

**ANALISA *MATERIAL REMOVAL RATE (MRR)* BAJA SKD 11
PADA PROSES CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *TAGUCHI***

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun oleh :

Jekki Dodi Parlindungan Sihombing NIRM : 1041812

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

2021/2022

**ANALISA *MATERIAL REMOVAL RATE (MRR)* BAJA SKD 11
PADA PROSES CNC *TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *TAGUCHI***

PROYEK AKHIR



Diusulkan oleh :

Jekki Dodi Parlindungan Sihombing NIRM : 1041812

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

2021/2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA *MATERIAL REMOVAL RATE (MRR)* BAJA SKD 11 PADA PROSES CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI


Oleh :

Jekki Dodi Parlindungan Sihombing NIRM: 1041812

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

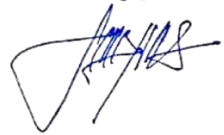
Pembimbing 1


(Robert Napitupulu, S.S.T., M.T)

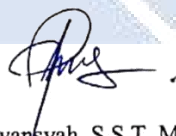
Pembimbing 2


(Angga Sateria, S.S.T., M.T)

Penguji 1


(Eko Yudo, S.S.T.,M.T.)

Penguji 2


(Erwansyah, S.S.T.,M.T)

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Jekki Dodi Parlindungan Sihombing NIRM :1041812

Dengan Judul : Analisa *Material Removal Rate* (MRR) Baja SKD 11 Pada

Proses CNC *Turning* Dengan Menggunakan Metode *Taguchi*.

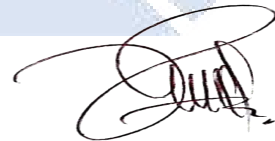
Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja penulis sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini penulis buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, penulis bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, Januari 2022

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Jekki Dodi Parlindungan Sihombing



ABSTRAK

MRR yang tinggi merupakan sasaran yang ingin di capai pada proses pengerjaan benda kerja dengan menggunakan CNC *turning* tipe SL-25 B/500. Tetapi proses pengerjaan ini berpengaruh terhadap waktu pengerjaan produk, serta akan meningkatkan biaya produksi. Untuk hal tersebut, maka diperlukan *setting* parameter proses yang tepat untuk menghasilkan kontribusi yang paling berpengaruh terhadap MRR dan juga untuk menghasilkan nilai parameter-parameter yang maksimum. Adapun tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh parameter (kecepatan potong, kecepatan *spindel* dan kedalaman potong) terhadap MRR dan mengetahui *setting* parameter proses yang tepat agar dihasilkan MRR yang maksimum (*langer is Better*) pada baja SKD 11. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan baja SKD 11 dan menggunakan pahat *Ceramic* pada proses CNC *turning*. Parameter-parameter proses yang akan divariasikan adalah kecepatan *spindel*, gerak makan, dan kedalaman pemakanan. Rancangan percobaan yang digunakan adalah matriks *Orthogonal* L₁₈ ($2^1 \times 3^2$). Pengulangan dilakukan secara dua kali. Selanjutnya, analisis karakteristik multi respon dilakukan dengan menggunakan metode S/N Ratio. Dari hasil penelitian ini kontribusi persentase yang paling berpengaruh terhadap respon MRR secara serentak, gerak makan memiliki nilai persen kontribusi sebesar 8,458%, kecepatan *spindel* memiliki nilai persen kontribusi sebesar 21,403%, dan selanjutnya, kedalaman pemakanan dengan nilai persen kontribusi terbesar yaitu, sebesar 4,449%. Dan untuk memperoleh MRR benda kerja yang maksimum, kecepatan *spindel* diatur sebesar 420 put/min, gerak makan diatur sebesar 0,05 mm/rev, dan kedalaman pemakanan diatur sebesar 2 mm.

Kata Kunci: CNC, *Material Removal Rate*, *Taguchi*, Variabel, *Ceramic*

ABSTRACT

A high MRR is a target to be achieved in the workpiece process using CNC turning type SL-25 B/500. However, this work process affects the processing time of the product, and will increase production costs. For this reason, it is necessary to set the right process parameters to produce the most influential contribution to the MRR and also to produce the maximum parameter values. The purpose of this study was to determine the effect of parameters (cutting speed, spindle speed and depth of cut) on the MRR and to find out the appropriate process parameter settings so that the maximum MRR (larger is Better) was produced on SKD 11 steel. This research was conducted using SKD steel. 11 and using a Ceramic chisel in the CNC turning process. The process parameters that will be varied are spindle speed, feed motion, and feed depth. The experimental design used is an Orthogonal L18 matrix ($2^1 \times 3^2$). Repetition is done twice. Furthermore, the analysis of multi-response characteristics was carried out using the S/N Ratio method. From the results of this study the most influential percentage contribution to the MRR response simultaneously, feeding motion has a percentage contribution value of 8.458%, spindle speed has a contribution percent value of 21.403%, and furthermore, the depth of feeding with the largest contribution percentage value is 4.449%. And to obtain the maximum workpiece MRR, the spindle speed is set at 420 put/min, the feed motion is set at 0.05 mm/rev, and the feed depth is set at 2 mm.

Keywords: CNC, Material Removal Rate, Taguchi, Variable, Ceramic

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa menjadi penopang dan teman terbaik disepanjang waktu. Haya karena kebaikan Kasih dan Berkat-Nya lah yang menuntun penulis dalam mengerjakan skripsi ini yang berjudul **“ANALISA MATERIAL REMOVAL RATE (MRR) BAJA SKD 11 PADA PROSES CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI”**.

Penulisan penelitian ini bermaksud untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Diploma IV Jurusan Teknik Mesin pada Prodi DIV Teknik Mesin dan Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan oleh terbatasnya pengetahuan dan kurangnya pengalaman penulis. Oleh karena itu dengan penuh kerendahan hati saran dan kritik yang bersifat membangun sangatlah penulis harapkan demi mencapai kata sempurna untuk penulisan tugas akhir ini.

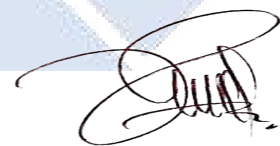
Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis banyak memperoleh bantuan moril, bimbingan, dorongan, serta semangat dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis banyak mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang bersangkutan demi memberikan bantuan moril serta bimbingan yang baik dengan secara langsung maupun tidak langsung untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini sampai dengan selesai, terutama kepada :

1. Kedua Orang Tua Penulis Marulam Sihombing dan Rosmeri Silitongan serta saudara kandung penulis yang selalu memberikan cinta kasih dan sayang, doa yang baik, didikan, serta motivasi yang diberikan untuk penulis dari awal penulisan sampai dengan selesainya tugas akhir ini.
2. Bapak Robert Napitupulu, S.S.T., M.T. selaku pembimbing I.
3. Bapak Angga Sateria, S.S.T., M.T. selaku pembimbing II.

4. Bapak I Made Andika Setiawan, M.Eng., Ph.D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin.
6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
7. Dan seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Staf Pegawai Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang sudah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat sebelum penulisan tugas akhir ini.
8. Semua keluarga besar kelas A Teknik Mesin dan Manufaktur 2018.
9. Teman, sahabat dan orang-orang terdekat yang selalu memberikan Penulis motivasi.

Akhir kata penulis ucapkan terima kasih banyak kepada semua orang yang telah bersangkutan dan apabila ada yang tidak disebutkan Penulis, Penulis juga mengucapkan mohon maaf. Dengan harapan besar semoga penulisa tugas akhir ini yang dituliskan oleh Penulis dapat bermanfaat khususnya untuk Penulis sendiri dan umum bagi pembaca. Bagi para pihak yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini semoga diberikan kesehatan dan rezeki yang berlimpah dari Tuhan Yang Maha Esa, Amin.

Sungailiat, 21 Agustus 2021



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR RUMUS	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II	6
DASAR TEORI	6
2.1. Mesin Bubut CNC	6
2.1.1. Pengertian Mesin Bubut CNC	6

2.2.	Pahat Ceramic	7
2.3.	Karakteristik Baja SKD-11	7
2.4.	Material Removal Rate (MRR)	8
2.5.	Variabel Proses	8
2.5.1.	Kecepatan Putaran Spindel	8
2.5.2.	Gerak Makan	9
2.5.3.	Kedalaman Pemotongan	10
2.6.	Media pendingin	10
2.7.	Metode Taguchi	11
2.7.1.	Matriks <i>Orthogonal Array</i>	11
2.7.2.	Analisis Dalam Metode Taguchi	13
2.7.3.	Analisis Signal to Noise Ration (S/N Rasio)	14
2.7.4.	Uji Normalitas	15
2.7.5.	Uji Homogenitas	16
BAB III	.....	17
METODE PENELITIAN	.....	17
3.1.	Desain Eksperimen	18
3.1.1.	Variabel Proses	18
3.1.2.	Variabel Konstan	19
3.1.3.	Variabel Respon	19
3.1.4.	Bahan dan Peralatan Penelitian	19
3.1.5.	Rancangan Eksperimen	22
3.2.	Pelaksanaan Eksperimen	25
3.3.	Pengukuran Dan Pengambilan Data	26
3.4.	Menghitung Means/Rata-rata	26

3.5.	Menghitung S/N Ratio	27
3.6.	Analisa Hasil Penelitian	27
3.7.	Kesimpulan	27
BAB IV	.....	28
PROSES, DAN HASIL PEMBAHASAN	.....	28
4.1.	Pengambilan Data Hasil Percobaan	28
4.2.	Analisis Varians Taguchi	30
4.2.1.	Analisis Varians Mean Terhadap Respon MRR	30
4.2.2.	Perhitungan Level Means terhadap respon	33
4.2.3.	Analisis Varian Rata-rata/ <i>Means</i>	34
4.2.4.	Persen Kontribusi Rata-rata/ <i>Mean</i>	36
4.3.	Perhitungan Rasio S/N Dari Respon	37
4.3.1.	Perhitungan Level Nilai S/N Ration Terhadap Respon	42
4.3.2.	Analisis Varian Rasio S/N	44
4.3.3.	Persen Kontribusi Rasio S/N	2
4.4.	Uji Normalitas	4
4.5.	Uji Dua Variansi (Homogenitas)	4
4.6.	Pembahasan	5
4.7.	Analisa	5
BAB V	.....	6
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	6
5.1.	Kesimpulan	6
5.2.	Saran	6
DAFTAR PUSTAKA	.....	7
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1 Klasifikasi sifat-sifat baja Kesalahan! Bookmark tidak didefinisikan.	
Tabel 3. 1 Variabel proses dan pengaturan level	23
Tabel 3. 2 Derajat kebebasan faktor dan level	23
Tabel 4. 1 Hasil Eksperimen	29
Tabel 4. 2 Data hasil perhitungan MRR	31
Tabel 4. 3 Data hasil pengukuran MRR dengan <i>Software statistic</i>	31
Tabel 4. 4 Respon parameter terhadap mean	32
Tabel 4. 5 Respon rata-rata hasil pengukuran MRR	34
Tabel 4. 6 Hasil anava	34
Tabel 4. 7 Keputusan uji	35
Tabel 4. 8 Persen Kontribusi	37
Tabel 4. 9 Rasio S/N untuk respon	Kesalahan! Bookmark tidak didefinisikan.
Tabel 4. 10 Respon rasio S/N parameter terhadap mean	41
Tabel 4. 11 Respon S/N parameter terhadap hasil MRR	42
Tabel 4. 12 Respon Rasio S/N Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor	43
Tabel 4. 13 Hasil anava	44
Tabel 4. 14 Keputusan uji	2
Tabel 4. 15 Persen Kontribusi rasio S/N	3
Tabel 4. 16 Hasil uji normalitas	4
Tabel 4. 17 Hasil uji dua varian	5

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Mekanisme gerakan mesin bubut	
Sumber : https://images.app.goo.gl/vhVDj7cUQQaUT2F38	6
Gambar 2. 2 Mata pemotong sisipan keramik	
Sumber : https://images.app.goo.gl/51LcCT5dS8F9E2z17	7
Gambar 2. 3 Panjang permukaan benda kerja yang dilalui Pahat setiap putaran (Sumber: Rahdiyanta, 2010)	9
Gambar 3. 1 Diagram alir	17
Gambar 3. 2 (a) Bentuk benda kerja (b) ukuran $\varnothing 30$, dan panjang 50 mm	20
Gambar 3. 3 Pahat <i>Ceramic</i> CNGA120408	21
Gambar 3. 4 Mesin CNC SL-25 B/500	21
Gambar 3. 5 Timbangan Digital	22
Gambar 3. 6 Jangka sorong, ketelitian 0,05 mm	22
Gambar 4. 1 Grafik Mean dari tiap parameter dan level	33
Gambar 4. 2 Grafik rasio S/N untuk masing-masing level tiap parameter	422

DAFTAR RUMUS

	Halaman
Rumus 2.1 MRR (Check, 1997).....	8
Rumus 2.2 Kecepatan Putaran Spindel	9
Rumus 2.3 Gerak Makan	10
Rumus 2.4 Kedalaman Pemotongan	10
Rumus 2.5 <i>Smaller is Beter</i>	14
Rumus 2.6 <i>Larger is Better</i>	14
Rumus 2.7 <i>Nominal the Better</i>	15
Rumus 2.8 <i>Sum of Square</i>	15
Rumus 3.1 Putaran spindel (Rpm)	20
Rumus 3.2 MRR.....	26
Rumus 4.1 MRR.....	29
Rumus 4.2 Persentase Kontribusi Mean.....	37
Rumus 4.3 Perhitungan Rasio S/N Dari Respon.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis

Lampiran 2 Data Hasil Timbangan Berat Awal Benda Kerja

Lampiran 3 Data Hasil Proses Pengambilan Waktu Pengerjaan

Lampiran 4 Data Hasil Timbangan Berat Akhir Benda Kerja

Lampiran 5 Data hasil eksperimen MRR

Lampiran 6 Proses Penimbangan Benda Kerja dan Proses Pemasukan Program Ke CNC

Lampiran 7 Tabel Data spesifikasi mesin bubut CNC SL- 25 B/500

Lampiran 8 Katalog Insert Bubut (www.who-sells-it.com)

Lampiran 9 $F_{\text{-tabel}}$ Distribusi Untuk Probalitas

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemajuan teknologi di bidang industri telah berkembang dengan sangat cepat. Hal ini terjadi karena kerumitan bentuk dan tingkat akurasi yang tinggi. Banyak produk manufaktur yang saat ini sulit untuk diproduksi dengan menggunakan pemesinan konvensional, dikarenakan tuntutan dari profil yang rumit serta material yang sangat keras. Di industri manufaktur, cara kerja pemesinan mesin otomatis *Computer Numerical Control (CNC)* penggunaan mesin otomatis di dunia kerja untuk menyelesaikan *products* dengan bentuk permukaan yang kompleks dan akurasi yang tepat. Oleh karena itu, proses ini membutuhkan tingkat penghilangan material yang tinggi, untuk mendapatkan nilai *cutting surface roughness* yang lebih halus dan ketelitian yang tinggi.

Penelitian untuk sistem pemesinan semakin berkembang, bukan hanya untuk mengetahui pengaruh parameter proses terhadap respon, melainkan juga untuk mendapatkan peningkatan secara signifikan dalam efisiensi proses. Hal ini dilakukan dengan melakukan optimasi pada proses pemesinan, yaitu mendapatkan kombinasi parameter pemesinan untuk menghasilkan respon yang optimal. Beberapa metode konvensional yang dapat digunakan dalam optimasi pada proses pemesinan adalah metode Taguchi (Mukherjee, 2006). Kualitas suatu produk pada proses pemesinan sangat berpengaruh sebagai target manufaktur yang berpacu pada laju pembuangan material. Untuk MRR dipertimbangkan sebagai faktor yang secara langsung mempengaruhi biaya pemrosesan untuk pembuatan suatu produk, Pemesinan non-konvensional juga membutuhkan waktu sesingkat mungkin agar dapat menghasilkan produk sebanyak mungkin. Untuk memaksimalkan material removal rate (MRR) dan meminimalkan proses pemesinan CNC, dilakukan penelitian menggunakan metode taguchi, parameter

yang divariasikan adalah kecepatan spindel, gerak feeding dan kedalaman potong. Pada penelitian ini untuk mencari parameter input yang optimal serta untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter terhadap MRR.

Baja perkakas SKD-11 adalah jenis baja berkualitas yang dibuat untuk diaplikasikan sebagai alat memotong, alat pembentuk, stamping dies dan sebagai cetakan plastik. Baja perkakas SKD-11 merupakan baja perkakas yang banyak dipergunakan dalam industri karena baja ini memiliki karakteristik ketahanan aus yang tinggi, mempunyai sifat mampu untuk permesinan, sifat mampu untuk digerinda dan sifat mampu untuk pengelasan. Komposisi kimia dari baja perkakas SKD-11 yaitu, C 1,55%, Cr 11,60%, Mo 0,80%, Mn 0,30%, Si 0,30%.

Beberapa penelitian yang dilakukan oleh (Sayak Mukherjee, 2014) tentang mengoptimalkan laju penghilangan material saat memutar material SAE 1020 di mesin bubut CNC menggunakan teknik *Taguchi*. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa kedalaman potong memiliki dampak terbesar pada laju penyisihan material dan diikuti oleh laju pemakanan, dengan bertambahnya kedalaman potong akan meningkatkan MRR. Penelitian yang dilakukan oleh (Sukma, 2015) tentang optimasi laju penghilangan material AISI 1045 pada mesin bubut CNC menggunakan metode *Taguchi*. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa dari hasil penelitian, laju penghilangan material yang diambil menunjukkan bahwa laju penghilangan material tertinggi terdapat pada variabel *pair spindle speed* 1200 rpm, *feed rate* 2,0 mm/stroke dan kedalaman potong 0,20 mm. dengan nilai S/N. rasio 72.0748, sedangkan *material removal rate* terendah terdapat pada variabel pasangan putaran spindel 800 rpm, *feed rate* 1.0 mm/pass dan *depth of cut* 0.15 mm dengan nilai rasio S/N 57.4637.

Penelitian yang dilakukan oleh (Mukholladdun, 2016) tentang mengoptimalkan laju penyisihan material AISI 1045 pada mesin bubut konvensional dengan laju pemakanan variabel dan kedalaman potong. Dari hasil penelitian, *material removal rate* yang diekstraksi menunjukkan nilai *material removal rate* tertinggi pada pasangan variabel kecepatan potong 1000 rpm, *feed*

rate 2.0 mm/stroke dan kedalaman potong 0.25 mm dengan S/ Nilai rasio N adalah 70,1748, sedangkan nilai rasio S/N adalah 70,1748. *Material removal rate* terendah terdapat pada variabel pasangan kecepatan potong 600 rpm, *feed rate* 1,0 mm/pass dan kedalaman potong 0,20 mm dengan nilai rasio S/N 56,4349.

Penelitian yang dilakukan oleh (Deepak, 2015) Optimalisasi parameter proses untuk meningkatkan *Material Removal Rate* pada pembubutan aluminium Al6061 dengan menghitung S/N rasio. Diamati bahwa parameter proses yang paling berpengaruh pada MRR saat proses pembubutan aluminium 6061 adalah kedalaman potong dan kecepatan potong. Dan penelitian yang membahas *Experimental investigation of Material Removal Rate in CNC turning using Taguchi Method* yang dilakukan oleh (Hassan, Kumar, & Garg, 2012) diketahui bahwa parameter kedalaman potong dan kecepatan potong harus dipertimbangkan selama proses pemesinan. Optimasi MRR dilakukan dengan menggunakan dua puluh tujuh percobaan berdasarkan matriks ortogonal L_{27} dari metode taguchi dilakukan untuk menurunkan fungsi objektif yang akan dioptimalkan dalam dominan eksperimental ketika MRR dioptimalkan mendapatkan hasil MRR menjadi 8,91.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti akan membahas tentang analisis *material removal rate* (MRR) baja SKD 11 pada mesin bubut CNC menggunakan metode *Taguchi* untuk membuktikan bahwa parameter yang paling besar pengaruhnya terhadap *material removal rate* adalah *Spindle* kecepatan adalah, kecepatan potong dan kedalaman potong sesuai dengan hasil pengujian. dilakukan oleh para peneliti di atas.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah ditulis oleh penulis maka dapat disampaikan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Bagaimana setting parameter yang tepat untuk menghasilkan maksimum MRR pada baja SKD 11?
- Berapa persen kontribusi parameter yang berpengaruh terhadap MRR pada baja SKD 11 dengan menggunakan CNC *Turning*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulis melakukan penelitian yang bertujuan untuk:

- Untuk mengetahui setting variabel-variabel proses yang tepat agar menghasilkan maksimum laju pembuangan material pada baja SKD 11.
- Untuk mengetahui persentase kontribusi parameter yang berpengaruh terhadap MRR pada proses CNC *Turning*.

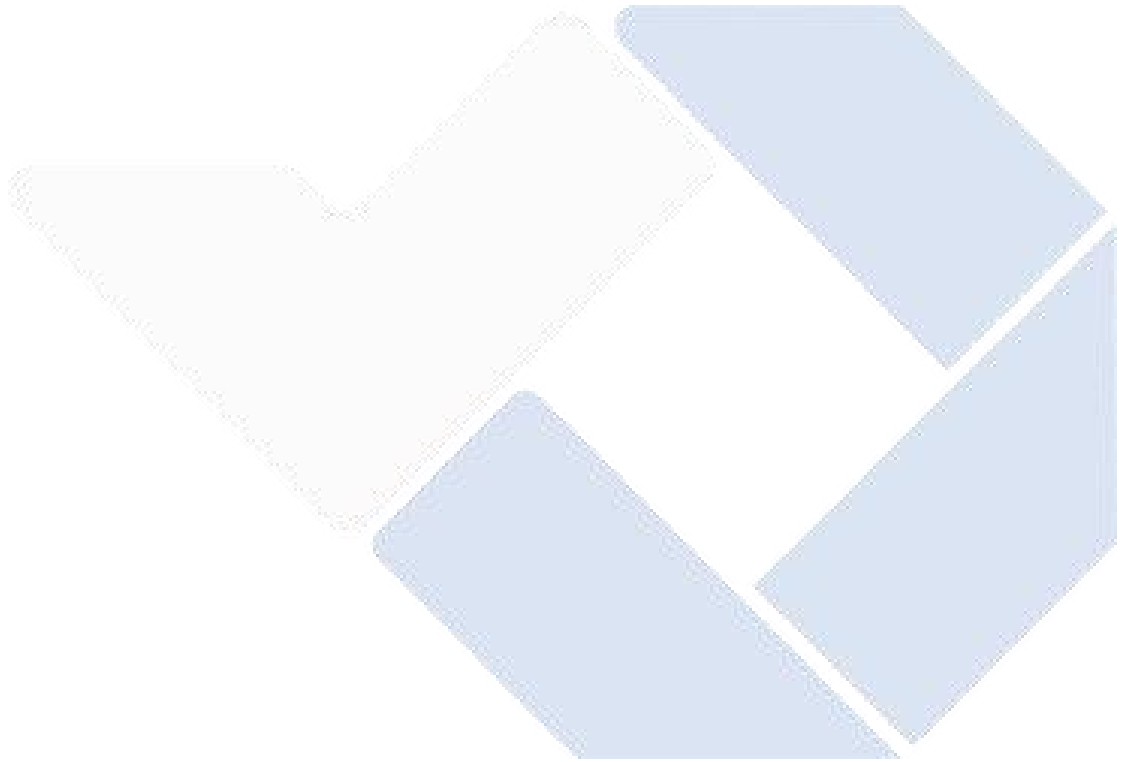
1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang penulis sampaikan panelitian ini adalah sebagai berikut:

- Tidak membahas masalah biaya selama proses permesinan
- Pada penelitian ini penulis hanya menganalisa maksimum MRR dengan menggunakan tiga parameter pada proses bubut dengan material baja SKD 11.
- Jenis pahat yang digunakan CNGA *Ceramic*

1.5. Manfaat Penelitian

- Menambahkan database tentang pengaturan parameter proses pada mesin bubut CNC untuk menganalisis MRR.
- Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang analisis MRR pada baja SKD 11.



BAB II

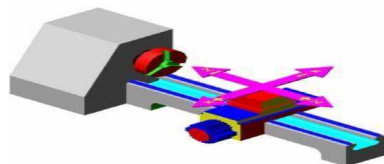
DASAR TEORI

2.1. Mesin Bubut CNC

2.1.1. Pengertian Mesin Bubut CNC

Mesin bubut CNC adalah mesin yang benda kerja atau bagiannya dicengkeram dan diputar oleh poros utama (*rotary shaft*) sedangkan alat potong yang digunakan, dipasang dan digerakkan pada berbagai sumbu dioperasikan dan dilengkapi dengan sistem CNC (*Computer Numerical Control*) dengan instruksi. Desain yang tepat, misalnya: ketika kita menulis M30 pada layar monitor mesin, spindel utama mesin berputar, dan ketika kita menulis M05, spindel utama mesin berhenti berputar.

Mesin bubut dengan opsi tambahan seperti sumbu Y, spindel tambahan atau opsi tambahan khusus untuk otomatisasi umumnya disebut sebagai "pusat pembubutan". Alat canggih ini mampu mengerjakan bagian-bagian yang kompleks - melebihi standar pemesinan OD dan ID bubut serta mampu *frais/milling*, pengeboran (pembuatan lubang), dan *tapping* (pembuatan ulir) untuk menyelesaikan bagian manufaktur dalam konfigurasi. Melakukan proses dari bahan baku/bahan baku hingga produk jadi dalam mesin "satu untuk semua" akan sangat meningkatkan produktivitas. Sumber pemahaman mesin bubut CNC dapat dilihat (<https://hwacheonasia.com>) Untuk mekanisme pemindahan mesin bubut dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2. 1 Mekanisme gerakan mesin bubut

Sumber : <https://images.app.goo.gl/vhVDj7cUQQaUT2F38>

2.2. Pahat Ceramic

Alat potong keramik merupakan bahan bukan logam yang keras, dan dapat mempertahankan kekerasannya pada suhu tinggi, ketahanan aus abrasif dan aus kawah yang sangat baik, konduktivitas termal rendah serta memiliki kecepatan potong yang tinggi, yaitu sekitar 150 - 650 m/menit. Pahat keramik sangat cocok untuk memotong besi tuang, baja yang keras, dan paduan-paduan super. Meskipun alat potong keramik lebih keras daripada alat potong karbida, tetapi alat potong keramik tidaklah efektif sebagai alat potong serbaguna (Mustofa, 2018).

Keramik berbasis aluminium oksida umumnya digunakan untuk finishing logam-logam ferro dan beberapa logam non ferro pada kecepatan sedang. Keramik berbasis silikon nitrida umumnya digunakan untuk penyayatan kasar atau penggasaran dan pemotongan berat besi tuang dan paduan-paduan super. Mata pemotong keramik aluminium oksida memiliki ketahanan aus abrasif dan kekerasan yang tinggi serta stabilitas kimia yang baik dibandingkan mata pemotong HSS dan karbida. Jenis mata potong sisipan keramik dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2. 2 Mata pemotong sisipan keramik

Sumber : <https://images.app.goo.gl/51LcCT5dS8F9E2z17>

2.3. Karakteristik Baja SKD-11

Baja perkakas SKD-11 adalah sejenis baja tahan karat berkualitas tinggi, yang merupakan baja perkakas dan banyak digunakan di industri karena kekerasannya dan ketahanan ausnya yang tinggi. Komposisi kimia baja perkakas SKD-11 adalah Karbon (C) 1,55%, Kromium (Cr) 11,60%, Molibdenum (Mo) 0,80%, Mangan (Mn) 0,30%, Silikon (Si) 0,30%. Pemilihan material juga akan

menghasilkan proses pembubutan seperti *stamping dies*, cetakan plastik dan sebagainya. Klasifikasi sifat-sifat baja dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

2.4. Material Removal Rate (MRR)

MRR adalah proses pembentukan kawah halus pada permukaan benda kerja. Faktor-faktor yang mempengaruhi MRR adalah parameter proses yang digunakan selama proses penelitian (Check, 1997) MRR dapat didefinisikan sebagai volume material yang terbuang per satuan waktu (mm³/min) dan dirumuskan sebagai berikut:

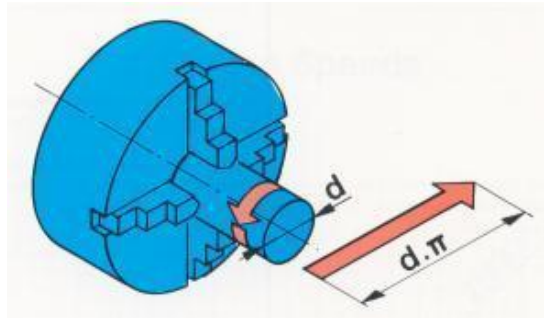
$$\text{MRR} = \frac{\text{Volume Material yang Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(min)}} \quad (2.1)$$

2.5. Variabel Proses

Parameter pemotongan pada proses bubut, yaitu parameter pemotongan pada proses pembubutan, merupakan informasi berupa perhitungan dasar, rumus dan tabel yang menjadi dasar dari teknologi proses pemotongan/pemisahan, termasuk pada mesin bubut. Parameter pemotongan dalam proses pembubutan meliputi:

2.5.1. Kecepatan Putaran Spindel

RPM sering dikaitkan dengan spindel (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan mesin bubut didefinisikan sebagai putaran per menit pada spindel, itu mewakili jumlah putaran. Dalam proses pembubutan, fokusnya adalah pada kecepatan potong (V_c) atau kecepatan benda kerja yang dipandu oleh pahat atau keliling benda kerja (lihat Gambar 2.3). Dalam istilah yang disederhanakan, kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putaran mesin bubut. Panjang permukaan benda kerja yang dilalui bit pada setiap putaran dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2. 3 Panjang permukaan benda kerja yang dilalui Pahat setiap putaran
(Sumber: Rahdiyanta, 2010)

kecepatan putaran spindel dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mathbf{rpm} = \frac{vc.1000}{\pi.d} \quad (2. 2)$$

Dimana : rpm = kecepatan spindel (rpm)

vc = kecepatan potong(m/menit)

d = diameter benda kerja (mm)

π = putaran benda kerja (putaran/menit)

2.5.2. Gerak Makan

Kecepatan pemakanan ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor antara lain: kekerasan bahan, kedalaman potong, sudut potong alat potong, bahan alat potong, ketajaman alat potong dan kesiapan operasional mesin. Kesiapan mesin ini dapat diartikan seberapa besar kemampuan mesin untuk membantu mencapai feed rate yang optimal. Terlepas dari pertimbangan ini, laju umpan umumnya ditetapkan pada laju umpan tinggi untuk proses pengasaran karena tidak memerlukan permukaan yang halus (waktu putar lebih cepat), dan laju umpan rendah digunakan untuk proses finishing untuk mencapai pemotongan yang lebih baik. kualitas. sehingga hasilnya halus (waktu pengerjaan lebih cepat). Besarnya laju pemakanan pada mesin bubut ditentukan dengan perpindahan pahat

bubut (f) dalam mm/putaran dikalikan dengan putaran mesin (n) dalam satuan putaran. Maka rumus untuk mencari kecepatan makan (V) adalah:

$$V = f \times n \text{ (mm/putaran)} \quad (2.3)$$

Keterangan: f = umpan besar atau perpindahan pahat (mm/rev),

n = kecepatan mesin (putaran/menit).

2.5.3. Kedalaman Pemotongan

Kedalaman potong adalah tebal benda kerja yang dikeluarkan atau dipotong dari benda kerja, atau jarak antara permukaan potong dengan permukaan benda kerja yang belum dipotong. Ketika pahat memotong hingga kedalaman (a), diameter benda kerja berkurang $2a$ karena permukaan benda kerja yang akan dipotong berbentuk silinder pada dua sisi karena benda kerja yang berputar. Kedalaman pemotongan dapat ditentukan oleh operator sesuai dengan hasil yang direncanakan sebelumnya sesuai dengan kemampuan pahat dan benda kerja yang akan dipotong.

$$a = \frac{d_0 + d_m}{2} \quad (2.4)$$

Dimana : a = Kedalaman pemakanan (mm)

d_0 = Diameter awal (mm),

d_m = Diameter akhir (mm)

2.6. Media pendingin

Media pendingin memiliki kegunaan yang khusus dalam proses pemesinan. Secara umum dapat dikatakan bahwa peran utama media pendingin adalah untuk mendinginkan dan melunasi. Fungsi media pendingin sebagai berikut :

- Untuk memperpanjang umur pahat,
- Cairan pendingin dapat mengurangi gaya dan mampu menurunkan rasio penempatan tebal beram yang mengakibatkan penurunan gaya potong.

- Media pendingin juga berfungsi sebagai pembersih/pembawa beram (terutama dalam proses pembubutan) dan melumasi elemen pembimbing (*ways*) mesin perkakas serta melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi (Saputra, 2020).

2.7. Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah metodologi penelitian baru di bidang teknik yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas benda kerja dan proses sambil mengurangi biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Proses Taguchi mencoba untuk mencapai tujuan ini dengan membuat benda kerja dan proses tidak sensitif terhadap berbagai variabel kebisingan, seperti: B. Bahan, peralatan manufaktur, tenaga kerja manusia dan kondisi operasi. Metode Taguchi membuat benda kerja atau proses kuat terhadap variabel kebisingan ini. Oleh karena itu, metode Taguchi disebut juga desain yang kokoh.

Metode Taguchi memiliki beberapa keunggulan seperti:

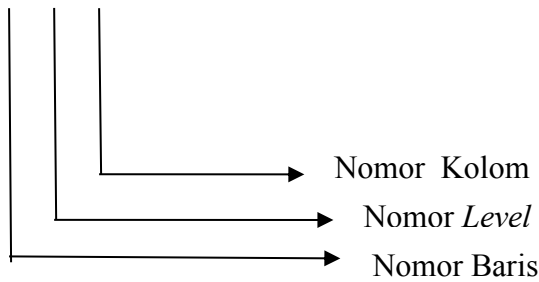
1. Desain eksperimental *Taguchi* lebih efisien karena memungkinkan penyelidikan yang melibatkan banyak faktor dan ukuran untuk dilakukan.
2. Desain eksperimental *Taguchi* memungkinkan untuk memperoleh proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kuat terhadap faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan (gangguan).
3. Metode *Taguchi* memberikan kesimpulan tentang faktor respon dan tingkat faktor kontrol yang menghasilkan respon optimal.

2.7.1. Matriks *Orthogonal Array*

Array ortogonal adalah matriks dari beberapa baris dan kolom. Setiap kolom mewakili faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari satu eksperimen ke eksperimen lainnya. Setiap kolom mewakili faktor-faktor dari percobaan yang dilakukan. *Array* disebut *orthogonal* karena setiap *level* dari setiap faktor seimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor eksperimental lainnya. *Orthogonal Array* adalah matriks faktor dan level yang tidak memiliki

pengaruh dari faktor atau level lain. Cara penomoran array orthogonal adalah sebagai berikut:

$L_{18} (2^1 \times 3^2)$



Dimana:

1. Notasi L deklarasikan informasi tentang *array orthogonal*
2. Nomor baris menunjukkan jumlah percobaan yang diperlukan saat menggunakan larik orthogonal
3. Nomor kolom mewakili jumlah faktor yang diamati dalam larik orthogonal
4. Nomor level menunjukkan jumlah level faktor

Tabel OA dua level terdiri dari L_4 , L_8 , L_{12} , L_{16} , dan L_{32} , sedangkan untuk ketiga level tabel OA terdiri dari L_9 , L_{18} , L_{27} . Pemilihan jenis *Orthogonal Array* yang akan digunakan dalam percobaan didasarkan pada jumlah total derajat kebebasan. Penentuan derajat kebebasan berdasarkan:

1. Nilai faktor pertama yang diperiksa dan interaksinya.
2. Tingkat nilai faktor yang diperiksa.
3. Resolusi percobaan yang diinginkan atau batas biaya.

Array orthogonal memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

1. Kesimpulan yang ditarik dapat mencapai ruang lingkup parameter kontrol dan setiap level secara keseluruhan.
2. Menghemat banyak eksperimen karena tidak menggunakan prinsip fungsi penuh seperti eksperimen biasa, tetapi menerapkan prinsip faktor pecahan. Artinya tidak semua kombinasi layer harus dicoba, hanya beberapa saja.

Untuk menentukan level pengambilan data yang harus dilakukan, harus mengacu pada model *orthogonal array* standar. Pemilihan matriks *orthogonal array* disesuaikan dengan permasalahan yang dirumuskan sebelumnya.

3. Analisis data yang mudah.

Pemilihan matrik *orthogonal* yang sesuai ditentukan dari jumlah derajat kebebasan dan jumlah level variabel. Matriks *orthogonal* memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel dengan jumlah percobaan yang minimum. Suatu matriks *orthogonal* dilambangkan persamaan :

$L_{a(bc)}$ dengan : L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya *level* variabel

c = Banyaknya variabel

2.7.2. Analisis Dalam Metode Taguchi

Untuk metode Taguchi terdapat dua jenis analisis yang digunakan dengan tujuan berbeda-beda. Kedua macam analisis tersebut adalah :

a. ANOM (Analisis Rata-Rata)

Analisis anom atau rata-rata digunakan untuk menemukan kombinasi parameter kontrol sedemikian rupa sehingga hasil minimum yang diinginkan tercapai. Triknya adalah menggunakan bagan untuk membandingkan rasio S/N rata-rata untuk setiap tahap dan parameter kontrol. Dari perbandingan tersebut diketahui apakah parameter kontrol yang relevan mempengaruhi proses atau tidak mempengaruhi proses.

b. ANOVA (analisis varian)

ANOVA, atau analisis varians, digunakan untuk menemukan hasil terbesar dari setiap variabel kontrol dari suatu proses. Besarnya pengaruh ini dapat

ditentukan dengan membandingkan nilai penjumlahan kuadrat dari satu parameter kontrol dengan semua parameter kontrol.

2.7.3. Analisis Signal to Noise Ration (S/N Rasio)

Dalam metode Taguchi terdapat tiga macam analisis yang digunakan untuk menentukan S/N rasio. Ketiga macam analisis tersebut adalah :

- *Smaller is Better*

Analisis macam ini banyak untuk menganalisis suatu kesalahan dari produk, yang mana harga idealnya kalau bisa harus sama dengan nol. Yang berarti semakin kecil kekasaran permukaan maka akan semakin baik. Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$S/N = -10 \log [\sum_{i=1}^n yi^2] \quad (2.5)$$

- *Larger is Better*

Analisis jenis ini merupakan kebalikan dari analisis *Smaller is Better*. Kasus yang biasanya dianalisa dengan cara ini adalah untuk mencari kecepatan penghasil Gram (MMR) yang paling besar, yang berarti semakin besar MRR maka semakin produktif proses produksi tersebut. Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$S/N = -10 \log [\sum_{i=1}^n \frac{yi^2}{n}] \quad (2.6)$$

- *Nominal the Better*

Analisa jenis ini banyak digunakan jika jumlah yang telah ditetapkan merupakan suatu yang mutlak atau sangat diharapkan. Jadi tidak boleh lebih besar atau kecil dari nilai yang telah ditetapkan sebelumnya. Contohnya adalah dimensi pada komponen-komponen mekanik (pada industri manufaktur).

$$S/N = -10 \times \log \frac{y^{-2}}{s^2}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.7)$$

Dimana: S^2 = Varian

N = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi

X_i = nilai dari kombinasi ke- n

\bar{X} = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

- *Sum of Square*

Sum of Square adalah jumlah variasi nilai S/N ratio dari setiap level pada masing-masing parameter kendali. Besarnya Sum of Square dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \quad (2.8)$$

Dimana: n = jumlah level dari setiap *control factor*

R_i = nilai S/N Ratio pada level ke- n

\bar{R} = nilai rata-rata S/N ratio dari ke-3 level pada sebuah *control factor*

2.7.4. Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah suatu data berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas yang penulis gunakan pada penelitian ini menggunakan *Kolmogorov Smirnov*.

- Hipotesis uji kenormalan data adalah

H_0 : data berdistribusi normal (maka terima H_0)

H_1 : data tidak berdistribusi normal (maka tolak H_0)

- Kriteria penolakan adalah :

Tolak H_0 : $p\text{-value} > \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$.

Terima H_0 : $p\text{-value} < \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$

2.7.5. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah kelompok dalam populasi yang sama atau tidak. Jika kelompok dalam populasi tersebut mempunyai variansi yang sama maka kelompok tersebut dikategorikan homogen.

- Hipotesis uji dua variansi adalah :

H_0 : $\sigma^2 = \sigma^2$ maka tolak H_0 (homogen)

H_1 : $\sigma^2 \neq \sigma^2$ maka terima H_1 (tidak homogen)

Kriteria penolakan adalah :

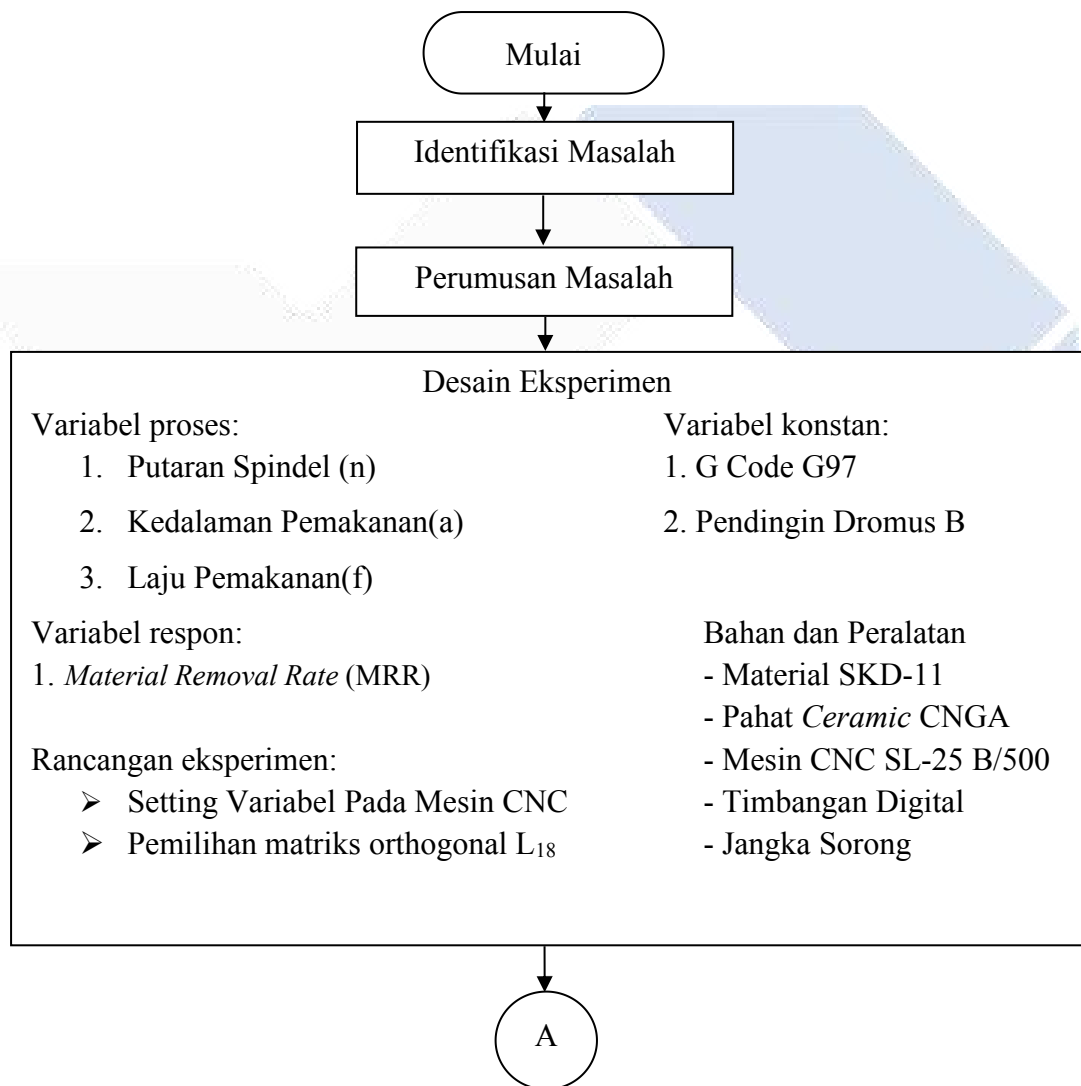
Tolak H_0 : $p\text{-value} > \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$.

Terima H_0 : $p\text{-value} < \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$

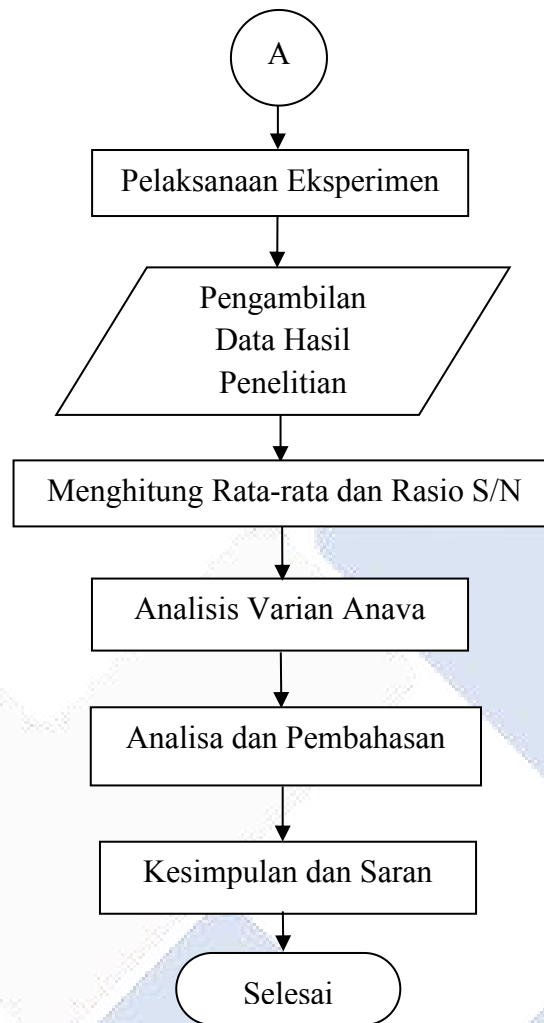
BAB III

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan mengikuti diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir



Gambar 3.1 Diagram alir (lanjutan)

3.1. Desain Eksperimen

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil eksperimen. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1.1. Variabel Proses

Variabel bebas yang biasa disebut juga sebagai faktor kontrol merupakan factor yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan dan pertimbangan yang lain. Faktor kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah :

a) Kedalaman pemakanan (mm)

Kedalaman pemakanan yang dipakai pada penelitian ini yaitu antara range 1 mm, 1,5 mm, dan 2 mm, dengan dua tingkatan proses yaitu *facing* benda kerja dan proses *Roughing*.

b) Putaran spindel (Rpm)

Putaran spindel yang dipakai pada penelitian ini yaitu besarnya antara 210 rpm, 420 rpm, dan 640 rpm. Penelitian ini dilakukan pada mesin CNC SL- 25 B/500.

c) Gerak makan (mm/put)

Gerak makan yang digunakan pada penelitian ini yaitu besarnya antara 0,02mm/rev, dan 0,05 mm/rev.

3.1.2. Variabel Konstan

Variabel konstan merupakan faktor yang tidak diteliti dalam penelitian nilai faktor ini dijaga selalu konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Putaran spindel G Code G97 dan pendingin *Dromus B* yang tidak berubah-ubah.

3.1.3 Variabel Respon

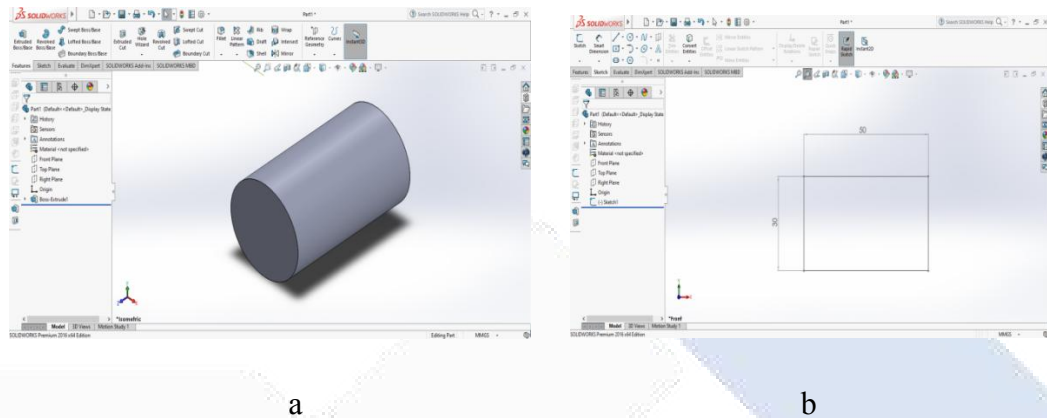
Variabel respon merupakan variabel yang besar nilainya tidak dapat ditentukan dan nilainya dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan, serta hasil diketahui setelah melaksanakan percobaan, variabel respon yang digunakan pada penelitian ini adalah *Material Removal Rate* (MRR) (mm^3 / min).

3.1.4 Bahan dan Peralatan Penelitian

Sebelum melakukan dilakukan persiapan-persiapan terhadap benda kerja, pahat, mesin CNC, peralatan pengukuran dan alat bantu yang akan digunakan sebagai berikut:

- Bahan benda kerja

Material yang digunakan adalah baja SKD-11 dengan dimensi diameter 30 mm, dengan panjang 50 mm. Bentuk dan dimensi benda kerja dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3. 2 (a) Bentuk benda kerja (b) ukuran Ø30, dan panjang 50 mm

- Pahat

Pahat yang digunakan untuk mengerjakan penelitian adalah pahat *ceramic* CNGA 120408. Sedangkan untuk spesifikasi pahat dapat dilihat sebagai berikut :

$$V_c = 20-60 \text{ mm/min}$$

$$V_c = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot D} \tag{3.1}$$

$$= \frac{20 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 30} = 212 \text{ mm/menit} \quad \longrightarrow \quad \text{Minimum}$$

$$V_c = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot D}$$

$$= \frac{60 \times 1000}{\frac{22}{7} \times 30} = 636 \text{ mm/menit} \quad \longrightarrow \quad \text{Maksimum}$$

Bentuk Pahat ceramic dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 3 Pahat *Ceramic* CNGA120408

- Mesin CNC *Turning*

Mesin bubut yang digunakan pada proses pengambilan data MRR benda kerja adalah mesin bubut CNC SL-25 B/500 yang ada dibengkel Mekanik Polman Babel. Bentuk mesin bubut dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3. 4 Mesin CNC SL-25 B/500

Adapun Spesifikasi Mesin Bubut CNC SL-25 B/500 dapat dilihat pada lampiran 7

- Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat volume benda kerja sebelum dan sesudah proses permesinan. Adapun Timbangan digital dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut:



Gambar 3. 5 Timbangan Digital

- Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi benda kerja sebelum dan sesudah proses pembubutan CNC. Jangka sorong yang digunakan pada penelitian ini dengan ketelitian 0,05 mm. Bentuk Jangka sorong dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3. 6 Jangka sorong, ketelitian 0,05 mm

3.1.5. Rancangan Eksperimen

- Setting Variabel Pada Mesin CNC

Penelitian ini diawali dengan pemilihan matriks yang tergantung dari banyaknya variabel Proses dan level dari masing-masing variabel tersebut. Variabel proses dan pengaturan level dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 *Setting* Variabel proses dan pengaturan level

No.	Variabel Proses	Level		
		1	2	3
1.	Putaran spindel (put/min)	210	420	640
2.	Kedalaman pemakanan (mm)	1	1,5	2
3.	Gerak makan (mm/rev)	0,02	0,05	

Sumber : Hasil Penentuan

- Pemilihan Matriks Orthogonal

Derajat kebebasan pada matriks *orthogonal* harus bernilai sama atau lebih besar dari pada total derajat kebebasan faktor dan *level* yang telah ditetapkan. Berdasarkan banyaknya variabel bebas dan jumlah *level* yang ditunjukkan pada Table 3.2, maka dilakukan perhitungan derajat kebebasan untuk menentukan *matriks orthogonal* yang digunakan. Derajat kebebasan faktor dan level dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3. 3 Derajat kebebasan

No.	Faktor	Jumlah Level	Ufl(K-1)
1.	Putaran <i>Spindel</i> (put/min)	3	2
2.	Kedalaman Pemakanan (mm)	3	2
3.	Gerak makan (mm/rev)	2	1
Total Derajat Kebebasan			5

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.3 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan variabel proses dan level gabungan yang digunakan adalah 5, sehingga matriks *orthogonal* yang memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan adalah L_{18} . Rancangan percobaan matriks *orthogonal* L_{18} memiliki 3 kolom dan 18 baris. Rancangan ini dapat digunakan untuk tiga buah variabel bebas. Rancangan percobaan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.4 dibawah.

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah matriks *orthogonal array* yaitu $L_{18}(2^1 \times 3^7)$. Eksperimen dilakukan secara acak dengan kombinasi variable proses mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai dengan matriks *orthogonal*. Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan *randomizer numerik* melalui bantuan *software statistic*. Masing – masing kombinasi variable proses direplikasi sebanyak dua kali untuk mengatasi variabel gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses pemotongan berlangsung. Bila data hasil eksperimen dikumpulkan sesuai dengan kombinasi setting variabel yang sejenis, maka susunan data yang akan diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Rancangan Eksperimen berdasarkan Matriks $L_{18} (2^1 \times 3^7)$

No	Parameter			Respon
	Putaran Spindel(put/min)	Kedalaman Pemakanan(mm)	Gerak makan(mm/put)	Material Removal Rate (MRR) (mm ³ /min)
1.	210	1	0,02	Y112
2.	210	1,5	0,05	Y122
3.	210	2	0,02	Y132
4.	420	1	0,02	Y112
5.	420	1,5	0,05	Y222
6.	420	2	0,02	Y232
7.	640	1	0,02	Y212
8.	640	1,5	0,05	Y222
9.	640	2	0,02	Y332
10.	210	1	0,05	Y312
11.	210	1,5	0,02	Y322
12.	210	2	0,05	Y332
13.	420	1	0,05	Y412
14.	420	1,5	0,02	Y422
15.	420	2	0,05	Y432
16.	640	1	0,05	Y412
17.	640	1,5	0,02	Y522
18.	640	2	0,05	Y532
19.	210	1	0,02	Y512
20.	210	1,5	0,05	Y522
21.	210	2	0,02	Y632

22.	420	1	0,02	Y612
23.	420	1,5	0,05	Y622
24.	420	2	0,02	Y632
25.	640	1	0,02	Y712
26.	640	1,5	0,05	Y722
27.	640	2	0,02	Y732
28.	210	1	0,05	Y712
29.	210	1,5	0,02	Y822
30.	210	2	0,05	Y832
31.	420	1	0,05	Y812
32.	420	1,5	0,02	Y822
33.	420	2	0,05	Y932
34.	640	1	0,05	Y912
35.	640	1,5	0,02	Y922
36.	640	2	0,05	Y932

Sumber : Hasil Penentuan

3.2. Pelaksanaan Eksperimen

Langkah-langkah percobaan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan benda kerja, termasuk menyesuaikan dimensi dan memastikan material adalah material SKD-11.
2. Persiapan Alat yang akan digunakan adalah pahat keramik CNGA120408.
3. Memasang sisipan pada SL-25B/500 . pemegang mesin CNC
4. Pasang pahat pada mesin bubut CNC SL-25B/500.
5. Membuat program CNC sesuai dengan benda kerja yang akan dikerjakan dengan kondisi yang berbeda.
6. Pemasangan benda kerja dan pemrograman benda kerja sesuai dengan pengaturan kombinasi.
7. Menyiapkan mesin CNC SL-25B/500.
8. Memasukkan program yang sudah jadi pada mesin bubut CNC SL-25B/500.
9. Jalankan mesin CNC SL-25B/500 dan atur variabel proses, lalu masukkan nilai variabel proses ke dalam program mesin CNC untuk memotong benda kerja sesuai dengan kombinasinya.

10. Proses pembubutan benda kerja sesuai dengan nilai variabel proses pada program pemotongan benda kerja sesuai dengan kombinasinya.
11. Matikan mesin bubut CNC.
12. Lepaskan benda kerja pada chuck bubut CNC.
13. Timbang berat awal dan akhir benda kerja dan catat pada tabel yang tersedia.
14. Hitung laju pelepasan logam dengan mengurangi berat benda kerja asli dengan berat benda kerja pasca-pemesinan dan membagi waktu yang dibutuhkan.
15. Optimalisasi dan analisis hasil penelitian menggunakan metode Taguchi.

3.3. Pengukuran Dan Pengambilan Data

Waktu pemotongan MRR dihitung dengan menggunakan stopwatch, dimulai dengan potongan pertama ke bawah pada benda kerja atau lompatan panik dari benda kerja ke pemotongan terakhir. Massa yang terbangun akibat pemotongan dengan mesin bubut CNC diperoleh dengan mencari selisih antara massa benda uji sebelum pemotongan dan massa setelah pemotongan. MRR diperoleh dengan membagi volume sampel uji yang terbangun dengan waktu pemotongan.

$$\text{MRR} = \frac{\text{Volume Material yang Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(min)}} \quad (3. 2)$$

3.4. Menghitung Means/Rata-rata

Pada tahap ini adalah mencari hasil rata-rata dari hasil pengukuran benda kerja. Tujuan dilakukan perhitungan rata-rata untuk mengetahui nilai rata-rata yang paling maksimum dari hasil percobaan.

3.5. Menghitung S/N Ratio

Large is Better

S/N rasio yang digunakan pada penelitian ini adalah *Large is Better*, tujuannya dilakukannya perhitungan S/N rasio untuk mengetahui nilai S/N rasio yang mempengaruhi *Material Removal Rate (MRR)*.

3.6. Analisa Hasil Penelitian

Analisa pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Metode *Taguchi*, dimana akan dilakukan pengumpulan data dan perhitungan, serta pengujian data dengan statistik antara lain analisis varians, uji hipotesis serta penerapan rumus-rumus pada data hasil percobaan. Tujuannya untuk mengetahui parameter proses paling berpengaruh terhadap *Material Removal Rate (MRR)*.

3.7. Kesimpulan

Pada tahap ini adalah tahap terakhir dari penelitian dimana penulis melakukan analisis dari hasil percobaan sehingga diketahui hasil akhir dari percobaan tersebut.

BAB IV

PROSES, DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan cara mengkombinasikan variabel-variabel proses yang di dapatkan pada mesin bubut CNC SL-25 B/500. Adapun variabel-variabel proses yang diduga berpengaruh terhadap respon MRR. Faktor-faktor tersebut adalah putaran spindle, gerak makan, dan kedalaman pemakanan.

Adapun langkah-langkah pengambilan data eksperimen :

1. Pengambilan data berat awal benda kerja.

Pengambilan data berat awal benda kerja dilakukan sebelum proses pembubutan, pengambilan data berat awal dilakukan dengan menimbang setiap benda kerja masing-masing dilakukan tiga kali replikasi. Setelah proses penimbangan berat awal selesai, selanjutnya data berat awal benda kerja akan dirata-ratakan. Rincian tentang data berat awal benda kerja dapat dilihat pada lampiran 2.

2. Pengambilan data dan waktu proses pengerjaan benda kerja.

Pengambilan data dan waktu proses pengerjaan benda kerja dilakukan saat waktu awal pahat bubut menyentuh benda kerja dan waktu selesai pahat melakukan proses pembubutan pada benda kerja. Waktu pengerjaan benda kerja adalah selisih antara waktu awal saat pahat menyentuh benda kerja dikurangi dengan waktu selesai pahat melakukan proses pembubutan. Pengambilan data ini masing-masing dilakukan dua kali replikasi, kemudian nilai tersebut dirata-ratakan. Rincian waktu proses pengerjaan benda kerja dapat dilihat pada lampiran 3.

3. Pengambilan data berat akhir benda kerja.

Pengambilan data berat akhir brnda kerja dilakukan setelah proses pembubutan, pengambilan data berat akhir dilakukan dengan cara

menimbang kembali setiap benda kerja yang telah selesai dalam proses pembubutan, masing-masing dilakukan penimbangan tiga kali replikasi. Selanjutnya data berat akhir benda kerja tersebut dirata-ratakan. Rincian data berat akhir benda kerja dapat dilihat pada lampiran 4.

4. Pengambilan data MRR.

Pengambilan data MRR dilakukan dengan cara menghitung menggunakan rumus yaitu:

$$\text{MRR} = \frac{\text{Volume Material yang Terbuang (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu proses(min)}} \quad (4.1)$$

dan masing-masing data akan dilakukan dua kali replikasi. Untuk hasil perhitungan data MRR dapat dilihat pada lampiran.

Setelah melalui empat proses tahapan diatas maka hasil perhitungan eksperimen terhadap respon MRR dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Data hasil pertimbangan MRR

No.	Berat awal	Berat akhir	Rata-rata
1.	324,333	312,666	318,5
2.	324,666	307	315,833
3.	307,000	293,333	300,166
4.	311,333	300,666	306
5.	318	304,666	311,333
6.	307,333	293,333	300,333
7.	319	307,333	313,166
8.	315,666	303,666	309,666
9.	312,666	296,333	304,5
10.	321,666	307,666	314,666
11.	321	306,666	313,833
12.	321	303,666	312,333
13.	315,333	303,666	309,5
14.	322,666	310	316,333
15.	321,666	304,666	313,166
16.	323,666	312,333	318
17.	311,333	296,666	304
18.	317,333	303,666	310,5
19.	315,333	305,333	310,333
20.	326	313,666	319,833
21.	321,666	306,333	314

22.	317,333	310,333	313,833
23.	317,666	308	312,833
24.	315	302	308,5
25.	316,666	307,666	312,166
26.	314,666	303,666	309,166
27.	320,333	305,666	313
28.	319,333	310,666	315
29.	317,333	306,666	312
30.	316	303,666	309,833
31.	315	305,666	310,333
32.	320,333	310,333	315,333
33.	316,333	306,333	311,333
34.	321,333	316,333	318,833
35.	320,333	311,666	316
36.	312,333	301	306,666

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari lampiran 5 MRR benda kerja dengan menggunakan *setting* kombinasi variabel yang memiliki nilai paling maksimum terjadi pada percobaan kombinasi ke-15 yaitu dengan nilai sebesar 13,787 mm³/menit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan ini memberikan nilai MRR benda kerja yang tepat pada *range* kondisi pemotongan *medium roughing*.

4.2. Analisis Varians Taguchi

Analisis varians (ANOVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki kontribusi parameter yang berpengaruh terhadap respon MRR benda kerja. Pada penelitian ini, metode analisis yang digunakan adalah metode ANOVA, ANOVA dilakuka pada MRR yang merupakan respon pada penelitian ini.

4.2.1. Analisis Varians Mean Terhadap Respon MRR

Untuk menentukan analisa variansi rata-rata terhadap MRR maka akan dilakukan perhitungan terhadap replikasi 1 dan replikasi 2 dan untuk hasil nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.2 beikut :

Tabel 4. 2 Data hasil perhitungan MRR

Matriks <i>Ortogonal L₁₈</i>							
Eksperimen	Parameter			Replikasi		Mean	Jumlah
	Putaran spindel (put/min)	Kedalaman pemakanan (mm)	Gerak makan (mm/rev)	1	2		
1.	1	1	1	2,208	1,936	2,072	4,144
2.	1	2	2	7,911	5,402	6,656	13,313
3.	1	3	1	2,53	2,962	2,746	5,492
4.	2	1	1	3,927	2,637	3,282	6,564
5.	2	2	2	11,111	7,833	9,472	18,944
6.	2	3	1	5,061	4,914	4,987	9,975
7.	3	1	1	6,364	5,229	5,796	11,593
8.	3	2	2	6,153	5,978	6,065	12,131
9.	3	3	1	8,449	7,536	7,992	15,985
10.	1	1	2	5,638	3,618	4,628	9,256
11.	1	2	1	2,679	2,027	2,353	4,706
12.	1	3	2	7,536	5,505	6,520	13,041
13.	2	1	1	9,594	7,923	8,758	17,517
14.	2	2	1	4,551	3,853	4,202	8,404
15.	2	3	2	13,787	8,554	11,170	22,341
16.	3	1	2	5,863	2,711	4,287	8,574
17.	3	2	1	7,788	5,239	6,513	13,027
18.	3	3	2	7,703	7,251	7,477	14,954
Rata-rata						5,832	11,664

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4. 3 Data hasil pengukuran MRR dengan *Software statistic*

	Putaran Spindel	Kedalaman Pemakanan	Gerak makan	1	2	Mean	S/N
1.	210	1	0,02	2,208	1,936	2,072	3,261
2.	210	1,5	0,05	7,911	5,402	6,656	12,988
3.	210	2	0,02	2,53	2,962	2,746	5,683
4.	420	1	0,02	3,927	2,637	3,282	6,805
5.	420	1,5	0,05	11,111	7,833	9,472	16,126
6.	420	2	0,02	5,061	4,914	4,987	10,944
7.	640	1	0,02	6,364	5,229	5,796	12,127
8.	640	1,5	0,05	6,153	5,978	6,065	12,644
9.	640	2	0,02	8,449	7,536	7,992	15,000
10.	210	1	0,05	5,638	3,618	4,628	9,671
11.	210	1,5	0,02	2,679	2,027	2,353	4,171

12.	210	2	0,05	7,536	5,505	6,520	12,957
13.	420	1	0,05	9,594	7,923	8,758	15,719
14.	420	1,5	0,02	4,551	3,853	4,202	9,368
15.	420	2	0,05	13,787	8,554	11,170	17,229
16.	640	1	0,05	5,863	2,711	4,287	7,821
17.	640	1,5	0,02	7,788	5,239	6,513	12,763
18.	640	2	0,05	7,703	7,251	7,477	14,452

Sumber : Hasil perhitungan *Software statistic*

Dari Tabel 4.3 dapat dicari nilai dari mean pada tiap parameter, berikut hasil perhitungan yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut :

Tabel 4. 4 Respon parameter terhadap mean

Taguchi Analysis : Replikasi 1 : Replikasi 2 versus putaran spindel, kedalaman pemakanan, Gerak makan ;

Large is better

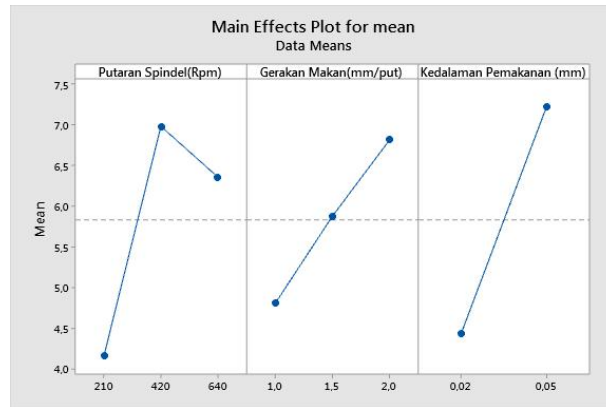
Response Tabel for Means

Level	Putaran spindel	Kedalaman pemakanan	Gerak makan
1	4,162	4,804	4,438
2	6,978	5,877	7,226
3	6,355	6,815	
<i>Delta</i>	2,816	2,011	2,788
<i>Rank</i>	2	3	2

Sumber : Hasil perhitungan *Software statistic*

Dari Tabel 4.4 rata-rata respon tiap parameter dapat ditentukan *rank* atau peringkat parameter yang paling berpengaruh terhadap MRR. Urutan parameter yang paling berpengaruh terhadap MRR adalah putaran spindel dengan selisih nilai 2,816 put/min, kedalaman gerakan makan dengan selisih nilai 2,788 mm/rev, dan kedalaman potong dengan selisih nilai 2,011 mm.

Berdasarkan Tabel 4.4 didapatkan grafik untuk memperlihatkan MRR yang terbesar pada masing-masing level untuk setiap parameter terhadap nilai rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut :



Gambar 4, 1 Grafik Mean terhadap MRR dari tiap parameter dan level

4.2.2. Perhitungan Level Means terhadap respon

Perhitungan kombinasi level dari parameter untuk respon MRR dapat dilakukan dari hasil pengujian MRR. Untuk hasil perhitungan rata-rata dari masing-masing faktor dapat dilihat dari perhitungan sebagai berikut :

Perhitungan rata-rata untuk faktor A

$$A1 = 1/6 (2,072 + 6,656 + 2,746 + 4,628 + 2,353 + 6,520) = 4,162$$

$$A2 = 1/6 (3,282 + 9,472 + 4,987 + 8,758 + 4,202 + 11,170) = 6,978$$

$$A3 = 1/6 (5,796 + 6,065 + 7,992 + 4,287 + 6,513 + 7,477) = 6,355$$

Perhitungan rata-rata untuk faktor B

$$B1 = 1/6 (2,072 + 3,282 + 5,796 + 4,628 + 8,758 + 4,287) = 4,804$$

$$B2 = 1/6 (6,656 + 9,472 + 6,065 + 2,353 + 4,202 + 6,513) = 5,877$$

$$B3 = 1/6 (2,746 + 4,987 + 7,992 + 6,520 + 11,170 + 7,477) = 6,815$$

Perhitungan rata-rata untuk faktor C

$$C1 = 1/9 (2,072 + 2,746 + 3,282 + 4,987 + 5,796 + 7,992 + 2,353 + 4,202 + 6,513) = 4,438$$

$$C2 = 1/9 (6,656 + 9,472 + 6,065 + 4,628 + 6,520 + 8,758 + 11,170 + 4,287 + 7,477) = 7,226$$

Dari hasil perhitungan rata-rata kombinasi level dari pengaruh 7 faktor terhadap respon MRR dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Respon rata-rata hasil pengukuran MRR

Respon rata-rata dari pengaruh parameter			
Level	A	B	C
1	4,162	4,804	4,438
2	6,978	5,877	7,226
3	6,355	6,815	
<i>Delta</i>	2,816	2,011	2,788
<i>Rank</i>	1	3	2

Sumber : Hasil perhitungan

Dari Tabel 4.5 hasil rata-rata respon MRR pada masing-masing level dari parameter proses, maka dapat ditentukan untuk nilai prediksi kombinasi parameter-parameter proses yang paling berpengaruh terhadap MRR adalah putaran spindel dengan selisih nilai 2,816 put/min, gerakan makan dengan selisih nilai 2,788 mm/rev, dan kedalaman pemakanan dengan selisih nilai 2,011 mm.

4.2.3. Analisis Varian Rata-rata/Means

Sebagaimana faktor yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata MRR, maka untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikansi terhadap nilai rata-rata juga dapat dilakukan *analysis of variance*. *Analysis of variance* yang berpengaruh pada masing-masing parameter terhadap MRR dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut :

Tabel 4. 6 Hasil anava

General Linear Model : Mean versus putaran *spindel*; kedalaman pemakanan; gerak makan

Factor Information

<i>Factor</i>	<i>Type</i>	<i>Levels</i>	<i>Values</i>
A	Fixed	3	210; 420; 640
B	Fixed	3	1,0; 1,5; 2,0
C	Fixed	2	0,02; 0,05

Analysis of Variance

<i>Source</i>	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Putaran Spindel(put/min)	2	26,25	21,403%	26,25	13,127	4,44	0,036
Gerakan Makan(mm/rev)	2	12,16	8,458%	12,16	6,079	2,06	0,170
Kedalaman Pemakanan (mm)	1	34,97	29,415%	34,97	34,974	11,84	0,005
<i>Error</i>	2	35,45	40,722%	35,45	2,954		
Total	7	108,84	100,00%				

Sumber : Hasil perhitungan *Software statistic*

Berdasarkan Tabel 4.6 Hasil anova didapatkan keputusan uji hipotesis denganL distribusi F_{value} dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut :

Tabel 4. 7 Keputusan uji

Komparasi terhadap Respon	F_{-vaule}	F_{-tabel} (0,05;2;12)	Keputusan uji
Putaran <i>Spindel</i>	4,44		Ditolak
Kedalaman Pemakanan	11,84	3,89	Ditolak
Gerak makan	2,06		Gagal ditolak

Sumber : Hasil perhitungan

Kesimpulan :

Karena nilai $F_{\text{-value}}$ putaran spindel dan kedalaman pemakanan lebih besar dari $F_{\text{-tabel}}$ maka H_0 ditolak, sedangkan $F_{\text{-value}}$ gerak makan lebih kecil dari $F_{\text{-tabel}}$ maka H_0 diterima artinya hanya parameter gerak makan yang berpengaruh signifikan terhadap MRR.

4.2.4. Persen Kontribusi Rata-rata/Mean

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing parameter, maka perhitungan SS' dapat dilihat sebagai berikut :

$$SS'A = SSA - MSe(VA)$$

$$= 26,25 - 2,954 (2)$$

$$= 23,296$$

$$SS'B = SSB - MSe(VB)$$

$$= 34,97 - 2,954 (2)$$

$$= 32,016$$

$$SS'C = SSC - MSe(VC)$$

$$= 12,16 - 2,954 (1)$$

$$= 9,206$$

$$Sse = SST - SS'A - SS'B - SS'C$$

$$= 108,84 - 23,296 - 32,016 - 9,206$$

$$= 44,322$$

Kemudian persentase kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \quad (4.2)$$

$$\rho^A = \frac{23,296}{108,84} \times 100\% = 21,403$$

$$\rho^B = \frac{32,016}{108,84} \times 100\% = 29,415$$

$$\rho^C = \frac{9,206}{108,84} \times 100\% = 8,458$$

$$\rho^e = \frac{44,322}{108,84} \times 100\% = 40,722$$

Hasil perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4. 8 Persen Kontribusi Mean

Sumber	V	SS	MS	SS'	$\rho\%$
A	2	26,25	13,127	23,296	21,403%
B	2	34,97	34,974	32,016	29,415%
C	1	12,16	6,079	8,458	8,458%
Error	2	35,45	2,954	44,322	40,722%
Total	7	108,84	-	-	100%

Sumber : Hasil perhitungan

Dari tabel 4.8 perhitungan persen kontribusi parameter di atas menunjukkan bahwa faktor kedalaman pemakanan memiliki kontribusi yang paling besar terhadap nilai MRR dibandingkan dengan parameter putaran spindel dan gerak makan yaitu sebesar 29,415%.

4.3. Perhitungan Rasio S/N Dari Respon

Rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk melakukan transformasi pengulangan data kedalam suatu nilai ukuran variansi yang timbul. Nilai S/N rasio tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Karakteristik Kualitas tujuan dari peningkatan kualitas adalah untuk

memaksimalkan variabilitas MRR benda kerja. Kualitas laju pembuangan benda kerja yang diharapkan adalah nilai yang terbesar. MRR memiliki karakteristik semangkin besar laju pembuangan benda kerja maka akan semangkin baik. Adapun hasil perhitungan untuk menentukan nilai Rasio S/N dapat dilihat pada rumus berikut :

$$S / N \text{ Ratio} = - 10 \times \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (4.3)$$

Keterangan : Y_i = nilai kekasaran permukaan benda kerja

n = jumlah replikasi (pengulangan)

Eksperimen 1

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2,208^2} + \frac{1}{1,936^2} \right] \right] = 3,261$$

Eksperimen 2

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{7,911^2} + \frac{1}{5,402^2} \right] \right] = 12,988$$

Eksperimen 3

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2,53^2} + \frac{1}{2,962^2} \right] \right] = 5,683$$

Eksperimen 4

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{3,927^2} + \frac{1}{2,637^2} \right] \right] = 6,805$$

Eksperimen 5

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{11,111^2} + \frac{1}{7,833^2} \right] \right] = 16,126$$

Eksperimen 6

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{5,061^2} + \frac{1}{4,914^2} \right] \right] = 10,944$$

Eksperimen 7

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{6,364^2} + \frac{1}{5,229^2} \right] \right] = 12,127$$

Eksperimen 8

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{6,153^2} + \frac{1}{5,978^2} \right] \right] = 12,644$$

Eksperimen 9

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{8,449^2} + \frac{1}{7,536^2} \right] \right] = 15,000$$

Eksperimen 10

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{5,638^2} + \frac{1}{3,618^2} \right] \right] = 9,671$$

Eksperimen 11

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2,679^2} + \frac{1}{2,027^2} \right] \right] = 4,171$$

Eksperimen 12

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{7,536^2} + \frac{1}{5,505^2} \right] \right] = 12,957$$

Eksperimen 13

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{9,594^2} + \frac{1}{7,923^2} \right] \right] = 15,719$$

Eksperimen 14

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{4,551^2} + \frac{1}{3,853^2} \right] \right] = 9,368$$

Eksperimen 15

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{13,787^2} + \frac{1}{8,554^2} \right] \right] = 17,229$$

Eksperimen 16

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{5,863^2} + \frac{1}{2,711^2} \right] \right] = 7,821$$

Eksperimen 17

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{7,788^2} + \frac{1}{5,239^2} \right] \right] = 12,763$$

Eksperimen 18

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{7,703^2} + \frac{1}{7,251^2} \right] \right] = 14,452$$

Dari perhitungan Rasio S/N sebelumnya terdapat hasil respon MRR benda kerja yang memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (*Large the better*) dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut :

Tabel 4. 9 Rasio S/N untuk respon

	Putaran spinde	Parameter		Nilai		MRR S/N
		Kedalaman pemakanan	Gerak makan	1	2	
1.	210	1	0,02	2,208	1,936	3,261
2.	210	1,5	0,05	7,911	5,402	12,988
3.	210	2	0,02	2,53	2,962	5,683
4.	420	1	0,02	3,927	2,637	6,805
5.	420	1,5	0,05	11,111	7,833	16,126
6.	420	2	0,02	5,061	4,914	10,944
7.	640	1	0,02	6,364	5,229	12,127
8.	640	1,5	0,05	6,153	5,978	12,644
9.	640	2	0,02	8,449	7,536	15,000
10.	210	1	0,05	5,638	3,618	9,671
11.	210	1,5	0,02	2,679	2,027	4,171
12.	210	2	0,05	7,536	5,505	12,957
13.	420	1	0,05	9,594	7,923	15,719
14.	420	1,5	0,02	4,551	3,853	9,368
15.	420	2	0,05	13,787	8,554	17,229
16.	640	1	0,05	5,863	2,711	7,821

17.	640	1,5	0,02	7,788	5,239	12,763
18.	640	2	0,05	7,703	7,251	14,452
Rata-rata					11,096	

Sumber : Hasil perhitungan

Dari Tabel 4.3 dapat dicari nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dan berikut diperoleh hasil perhitungan respon dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut :

Tabel 4. 10 Respon rasio S/N parameter terhadap mean

Taguchi Analysis : Replikasi 1 : Replikasi 2 versus putaran spindel, kedalaman pemakanan, Gerak makan ;

Response Table for Signal to Noise Ratios

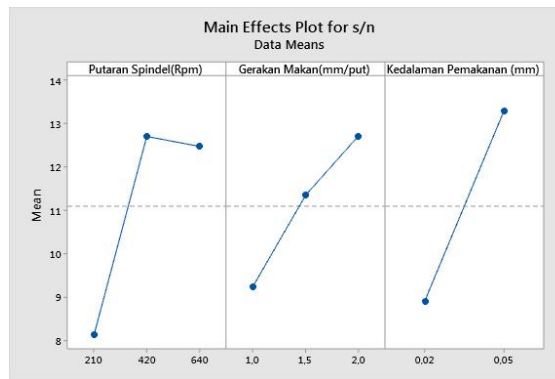
Large is better

Level	Putaran spindel	Kedalaman pemakanan	Gerak makan
1	8,122	9,234	8,903
2	12,699	11,343	13,290
3	12,468	12,711	
<i>Delta</i>	4,577	3,477	4,387
<i>Rank</i>	1	3	2

Sumber : Hasil perhitungan *Software statistic*

Dari Tabel 4.10 didapatkan nilai rasio S/N pada setiap level terhadap parameter dapat ditentukan *rank* atau peringkat parameter yang paling berpengaruh terhadap MRR. Urutan parameter yang paling berpengaruh terhadap MRR adalah putaran spindel dengan selisih nilai 4,577 put/min, gerak makan dengan selisih nilai 4,387 mm/rev, dan kedalaman pemakanan dengan selisih nilai 3,477 mm.

Berdasarkan Tabel 4.3 didapatkan grafik untuk memperlihatkan MRR yang terbesar pada masing-masing level untuk setiap parameter terhadap nilai rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 sebai berikut :



Gambar 4, 2 Grafik respon rasio S/N untuk masing-masing level tiap parameter

Berdasarkan Gambar 4.2 grafik hasil respon nilai rasio S/N terhadap MRR pada masing-masing level dari parameter proses, maka dapat ditentukan untuk prediksi kombinasi parameter-parameter proses yang menghasilkan respon minimal. Kombinasi parameter-parameter proses respon minimal dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut :

Tabel 4. 11 Respon S/N parameter terhadap hasil MRR

Faktor	Tingkat Level	Nilai Level
Putaran <i>Spindel</i>	2	420 put/min
Kedalaman Pemakanan	3	2 mm
Gerak makan	2	0,05 mm/rev

Sumber : Hasil perhitungan

4.3.1. Perhitungan Level Nilai S/N Ration Terhadap Respon

Perhitungan level nilai S/N rasio terhadap respon MRR melalui kombinasi level dari masing-masing faktor dapat dilihat sebagai berikut :

- Perhitungan Rasio S/N untuk faktor A (putaran spindel) :

$$A1 = 1/6 (3,261 + 12,988 + 5,683 + 9,671 + 4,171 + 12,957) = 8,122$$

$$A2 = 1/6 (6,805 + 16,126 + 10,944 + 15,719 + 9,368 + 17,229) = 12,699$$

$$A3 = 1/6 (12,127 + 12,644 + 15,000 + 7,821 + 12,763 + 14,452) = 12,468$$

- Perhitungan Rasio S/N untuk faktor B (kedalaman pemakanan) :

$$B1 = 1/6 (3,261 + 6,805 + 12,127 + 9,671 + 15,719 + 7,821) = 9,234$$

$$B2 = 1/6 (12,988 + 16,126 + 12,644 + 4,171 + 9,368 + 12,763) = 11,343$$

$$B3 = 1/6 (5,683 + 10,944 + 15,000 + 12,957 + 17,229 + 14,452) = 12,711$$

- Perhitungan Rasio S/N untuk faktor C (gerak makan) :

$$C1 = 1/9 (3,261 + 5,683 + 6,805 + 10,944 + 12,127 + 15,000 + 4,171 + 9,368 + 12,763) = 8,903$$

$$C2 = 1/9 (12,988 + 16,126 + 12,644 + 9,671 + 12,957 + 15,719 + 17,229 + 7,821 + 14,452) = 13,290$$

Untuk ketiga faktor utama yang diamati yaitu kecepatan spindel, gerak makan, dan kedalaman pemakanan. Pengaruh faktornya dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut :

Tabel 4. 12 Respon rasio S/N MRR dari pengaruh faktor

Rasio S/N dari pengaruh parameter			
Level	A	B	C
1	8,122	9,234	8,903
2	12,699	11,343	13,290
3	12,468	12,711	
<i>Delta</i>	4,577	3,477	4,387
<i>Rank</i>	1	3	2

Sumber : Hasil perhitungan

Dari Tabel 4.12 respon rasio S/N pada setiap level terhadap respon MRR dapat ditentukan peringkat atau *rank* yang paling berpengaruh terhadap respon MRR. Urutan parameter yang paling berpengaruh terhadap MRR adalah putaran spindel dengan selisih nilai yaitu 4,577 put/min, gerak makan dengan selisih nilai yaitu 4,387 mm/rev, dan yang terakhir yang memiliki pengaruh paling kecil adalah kedalaman pemakanan dengan selisih nilai yaitu 3,477 mm.

4.3.2. Analisis Varian Rasio S/N

Sebagaimana faktor yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata MRR, maka untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikansi terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan *analysis of variance*. *Analysis of variance* yang berpengaruh pada masing-masing parameter terhadap MRR dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut :

Tabel 4. 13 Hasil anava

General Linear Model : S/N versus putaran spindel; kedalaman pemakanan; gerak makan

Factor Information

<i>Factor</i>	<i>Type</i>	<i>Levels</i>	<i>Values</i>
A	Fixed	3	210; 420; 640
B	Fixed	3	1,0; 1,5; 2,0
C	Fixed	2	0,02; 0,05

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Seq SS</i>	<i>Contribution</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>
Putaran Spindel(put/min)	2	79,77	26,87%	79,77	39,887	5,11	0,025
Gerakan Makan(mm/rev)	2	36,81	12,40%	36,81	18,407	2,36	0,137
Kedalaman Pemakanan (mm)	1	86,61	29,17%	86,61	86,611	11,09	0,006
<i>Error</i>	12	93,71	31,56%	93,71	7,809		
<i>Total</i>	17	296,90	100,00%				

Sumber : Hasil perhitungan *Software statistic*

Berdasarkan Tabel 4.13 Hasil anova didapatkan keputusan uji hipotesis dengan distribusi F_{value} dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut :

Tabel 4. 14 Keputusan uji

Komparasi terhadap Respon	F_{-vaule}	F_{-tabel} (0,05;2;12)	Keputusan uji
Putaran <i>Spindel</i>	5,11		Ditolak
Kedalaman Pemakanan	11,09	3,89	Ditolak
Gerak makan	2,36		Gagal ditokal

Sumber : Hasil perhitungan

Kesimpulan :

Karena nilai F_{-value} putaran spindel dan kedalaman pemakanan lebih besar dari F_{-tabel} maka H₀ ditolak, sedangkan nilai F_{-value} gerak makan lebih kecil dari F_{-tabel} maka H₀ diterima, artinya hanya parameter gerak makan yang berpengaruh signifikan terhadap MRR.

4.3.3. Persen Kontribusi Rasio S/N

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing parameter, maka perhitungan SS' dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SS'A &= SSA - MSe(VA) \\
 &= 79,77 - 7,809 (2) \\
 &= 71,961
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS'B &= SSB - MSe(VB) \\
 &= 86,61 - 7,809 (2) \\
 &= 78,801
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS'C &= SSC - MSe(VC) \\
 &= 36,81 - 7,809 (1) \\
 &= 29,001
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_e &= SST - SS'A - SS'B - SS'C \\
&= - 71,961 - 78,801 - 29,001 \\
&= 117,137
\end{aligned}$$

Selanjutnya persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\% \quad (4.4)$$

$$\rho^A = \frac{71,961}{296,90} \times 100\% = 24,237$$

$$\rho^B = \frac{78,801}{296,90} \times 100\% = 26,541$$

$$\rho^C = \frac{29,001}{296,90} \times 100\% = 9,767$$

$$\rho^e = \frac{117,137}{296,90} \times 100\% = 39,453$$

Hasil perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut :

Tabel 4. 15 Persen Kontribusi rasio S/N

Sumber	V	SS	MS	SS'	$\rho\%$
A	2	79,77	39,887	71,961	24,237%
B	2	86,61	86,611	78,801	26,541%
C	1	36,81	18,407	29,001	9,767%
Error	2	117,137	7,809	93,71	39,453%
Total	7	296,90	-	-	100%

Sumber : Hasil perhitungan

Dari tabel 4.15 perhitungan persen kontribusi rasio S/N parameter di atas menunjukkan bahwa faktor kedalaman pemakanan memiliki kontribusi yang paling besar terhadap nilai MRR dibandingkan dengan parameter putaran spindle dan gerak makan yaitu sebesar 26,541%.

4.4. Uji Normalitas

Hipotesis uji kenormalan data :

H_0 : data berdistribusi normal (maka Terima H_0)

H_1 : data tidak berdistribusi normal (maka Tolak H_0)

Kriteria penolakan adalah :

Tolak H_0 : $P\text{-vaule} > F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$.

Tolak H_0 : $P\text{-vaule} < F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$.

Tabel 4. 16 Hasil uji normalitas

Respon	F-vaule	Kondisi	Data
Replikasi 1	0,150	Gagal ditolak	Berdistribusi normal
Replikasi 2	0,150	Gagal ditolak	Berdistribusi normal

Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan kriteria penolakan, hasil uji normalitas untuk respon replikasi 1 dan replikasi 2, dimana nilai replikasi 1 $P\text{-value}$ sebesar = $0,150 < F\text{-tabel}$ sebesar = $0,05$ dan nilai replikasi 2 $P\text{-value}$ sebesar = $0,150 < F\text{-tabel} = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua data tersebut berdistribusi normal

4.5. Uji Dua Variansi (Homogenitas)

- Hipotesis uji dua variansi adalah :

H_0 : $\sigma^2 = \sigma_2^2$ maka Tolak H_0 (Homogen)

H_1 : $\sigma^2 \neq \sigma_2^2$ maka Terima H_0 (Tidak homogen)

Kriteria penolakan adalah :

Tolak H_0 : $P\text{-vaule} > F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$.

Terima H_0 : $P\text{-vaule} < F\text{-tabel } \alpha$ dan $\alpha = 5 \% = 0,05$.

Kesimpulan

Tabel 4. 17 Hasil uji dua varian

Respon	P_{-vaule}	Kondisi H₀	Variansi
MRR (mm³/min)	0,036	Gagal ditolak	sama

Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan kriteria penolakan, hasil uji dua varian untuk respon MRR replikasi kedua ditunjukkan pada tabel 4.17, dimana P_{-value} sebesar = 0,036 < F_{-tabel} = 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa variansi tersebut sama atau Homogen.

4.6. Pembahasan

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan pada perhitungan sebelumnya, maka diketahui bahwa kombinasi faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata dan MRR maksimum adalah sama yaitu putaran spindel 420 put/min, kedalaman pemakanan 2 mm dan gerak makan 0.05 mm/rev.

4.7. Analisa

Nilai F_{-hitung} Rata-rata Sebesar 2,06 mm/rev < F_{-tabel} dan nilai F_{-hitung} Rasio S/N sebesar 2,36 mm/rev < F_{-tabel}, mengindikasikan bahwa Gerak makan tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap MRR maksimum. Dibandingkan dengan nilai F_{-hitung} Putaran *Spindel* Rata-rata Sebesar 4,44 put/min dan F_{-hitung} Putaran *Spindel* Rasio S/N sebesar 5,11 put/min, serta dibandingkan dengan nilai F_{-hitung} Kedalaman Pemakanan Rata-rata sebesar 11,84 mm dan nilai F_{-hitung} Kedalaman Pemakanan Rasio S/N sebesar 11,09 mm, dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan 4.13.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan, dan analisis yang telah dilakukan, maka dari penelitian ini yang berjudul “ANALISA *MATERIAL REMOVAL RATE* (MRR) BAJA SKD 11 PADA PROSES CNC *TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI*” dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Persentase kontribusi variabel terhadap pengurangan varians respon MRR benda kerja adalah sebagai berikut:
 - a. Putaran *Spindel* memiliki persen kontribusi, sebesar 21,403 %
 - b. Kedalaman pemakanan memiliki persen kontribusi terbesar, sebesar 32,016 %
 - c. Gerak makan memiliki persen kontribusi terkecil, sebesar 8,458 %
2. Setting parameter yang tepat pada material SKD 11 untuk mendapatkan respon MRR yang maksimum adalah sebagai berikut :
 - a. Putaran *Spindel* dengan setting 420 put/min.
 - b. Kedalaman pemakanan dengan setting 2 mm.
 - c. Gerak makan dengan setting 0,05 mm/rev.

5.2. Saran

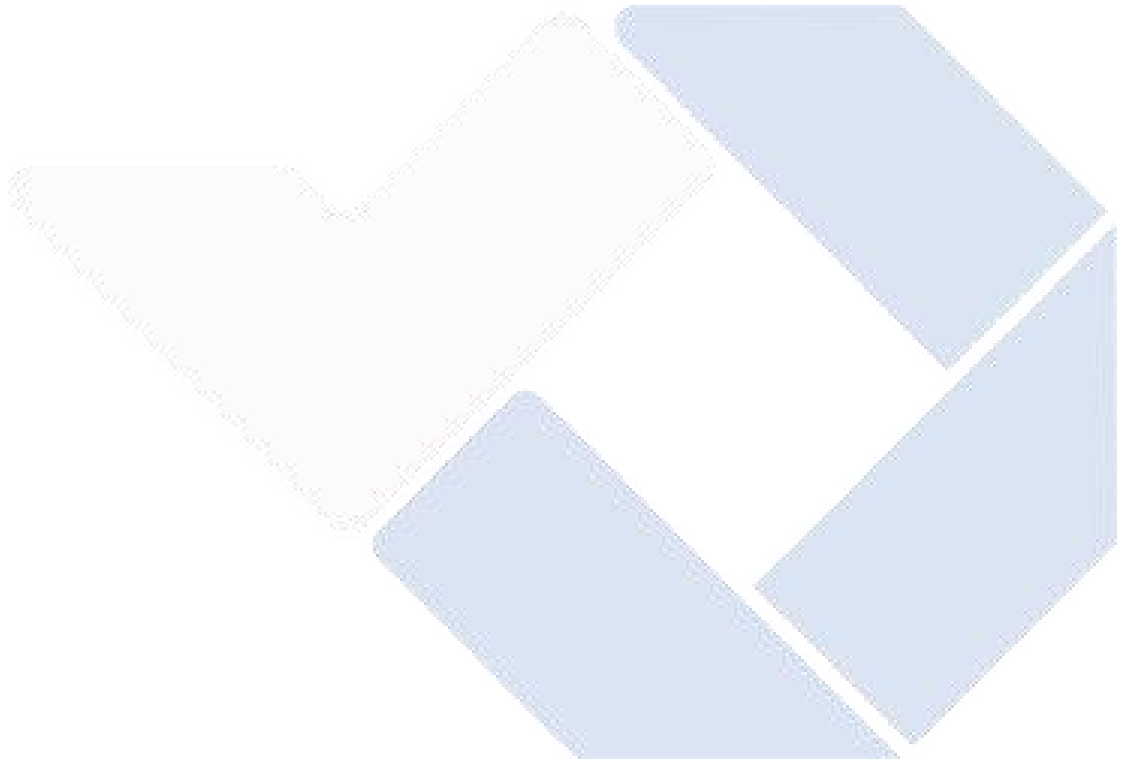
Dengan demikian penulis mendapat saran setelah menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Metode Analisis dalam penelitian dengan menggunakan metode *taguchi*. Pada penelitian selanjutnya, dapat dikembangkan dengan metode lainnya.
2. Untuk parameter Kedalaman Pemakanan, dapat dikembangkan pada percobaan selanjutnya dengan level *range* 2,5 mm, 3 mm, dan 3,5 mm atau lebih tinggi.

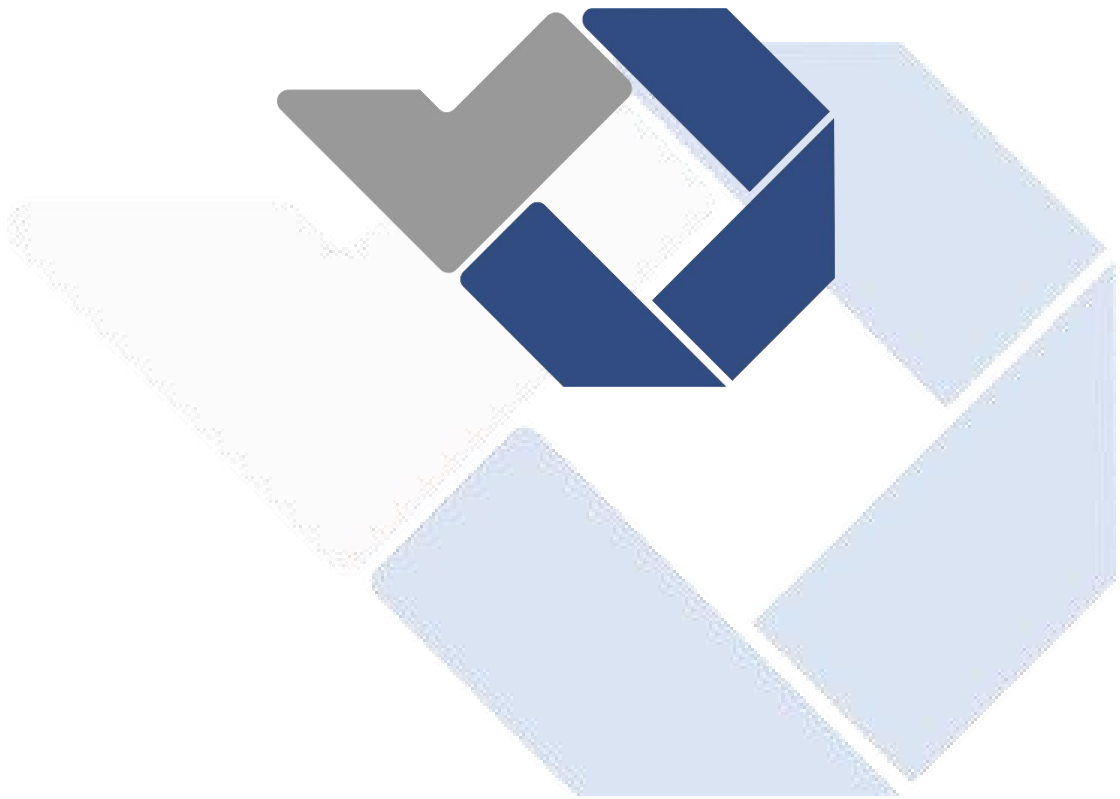
DAFTAR PUSTAKA

- Check, K. d. (1997). faktor-faktor yang mempengaruhi MRR.
- Deepak, R. d. (2015). Optimalisasi Parameter proses untuk meningkatkan Material Removal Rate untuk Pembubutan A16061 menggunakan rasio S/N.
- Hassan, K., Kumar, A., & Garg, M. (2012). Experimental investigation of Material Removal Rate in CNC turning using Taguchi method. *International Journal of Engineering Research and Applications* 2.
- <https://hwacheonasia.com>. (n.d.). *Hwacheon Asia Pacific*. Retrieved from HWACHEON CNC Machine Tools: <https://hwacheonasia.com/id/cnc-lathes/>
- Mukherjee, D. (2014). OPTIMIZATION OF MATERIAL REMOVAL RATE DURING TURNING OF SAE 1020 MATERIAL IN CNC LATHE USING TAGUCHI TECHNIQUE.
- Mukholladdun, W. (2016). OPTIMALISASI LAJU PEMBUANGAN MATERIAL AISI 1045 PADA BUBUT DENGAN VARIASI LAJU PEMAKANAN DAN KEDALAMAN POTONG.
- Mukholladun. (2016). Optimalisasi laju pembuangan Material AISI 1045 pada Bubut konvensional dengan variasi laju pemakanan dan kedalaman potong.
- Mustofa. (2018). Pahat Ceramic.
- Saputra. (2020). Pengertian media pendingin.
- Sayak Mukherjee, A. K. (2014). Optimization of Material Removal Rate During Turning of SAE 1020.

Sukma, H. D. (2015). Optimasi Laju Pembuangan Material AISI 1045 Pada Bubut CNC Dengan.



LAMPIRAN



Lampiran 1

Curriculum Vitae

Mahasiswa Politeknik Manufaktur Negeri

Bangka Belitung

Informasi Pribadi :
Nama : Jekki Dodi Parlindungan Sihombing
NPM : 1041812
TTL : Emplasmen Sei Daun, 19 April 2000
Jenis Kelamin : Laki-laki
Prodi/Jurusan/kelas : D-IV/Teknik Mesin dan Manufaktur/4 TMM A
Alamat : Jln. Nangnung Utara 3, Sungailiat, Bangka
Belitung
Nama Orang Tua
Ayah : Marulam Sihombing
Ibu : Rosmeri Silitonga
No.Handpone : 081293219299
Email : jekkydodi43@gmail.com
Golongan Darah : O

Lampiran 2

Data Hasil Timbangan Berat Awal Benda Kerja

NO	BENDA KERJA	A1	A2	A3	rata-rata
1	BK 1	324	324	325	324,333
2	BK 2	325	324	325	324,666
3	BK 3	307	306	308	307
4	BK 4	311	311	312	311,333
5	BK 5	319	318	317	318
6	BK 6	308	307	307	307,333
7	BK 7	319	319	319	319
8	BK 8	316	315	316	315,666
9	BK 9	313	313	312	312,666
10	BK 10	321	322	322	321,666
11	BK 11	321	321	321	321
12	BK 12	321	322	320	321
13	BK 13	315	316	315	315,333
14	BK 14	323	322	323	322,666
15	BK 15	322	322	321	321,666
16	BK 16	324	323	324	323,666
17	BK 17	311	311	312	311,333
18	BK 18	318	318	316	317,333
19	BK 19	316	315	315	315,333
20	BK 20	326	326	326	326
21	BK 21	322	322	321	321,666
22	BK 22	317	318	317	317,333
23	BK 23	318	317	318	317,666
24	BK 24	315	315	315	315
25	BK 25	316	317	317	316,666
26	BK 26	315	315	314	314,666
27	BK 27	320	320	321	320,333
28	BK 28	319	320	319	319,333
29	BK 29	317	317	318	317,333
30	BK 30	316	316	316	316
31	BK 31	315	316	314	315
32	BK 32	321	320	320	320,333
33	BK 33	316	316	317	316,333
34	BK 34	321	321	322	321,333
35	BK 35	320	321	320	320,333
36	BK 36	312	313	312	312,333

Lampiran 3

Data Hasil Proses Pengambilan Waktu Pengerjaan

No	Parameter			Waktu
	Putaran Spindel(put/min)	Kedalamana Pemakanan(mm/rev)	Gerak Makan (mm)	
1.	210	1	0,02	5,283
2.	210	1,5	0,05	2,233
3.	210	2	0,02	5,4
4.	420	1	0,02	2,716
5.	420	1,5	0,05	1,2
6.	420	2	0,02	2,766
7.	640	1	0,02	1,833
8.	640	1,5	0,05	1,95
9.	640	2	0,02	1,933
10.	210	1	0,05	2,483
11.	210	1,5	0,02	5,35
12.	210	2	0,05	2,3
13.	420	1	0,05	1,216
14.	420	1,5	0,02	2,783
15.	420	2	0,05	1,233
16.	640	1	0,05	1,933
17.	640	1,5	0,02	1,883
18.	640	2	0,05	1,774
19.	210	1	0,02	5,165
20.	210	1,5	0,05	2,283
21.	210	2	0,02	5,176
22.	420	1	0,02	2,654
23.	420	1,5	0,05	1,234
24.	420	2	0,02	2,645
25.	640	1	0,02	1,721
26.	640	1,5	0,05	1,84
27.	640	2	0,02	1,946
28.	210	1	0,05	2,395
29.	210	1,5	0,02	5,26
30.	210	2	0,05	2,24
31.	420	1	0,05	1,178
32.	420	1,5	0,02	2,595
33.	420	2	0,05	1,169
34.	640	1	0,05	1,844
35.	640	1,5	0,02	1,654
36.	640	2	0,05	1,563

Lampiran 4

Data Hasil Timbangan Berat Akhir Benda Kerja

NO	BENDA KERJA	A1	A2	A3	rata-rata
1	BK 1	313	313	312	312,666
2	BK 2	307	307	307	307
3	BK 3	293	294	293	293,333
4	BK 4	301	300	301	300,666
5	BK 5	305	305	304	304,666
6	BK 6	293	293	294	293,333
7	BK 7	308	307	307	307,333
8	BK 8	304	304	303	303,666
9	BK 9	296	296	297	296,333
10	BK 10	308	307	308	307,666
11	BK 11	307	306	307	306,666
12	BK 12	304	304	303	303,666
13	BK 13	304	303	304	303,666
14	BK 14	310	310	310	310
15	BK 15	305	304	305	304,666
16	BK 16	312	312	313	312,333
17	BK 17	297	296	297	296,666
18	BK 18	304	303	304	303,666
19	BK 19	305	305	306	305,333
20	BK 20	314	313	314	313,666
21	BK 21	307	306	306	306,333
22	BK 22	310	310	311	310,333
23	BK 23	308	308	308	308
24	BK 24	302	303	301	302
25	BK 25	308	308	307	307,666
26	BK 26	304	303	304	303,666
27	BK 27	306	306	305	305,666
28	BK 28	311	310	311	310,666
29	BK 29	307	307	306	306,666
30	BK 30	303	303	305	303,666
31	BK 31	306	306	305	305,666
32	BK 32	310	310	311	310,333
33	BK 33	306	307	306	306,333
34	BK 34	316	316	317	316,333
35	BK 35	312	312	311	311,666
36	BK 36	301	301	301	301

Lampiran 5

Data hasil ekperimen MRR

No.	Berat awal	Berat akhir	Selisih	Waktu	MRR
------------	-------------------	--------------------	----------------	--------------	------------

1.	324,333	312,666	11,667	5,283	2,208
2.	324,666	307	17,666	2,233	7,911
3.	307,000	293,333	13,667	5,4	2,53
4.	311,333	300,666	10,667	2,716	3,927
5.	318	304,666	13,334	1,2	11,111
6.	307,333	293,333	14	2,766	5,061
7.	319	307,333	11,666	1,833	6,364
8.	315,666	303,666	12	1,950	6,153
9.	312,666	296,333	16,333	1,933	8,449
10.	321,666	307,666	14	2,483	5,638
11.	321	306,666	14,333	5,350	2,679
12.	321	303,666	17,333	2,300	7,536
13.	315,333	303,666	11,666	1,216	9,594
14.	322,666	310	12,666	2,783	4,551
15.	321,666	304,666	17	1,233	13,787
16.	323,666	312,333	11,333	1,933	5,863
17.	311,333	296,666	14,666	1,883	7,788
18.	317,333	303,666	13,666	1,774	7,703
19.	315,333	305,333	10	5,165	1,936
20.	326	313,666	12,333	2,283	5,402
21.	321,666	306,333	15,333	5,176	2,962
22.	317,333	310,333	7	2,654	2,637
23.	317,666	308	9,666	1,234	7,833
24.	315	302	13	2,645	4,914
25.	316,666	307,666	9	1,721	5,229
26.	314,666	303,666	11	1,84	5,978
27.	320,333	305,666	14,666	1,946	7,536
28.	319,333	310,666	8,666	2,395	3,618
29.	317,333	306,666	10,666	5,26	2,027
30.	316	303,666	12,333	2,24	5,505
31.	315	305,666	9,333	1,178	7,923
32.	320,333	310,333	10	2,595	3,853
33.	316,333	306,333	10	1,169	8,554
34.	321,333	316,333	5	1,844	2,711
35.	320,333	311,666	8,666	1,654	5,239
36.	312,333	301	11,333	1,563	7,251

Lampiran 6

Proses Penimbangan Benda Kerja



(a)



(b)

Proses Pemasukan Program Ke CNC



Hasil Respon parameter terhadap mean

Lampiran 7

Tabel Data spesifikasi mesin bubut CNC

SL Series

SL-25 B/500

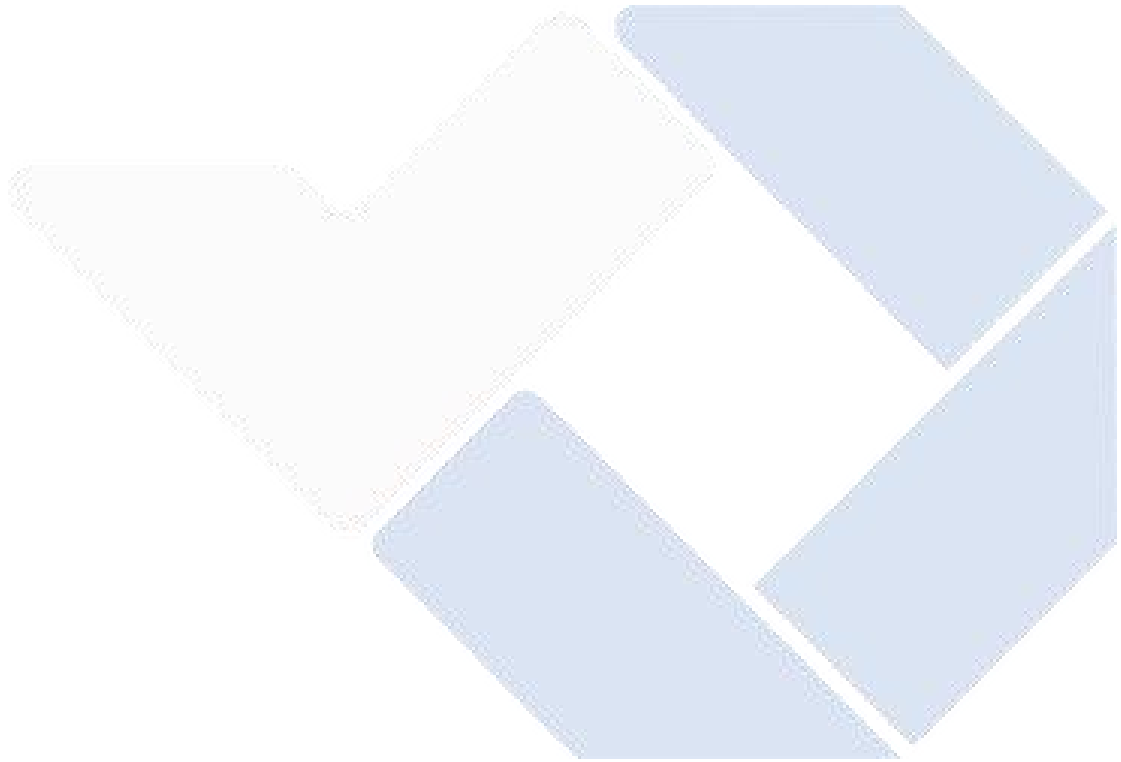
	<i>Swing over bed</i>	520(20.47)
	<i>Swing over cross slide</i>	350(13.78)
	<i>Distance between centers</i>	625(24.61)
Capacity	<i>Maximum turning diameter</i>	260(10.24)
	<i>Maximum turning length</i>	530(20.87)
	<i>Bar work capacity</i>	68(2.6)
Travel	<i>X-axis travel</i>	160<30 + 130> (6.30<1.2+5.1>)
	<i>Z-axis travel</i>	590(23.2)
	<i>Spindle speed range</i>	35-292-3500
	<i>Numbers spindle speed ranges</i>	1
	<i>Type of spindle nose</i>	Jls A2-6
Spindle	<i>Through spindle hole diameter</i>	80(3.1)
	<i>Minimum spindle indexing angle</i>	-
	<i>Spindle bearing inner diameter</i>	130(5.12)
	<i>Number of turrets</i>	1
	<i>Type of turret</i>	10 st.
Turret	<i>Number of tools on turret</i>	10
	<i>Square shank height of tool</i>	25(1)
	<i>Shank diameter of boring bar</i>	Max. 50(2)
	<i>Rapid traverse rate</i> mm/min	X: 1200(472.44) Z: 15000 (590.55)
<i>Feedrate</i>	(ipm)	
	<i>Feed per revolution</i>	X:0.001-342 Z:0.001-428
	<i>Jog feedrate</i> mm/min (ipm)	X,Z:0-1260(0-50)<15steps>
	<i>Tailstock travel</i>	491(19.33)
<i>Tailstock</i>	<i>Tailstock spindle diameter</i>	110(4.33)
	<i>Taper hole of tail stock spindle</i>	MT5<live center>
	<i>Tailstock spindle travel</i>	100(3.94)
	<i>Spindle drive motor (30 min/cont)</i>	15/11(20/15)[18.5/15(25/20)]
	<i>kW (HP)</i>	

<i>Motors</i>	<i>Feed motors</i>	kW (HP)	X: 0.9(1.21) Z: 1.8(2.41)
	<i>Hydraulic pump motor</i>	kW (HP)	1.5(2)
	<i>Lubricant pump motor</i>	kW (HP)	0.017(0.02)
	<i>Coolant pump motor</i>	kW (HP)	0.52(0.70)
<i>Power sources</i>	<i>Electrical power suplay (continuous rating)</i>	kVA	26[34] MSD-516ll: 27 [34]
	<i>Compressed air suplay</i>		-
	<i>Mpa (psi), L/min(gpm)</i>		
	<i>Hydraulic oil tank capacity (gal.)</i>	L	39(10.30)
	<i>Lubricant tank capacity (gal.)</i>	L	2(0.53)
	<i>Coolant tank capacity (gal.)</i>	L	100(26.40)
<i>Machine size</i>	<i>Machine height</i>		1930(75.98)
	<i>Floor space</i>		3033 × 1647 [MSD-516: 1621]
	<i>Mass of machine (lb.)</i>	kg	(119.41 × 64.84 [63.82]) 4200(9240)
<i>Force dan Diameter</i>	<i>Clamping force of turret N (kgf) (lbf)</i>		28440{2900}(6380)<at 3.4 Mpa {35 kgf/cm ² }>
	<i>Coupling diameter</i>		210(8.27)
	<i>Ball screw diameter <pitch></i>		X: 28 (1.10)<6> Z: 40(1.57)<10>
	<i>Thrust force of tailstock N (kgf) (lbf)</i>		9880 {1000} (2000) <at 3.4 MPa {35 kgf/cm ² }>
	<i>Clamping force of tail stock</i>		Manual: 107910 {11000} (24200),

N (kgf) (lbf)

[Automatic: 65720
{6700} (14740)]

<at 3.4 MPa {35
kgf/cm²}>



Lampiran 8

Katalog Insert Bubut (www.who-sells-it.com)

■ Recommended Cutting Conditions

Work Material: Hardened steel (50-62HRC), SKD11, SKD61, SKH51, high-speed steel powder, high-speed steel

Process	Cutting Speed v_c (m/min)	Feed Rate f (mm/rev)	Depth of Cut a_p (mm)	Recommended Chipbreaker
Finishing	40 to 100	0.02 to 0.10	< 1	Without Chipbreaker Inserts
Medium Roughing	20 to 60	0.02 to 0.05	1 to 3	GH Type

For hardened steel (50 to 62HRC)

Chipbreaker for Hardened Steel Turning/Chipbreaker for Aluminum Alloy and Non-Ferrous Metal Turning

GH Type  / **AX** Type / **AY** Type 

Lampiran 9



F- Tabel Distribusi Untuk Probalitas

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

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