Akibat Variasi Kecepatan Potong, Kecepatan Makan Dan Kedalaman Pemakanan. Universitas Jember: Jember.

Gilbert, Daniel. 1988. Immune Neglect . A Sourch of Durability Bias in affecti-ve Forecasting. Harvard University. Amerika.

Giunta, A.A. dkk. 1996. Wing design for a high-speed civil transport using a design ofexperiments methodology. AIAA paper 96-4001-CP, Proceedings of 6thAIAA/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Bellevue WA, Part 1, pp. 168-183.

Hamdi, Aouici. Dkk. 2012. Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool : Prediction model and cutting conditions optimization, Measurement 45, 344–353.

Harun, Suryadiwansa, dkk. 2012. Peningkatan Produktifitas dan Pengendalian Suhu Pengapian Pemesinan Magnesium Dengan Sistem Pahat Putar (*Rotary Tool System*) dan Pendingin Udara (*Air Cooling*). Universitas Lampung: Bandar Lampung.

Harun, Suryadiwansa. 2009. *"Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool"*. Key Engineering Materials Vols. 389-390, pp. 138-14.

Hasan. Dkk. 2008. *Machining Technology Machine Tool and Operations.* Taylor and Francis Group: USA.

Izar, F. 2012. RPM Meter dan Fuel Gauge Digital Pada Sepeda Motor Berbasis A-TMEGA 16. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.

Jonoadji, Ninuk. Dkk. 1999. Pengaruh Parameter Potong dan Geometri Pahat Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut. Fakultas Teknik. Universitas Kristen Petra. Jawa Timur.

Kalpakjian, Serope. 2009. Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI unit. Illinois Institute of Technology : Chicago

Lei, Liu W.J.2002. High-speed Machining of Titanium Alloys Using the Driven Rotary Tool. International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol 42 pp.653-661

Liew. Dkk .2012. Maxwell's Demon in the Rangue-Hilsch Vortex Tube. Physi-cal Review Letters.

Lubis, Sobron. Dkk. 2017. Pengaruh Variasi Sudut Ujung Mata Potong Karbida Terhadap Kekasaran Dan Topografi Permukaan Logam Al 6061 Pada Proses Pembubutan. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Tarumanagara. Jakarta.

Mahrudi, Haris. Dkk. 2013. Rancang Bangun Aplikasi Thermovision Untuk Pemetaan Distribusi Suhu Dan Permulaan Penyalaan Magnesium Pada Pembubutan Kecepatan Tinggi. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung: Bandar Lampung.

Manohar,M. Dkk. 2013. Application of Box Behnken design to optimize the paremeters for turning Inconel 718 using coated carbide tools. Vikram Sarabhai Space Centre (ISRO) Trivandrum. India.

Montgomery, D.C. 1991. Design and Analysis of Experiments. John Wiley and sons. New York

Nur, Ichlas. Dkk. 2008. Pengaruh media pendingin dan kondisi pemotongan logam terhadap kekasaran permukaan pada proses *milling* menggunakan mesin tipe VMC200. Politeknik Negeri Padang. Padang.

Perincek, Oguz,dkk.2013. Use of Experimental Box-Behnken Design for the Estimation of Interactions Between Harmonic Currents Produced by Single Phase Loads. Institute of Solar Energy.Ege University: Turkey.

Purwanti, Endang Puji. dkk. 2013. optimasi parameter proses pemotongan *stainless steel* SUS 304 untuk kekasaran permukaan dengan metode *response surface*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.

Riadi, Slamet. 2014. “Sistem Pengukuran Suhu Minyak Goreng Berbasis Termokopel Tipe K” . Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga: Yogyakarta.

Ryan, B. F., Joiner, B. L., Cryer, J. D. 2005. MINITAB Handbook. Canada: Thomson Learning.

Saputro, Herman. dkk. 2014. Karakteristik Tingkat Kekerasan Permukaan Baja - ST 40 Hasil pemesinan *CNC Milling* Zk 7070 Efek dari Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*) dan Awal Waktu Pemberian Pendingin. Pendidikan Teknik Mesin UNS: Surakarta.

Shannak. 2004. Temperature separation and firction losses in vortex tube H-eat and Mass Transfer. Stoffuebertragung.

Simarmata, J. 2010. Rekayasa Perangkat Lunak. Yogyakarta: Andi.

Surdia, Tata, dkk. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita cetakan keempat. Jakarta.

Shaw, M.C., Smith, P.A., and Cook, N.H. 1952. The Rotary Cutting Tool. *Transactions of the ASME* Vol.74 pp.1065-1076.

Taha, Jahari. Dkk. 2013. VORTEX TUBE AIR COOLING: THE EFFECT ON SURFACE ROUGHNESS AND POWER CONSUMPTION IN DRY TURNING. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME) volume 8, pp. 1477-1586. Universiti Malaysia Pahang. Malaysia.

Taraman, K. 1979. Multi machining output Multi independent variable turning research by response surface methodology, International Journal of Production Research, 13(4), 265-290, (1975).

Tekindal, Mustafa Agah dkk. 2012. *Box- Behnken Experimental Design In Factorial Experiments: The Importance Of Bread For Nutrition And Health*. Faculty of Medicine. Baskent University. Turkey.

Wahjudi, Didik. 2012. Aplikasi Metode Response Surface Untuk Optimasi Kualitas Warna Minyak Goreng.Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra: Jakarta.

Widarto. Dkk. 2008. Teknik Pemesinan untuk SMK. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

Winhaju, Wiwiek Setya. 2013. Analisis Variasi dan Statistik Matematika Yang Terkait. ITS. Surabaya.

Wu. Dkk . 2007. Modification and experimental research on vortex tube. International Journal of Refrigeration.