



TUGAS AKHIR – TM091486

**OPTIMASI MULTIRESPON PADA
PROSES GURDI UNTUK MATERIAL S50C
DENGAN MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI-*GREY RELATIONAL ANALYSIS*
DAN TAMBAHAN CAIRAN PENDINGIN**

**FEBRYAND JUSTY PUTRA
NRP 2108 100 133**

**Dosen Pembimbing
Ir. Bobby Oedy P.S., M.Sc., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2013**



FINAL PROJECT – TM091486

**MULTIPLE RESPONSES OPTIMIZATION
OF DRILLING S50C STEEL WITH
COOLANT USING TAGUCHI-*GREY*
RELATIONAL ANALYSIS METHOD**

**FEBRYAND JUSTY PUTRA
NRP 2108 100 133**

**Advisor
Ir. Bobby Oedy P.S., M.Sc., Ph.D.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
SepuluhNopember Institute of Technology
Surabaya 2013**

**OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES
GURDI UNTUK MATERIAL S50C DENGAN
MENGUNAKAN METODE *TAGUCHI-GREY*
RELATIONAL ANALYSIS DAN TAMBAHAN
CAIRAN PENDINGIN**

Nama Mahasiswa : Febryand Justy Putra
NRP : 2108 100 133
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Bobby Oedy. P. Soepangkat,
M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Pada proses gurdi ada beberapa kinerja yang ingin dicapai, seperti gaya tekan, momen torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat. Parameter-parameter proses gurdi yang biasa digunakan adalah kecepatan potong dan gerak makan. Selain itu, sudut ujung pahat dan cairan pendingin juga menentukan hasil proses gurdi. Pemilihan yang tepat dari parameter-parameter proses gurdi, sudut ujung pahat dan cairan pendingin dapat menurunkan gaya tekan, momen torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu optimasi dari kecepatan potong, gerak makan, sudut ujung pahat dan cairan pendingin untuk menurunkan gaya tekan, momen torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat. Karakteristik kualitas dari keempat kinerja proses gurdi atau respon adalah semakin kecil semakin baik.

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk menentukan kontribusi dari parameter-parameter proses gurdi dalam mengurangi total variasi respon seara serentak. Selain itu, penentuan kombinasi level-level yang tepat dari parameter-parameter proses gurdi juga dilakukan untuk meminimalkan total variasi respon secara serentak. Penelitian dilakukan dengan menggunakan material baja S50C dan pahat

high speed steel (HSS). Rancangan percobaan yang digunakan adalah matriks ortogonal L_{18} ($2^1 \times 3^3$) dengan memvariasikan empat faktor, yaitu kecepatan potong, gerak makan, sudut ujung pahat dan cairan pendingin. Percobaan dilakukan dengan tiga kali replikasi. Selanjutnya, optimasi dilakukan dengan menggunakan gabungan metode Taguchi-grey *relational analysis* (Taguchi-grey).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor kecepatan potong memiliki kontribusi sebesar 4,43%, faktor gerak makan memiliki kontribusi sebesar 86,89%, sedangkan faktor sudut ujung pahat dan cairan pendingin masing-masing tidak memiliki kontribusi untuk mengurangi total variasi respon secara serentak. Untuk memperoleh gaya tekan, torsi dan kekasaran permukaan yang minimum, cairan pendingin yang digunakan adalah jenis *soluble cutting oil* tanpa penambahan *extreme pressure*, kecepatan potong diatur sebesar 41,7mm/min, gerak makan diatur sebesar 0,07mm/put dan sudut ujung pahat sebesar 108^0 .

Kata kunci: *grey relational analysis* (GRA), optimasi, proses gurdi, Taguchi

MULTIPLE RESPONSES OPTIMIZATION OF DRILLING S50C STEEL WITH COOLANT USING TAGUCHI-GREY RELATIONAL ANALYSIS METHOD

Student Name : Febryand Justy Putra
NRP : 2108 100 133
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Ir. Bobby Oedy. P. Soepangkat,
M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

A research was conducted for optimization of the drilling process. The experimental studies were conducted under varying the drilling process variables, i.e., cutting speed (m/min) and feed rate (mm/rev), as well as point angle ($^{\circ}$) and the type of coolant. The optimized multiple performance characteristics were thrust force, torque, surface roughness and flank wear. The quality characteristics of those performance characteristics were smaller is better.

Experiment was conducted by using S50C steel and 12 mm high speed steel (HSS) twist drill. Based on Taguchi method, an L_{18} ($2^1 \times 3^3$) mixed orthogonal array was chosen for the design of experiment. The experiment were completely randomized and replicated thrice. A multi response optimization was conducted based on Taguchi-grey relational analysis (Taguchi-grey) method.

Experimental result have shown that cutting speed and feed rate give contribution as much as 4,43% and 86,89% respectively, while both the type of coolant and point angle do not give any contribution for reducing total variation of the multiple responses. The minimum thrust force, torque and surface roughness could be obtained by using soluble cutting oil without extreme pressure, cutting speed of 41,7 mm/min, feed rate of 0,07 mm/rev and point angle of 118° .

Keyword: grey relational analysis (GRA), optimization, drilling process, Taguchi

OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES GURDI UNTUK MATERIAL S50C DENGAN MENGUNAKAN METODE TAGUCHI-GREY RELATIONAL ANALYSIS DAN TAMBAHAN CAIRAN PENDINGIN

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

pada

**Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Febryand Justy Putra
Nrp. 2108 100 133**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Bobby Oedy P S M.Sc, Ph.D (Pembimbing)
2. Ir. Ahmad Mulyana (Penguji I)
3. Ir. Sampurno, MT (Penguji II)
4. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc (Penguji III)

**SURABAYA
Januari, 2014**

KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, karena hanya oleh pernyertaanNya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tugas akhir dengan judul **“OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES GURDI UNTUK MATERIAL S50C DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI-GREY RELATIONAL ANALYSIS DAN TAMBAHAN CAIRAN PENDINGIN”** disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Sistem Manufaktur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak atas segala bantuan dan dorongan serta dedikasinya yang telah membantu penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Bobby O.P. Soepangkat, M.Sc, Ph.D. sebagai dosen pembimbing.
2. Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc., Bapak Ir. Sampurno, MT. dan Bapak Ir Achmad Mulyana sebagai dosen penguji.
3. Seluruh staf pengajar dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin yang selalu memberi atmosfer kampus yang menyenangkan.

4. Teman-teman kuliah M51 angkatan 2008.
5. Orang tua tercinta papa Julius Budijanto dan ibu Betty Ribut, Keluarga Lima Jari serta Nadia Paramaditha Halim yang selalu memberi dukungan, doa, cinta dan semangat.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS agar memenuhi syarat kelulusan, juga diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan khususnya di bidang proses manufaktur.

Tiada gading yang tak retak. Sebagai tanggung jawab atas segala kekurangan, penulis membuka diri untuk segala kritik dan saran yang konstruktif atas tulisan ini. Penulis juga berharap akan ada penelitian-penelitian selanjutnya yang dapat menyempurnakan dan memperbaiki segala kekurangan yang ada dalam penelitian ini.

Surabaya, Februari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL INDONESIA	i
HALAMAN JUDUL INGGRIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK INDONESIA	iv
ABSTRAK INGGRIS	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.2.1 Pembatasan Masalah	4
1.2.2 Asumsi Penelitian	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Kerangka Penulisan	6

BAB II DASAR TEORI

2.1 Proses Pemesinan Gurdi	7
2.1.1 Jenis Pahat Gurdi	10
2.1.2 Gaya Pemotongan pada Proses Gurdi	13
2.1.3 Keausan Pahat	16
2.2 Cairan Pendingin	19
2.2.1. Jenis-Jenis Pendingin	19
2.2.2 Penambahan Unsur Extreme Pressure	21
2.2.3 Pemilihan Cairan Pendingin	23
2.3 Metode Taguchi	24
2.3.1 Prosedur Eksperimen	25
2.4 Metode Taguchi- <i>Grey Relational Analysis</i> (GRA)	36
2.5 Interpretasi Hasil Eksperimen	41
2.6 Eksperimen Konfirmasi	42

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	45
3.2 Faktor-Faktor dalam Penelitian	49
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	50
3.3.1 Alat Penelitian	50
3.3.2 Bahan Penelitian	56
3.4 Rancangan Percobaan	57
3.4.1 Seting Faktor pada Mesin Gurdi	57
3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal	57
3.5 Prosedur Percobaan	60

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Eksperimen	63
4.2 Perhitungan Rasio S/N	65
4.3 Normalisasi Rasio S/N	66
4.4 Grey Relational Coefficient	67
4.5 Hasil Optimasi	70
4.6 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi	72
4.7 Pengujian Residual	75
4.7.1 Uji Independen	75
4.7.2 Uji Identik	76
4.7.3 Uji Kenormalan	77
4.8 Prediksi Multirespon Optimal dan Interval Keyakinan	78
4.9 Eksperimen Konfirmasi	79
4.10 Perbandingan Antara Hasil Kombinasi Awal dengan Kombinasi Optimum	81
4.11 Analisa Pengaruh Faktor terhadap Masing-Masing Respon	86
4.12 Evaluasi Hasil Eksperimen	88
4.12.1 Parameter Proses	88
4.12.2 Kekasaran Permukaan	88
4.12.3 Hasil Optimasi	90

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran	96

DAFTAR PUSTAKA	97
-----------------------------	----

LAMPIRAN	101
-----------------------	-----

BIODATA PENULIS	129
------------------------------	-----

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Elemen Dasar Proses Gurdi	7
Gambar 2.2	Mesin Gurdi	9
Gambar 2.3	Geometri Pahat <i>Twist Drill</i>	10
Gambar 2.4	Lingkaran Gaya Pemotongan	13
Gambar 2.5	Gaya Pemotongan pada Proses Gurdi	15
Gambar 2.6	Daerah Pengukuran Keausan Tepi Pahat (Lee <i>et al</i> ,1998)	18
Gambar 2.7	Kurva Keausan Pahat Potong	19
Gambar 2.8	Langkah-Langkah Proses Optimasi	37
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	46
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	47
Gambar 3.2	Mesin Gurdi Radial KMR-700DS	51
Gambar 3.3	Dinamometer Tipe 9272	51
Gambar 3.4	Akuisisi Data Tipe 5697A	52
Gambar 3.5	<i>Charge Amplifier Type 5070A</i>	52
Gambar 3.6	Compaq Pressario CQ35-336TX	53
Gambar 3.7	Mitutoyo <i>Surftest 301</i>	53
Gambar 3.8	Nikon <i>Measurescope</i>	54
Gambar 3.9	Mistar Ingsut	54
Gambar 3.10	<i>Drill Holder</i>	55
Gambar 3.11	Benda Kerja S50C	56
Gambar 3.12	Skema Pemotongan Benda Kerja	60
Gambar 4.1	Grafik Nilai Rata-Rata GRG	71
Gambar 4.2	Plot ACF	76
Gambar 4.3	Plot <i>Residual Versus Fits</i>	77
Gambar 4.4	Tes Distribusi Normal	77
Gambar 4.5	Plot Interval Keyakinan Hasil Optimasi dan Eksperimen Konfirmasi	81
Gambar 4.6	Ilustrasi Peletakan Sensor Alat Ukur Kekasaran Permukaan	89
Gambar 4.7	Ilustrasi Sensor yang Berjalan Serong	89

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Geometri Pahat Gurdi	11
Tabel 2.2	Batas Keausan Kritis	17
Tabel 2.3	Atribut Khlorine	22
Tabel 2.4	Atribut Sulfur	23
Tabel 2.5	Jenis Cairan Pendingin	24
Tabel 2.6	Matriks Ortogonal Standar untuk $L_{18} (2^1 \times 3^3)$..	29
Tabel 2.7	Tabel Analisis Variansi	31
Tabel 2.8	Penempatan Rasio S/N	38
Tabel 2.9	Tabel Respon <i>Grey Relational Grade</i>	40
Tabel 3.1	Seting Mesin untuk Faktor Konstan	50
Tabel 3.2	Karakteristik <i>Soluble Cutting Oil</i>	57
Tabel 3.3	Seting Faktor dan Pengaturan Level	57
Tabel 3.4	Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level	58
Tabel 3.5	Rancangan Matriks Ortogonal $L_{18} (2^1 \times 3^3)$	58
Tabel 3.6	Tampilan Data Hasil Eksperimen	59
Tabel 4.1	Data Hasil Eksperimen	64
Tabel 4.2	Nilai Rata-Rata Hasil Pengukuran	64
Tabel 4.3	Nilai Rasio S/N	66
Tabel 4.4	Nilai Normalisasi Rasio S/N	67
Tabel 4.5	Nilai <i>Deviation Sequence</i>	68
Tabel 4.6	Nilai GRC	69
Tabel 4.7	Nilai GRG	70
Tabel 4.8	Nilai Rata-Rata GRG	71
Tabel 4.9	Kombinasi Faktor untuk Kombinasi Optimum	72
Tabel 4.10	Analisis Variansi GRG	73
Tabel 4.11	ANAVA dan Persen Kontribusi untuk GRG ..	75
Tabel 4.12	Hasil Respon Eksperimen Konfirmasi dengan Menggunakan Kombinasi Optimum ..	80
Tabel 4.13	Kombinasi Faktor untuk Kombinasi Awal	82
Tabel 4.14	Hasil Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal	82
Tabel 4.15	Perbandingan GRG Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum.....	83

Tabel 4.16	Perbandingan Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum.....	84
Tabel 4.17	Hasil Uji Kenormalan Data.....	84
Tabel 4.18	Hasil Uji Dua Variansi	85
Tabel 4.19	Hasil Uji Kesamaan Rata-rata	86
Tabel 4.20	Analisis Variansi untuk Respon Individu	87
Tabel 4.21	Nilai Respon Kombinasi Optimum dan Kombinasi Keempat	91
Tabel 4.22	Hasil Uji Kenormalan Data.....	91
Tabel 4.23	Hasil Uji Dua Variansi	92
Tabel 4.24	Hasil Uji Kesamaan Rata-rata	93

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses gurdi merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan dalam industri, oleh karena itu proses gurdi memberikan sumbangan yang cukup besar pada proses pemesinan dan biaya produksi. Hampir 25 % proses produksi menggunakan proses penggurdian (Tonshoff *et al.*, 1994). Galloway (1957) menyebutkan bahwa karena besarnya skala proses penggurdian yang dilakukan, sedikit peningkatan dalam kinerja pahat secara umum akan memberikan sesuatu yang berguna dan bermanfaat secara ekonomis, baik bagi perusahaan secara individual maupun industri secara keseluruhan.

Baja S50C merupakan jenis baja yang memiliki sifat mampu mesin dan mampu las yang baik. Baja ini juga memiliki sifat tahan aus dan keuletan yang baik. Kekerasan baja S50C ini berkisar antara 20-27 HRC. Baja S50C ini digunakan untuk membuat komponen-komponen mesin seperti poros, roda gigi dan lain sebagainya.

Kinerja atau performansi dari proses gurdi biasanya dinyatakan oleh kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan atau *material removal rate* (MRR). Kekasaran permukaan menunjukkan kualitas dari benda kerja, sedangkan laju pengerjaan bahan menentukan kecepatan dari proses gurdi. Kinerja ini bergantung pada geometri pahat seperti sudut ujung pahat serta parameter pemotongan, seperti kecepatan potong dan gerak makan.

Beberapa respon yang dapat diteliti dari proses gurdi adalah gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan, dan keausan tepi pahat. Parameter kecepatan potong dan sudut ujung pahat berpengaruh terhadap respon gaya tekan, sedangkan parameter

gerak makan berpengaruh terhadap respon gaya tekan dan torsi (Ranganathan *et al.*, 2012). Respon keausan tepi pahat dipengaruhi oleh gaya potong (Jindal, 2012).

Demi mencapai hasil respon yang optimum, maka penentuan kombinasi level parameter proses yang tepat menjadi fokus penelitian yang utama dalam proses gurdi. Pemilihan metode yang tepat untuk optimasi respon akan berkaitan langsung dengan kualitas produk yang dihasilkan. Metode Taguchi adalah salah satu metode yang efektif untuk mengendalikan kualitas produk secara *off-line*, yaitu usaha pengendalian atau perbaikan kualitas yang dimulai dari perancangan hingga pemrosesan produk (Soejanto, 2009). Metode ini dipilih untuk memperbaiki kualitas serta pengurangan biaya dalam pembuatan maupun pengembangan produk. Metode Taguchi hanya dapat mengoptimasi proses pada salah satu respon saja. Adanya metode seperti *grey relational analysis* (GRA) dan *respon surface* membuat metode Taguchi dapat digunakan untuk melakukan optimasi terhadap beberapa respon secara serentak.

Metode GRA didasarkan pada teori *grey* yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi multirespon (Deng, 1989 dan Jeyapaul *et al.*, 2005). Suatu *grey relational grade* (GRG) diperoleh untuk mengevaluasi respon yang jumlahnya banyak. Sebagai hasilnya, optimasi dari respon yang berjumlah banyak dapat diubah menjadi optimasi dari satu *relational grade*.

Beberapa peneliti terdahulu sudah melakukan optimasi proses gurdi terhadap respon kekasaran permukaan, gaya tekan dan torsi. Tosun (2006) meneliti pengaruh dari parameter gerak makan, kecepatan potong dan sudut ujung pahat. Respon yang diteliti adalah kekasaran permukaan benda kerja dan ketinggian *burr*. Material yang digunakan adalah AISI 4140. Optimasi yang dilakukan menggunakan metoda Taguchi yang digabungkan dengan GRA.

Haq *et al.* (2007) melakukan penelitian optimasi proses gurdi dengan parameter-parameter proses atau faktor-

faktornya adalah kecepatan potong, gerak makan dan sudut ujung pahat, ketiga faktor tersebut masing-masing memiliki tiga level. Benda kerja dan pahat yang dipakai adalah baja Al/SiC (HCHCr) dan HSS *twist drill* yang dilapisi dengan TiN berdiameter 10 mm. Rancangan percobaan yang digunakan adalah orthogonal array L₉ dan GRA yang digunakan sebagai metode lanjutan untuk optimasi multirespon. Pada penelitian ini, nilai *distinguishing coefficient* yang digunakan adalah sebesar 0,5. Untuk menentukan persen kontribusi dari setiap parameter proses yang diteliti digunakan analisis variansi (ANAVA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter proses sudut ujung pahat memiliki kontribusi sebesar 43,21%, kecepatan potong memiliki kontribusi sebesar 28,64%, dan gerak makan memiliki kontribusi sebesar 26,21% terhadap total variasi dari respon yang diamati secara serentak.

Sales *et al.* (2002) melakukan penelitian yang berhubungan dengan efektifitas dari cairan pendingin dengan penambahan *extreme pressure*. Pada penelitian ini cairan pendingin dengan jenis *soluble cutting oil* yang digunakan ditambah dengan bahan kimia (sulfur dan khlorine) yang dilarutkan kedalam cairan pendingin. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan *extreme pressure* pada cairan pendingin terhadap respon laju keausan tepi pahat, momen torsi dan gaya tekan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *extreme pressure* (sulfur dan khlorine) pada cairan pendingin diestimasikan dapat mereduksi momen torsi sebesar 12,5%, gaya tekan sebesar 9,09%, dan laju keausan tepi pahat sebesar 24,73% jika dibandingkan dengan cairan pendingin tanpa penambahan *extreme pressure*.

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan, maka pada penelitian ini akan dilakukan suatu optimasi multi respon pada proses gurdi untuk meminimalkan gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan, dan keausan tepi pahat. Kombinasi parameter proses gurdi yang divariasikan antara lain kecepatan potong, gerak makan, sudut ujung pahat dan cairan pendingin.

Rancangan eksperimen dilakukan berdasarkan metode Taguchi. Metode optimasi yang digunakan adalah GRA.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang dapat ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Apakah parameter-parameter proses seperti kecepatan potong, gerak makan, sudut ujung pahat dan cairan pendingin memiliki kontribusi untuk mengurangi variasi secara serentak dari respon gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat.
2. Bagaimana setting yang tepat dari parameter-parameter pada proses gurdi diatas agar dapat meminimalkan respon gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat.

1.2.1 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini diberlakukan agar penelitian dapat berjalan secara terarah dan dapat mencapai tujuan yang diinginkan. Batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bahan benda kerja adalah S50C.
2. Mesin gurdi yang digunakan adalah KMR-700 DS.
3. Dinamometer yang digunakan adalah KISTLER tipe 9272.
4. Pahat gurdi yang digunakan adalah jenis HSS *twist drill* yang memiliki diameter 12 mm.
5. Pahat gurdi memiliki 2 alur/*flute*.
6. Jenis pahat gurdi yang digunakan adalah *straight shank twist drill*.
7. Cairan pendingin yang digunakan jenis *soluble cutting oil*.

1.2.2 Asumsi Penelitian

Asumsi-asumsi yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang tidak diteliti dianggap selalu konstan dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap hasil penelitian.
2. Tidak ada interaksi antar faktor.
3. Material yang digunakan memiliki kehomogenan sifat mekanik dan komposisi kimia.
4. Mesin bekerja dalam kondisi baik.
5. Alat ukur yang digunakan dalam keadaan layak dan terkalibrasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar kontribusi dari parameter-parameter proses gurdi dalam mengurangi variasi secara serentak dari respon gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat.
2. Menentukan kombinasi optimum dari parameter proses gurdi sehingga dapat meminimalkan gaya tekan, torsi kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan analisis gaya tekan, torsi dan keausan tepi pahat pada proses gurdi dengan *twist drill* serta optimasi parameter proses gurdi.
2. Menambah database tentang seting faktor pada proses gurdi untuk mengoptimasi gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat pada pembuatan benda kerja.
3. Dapat digunakan sebagai masukan dalam seting mesin gurdi bagi operator agar mampu menghasilkan output

produk dengan permukaan hasil pemotongan yang halus dan laju keausan tepi pahat yang rendah.

1.5 Kerangka Penulisan

Penulisan Laporan tugas akhir ini disusun dalam 5 Bab, yaitu:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan kerangka penulisan.

BAB II Dasar Teori

Bab ini menjelaskan proses pemesinan gurdi, geometri pahat, gaya pemotongan pahat, keausan pahat, cairan pendingin dan metode Taguchi-GRA.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang diagram alir penelitian serta alat dan bahan yang digunakan.

BAB IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan dan analisis data hasil percobaan dengan dinamometer dan *measurescope* dan data hasil optimasi multi repon proses gurdi dengan menggunakan metode Taguchi-GRA.

BAB V Penutup

Pada bab ini dirumuskan kesimpulan serta saran dari pembahasan Tugas Akhir ini.

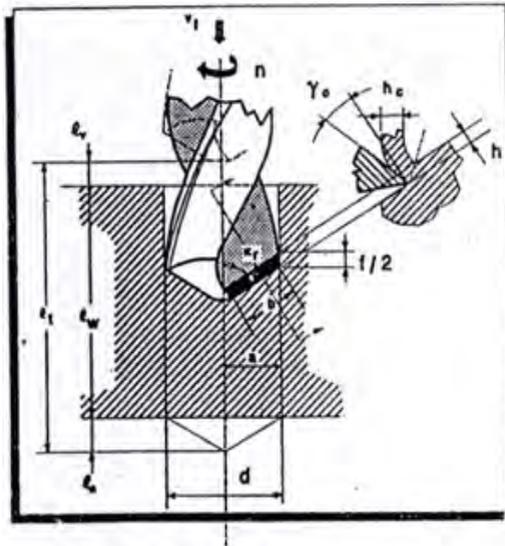
Lampiran

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Proses Pemesinan Gurdi

Proses gurdi (*drilling*) adalah proses pembuatan lubang silindris pada benda kerja dengan menggunakan gurdi jenis penggurdi puntir (*twist drill*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada proses ini, pahat gurdi berputar dan menekan ke bawah untuk melakukan proses pemakanan ke dalam benda kerja. Pada proses pemotongan terjadi gerak relatif dan persinggungan antara pahat dan benda kerja yang menghasilkan geram (*chips*). Proses pendinginan menjadi relatif sulit, oleh karena itu proses pendinginan biasanya dilakukan dengan menyiram benda kerja yang dilubangi dengan cairan pendingin, disemprot dengan cairan pendingin, atau cairan pendingin dimasukkan melalui lubang di tengah mata gurdi.



Gambar 2.1. Elemen dasar proses gurdi (Rochim, 1993)

Keterangan gambar:

V_f : kecepatan makan (mm/min)

n : putaran poros utama (rev/min)

L_t : panjang total langkah pemotongan (mm)

L_v : panjang langkah awal pemotongan (mm)

L_w : panjang pemotongan benda kerja (mm)

L_n : panjang langkah akhir pemotongan (mm)

d : diameter gurdi (mm)

K_r : sudut potong utama (derajat; $^{\circ}$) atau $\frac{1}{2}$ sudut ujung pahat (*point angle*)

γ_0 : sudut pembentukan geram (derajat; $^{\circ}$)

h_c : tebal pemotongan setelah terpotong (mm)

Menurut Rochim (1993) elemen-elemen dasar proses gurdi meliputi:

A. Pahat potong, yang terdiri dari:

a. Kecepatan Potong

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ (m/menit)} \quad (2.1)$$

b. Gerak makan permata potong

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \text{ (mm/putaran)} \quad (2.2)$$

c. Kedalaman potong

$$a = \frac{d}{2} \text{ (mm)} \quad (2.3)$$

d. Lebar pemotongan

$$b = \frac{a}{\sin K_r} \text{ (mm)} \quad (2.4)$$

e. Luas pemotongan

$$A = a \cdot b \text{ (mm}^2\text{)} \quad (2.5)$$

f. Tebal pemotongan sebelum terpotong

$$h = \frac{f}{2} \cdot \sin K_r \quad (2.6)$$

g. Kecepatan penghasilan geram

$$Z = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot v_f}{4 \cdot 1000} \text{ (cm}^3\text{/menit)} \quad (2.7)$$

B. Benda kerja

$$L_t = L_v + L_w + L_n \quad (2.8)$$

Dimana L_n adalah:

$$L_n \geq \frac{d}{2 \cdot \tan(K_r)} \quad (2.9)$$

C. Mesin perkakas gurdi

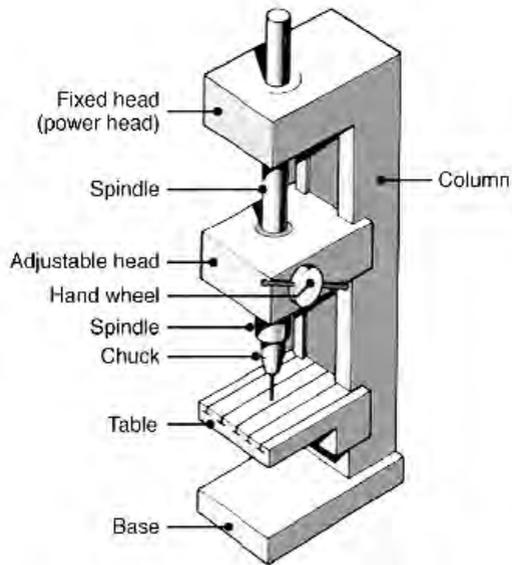
a. Putaran poros utama mesin

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \text{ (putaran/menit)} \quad (2.10)$$

b. Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{L_t}{v_f} \text{ (menit)} \quad (2.11)$$

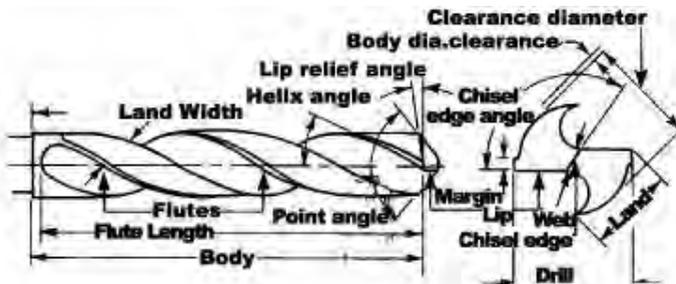
Selain elemen dasar yang telah dijelaskan juga diperkenalkan dua sudut pahat yang penting, yaitu sudut potong utama dan sudut geram, yang memegang peranan dalam penentuan gaya pemotongan dan umur pahat. Salah satu contoh struktur mesin gurdi ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mesin gurdi (Kalpakjian dan Schmid, 2009)

2.1.1 Jenis Pahat Gurdi

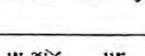
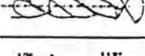
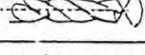
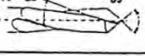
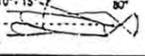
Pada proses gurdi, sebagian besar pahat yang digunakan adalah pahat gurdi jenis *twist drill*, yang diciptakan oleh Steven A. Morse pada tahun 1861. Metode asli dari proses ini adalah memotong dua alur di sisi yang berlawanan dari sebuah silinder, kemudian memutar silinder untuk menghasilkan lubang. Bagian-bagian utama dari pahat gurdi adalah *body* (badan pahat), *point* (bagian dari ujung yang runcing), dan *shank* (tangkai). Geometri dari *twist drill* ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Hertel, 1990).



Gambar 2.3 Geometri Pahat *Twist Drill* (Hertel, 1990)

Di antara bagian-bagian pahat tersebut yang paling utama adalah sudut puntir (*helix/rake angle*), sudut ujung pahat/sudut potong utama (*point angle/lip angle*) dan sudut bebas samping (*lip relief angle*). Sudut ujung pahat/sudut potong utama merupakan sudut yang terbentuk dari dua mata potong. Sudut ujung pahat mempengaruhi penampang geram sebelum terpotong. Besarnya sudut ujung pahat ditentukan oleh material benda kerja yang akan digunakan dalam proses gurdi. Tabel 2.1 menunjukkan harga sudut ujung pahat yang dianjurkan agar menghasilkan umur pahat yang optimum berdasarkan material benda kerja yang digunakan dalam proses gurdi.

Tabel 2.1 Geometri Pahat Gurdi (Rochim, 1993)

Benda Kerja	$2\kappa_r$	γ_r	α_r	Sketsa gurdi	Menurut DIN 1836
Baja u 900 N/mm ²	118°	20°-30°	19°-25°		N
Baja u 900 N/mm ²	125-145°	20°-30°	7°-15°		N
Baja keras (manganese) kondisi austenitic	135°-150°	10°-25°	7°-15°		H
Besi tuang	90°-135°	18°-25°	7°-12°		N
Kuningan	118°	12°	10°-15°		H
Tembaga	100°-118°	20°-30°	10°-15°		N
Aluminium	30°-140°	17°-45°	12°-18°		W
Plastik lunak	118-140°	30°-40°	15°-20°		W
Plastik keras	80°-118°	10°-20°	12°-15°		H
Karot keras	80°-118°	10°-15°	12°-15°		H
Batu, Marmor	80°	10°-15°	7°-12°		H

Material benda kerja yang keras memerlukan sudut ujung pahat yang lebih besar sebagai contoh, baja dengan *ultimate strength* sebesar 900 N/mm² memerlukan sudut ujung pahat 118° dan atau yang berkisar diantara 125°-145°. Material benda kerja yang lunak memerlukan sudut yang lebih kecil/runcing sebagai contoh, aluminium yang memerlukan sudut ujung pahat yang berkisar diantara 90°-140°.

Sudut puntir (*helix/rake angle*) merupakan sudut yang mempengaruhi proses pembentukan geram. Besarnya sudut puntir ditentukan oleh material benda kerja yang akan digunakan dalam proses gurdi. Material benda kerja yang keras memiliki sudut *helix* berkisar 20° - 30° , seperti pada baja dengan *ultimate strength* sebesar 900 N/mm^2 . Sedangkan material benda kerja yang lunak memiliki sudut *helix* berkisar 17° - 45° , seperti pada aluminium.

Sudut bebas samping (*lip relief angle*) berfungsi untuk mengurangi gesekan antara bidang utama pahat dengan bidang transient benda kerja (Rochim, 1993). Besarnya sudut bebas samping ditentukan oleh material benda kerja yang akan digunakan dalam proses gurdi. Material benda kerja yang keras memiliki sudut bebas samping berkisar antara 19° - 25° dan atau 7° - 15° , seperti baja dengan *ultimate strength* sebesar 900 N/mm^2 . Sedangkan material benda kerja yang lunak memiliki sudut bebas samping berkisar 12° - 18° , seperti pada aluminium.

Pahat *Twist Drill* dapat diklasifikasikan menurut materialnya, jenis tangkainya, jumlah *flute*, ukuran diameter, dan geometri pahatnya. Berdasarkan jenis tangkainya, *twist drill* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Straight shank drill*: jenis pahat ini mempunyai tangkai berbentuk silinder.
2. *Taper shank drill*: jenis pahat ini mempunyai tangkai berbentuk konis, yang sesuai untuk dipasang langsung pada *spindle* mesin.

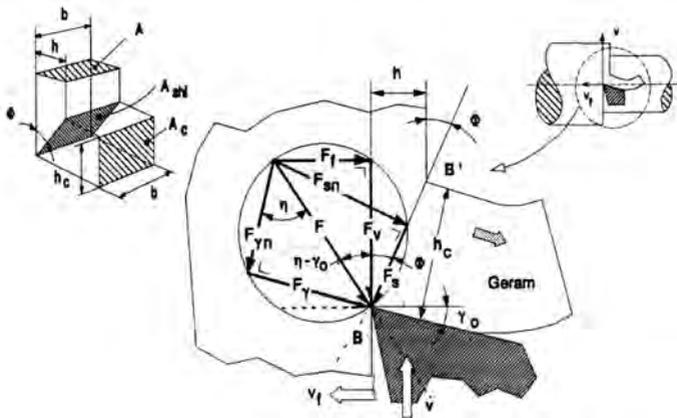
Berdasarkan jumlah *flute*, *twist drill* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Single flute drill*, pahat ini mempunyai satu *flute* dan digunakan untuk proses *drill* pada material plastik.
2. *Two flute drill*, pahat ini merupakan tipe *drill* konvensional.

3. *Three flute drill*, pahat ini merupakan tipe *twist drill* yang relatif baru dikembangkan pada proses pemotongan logam.

2.1.2 Gaya Pemotongan pada Proses Gurdi

Pemotongan pada proses pemesinan dianggap sebagai akibat terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh gaya tekan dari mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan menimbulkan tegangan geser yang maksimum. Karena tegangan geser tersebut melebihi kekuatan bahan benda kerja yang bersangkutan, terjadi deformasi plastis pada daerah tegangan yang dirambatkan oleh gerakan pahat. Deformasi plastis ini menggeser dan memutuskan material benda kerja diujung pahat pada suatu bidang geser, sehingga terbentuk geram seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.4 (Rochim, 1993).



Gambar 2.4 Lingkaran gaya pemotongan

Gaya potong adalah gaya yang menimbulkan tegangan geser yang menghasilkan deformasi plastis pada bidang geser. Dalam perhitungan teoritik diasumsikan, bahwa deformasi material benda kerja dalam proses pemotongan terjadi dalam dua dimensi dan tegangan yang terdistribusi merata pada

bidang geser. Berdasarkan analisa arah gaya-gaya reaksi seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.4 b, perumusan gaya potong teoritik, F_v adalah:

$$F_v = \frac{F_s \cos(\eta - \gamma_0)}{\cos(\varphi + \eta - \gamma_0)} ; N \quad (2.12)$$

Dengan:

$F_s = A_{shi} \cdot \tau_{shi}$; N (gaya geser)

dimana

A_{shi} : penampang bidang geser (mm)

$A_{shi} = A / \sin \varphi$ (mm²)

$A = b \cdot h$ (mm²)

τ_{shi} : tegangan geser pada bidang geser (N/mm²)

η : sudut gesek

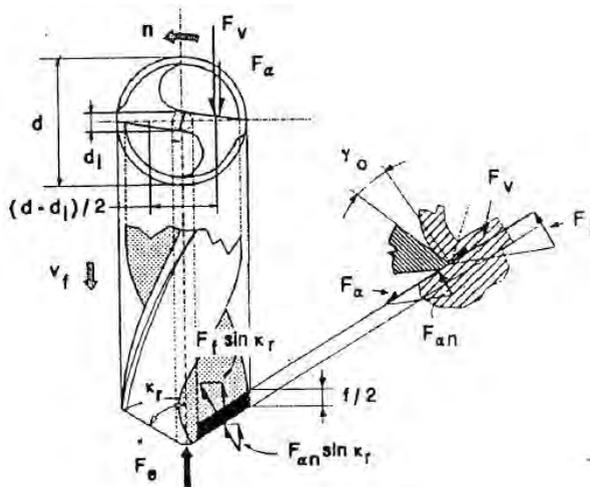
φ : sudut geser

γ_0 : sudut pembentukan geram

dengan demikian rumus gaya potong adalah:

$$F_v = \tau_{shi} \cdot b \cdot h \frac{\cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \varphi \cos(\varphi + \eta - \gamma_0)} ; N$$

Pada proses gurdi, dimana pahat mempunyai dua mata potong, gaya pemotongan pada salah satu mata potong dapat diuraikan menjadi dua komponen yaitu F_s dan F_f , seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Penekanan yang terjadi pada proses gurdi berfungsi untuk melawan gaya ekstruksi yang cukup besar diujung pahat gurdi (karena kecepatan potong diujung pahat gurdi sama dengan nol, maka tidak terjadi pemotongan melainkan penekanan/ekstruksi benda kerja) serta untuk melawan gesekan pada bidang utama/mayor bagi kedua mata potong.



Gambar 2.5 Gaya pemotongan pada proses gurdi
(Rochim,1993)

Berdasarkan Gambar 2.5 dapat diturunkan rumus gaya tangensial, yaitu:

$$F_t = F_v + F_\alpha \quad ; N \quad (2.13)$$

dengan:

F_v = gaya potong, sebagaimana dalam proses gurdi (rumus 2.12)

$$F_v = \tau_{shi} \cdot A_{shi} \frac{\cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \varphi \cos(\varphi + \eta - \gamma_0)} \quad ; N$$

dimana:

$$A_{shi} = \frac{d - d_i}{2} \cdot \frac{f}{2}$$

dengan demikian F_v adalah:

$$F_v = \tau_{shi} \cdot \frac{d - d_i}{2} \cdot \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \varphi \cos(\varphi + \eta - \gamma_0)} \quad ; N \quad (2.14)$$

F_α adalah gaya gesek pada bidang utama. Besarnya gaya ini tergantung pada gaya gesek spesifik persatuan panjang aktif mata potong (K_f ; N/mm) yang dipengaruhi oleh geometri pahat, benda kerja, cairan pendingin dan kondisi pemotongan. Perumusan dari F_α adalah sebagai berikut (Rochim, 1993):

$$F_{\alpha} = k_f \frac{d-d_i}{2 \sin K_r} \quad [N]$$

Maka gaya tangensial (F_t) adalah:

$$F_t = \tau_{shi} \cdot \frac{d-d_i}{2} \cdot \frac{f}{2} \cdot \frac{\cos(\eta-\gamma_0)}{\sin \varphi \cos(\varphi+\eta-\gamma_0)} + K_f \frac{d-d_i}{2 \sin K_r} \quad ; N \quad (2.16)$$

Momen torsi yang diperlukan untuk memutar pahat gurdi adalah (Rochim, 1993):

$$M = F_t \frac{d-d_i}{2} \quad [Nmm] \quad (2.17)$$

Gaya tekan yang diperlukan agar proses pemakanan dapat berlangsung adalah (Rochim, 1993):

$$F_z = 2F_t \sin k_f + 2F_{an} \sin k_r + F_e \quad ; N \quad (2.18)$$

dengan:

F_z = gaya tekan total untuk dua sisi potong (N)

F_t = gaya makan (N)

F_{an} = gaya normal pada bidang utama potong
(k_n ; N/mm)

F_e = gaya ekstrusi yang terjadi di ujung pahat potong
(N)

Besarnya gaya tekan total adalah (Rochim, 1993):

$$F_z = 4 \left\{ F_v \tan(\eta - \gamma_0) \sin K_r + K_n \frac{d-d_i}{2} \right\} ; N \quad (2.19)$$

2.1.3 Keausan Pahat

Keausan pahat akan membesar seiring dengan bertambahnya waktu pemotongan yang digunakan dalam proses gurdi. Besarnya keausan menentukan kritis atau tidaknya kondisi pahat yang digunakan. Jika pahat tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan pada suatu saat ujung pahat sama sekali akan rusak (Rochim, 1993). Keausan pahat potong akan dapat menimbulkan beberapa efek, antara lain:

- Kenaikan gaya potong.
- Getaran atau *chattering*.
- Penurunan kehalusan permukaan hasil pemesinan.
- Perubahan dimensi (geometri) produk.

Dalam prakteknya, umur pahat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berhubungan dengan proses pemesinan,

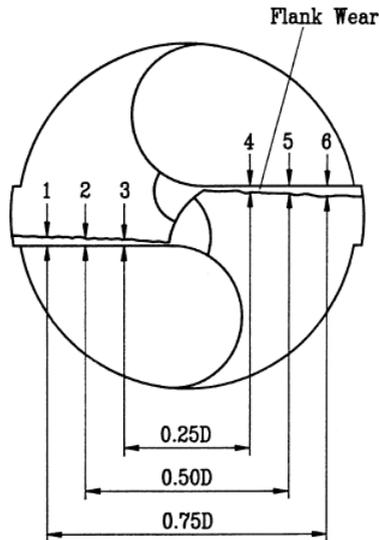
yaitu jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan), cairan pendinginan dan jenis proses pemesinan. Untuk menghindari kerusakan atau efek yang ditimbulkan karena keausan pahat, ditetapkan suatu harga batas keausan (dimensi dari keausan tepi atau keausan kawah) yang dianggap sebagai batas kritis dimana pahat tidak boleh digunakan. Tabel 2.2 memperlihatkan batas keausan yang diijinkan bagi suatu jenis pahat.

Tabel 2.2. Batas Keausan Kritis (Rochim, 1993)

Pahat	Benda Kerja	VB (mm)	K
HSS	Baja dan Besi Tuang	0,3 s.d. 0,8	.
Karbida	Baja	0,2 s.d. 0,6	0,3
Karbida	Besi Tuang dan Non Ferrous	0,4 s.d. 0,6	0,3
Keramik	Baja dan Besi Tuang	0,3	.

Dengan menggunakan kriteria saat habisnya umur pahat, maka umur pahat ditentukan mulai dengan pahat baru (setelah diasah) sampai pahat dianggap tidak bisa digunakan lagi.

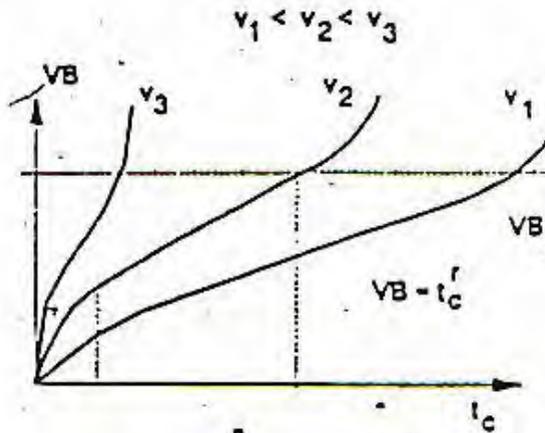
Pengukuran keausan tepi pahat perlu dipertimbangkan sebagai parameter respon dari proses gurdi. Hal itu bertujuan untuk mengetahui performa pahat. Pengukuran keausan tepi pahat diamati pada kedua bidang tepi pahat dengan menggunakan *measurescope*. Hasil pengukuran keausan tepi pahat diperoleh dari nilai rata-rata enam daerah bidang tepi pahat gurdi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Daerah pengukuran keausan tepi pahat
(Lee *et al.*, 1998)

Apabila salah satu bagian mata potong pahat gundi dipotong, maka mata potong pahat gundi akan memiliki kesamaan dengan mata potong pahat bubut. Keausan tepi pahat gundi menyerupai keausan tepi pahat bubut.

Pada dasarnya dimensi keausan menentukan batasan umur pahat sehingga kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat berakhirnya masa guna pahat. Pertumbuhan keausan tepi pahat (*flank wear*) ditunjukkan pada Gambar 2.7. Keausan dimulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan, diikuti pertumbuhan linier setaraf dengan bertambahnya waktu pemotongan. Saat dimana pertumbuhan keausan pahat mulai cepat dan berulang kembali, nilai keausan tepi pahat dianggap relatif sama untuk kecepatan potong yang berbeda-beda.



Gambar 2.7. Kurva keausan pahat potong (Rochim, 1993)

2.2 Cairan Pendingin

Dalam proses pemesinan, terlibat gesekan yang besar pada daerah kontak antara benda kerja dan pahat. Penggunaan cairan pendingin akan mengurangi gesekan yang timbul. Cairan pendingin ini dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti disemprotkan, dikururkan, dikabutkan dan lain-lain. Efektivitas dari cairan pendingin ini hanya dapat diketahui dengan melakukan percobaan pemesinan. Cairan pendingin perlu dipilih dengan seksama sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan dengan mesin perkakas.

Fungsi utama dari cairan pendingin adalah (Sales *et al.*, 2002):

1. Mengurangi gesekan dan keausan.
2. Menurunkan suhu pada daerah pemotongan.
3. Menurunkan gaya potong.
4. Membersihkan geram pada daerah pemotongan.
5. Proteksi korosi pada permukaan benda kerja.

2.2.1 Jenis-Jenis Pendingin

Secara umum, pendingin dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu (Sales *et al.*, 2002):

1. *Air Blow*

Merupakan pendingin berupa tiupan udara yang dialirkan melalui selang khusus. Pendingin ini digunakan untuk material yang cepat menangkap dan melepaskan panas.

2. *Water Blow*

Merupakan pendingin yang berbentuk cair. Digunakan untuk material dengan laju perpindahan panas yang lambat.

Berdasarkan komposisi cairan pendingin yang biasa dipakai, *water blow* dapat dikategorikan menjadi empat jenis utama, yaitu:

a. Cairan sintetik (*synthetic fluid, chemical fluid*)

Secara umum cairan sintetik didefinisikan sebagai cairan pendingin yang tidak mengandung minyak mineral. Cairan ini dibuat dengan melarutkan borat, nitrit, nitrat atau fosfat kedalam air sehingga dapat berwarna ataupun bening. Cairan ini merupakan larutan murni atau larutan permukaan aktif yang tidak bersifat melumasi dan biasanya dipakai sebagai penyerap panas yang tinggi dan pelindung terhadap korosi.

b. Cairan emulsi (*emulsion miscible fluid, water soluble oil*)

Cairan jenis ini merupakan air yang mengandung partikel minyak dengan ukuran 5–20 μm yang tersebar dalam air. Cahaya yang mengenainya akan terpantulkan sehingga menjadikan cairan ini tidak bening, dan memiliki warna putih atau warna lainnya sesuai dengan zat yang ditambahkan. Keuntungan dari penggunaan cairan ini antara lain menurunkan ongkos operasional karena merupakan campuran antara air dan minyak serta sebagai penyerap panas yang baik.

- c. Cairan semi sintetik (*semi synthetic fluid*)
Cairan jenis ini merupakan perpaduan antara cairan sintetik dan cairan emulsi. Cairan ini dibuat dengan menambahkan sedikit minyak (5-30%) pada cairan sintetik. Cairan jenis ini menguntungkan dalam dunia industri karena menggunakan perpaduan kedua jenis cairan yaitu cairan sintetik dan cairan emulsi.
- d. Minyak (*cutting oil*)
Merupakan kombinasi dari minyak bumi, minyak ikan, minyak nabati, maupun minyak binatang. Minyak memiliki viskositas bermacam-macam mulai dari yang encer hingga yang kental. Umumnya digunakan untuk proses pemesinan dengan tingkat parameter kecepatan potong dan *feeding* yang rendah.

Berdasarkan kandungannya, cairan pendingin jenis *water blow* dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. *Water base*, memiliki kandungan air berbanding oli 10:1
2. *Oil base*, memiliki kandungan air berbanding oli 1:10

2.2.2 Penambahan Unsur Extreme Pressure

Penambahan unsur *extreme pressure* merupakan aktifitas menambahkan bahan kimia dengan atau tanpa pelarut minyak yang dimasukkan kedalam cairan pendingin dengan tujuan untuk meningkatkan daya gunanya (*performance*) (Sales *et al.*, 2002). Bahan kimia yang biasanya digunakan adalah sulfur, khlorine, timah dan fosfor.

Beberapa kasus menunjukkan penambahan unsur tertentu dalam cairan pendingin dapat menurunkan gaya potong, sehingga ada spekulasi mengenai terjadinya mekanisme kimiawi yang berpengaruh pada bidang geser sewaktu geram terbentuk. Beberapa ilmuwan menilai bahwa

keberadaan sulfur (S) atau karbon tetraklorida (CCl_4) pada daerah kontak dirongga retak mikro dengan temperatur dan tekanan tinggi akan bereaksi dengan besi pada benda kerja membentuk FeS atau FeCl_3 sehingga mempermudah proses penggeseran metal menjadi geram.

Berikut karakteristik khlorine dan sulfur sebagai unsur *extreme pressure*:

- **Khlorine (Cl).**

Khlorine merupakan bahan oksida kuat dan dapat digunakan untuk berbagai kepentingan. Sebagai contoh, pada industri tekstil khlorine digunakan untuk mereduksi besi dan mangan dan sebagai bahan pemutih. Cairan khlorine berwarna kuning sawo dan memiliki berat 1,44 kali lebih berat dibanding air. Variasi atribut dari khlorine dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Atribut Khlorine (Sales *et al.*, 2002)

Symbol	Cl
(as gas)	Cl_2
Atomic No	17
Atomic Wt	35.435
Melting Point	-101
Boiling Point	-34.5
Liquid Density (0° and 3.65 atm;g/l)	1.47
Vapor Pressure (mmHg @ 20°C)	4800
Vapor Density (@STP;g/l)	2.49
Viscositas (micropoises) at	
T= 12.7°	129.7
T= 20°	132.7
T= 50°	146.9
T= 100°	167.9
T= 150°	187.5
T= 200°	208.5

Penambahan unsur khlorine kedalam cairan pendingin akan mencegah/mengurangi terjadinya korosi pada benda kerja. Secara umum, khlorine

lebih reaktif terhadap baja sehingga mengefektifkan proses pembentukan geram. Pada proses pemotongan, pemberian cairan pendingin pada daerah kontak pahat dan benda kerja akan menimbulkan reaksi kimia. Reaksi klorida dengan benda kerja atau pahat akan membentuk selaput klorida pada permukaan benda kerja, sehingga tegangan geser akan turun dan mengurangi gesekan.

- **Sulfur (S)**

Sulfur atau belerang biasa digunakan sebagai pembasmi kuman atau untuk bahan pemutih. Kegunaan sulfur dalam dunia industri antara lain adalah memvulkanisasi karet, produksi semen, produk kesehatan, dan bila dicampur dengan bubuk kokas akan membentuk cairan yang dapat mencegah korosi pada pembuatan vessel (Sales *et al.*, 2002).

Unsur sulfur hanya akan efektif sewaktu dipakai pada temperatur tinggi (kontak pahat dengan benda kerja), sementara pada temperatur rendah unsur sulfur tidak mudah bereaksi.

Minyak yang dicampur dengan unsur sulfur akan membentuk *metallic sulfide film* yang berfungsi sebagai pelumas. Hal ini terjadi pada temperatur 700°C keatas. Tabel 2.4 menunjukkan atribut dari unsur sulfur.

Tabel 2.4 Atribut Sulfur (Sales *et al.*, 2002)

Symbol	S
Atomic No	16
Atomic Wt	32.0666
Melting point ($^{\circ}\text{C}$)	112.8
Density (g/cm^3)	2.07

2.2.1 Pemilihan Cairan Pendingin

Pemilihan cairan pendingin yang tepat adalah faktor tidak bisa diabaikan, karena tidak semua cairan pendingin itu

cocok digunakan pada kondisi pemotongan. Beberapa kriteria pemilihan cairan pendingin mencakup beberapa aspek seperti:

1. Umur pahat potong
2. Karakteristik material benda kerja
3. Kondisi pemotongan
4. Karakteristik cairan pendingin
5. Kesehatan dan keselamatan operator dan lingkungan

Tabel 2.5 memperlihatkan cairan pendingin yang dianjurkan untuk berbagai jenis benda kerja atau kombinasi proses pemesinannya.

Tabel 2.5 Jenis cairan pendingin (Drozda, 1983).

Material Group	Turn, Bore, Face, Groove, Form, Cut Off		Drill, Ream, Countersink	
	HSS	Carbide	HSS	Carbide
Free-Machining Steels	GPO-S	GPO-S	GPO-S	GPO-S
	HDS	GPS	GPS	GPS
	HDAC	HDAC	HDAC	HDAC
Low-to-Medium Alloy Steels, Malleable Iron, Carbon Steel	HDO-S	GPO-S	HDO-S	GPO-S
	HDS	GPS	HDS	GPS
	HDAC	HDAC	HDAC	HDAC
High-Alloy Steels, Stainless Steels	HDO-S	GPO-S	HDO-S	GPO-S
	HDS	HDS	HDS	HDS
	HDAC	HDAC	HDAC	HDAC
Cast Iron	GPO-S	GPS	GPO-S	GPS
	GPS	GPAC	GPS	GPAC
	GPAC		HDAC	

(GPO-NS)	General Purpose Mineral Oil—Nonstaining	(GPS)	General Purpose Soluble Oil
(GPO-S)	General Purpose Mineral Oil—Staining	(HDS)	Heavy Duty Soluble Oil
(HDO-NS)	Heavy Duty Mineral Oil—Nonstaining	(GPAC)	General Purpose Aqueous Coolant
(HDO-S)	Heavy Duty Mineral Oil—Staining	(HDAC)	Heavy Duty Aqueous Coolant

2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode Taguchi merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dengan menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Metode Taguchi berusaha agar mencapai sasaran dengan cara menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*) seperti material, tenaga kerja, perlengkapan manufaktur, dan kondisi operasional lainnya (Soejanto, 2009). Metode Taguchi menjadikan produk dan proses memiliki sifat *robust* terhadap faktor-faktor gangguan tersebut. Oleh karena itu metode Taguchi juga disebut *robust design*.

Metode Taguchi memberikan pendekatan desain eksperimen yang dapat merancang suatu proses yang memiliki sifat *robust* terhadap kondisi lingkungan, meminimalkan variasi, serta mengembangkan kualitas produk yang *robust* terhadap variasi komponen. Soejanto (2009) menunjukkan beberapa kelebihan metode Taguchi dibandingkan metode desain eksperimen yang lainnya, antara lain:

1. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan *robust* terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Namun demikian, metode Taguchi memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks, sehingga pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Desain eksperimen adalah proses mengevaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu (Soejanto, 2009). Untuk mencapai hal tersebut secara efektif, faktor dan level faktor dibuat bervariasi dan dikombinasikan. Hasil pengujian setiap kombinasi kemudian diamati sehingga hasil selengkapnya dapat dianalisis. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menentukan faktor mana yang memiliki pengaruh paling besar terhadap proses.

2.3.1 Prosedur Eksperimen

Secara umum, desain eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi dibagi menjadi tiga tahapan utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen. Ketiga tahap tersebut adalah sebagai berikut (Soejanto, 2009):

1. Tahap perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahap terpenting. Pada tahap ini seseorang peneliti dituntut untuk mempelajari

eksperimen-eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya. Kecermatan pada tahap ini akan menghasilkan eksperimen yang memberikan informasi positif atau negatif. Informasi positif terjadi apabila hasil eksperimen memberikan indikasi tentang faktor dan level yang mengarah pada peningkatan performansi produk. Informasi negatif terjadi apabila hasil eksperimen gagal memberikan indikasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi respon. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut (Soejanto, 2009):

- a. Perumusan masalah
Rumusan masalah harus didefinisikan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.
- b. Penentuan tujuan eksperimen
Tujuan eksperimen yang dilakukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan.
- c. Penentuan respon
Respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain. Dalam desain eksperimen Taguchi, respon adalah karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori, yaitu:
 - 1) Karakteristik yang dapat diukur, yaitu semua hasil akhir yang dapat diukur dengan skala kontinu. Contoh dari karakteristik ini adalah temperatur, berat, tekanan, dan lain-lain.
 - 2) Karakteristik atribut, yaitu semua hasil akhir yang tidak dapat diukur dengan skala kontinu, tetapi dapat diklasifikasikan secara berkelompok. Contoh dari karakteristik ini adalah retak, jelek, baik, dan lain-lain.
 - 3) Karakteristik dinamik, yaitu fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai sinyal dan keluaran digambarkan sebagai hasil dari sinyal. Contoh

karakteristik ini adalah sistem transmisi otomatis dengan putaran mesin sebagai masukan dan perubahan getaran sebagai keluaran.

d. Pengidentifikasi faktor

Faktor adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain atau biasa disebut dengan variabel bebas. Pada langkah ini akan ditentukan faktor-faktor yang akan diteliti pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam desain eksperimen Taguchi, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak dapat dikendalikan.

f. Penentuan jumlah dan nilai level faktor

Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi ketelitian hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen yang diperoleh akan semakin akurat, tetapi biaya yang harus dikeluarkan akan semakin banyak.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar eksperimen harus dilakukan dan seberapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh eksperimen tersebut. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal (v_{mo}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_{mo} = \text{jumlah eksperimen} - 1$$

Derajat kebebasan dari faktor dan level (v_{fl}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_{fl} = \text{jumlah level faktor} - 1$$

h. Pemilihan matriks ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah faktor dan jumlah level faktor. Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum. Suatu matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk:

$$L_a (b^c)$$

Dengan:

L = rancangan bujur sangkar latin

a = banyaknya eksperimen

b = banyaknya level faktor

c = banyaknya faktor

Matriks ortogonal $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ adalah salah satu matriks ortogonal standar dengan beberapa level gabungan. Matriks ortogonal $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ ditunjukkan pada Tabel 2.6. Kolom pertama terdiri dari dua level. Kolom kedua sampai keempat terdiri dari tiga level (Soejanto, 2009).

Tabel 2.6 Matriks Ortogonal Standar untuk $L_{18} (2^1 \times 3^3)$

Kombinasi Faktor ke-	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	2
6	1	2	3	3
7	1	3	1	2
8	1	3	2	3
9	1	3	3	1
10	2	1	1	3
11	2	1	2	1
12	2	1	3	2
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

2. Tahap pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri dari penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen (Soejanto, 2009):

a. Jumlah replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi tingkat kesalahan, dan memperoleh harga dari taksiran yang salah.

b. Randomisasi

Secara umum, randomisasi adalah pengacakan urutan percobaan untuk menyebarkan faktor-faktor. Randomisasi dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit

eksperimen. Faktor-faktor tersebut adalah: kelelahan operator, fluktuasi daya mesin, dan lain-lain.

2. Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
3. Mendapatkan hasil eksperimen yang bebas satu sama lain.

Jika replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

3. Tahap analisis

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan dan pengolahan data. Tahap ini meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu tampilan tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih. Selain itu, perhitungan dan pengujian data statistik dilakukan pada data hasil eksperimen.

a. Analisis variansi (ANAVA)

Analisis variansi adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik (Soejanto, 2009). Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variansi atas bagian-bagian yang diteliti. Pada tahap ini, akan dilakukan pengklasifikasian hasil eksperimen secara statistik sesuai dengan sumber variasi sehingga dapat mengidentifikasi kontribusi faktor. Dengan demikian akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Analisis variansi pada matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom. Analisis variansi digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANAVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (df), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS), kuadrat tengah (*mean of*

square, MS) dan F_{hitung} seperti ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Tabel Analisis Variansi

Sumber variasi	Db	SS	MS	F_{hitung}
Faktor A	ν_A	SS_A	MS_A	F_A
Faktor B	ν_B	SS_B	MS_B	F_B
Error	ν_{error}	SS_{error}	MS_{error}	
Total	ν_T	SST		

Dengan:

$$\begin{aligned} \nu_T &= \text{Derajat bebas total.} \\ &= N-1 \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} \nu_A &= \text{Derajat bebas faktor A.} \\ &= k_A - 1 \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} \nu_B &= \text{Derajat bebas faktor B.} \\ &= k_B - 1 \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \nu_{error} &= \text{Derajat bebas error.} \\ &= \nu_T - \nu_A - \nu_B - \nu_{AB} \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{Jumlah keseluruhan.} \\ &= \sum_{i=1}^N y_i \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} CF &= \text{Faktor koreksi.} \\ &= \frac{T^2}{N} \end{aligned} \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} SS_T &= \text{Jumlah kuadrat total.} \\ &= \sum_{i=1}^N Y_i - CF \\ &= \sum_{i=1}^N (Y_i - T)^2 \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \text{Jumlah kuadrat faktor A.} \\
 &= \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - CF \quad (2.30)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_B &= \text{Jumlah kuadrat faktor B.} \\
 &= \left[\sum_{i=1}^{k_B} \left(\frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) \right] - CF \quad (2.31)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_E &= \text{Jumlah kuadrat } error. \\
 &= SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.32)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_A &= \text{Kuadrat tengah faktor A.} \\
 &= \frac{SS_A}{v_A} \quad (2.33)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_B &= \text{Kuadrat tengah faktor B.} \\
 &= \frac{SS_B}{v_B} \quad (2.34)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_E &= \text{Kuadrat tengah error.} \\
 &= \frac{SS_E}{v_E} \quad (2.35)
 \end{aligned}$$

k_A = Jumlah level faktor A

k_B = Jumlah level faktor B

N = Jumlah total percobaan

n_{A_i} = Jumlah total pengamatan faktor A

n_{B_j} = Jumlah total pengamatan faktor B

b. Uji distribusi F

Uji distribusi F digunakan dengan tujuan untuk menunjukkan bukti adanya perbedaan pengaruh masing-masing faktor dalam eksperimen (Soejanto, 2009). Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random (*fixed*) adalah:

- H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$
 H_1 : sedikitnya ada satu pasangan μ yang tidak sama

Kegagalan menolak H_0 mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda, sedangkan penolakan H_0 mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon tersebut. Selain itu respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk (Montgomery, 2009):

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \quad (2.36)$$

Dengan:

- Y_{ijk} = variabel respon
 μ = rata-rata respon keseluruhan
 τ_i = efek utama dari variabel A
 β_j = efek utama dari variabel B
 ε_{ijk} = residual (*error*) dengan asumsi IIDN($0, \sigma^2$)

Oleh karena itu hipotesis yang juga dapat digunakan dalam pengujian adalah

Untuk taraf faktor A \rightarrow

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0$$

H_1 : paling sedikit ada satu τ tidak sama dengan 0

Untuk taraf faktor B \rightarrow

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

H_1 : paling sedikit ada satu β tidak sama dengan 0

Kegagalan menolak H_0 mengindikasikan tidak adanya pengaruh faktor A dan faktor B terhadap respon sedangkan penolakan H_0 mengindikasikan adanya pengaruh faktor A dan faktor B terhadap respon. Kegagalan menolak atau penolakan H_0 didasarkan pada nilai F_{hitung} yang dirumuskan (Soejanto, 2009):

$$\text{Untuk taraf faktor A} \quad \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \quad (2.37)$$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \quad \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E} \quad (2.38)$$

Kegagalan menolak H_0 pada masing-masing kasus dilakukan jika perbandingan antara F_{hitung} dan F_{tabel} adalah sebagai berikut:

$$\text{Untuk taraf faktor A} \quad \rightarrow F_{hitung} < F_{\alpha, \nu_A, \nu_E} \quad (2.39)$$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \quad \rightarrow F_{hitung} < F_{\alpha, \nu_B, \nu_E} \quad (2.40)$$

Bila menggunakan perangkat komputasi statistik, kegagalan menolak H_0 dilakukan jika p -value lebih besar daripada α (taraf signifikansi). Kegagalan menolak H_0 juga dilakukan apabila nilai F_{hitung} lebih kecil dari dua (Park, 1996).

c. Analisis Pemeriksaan Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ (17). Dalam analisis regresi terdapat asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (independen), mempunyai mean nol dan varians yang konstan σ^2 (identik), serta berdistribusi normal atau $\varepsilon_i \sim IIDN(0, \sigma^2)$. Oleh karena itu, dalam setiap pendugaan model harus dilakukan pemeriksaan asumsi tersebut apakah terpenuhi atau tidak.

1. Pengujian Independen

Uji independen digunakan untuk menjamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak, yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (independen). Pemeriksaan asumsi ini dilakukan dengan menggunakan plot ACF (*Auto Correlation Function*). Residual bersifat independen jika nilai korelasi berada dalam interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$.

2. Pengujian Identik

Pengujian varian identik bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Hal ini dilakukan dengan memeriksa plot e_i terhadap \hat{Y}_i (secara visual). Jika penyebaran datanya

acak (menyebar disekitar garis nol) dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi.

3. Pengujian Distribusi Normal

Normal probability plot pada perangkat komputasi statistik dapat digunakan untuk menyatakan residual suatu respon berdistribusi normal atau tidak. *Kolmogorov-Smirnov normality test* digunakan dalam pengujian kenormalan residual. Hipotesa yang digunakan adalah:

H_0 : residual berdistribusi normal.

H_1 : residual tidak berdistribusi normal.

Gagal ditolak H_0 apabila $P_{value} > \alpha$.

d. Rasio S/N

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas (Lin, 2002), yaitu:

1) Semakin kecil semakin baik

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \quad (2.41)$$

2) Tertuju pada nilai tertentu

Adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.42)$$

3) Semakin besar semakin baik

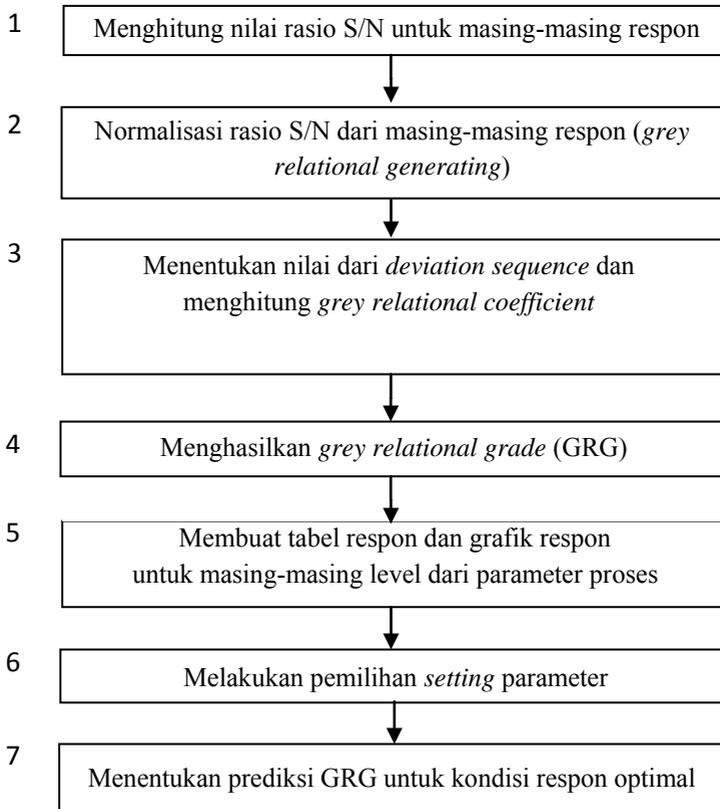
Adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \quad (2.43)$$

2.4 Metode Taguchi – Grey Relational Analysis (GRA)

Dalam metode Taguchi, optimasi hanya dapat dilakukan untuk satu respon saja. Untuk melakukan optimasi beberapa respon secara serentak digunakan gabungan dari metode Taguchi dan *GRA*.

Metode *GRA* diawali dengan teori *Grey System* yang dibuat oleh Dr. Julong Deng pada tahun 1982. Metode *GRA* digunakan untuk menciptakan model hubungan dan melakukan analisis hubungan antar respon dan parameter, serta sebagai dasar dalam melakukan prediksi maupun pengambilan keputusan (Deng, 1989). Pada dasarnya *GRA* digunakan dalam optimasi untuk mengubah beberapa respon menjadi satu respon. Langkah-langkah untuk proses optimasi dengan metode *GRA* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Langkah-langkah proses optimasi
Rincian dari langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menghitung rasio S/N untuk masing-masing respon. Perhitungan rasio S/N dilakukan berdasarkan karakteristik dari masing-masing respon sesuai dengan persamaan 2.41 hingga persamaan 2.43.
2. Normalisasi data untuk masing-masing respon
Tabel 2.8 menunjukkan penempatan nilai respon untuk proses normalisasi.

Tabel 2.8. Penempatan Rasio S/N

	Rasio S/N 1	Rasio S/N 2	...	Rasio S/N k
Kombinasi 1	$X_1(1)$	$X_1(2)$...	$X_1(k)$
Kombinasi 2	$X_2(1)$	$X_2(2)$...	$X_2(k)$
...
Kombinasi i	$X_i(1)$	$X_i(2)$...	$X_i(k)$

Cara yang digunakan untuk proses normalisasi tergantung dari karakteristik respon yang meliputi lebih besar lebih baik (*larger is better*), lebih kecil lebih baik (*smaller is better*) dan tertuju pada nilai tertentu (*nominal is best*). Persamaan yang digunakan dalam proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “lebih besar lebih baik” adalah (Datta dan Mahapatra, 2010):

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.44)$$

Proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “lebih kecil lebih baik” menggunakan persamaan sebagai berikut (Datta dan Mahapatra, 2010):

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{\forall k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.45)$$

Persamaan yang digunakan dalam proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “tertuju pada nilai tertentu” adalah (Huang dan Liao, 2003):

$$X_i^*(k) = \frac{|X_i(k) - X_{ob}(k)|}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.46)$$

Dengan:

$$\max_{\forall k} X_i(k) \quad = \text{nilai terbesar dari } X_i(k)$$

$$\min_{\forall k} X_i(k) \quad = \text{nilai terkecil dari } X_i(k)$$

$$X_{ob}(k) = \text{nilai target dari } X_i(k)$$

Pada penelitian ini, normalisasi dilakukan pada rasio S/N dimana rasio S/N memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik.

3. Menentukan *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$

Deviation sequence $\Delta_{0,i}(k)$ adalah selisih secara absolut dari nilai terbesar hasil normalisasi, yaitu selisih antara 1 dengan data yang telah dinormalisasi. Penentuan *deviation sequence* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Datta dan Mahapatra, 2010):

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_i(k) - X_i^*(k)|$$

4. Menentukan *grey relational coefficient* $\xi_i(k)$

Grey relational coefficient (GRC) menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. GRC akan bernilai satu apabila respon yang dinormalisasikan tersebut cocok dengan kondisi yang ideal. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut adalah (Datta dan Mahapatra, 2010):

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (2)$$

Dengan:

$$\Delta_{min} = \min_i \min_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\Delta_{max} = \max_i \max_k \Delta_{0,i}(k)$$

$\zeta = \text{distinguishing coefficient}$.

Pada umumnya nilai *distinguishing coefficient* diatur berdasarkan kebutuhan dan besarnya antara 0 dan 1. Nilai *distinguishing coefficient* yang digunakan pada umumnya adalah 0,5 (Tosun *et al.*, 2004). Nilai GRC yang tinggi menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki hubungan yang dekat dengan nilai normalisasi yang terbaik pada respon tersebut.

5. Menentukan Kombinasi Faktor untuk Respon Optimal
Semakin besar nilai GRG, semakin baik pula respon dari proses pada kombinasi parameter tersebut. Penentuan kombinasi parameter terbaik diawali dengan membuat tabel respon dari GRG seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Tabel Respon *Grey Relational Grade*

	Level 1	Level 2	Level j
Parameter 1	Y_{11}	-	Y_{1j}
Parameter 2	Y_{21}	-	Y_{2j}
-			
Parameter i	Y_{i1}	-	Y_{ij}
Max-Min	Q_1		Q_j

Y_{ij} adalah rata-rata nilai GRG yang dikelompokkan berdasarkan parameter i dan level j.

Grafik respon dibuat berdasarkan tabel respon untuk memudahkan pemilihan level dari parameter yang menghasilkan respon yang optimal.

6. Memprediksi nilai GRG hasil optimalisasi
Nilai prediksi GRG berdasarkan kombinasi level parameter untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dirumuskan sebagai berikut (Lin dan Lin, 2002):

$$\hat{Y} = \gamma_m + \sum_{i=1}^o (\bar{Y}_i - \gamma_m) \quad (2.49)$$

Dengan:

γ_m = nilai rata-rata dari keseluruhan GRG

\bar{Y}_i = rata-rata GRG pada level optimal

- = jumlah parameter yang mempengaruhi respon secara signifikan

2.5 Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi yang dilakukan pada hasil eksperimen dengan menggunakan desain metode Taguchi, adalah :

1. Persen kontribusi

Persen kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan/atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Perhitungan persen kontribusi pada dasarnya adalah fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan.

Komponen-komponen yang dihitung dalam persen kontribusi adalah faktor, interaksi faktor, dan *error*. Jika persen kontribusi *error* kurang dari lima belas persen, maka berarti tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari lima belas persen, maka ada faktor yang berpengaruh terabaikan, sehingga *error* yang terjadi terlalu besar. Persen kontribusi suatu faktor dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Ross, 2008):

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \% \quad (2.50)$$

Dengan:

$$SS'_A = SS_A - \nu_A \cdot MS_E \quad (2.51)$$

Dengan:

SS_A = jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

SS_T = jumlah kuadrat total

ν_A = derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

MS_E = rata-rata kuadrat dari faktor *error*

2. Interval keyakinan $(1-\alpha)$ 100% untuk kondisi optimum (Ross, 2008):

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_E} . MS_E}{n_{eff}}} \quad (2.52)$$

$$\hat{\mu}_{prediksi} - CI_1 \leq \hat{\mu}_{prediksi} \leq \hat{\mu}_{prediksi} + CI_1 \quad (2.53)$$

Dengan:

$\hat{\mu}_{prediksi}$ = dugaan rata-rata GRG pada kombinasi optimal

n_{eff} = banyaknya pengamatan efektif (2.54)

$$= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor-faktor untuk menduga rata-rata}}$$

2.6 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan sebuah langkah terakhir yang harus dilakukan oleh peneliti. Eksperimen ini dilaksanakan dengan melakukan percobaan yang menggunakan kombinasi level faktor-faktor hasil optimasi. Jumlah sampel pada saat eksperimen konfirmasi harus lebih besar dari jumlah sampel pada saat eksperimen. Tujuan dari eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diambil pada tahap analisis serta mencocokkan hasil prediksi dengan hasil secara aktual (Ross, 2008). Berikut ini adalah langkah-langkah dalam melakukan eksperimen konfirmasi:

1. Menentukan kombinasi faktor dan level untuk menghasilkan respon optimum.
2. Melakukan pengujian berdasarkan kombinasi untuk respon optimum.
3. Membandingkan rata-rata hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata hasil prediksi.
4. Membandingkan respon pada kondisi awal dan kondisi optimum yang telah dilakukan eksperimen konfirmasinya.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila:

- a. Rata-rata hasil eksperimen konfirmasi mendekati rata-rata hasil prediksi.
- b. Interval keyakinan dari rata-rata respon eksperimen konfirmasi berhimpit atau beririsan dengan interval keyakinan $(1-\alpha)$ 100% dari rata-rata respon hasil optimum. Interval keyakinan eksperimen konfirmasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Ross, 2008):

$$CI_2 = \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (2.55)$$

$$\hat{\mu}_{konfirmasi} - CI_2 \leq \hat{\mu}_{konfirmasi} \leq \hat{\mu}_{konfirmasi} + CI_2 \quad (2.56)$$

Dengan:

r = jumlah pengulangan dalam eksperimen konfirmasi

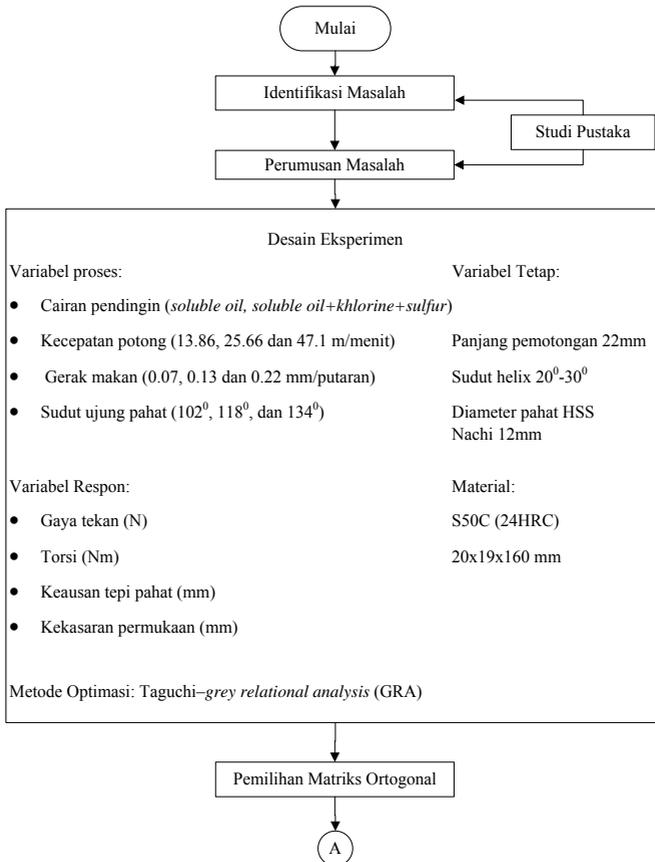
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

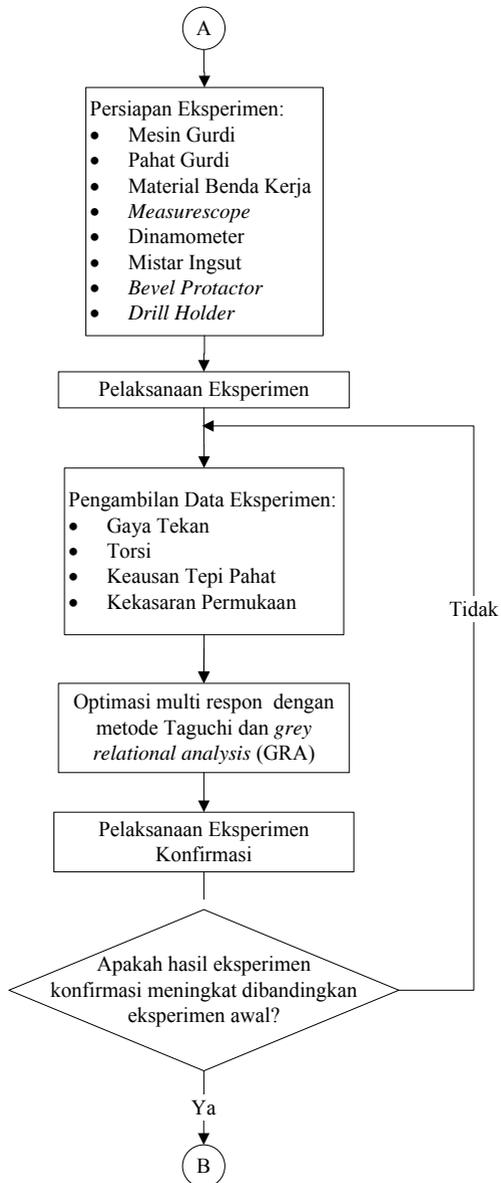
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

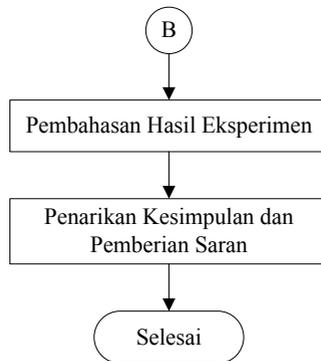
Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini mengikuti diagram alir yang disajikan pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

Berikut adalah penjelasan dari langkah-langkah yang tertulis dalam diagram alir penelitian pada Gambar 3.1:

1. Studi Literatur

Langkah awal untuk penelitian ini adalah mencari dan melakukan kajian dari berbagai hal yang berkaitan dengan penelitian. Hal-hal yang dikaji yaitu proses pemesinan gurdi, instalasi, kalibrasi, penggunaan dinamometer dan metode Taguchi-GRA. Selain itu, dilakukan juga studi mengenai penelitian yang sebelumnya telah dilakukan mengenai analisa multi respon gaya tekan, torsi dan keausan tepi pahat dengan menggunakan metode Taguchi-GRA. Bahan studi ini dapat berupa buku referensi, buku manual, artikel dari jurnal ilmiah, maupun media lain yang dapat diperoleh.

2. Perumusan Masalah

Merumuskan masalah yang diambil untuk penelitian ini.

3. Perencanaan eksperimen

Merencanakan parameter-parameter apa saja yang akan digunakan untuk penelitian. Parameter yang digunakan meliputi parameter proses gurdi dan respon yang diteliti.

4. Pemilihan matriks ortogonal

Melakukan perhitungan derajat kebebasan untuk menentukan matriks ortogonal berdasarkan banyaknya parameter proses dan jumlah level.

5. Persiapan eksperimen

Mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan untuk penelitian (mesin gurdi, pahat *twist drill*, benda kerja, alat ukur *measurecope*, dinamometer, *surface roughness test* beserta alat bantu, seperti mistar insut, *bevel protactor* dan *drill holder*).

6. Pelaksanaan eksperimen

Eksperimen proses gurdi dilakukan dengan menggunakan dinamometer tipe 9272 beserta instalasi sistemnya. Pengambilan data pada eksperimen dilakukan sebanyak empat kali. Pengambilan data pada eksperimen ini meliputi gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat.

7. Pengumpulan data

Mengumpulkan data hasil eksperimen dengan tiga faktor dan tiga level. Data hasil eksperimen adalah respon gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan, dan keausan tepi pahat.

8. Pengerjaan optimasi multi respon

Optimasi multi respon proses gurdi menggunakan metode Taguchi–*grey relational analysis* (GRA). Dari pengerjaan optimasi ini akan diketahui kombinasi optimum prediksi untuk digunakan dalam pelaksanaan eksperimen konfirmasi.

9. Pelaksanaan eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk membuktikan kombinasi optimum prediksi sesuai dengan hasil eksperimen.

10. Pengecekan hasil eksperimen konfirmasi

Hasil eksperimen konfirmasi dilakukan pengecekan apakah sudah sesuai dengan kombinasi optimum hasil prediksi. Apabila belum sesuai, metodologi kembali pada pelaksanaan eksperimen dan pengambilan data.

11. Pembahasan hasil

Pembahasan dan analisis gaya tekan, torsi dan keausan tepi pahat dengan metode Taguchi-GRA.

12. Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan dan pemberian saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.2 Faktor-faktor dalam Penelitian

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

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang biasa disebut juga sebagai faktor kontrol merupakan faktor 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. Kecepatan potong (V , m/menit)
- b. Gerak makan (f , mm/put)
- c. Sudut ujung pahat (PA , derajat)
- d. Cairan pendingin

2. Variabel Respon

Variabel respon merupakan respon yang akan diamati dalam penelitian yang dilakukan, yaitu:

- a. Gaya tekan (F , N)
- b. Torsi (T , Nm)
- c. Kekasaran permukaan (Ra , μm)
- d. Keausan tepi pahat (VB , μm)

Selain kedua variabel yang disebutkan, terdapat juga dua faktor lain yang harus diperhatikan dalam suatu penelitian, yaitu:

1. Faktor Konstan

Faktor 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. Faktor konstan pada penelitian ini adalah:

- a. Diameter pahat (D , mm)
- b. Panjang pemotongan benda kerja (L , mm)

Nilai seting faktor konstan untuk pahat dengan diameter 12 mm dan material benda kerja S50C ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Seting Mesin untuk Faktor Konstan

No	Faktor konstan	Nilai
1	Diameter pahat	12 mm
2	Panjang pemotongan benda kerja	22 mm

2. Faktor *Noise*

Faktor *noise* adalah faktor gangguan yang memiliki pengaruh terhadap respon, tetapi sangat sulit untuk dikendalikan. Faktor-faktor yang mungkin menjadi *noise* dalam penelitian ini adalah temperatur pahat dan benda kerja selama proses gurdi. Faktor-faktor ini tidak dimasukkan kedalam rancangan percobaan, sehingga pengambilan data dilakukan dengan replikasi untuk mengatasi pengaruh faktor *noise* pada hasil penelitian.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data respon yang nilainya akan dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Proses Manufaktur Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

3.3.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah:

1. Mesin gurdi

Mesin gurdi yang digunakan adalah jenis mesin gurdi radial konvensional dengan merek KMR-700 DS. Mesin gurdi memiliki putaran mesin 75–1250 rpm dan gerak makan 0,07, 0,13 dan 0,22 mm/rev. Mesin ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Mesin gurdi radial KMR-700 DS

2. Dinamometer

Dinamometer yang digunakan adalah dinamometer merek KISTLER tipe 9272. Dinamometer ini bertugas untuk pengukuran gaya potong dan torsi (F_z , F_y , F_x dan M_z) pahat saat proses penggurdian yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Dinamometer tipe 9272

3. Akusisi data tipe 5697A

Akusisi data tipe 5697A digunakan sebagai penghubung dari *charge amplifier* dan dinamometer ke *notebook*, sehingga data dapat ditampilkan pada *notebook*. Akusisi data tipe 5697A ditunjukkan pada Gambar 3.4, dan memiliki dimensi 208x70x249 mm serta massa seberat 2,15 kg.



Gambar 3.4. Akusisi data tipe 5697A

4. *Charge amplifier* type 5070A

Charge amplifier yang terhubung dengan dinamometer digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran gaya potong dan torsi. *Charge amplifier* ini ditunjukkan pada Gambar 3.5. Seting dinamometer secara lengkap dapat dilihat pada *lampiran 2*.



Gambar 3.5. *Charge amplifier* type 5070A

5. Compaq Presario CQ35-336TX

Notebook Compaq Presario digunakan untuk menampilkan dan mengolah data hasil percobaan. *Notebook* ini sudah memiliki perangkat lunak DynoWare dari KISTLER dan ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Compaq presario CQ35-336TX

6. *Surface roughness tester*

Pengukuran kekasaran permukaan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Mitutoyo *surfrest* 301 yang memiliki kecermatan sebesar $0,1 \mu\text{m}$. Alat ukur Mitutoyo *surfrest* 301 ditunjukkan pada Gambar 3.7. Setting alat ukur kekasaran permukaan dapat dilihat pada lampiran 4.



Gambar 3.7 Mitutoyo *surfrest* 301

7. *Measureoscope*

Kekasaran tepi pahat (VB) pada penelitian ini diukur dengan menggunakan Nikon *measureoscope* yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Alat ukur ini memiliki kecermatan $1 \mu\text{m}$.



Gambar 3.8. Nikon *measurescope*

8. Mistar insut
Mistar insut digunakan untuk mengukur dimensi spesimen uji yang memiliki kecermatan 0,02 mm. Mistar insut ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Mistar insut

9. *Drill holder*
Pengukuran keausan tepi pahat memerlukan *drill holder* untuk mencekam pahat gurdi dan memposisikan bidang tepi pahat (*flank*) sejajar dengan meja *measurescope*. *Drill holder* ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan terdiri dari dua bagian, yaitu *holder* dan *stand holder*. *Holder* digunakan untuk mencekam pahat gurdi berdiameter maksimum 14 m m dan

memposisikan bidang tepi pahat sejajar dengan meja *measurescope*. *Stand holder* digunakan sebagai pemegang *holder*. Bidang tepi pahat harus tegak lurus terhadap *stand holder* supaya bidang tepi pahat sejajar dengan meja *measurescope*, dan keausan tepi pahat pada sepanjang bidang tepi pahat dapat terlihat secara jelas pada *measurescope*. *Bevel protactor* digunakan untuk mengukur sudut antara bidang tepi pahat dengan *stand holder*. Pengaturan *drill holder* agar bidang tepi pahat tegak lurus terhadap *stand holder* dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Bidang tepi pahat pada *holder* diposisikan tegak lurus terhadap *stand holder*.
- b. Bidang tepi pahat diukur sudut antara bidang tepi pahat dengan *stand holder* dengan menggunakan *bevel protactor*.
- c. Apabila bidang tepi pahat tidak tegak lurus terhadap *measurescope* atau tidak memiliki sudut 90^0 maka *holder* dapat diatur sedemikian rupa sehingga tepi pahat dapat tegak lurus terhadap *stand holder* yang sesuai dengan sudut 90^0 pada *bevel protactor*.



Gambar 3.10. *Drill holder*

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah:

1. Pahat gundi

Pahat gundi yang digunakan adalah jenis *twist drill* yang terbuat dari material HSS (*High Speed Steel*).

Geometri pahat ini adalah:

- | | |
|------------------------|--|
| a. Sudut ujung pahat | = 102 ⁰ , 118 ⁰ dan 134 ⁰ |
| b. Sudut puntir | = 30 ⁰ |
| c. Sudut bebas samping | = 19 ⁰ |
| d. Diameter | = 12 mm |

2. Benda Kerja

Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja S50C dengan dimensi P x L x T yaitu 160 x 19 x 20 mm. Benda kerja S50C ditunjukkan pada Gambar 3.11. Spesifikasi material S50C dapat dilihat pada *lampiran 9*.



Gambar 3.11. Benda kerja S50C

3. Cairan Pendingin

Pada rancangan penelitian ini digunakan cairan pendingin jenis *soluble cutting oil*. Karakteristik *soluble cutting oil* ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Karakteristik Soluble Cutting Oil

Grade	BP DIATSOL S		
	Test Method	Unit	
Density 15 ⁰ C	ASTM D1298	Kg/l	0.9
Flash Point	ASTM D93	⁰ C	>100
Thermalstability	IP 311		stable
Alkalinity of 20:1 dilution		pH	8.7

Pada proses *drilling* direkomendasikan pengencerannya adalah 20:1 (air:*soluble cutting oil*) dan debitnya (*drilling* 0,3-0,43 L/min x d, mm) (Drozda, 1983). Spesifikasi cairan pendingin dapat dilihat pada lampiran 8.

4. Unsur *Extreme Pressure* (EP)

Unsur EP yang ditambahkan pada cairan pendingin adalah klorin dan sulfur. Komposisi penambahan unsur EP adalah 10% dari konsentrasi (Drozda, 1983).

3.4 Rancangan Percobaan

3.4.1 Seting Faktor pada Mesin Gurdil

Berdasarkan pengalaman operator dan penelitian sebelumnya maka nilai seting faktor kontrol yang digunakan pada eksperimen ini ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Seting Faktor dan Pengaturan Level

Faktor/variabel proses			level 1	level 2	level 3
A	Cairan pendingin		Soluble oil	Soluble oil + klorin + sulfur	-
B	Kecepatan potong	mm/menit	13,86	25,66	41,7
C	Gerak makan	mm/put	0,07	0,13	0,22
D	Sudut ujung pahat	derajat	102°	118°	134°

3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal

Matriks ortogonal yang akan digunakan harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan faktor dan level yang telah ditetapkan. Derajat kebebasan faktor dan level tersebut dihitung dengan

menggunakan persamaan 2.23 dan ditunjukkan pada Tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level

No	Faktor	Jumlah level (k)	$v_{ff} = (k-1)$
1	Cairan pendingin (A)	2	1
2	Kecepatan potong(B)	3	2
3	Gerak makan(C)	3	2
4	Sudut pahat (D)	3	2
Total derajat kebebasan			7

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3.4 didapatkan tujuh derajat kebebasan untuk rancangan eksperimen ini sehingga matriks ortogonal yang digunakan adalah $L_{18} (2^1 \times 3^3)$. Rancangan percobaan matriks ortogonal $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ ditunjukkan oleh Tabel 3.5 Eksperimen ini tidak mengkomodasi adanya interaksi antar faktor.

Tabel 3.5 Rancangan Matriks Ortogonal $L_{18} (2^1 \times 3^3)$.

Kombinasi Faktor ke-	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	2
6	1	2	3	3
7	1	3	1	2
8	1	3	2	3
9	1	3	3	1
10	2	1	1	3
11	2	1	2	1
12	2	1	3	2
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

Eksperimen dilakukan secara acak dengan mengacu pada rancangan percobaan pada Tabel 3.6. Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat komputasi statistik. Masing-masing eksperimen akan dilakukan dengan replikasi sebanyak dua kali untuk mengatasi faktor gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses pemotongan berlangsung. Bila data hasil eksperimen dikumpulkan sesuai dengan kombinasi seting faktor yang sejenis, maka tampilan data yang akan diperoleh ditunjukkan oleh Tabel 3.6 sebagai berikut:

Tabel 3.6 Tampilan Data Hasil Eksperimen

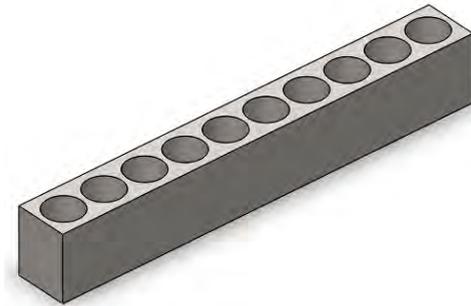
Seting Faktor Kombinasi Ke-	Momen Torsi (Nm)			Gaya Tekan (N)			Kekasaran Permukaan (μm)		
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	Y_{11}	Y_{11}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{12}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{13}	Y_{13}
2	Y_{21}	Y_{21}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{22}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{23}	Y_{23}
3	Y_{31}	Y_{31}	Y_{31}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{33}	Y_{33}
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{182}	Y_{182}	Y_{182}	Y_{183}	Y_{183}	Y_{183}

Keterangan:

Y_{ij} adalah data untuk kombinasi seting faktor ke- i dan respon ke- j .

Dengan: $i = 1, \dots, 18$; $j = 1, \dots, 3$

Gambar 3.12 menunjukkan skema proses pemotongan yang pertama hingga pemotongan yang terakhir. Pemotongan material dilakukan sepanjang 20 mm dengan jarak antar pemotongan sebesar 15 mm.



Gambar 3.12 Skema proses pemotongan benda kerja

3.5 Prosedur Percobaan

Langkah-langkah percobaan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen yang meliputi: penyesuaian ukuran, perataan dan penghalusan permukaan, serta pembersihan spesimen dari kotoran-kotoran yang dapat mengganggu proses pemotongan.
2. Memasang spesimen pada dinamometer dengan *jig* yang tersedia pada mesin dan menjepit bagian spesimen yang tidak mengalami proses pemotongan.
3. Mengatur pahat *twist drill* berdiameter 12 mm agar sesuai pada titik yang sudah disiapkan pada benda kerja.
4. Menghubungkan dinamometer dan *charge amplifier* KISTLER *type* 5070A dengan kabel koneksi *type* KISTLER 16775A.
5. Menghubungkan *charge amplifier type* 5070A dan sistem DAQ KISTLER *type* 5697A dengan kabel koneksi 1700A111A2 dan 1200A27.
6. Menghubungkan sistem DAQ KISTLER *type* 5697A dan *notebook* dengan kabel USB.
7. Menghubungkan *charge amplifier* KISTLER *type* 5070A dan sistem DAQ KISTLER *type* 5697A ke sumber listrik dengan kabel *power* listrik.

8. Menyalakan mesin gundi dan menyeting faktor-faktor yang telah ditetapkan sesuai dengan rancangan eksperimen.
9. Melaksanakan proses pemotongan berdasarkan seting faktor yang telah ditentukan.
10. Menyimpan data grafik yang didapat dari dinamometer untuk selanjutnya diolah.
11. Melakukan prosedur percobaan untuk 18 kombinasi variabel proses secara acak beserta replikasinya (2 kali). Khusus untuk keausan pahat, percobaan pada masing-masing kombinasi dilakukan sebanyak 20 kali dan tanpa replikasi.
12. Mengeluarkan benda kerja setelah proses pemotongan selesai.
13. Mengukur keausan pahat dengan menggunakan *measurescope*.
14. Mengukur kekasaran permukaan dengan menggunakan *surface roughness tester*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan menggabungkan atau mengkombinasikan parameter proses gurdi yang terdiri dari kecepatan potong dan gerak makan dengan sudut ujung pahat serta cairan pendingin. Respon yang diteliti adalah momen torsi, gaya tekan, kekasaran permukaan dan keausan tepi pahat. Momen torsi dan gaya tekan diukur langsung pada saat proses penggurdian dengan menggunakan *dynamometer Kistler type 9070* yang dihubungkan dengan komputer. Selanjutnya, kekasaran permukaan lubang diukur dengan menggunakan *surface roughness tester*, sedangkan keausan tepi pahat diukur dengan menggunakan *measurescope*. Eksperimen dilakukan dengan tiga kali replikasi dan untuk setiap replikasi diambil data momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan. Rincian data momen torsi dan gaya tekan dapat dilihat pada *lampiran 1*. Rincian data kekasaran permukaan dapat dilihat pada *lampiran 3*. Pengambilan data keausan tepi pahat telah dilakukan sampai seratus lubang, namun belum menunjukkan tanda-tanda adanya keausan tepi pahat. Oleh karena itu, keausan tepi pahat tidak dimasukkan dalam perhitungan optimasi multirespon. Hasil eksperimen berupa momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan tersaji dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen

Kombinasi Ke-	Momen Torsi (Nm)			Gaya Tekan (N)			Kekasaran (μm)		
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	251	255	257	1444	1490	1481	3.56	3.47	4.7
2	380	384	385	1797	1783	1782	4.48	4.6	3.35
3	560	571	557	2879	2881	2871	6.64	7.97	6.8
4	217	214	216	1126	1101	1117	5.77	6.59	6.35
5	358	362	374	1703	1694	1702	7.6	8.9	9.52
6	537	536	536	2825	2820	3118	6.6	5.53	6.02
7	211	215	214	1109	1098	1093	8.71	8.02	8.13
8	338	344	346	2038	2061	2085	6.28	9.9	9.12
9	529	527	533	2427	2416	2435	6.26	9.91	9.9
10	228	230	229	1577	1580	1590	6.04	5.16	6.67
11	403	403	409	2092	2101	2147	4.19	4.39	4.3
12	588	593	598	2647	2654	2654	7.8	7.12	5.81
13	226	231	232	1215	1204	1202	6.72	7	7.7
14	355	360	363	2134	2124	2068	5	6.61	7.06
15	607	619	623	2699	2681	2694	7.79	7.99	7.61
16	229	232	235	1358	1387	1376	6.45	8.39	6.71
17	402	393	391	1824	1823	1813	7.33	9.08	8.91
18	577	574	574	2683	2645	2644	8.19	7.34	8.16

Sumber: Hasil Pengukuran

Nilai rata-rata dari tiga replikasi untuk masing-masing respon yang diamati dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Rata-Rata Hasil Pengukuran

Kombinasi Ke-	Faktor				Momen Torsi (Nm)	Gaya Tekan (N)	Kekasaran (μm)
	Coolant	V	F	PA			
1	SCO	13,86	0,07	102	254,3	1472	3,91
2	SCO	13,86	0,13	118	383,0	1787	4,14
3	SCO	13,86	0,22	134	562,7	2877	7,14
4	SCO	25,66	0,07	102	215,7	1115	6,24
5	SCO	25,66	0,13	118	364,7	1700	8,67
6	SCO	25,66	0,22	134	536,3	2921	6,05
7	SCO	41,7	0,07	118	213,3	1100	8,29
8	SCO	41,7	0,13	134	342,7	2061	8,43
9	SCO	41,7	0,22	102	529,7	2426	8,69
10	SCO+EP	13,86	0,07	134	229,0	1582	5,96
11	SCO+EP	13,86	0,13	102	405,0	2113	4,29
12	SCO+EP	13,86	0,22	118	593,0	2652	6,91
13	SCO+EP	25,66	0,07	118	229,7	1207	7,14
14	SCO+EP	25,66	0,13	134	359,3	2109	6,22
15	SCO+EP	25,66	0,22	102	616,3	2691	7,80
16	SCO+EP	41,7	0,07	134	232,0	1374	7,18
17	SCO+EP	41,7	0,13	102	395,3	1820	8,44
18	SCO+EP	41,7	0,22	118	575,0	2657	7,90

Keterangan : SCO = Soluble cutting oil

SCO + EP : Soluble Cutting Oil + Extreme Pressure

Sumber: Hasil Pengukuran

4.2 Perhitungan Rasio S/N

Perhitungan rasio S/N dilakukan untuk ketiga respon yaitu momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan. Karakteristik kualitas pada ketiga respon tersebut adalah sama yaitu *smaller is better*. Perhitungan rasio S/N dilakukan dengan menggunakan rumus 2.41. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan rasio S/N untuk momen torsi pada kombinasi pertama, yaitu:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right]$$

$$S/N = -10 \log \frac{254^2}{1}$$

$$S/N = -10 \log 64516$$

$$S/N = -48,1081$$

Perhitungan nilai dari rasio S/N untuk semua kombinasi ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai Rasio S/N

Kombinasi Ke-	Momen Torsi (Nm)	Gaya Tekan (N)	Kekasaran (μm)	SN Mz	SN Fz	SN Ra
1	254.3	1472	3.91	-48.1081	-63.3562	-10.7396
2	383.0	1787	4.14	-51.664	-65.0441	-12.347
3	562.7	2877	7.14	-55.005	-69.1788	-17.0699
4	215.7	1115	6.24	-46.6757	-60.9429	-15.4219
5	364.7	1700	8.67	-51.2379	-64.6073	-18.7637
6	536.3	2921	6.05	-54.5887	-69.3106	-14.4746
7	213.3	1100	8.29	-46.5812	-60.8279	-18.1195
8	342.7	2061	8.43	-50.6974	-66.283	-15.4709
9	529.7	2426	8.69	-54.4801	-67.6978	-15.1479
10	229.0	1582	5.96	-47.1967	-63.986	-15.5001
11	405.0	2113	4.29	-52.1491	-66.4994	-12.6559
12	593.0	2652	6.91	-55.4611	-68.4704	-16.7896
13	229.7	1207	7.14	-47.222	-61.6341	-17.074
14	359.3	2109	6.22	-51.11	-66.4802	-13.485
15	616.3	2691	7.80	-55.7963	-68.5993	-17.8382
16	232.0	1374	7.18	-47.3098	-62.7576	-14.9793
17	395.3	1820	8.44	-51.9393	-65.2014	-18.5268
18	575.0	2657	7.90	-55.1934	-68.4889	-17.9489

Sumber: Hasil Perhitungan

4.3 Normalisasi Nilai Rasio S/N

Normalisasi nilai rasio S/N adalah proses untuk mengubah data menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1, dan digunakan untuk menyamakan satuan pada respon. Proses normalisasi dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas. Karakteristik kualitas dari semua respon adalah semakin kecil semakin baik. Perhitungan normalisasi dilakukan dengan menggunakan rumus 2.45. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan normalisasi rasio S/N untuk momen torsi pada kombinasi pertama, yaitu:

1. Penentuan nilai maksimum dan minimum dari rasio S/N
 Nilai maksimum rasio S/N momen torsi (M_z) = -46,5812
 Nilai minimum rasio S/N momen torsi (M_z) = -55,7963
2. Perhitungan normalisasi rasio S/N

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{\forall k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}, \quad i = 1, 2, \dots, 18, \quad k = 1, 2,$$

3.

$$X_1^*(1) = \frac{-46,5812 - (-48,108)}{-46,5812 - (-55,7963)}$$

$$X_1^*(1) = 0,1656$$

Perhitungan nilai dari normalisasi rasio S/N untuk semua kombinasi ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai Normalisasi Rasio S/N

Kombinasi Ke-	M_z	F_z	R_a
1	0,165694	0,298055	0
2	0,551571	0,497037	0,200323
3	0,914132	0,984459	0,78891
4	0,010253	0,013562	0,583535
5	0,505337	0,445541	1
6	0,868953	1	0,465471
7	0	0	0,919716
8	0,446685	0,643081	0,58963
9	0,857163	0,809872	0,549385
10	0,066796	0,372296	0,59327
11	0,604215	0,668591	0,238818
12	0,963623	0,900946	0,753972
13	0,069536	0,09505	0,789416
14	0,49145	0,666327	0,342141
15	1	0,91615	0,884655
16	0,079064	0,227493	0,528365
17	0,581445	0,515583	0,97048
18	0,934569	0,903132	0,898451

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4 Grey Relational Coefficient (GRC)

Perhitungan nilai GRC diawali dengan menghitung nilai *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dari masing-masing respon dengan menggunakan persamaan 2.47. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan *deviation sequence* untuk momen torsi pada kombinasi pertama, yaitu:

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_i(k) - X_i^*(k)|$$

$$\Delta_{0,1}(1) = |1 - 0,1656|$$

$$\Delta_{0,1}(1) = 0,8343$$

Tabel 4.5 menunjukkan nilai *deviation sequence* dari masing-masing respon untuk semua kombinasi. Setelah mendapatkan nilai *deviation sequence*, GRC dihitung dengan menggunakan rumus 2.48. Hasil perhitungan GRC ditunjukkan oleh Tabel 4.6. Berikut adalah salah satu contoh

perhitungan GRC untuk momen torsi pada kombinasi pertama, yaitu:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}}$$

$$\xi_1(1) = \frac{0 + (0,5 \times 1)}{0,8343 + (0,5 \times 1)}$$

$$\xi_1(1) = 0,3747$$

Tabel 4.5 Nilai *Deviation Sequence*

Kombinasi Ke-	Momen Torsi (Mz)	Gaya Tekan (Fz)	Kekasaran Permukaan
1	0,165693792	0,298055133	0
2	0,551570762	0,497037371	0,200322559
3	0,914131583	0,98445864	0,788910385
4	0,01025336	0,013562371	0,583534826
5	0,505336609	0,445540564	1
6	0,868952886	1	0,465470917
7	0	0	0,919716344
8	0,446684844	0,643080743	0,58962983
9	0,857163271	0,8098718	0,549384677
10	0,066796093	0,372296204	0,593270427
11	0,604215111	0,66859073	0,238818237
12	0,963622983	0,900946057	0,753972395
13	0,069536116	0,095050437	0,789415858
14	0,491449544	0,666327155	0,342141435
15	1	0,916149948	0,884655368
16	0,079063955	0,227493119	0,528365183
17	0,581444778	0,51558279	0,970480097
18	0,934568947	0,903131912	0,898450838

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.6 Nilai GRC

Kombinasi Ke-	Momen Torsi (Mz)	Gaya Tekan (Fz)	Kekasaran Permukaan
1	0.374726578	0.415992458	0.333333333
2	0.527187459	0.498523061	0.38471084
3	0.853433954	0.96985429	0.703146255
4	0.33562754	0.336374692	0.545574468
5	0.50268262	0.474176609	1
6	0.792333866	1	0.483311691
7	0.333333333	0.333333333	0.861647567
8	0.474691736	0.583485546	0.549227135
9	0.777802476	0.72450307	0.525975111
10	0.348868711	0.443378839	0.551432329
11	0.558169719	0.601388532	0.39645356
12	0.932180134	0.834649376	0.670216486
13	0.349536962	0.355884662	0.703646437
14	0.495761017	0.599755651	0.431831672
15	1	0.856384268	0.812552794
16	0.351880721	0.392925184	0.514596627
17	0.544333087	0.507914728	0.94425157
18	0.884281111	0.837706036	0.831187261

Sumber: Hasil Perhitungan

Grey Relational Grade (GRG) digunakan sebagai variabel yang mewakili respon momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan secara serentak. Nilai GRG didapat dari rata-rata GRC pada setiap kombinasi. Tabel 4.7 menunjukkan hasil perhitungan nilai GRG pada semua kombinasi.

Tabel 4.7 Nilai GRG

Kombinasi Ke-	GRG
1	0,374684123
2	0,470140453
3	0,842144833
4	0,4058589
5	0,658953077
6	0,758548519
7	0,509438078
8	0,535801472
9	0,676093552
10	0,447893293
11	0,518670604
12	0,812348666
13	0,469689354
14	0,509116113
15	0,889645687
16	0,419800844
17	0,665499795
18	0,851058136

Sumber: Hasil Perhitungan

4.5 Hasil Optimasi

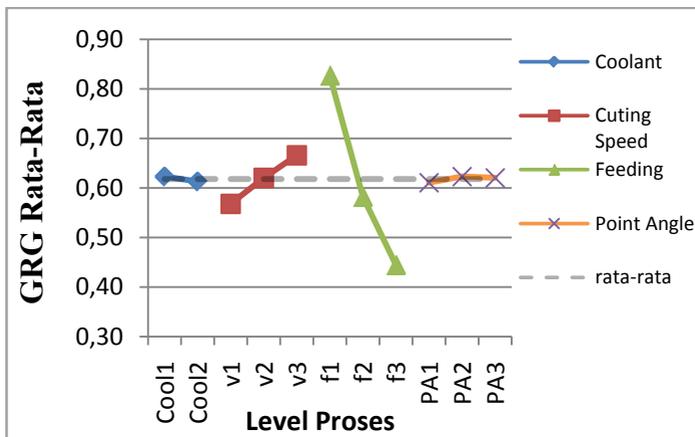
Desain eksperimen Taguchi yang memanfaatkan matriks ortogonal memungkinkan adanya pemisahan pengaruh setiap faktor pada level yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Nilai Rata-Rata GRG

Parameter Proses	Level 1	Level 2	Level 3	Selisih
Coolant	0.6231	0.6130		0.0101
Kecepatan Potong	0.5679	0.6203	0.6659	0.098
Gerak Makan	0.8270	0.5823	0.4448	0.3822
Point Angle	0.6107	0.6230	0.6204	0.0123
Rata-Rata	0.6180			

Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 4.1 menunjukkan grafik nilai rata-rata dari GRG pada masing-masing level dari faktor, yaitu cairan pendingin, kecepatan potong, gerak makan dan sudut ujung pahat. Grafik tersebut diperoleh dengan menggunakan karakteristik semakin besar semakin baik untuk GRG, semakin besar nilai GRG (mendekati nilai 1), maka nilai GRG tersebut semakin mendekati kondisi ideal dari respon. Nilai satu adalah kondisi ideal dari masing-masing respon.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Rata-Rata GRG

Berdasarkan nilai rata-rata GRG pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.1 maka nilai level kombinasi faktor untuk menghasilkan respon yang optimum dapat ditentukan. Kombinasi faktor dipilih dari nilai GRG terbesar pada masing-

masing level faktor. Tabel 4.9 menunjukkan kombinasi faktor yang menghasilkan respon yang optimum.

Tabel 4.9 Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Parameter Proses	Tingkat Level	Nilai Level
<i>Coolant</i>	1	<i>Soluble Cutting Oil</i>
Kecepatan Potong	3	41,7 mm/min
Gerak Makan	1	0,07 mm/put
<i>Point Angle</i>	2	118 °

Sumber: Hasil Perhitungan

4.6 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi faktor terhadap total variasi dari respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan pada GRG yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan respon.

Perhitungan jumlah kuadrat total (SS_T) pada analisis variansi GRG dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.29. Perhitungan jumlah kuadrat total (SS_A) untuk masing-masing faktor dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.30. Perhitungan rata-rata kuadrat (MS_A) untuk masing-masing faktor dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.33. Tabel analisis variansi untuk GRG yang disusun berdasarkan perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak *Minitab16* dan ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Analisis Variansi GRG

Parameter Proses	DF	SS	MF	F	P-value
Coolant	1	0,000455	0,000455	0,15	0,709
V	2	0,02883	0,014415	4,66	0,037
f	2	0,449661	0,224831	72,72	0,000
PA	2	0,000506	0,000253	0,08	0,922
Error	10	0,030918	0,003092		
Total	17	0,51037			

Sumber: Hasil Pengolahan Data

P-value digunakan untuk menunjukkan apakah masing-masing faktor memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon. P-value yang pada masing-masing parameter proses atau faktor lebih kecil dari α (0,05) mengindikasikan penolakan terhadap H_0 , yang artinya ada pengaruh faktor secara signifikan terhadap respon. Apabila menggunakan perangkat komputasi statistik, penolakan H_0 juga dilakukan apabila F_{hitung} lebih besar daripada dua (Park, 1996). Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada pengujian ada tidaknya pengaruh dari faktor, adalah:

1. Untuk faktor *coolant* (cairan pendingin)

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$$

H_1 : paling sedikit ada satu α tidak sama dengan 0

Kesimpulan: P-value > 0,05 = 0,709, maka H_0 gagal ditolak, artinya tidak ada pengaruh faktor penggunaan cairan pendingin terhadap GRG.

2. Untuk faktor V (kecepatan potong)

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

H_1 : sedikitnya ada satu pasangan β yang tidak sama

Kesimpulan: P-value < 0,05 = 0,037, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh kecepatan potong terhadap GRG.

3. Untuk faktor f (gerak makan).

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$$

H_1 : sedikitnya ada satu pasangan γ yang tidak sama

Kesimpulan: P-value < 0,05 = 0,000, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh faktor gerak makan terhadap GRG.

4. Untuk faktor PA (*point angle*).

$$H_0: \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$$

H_1 : sedikitnya ada satu pasangan δ yang tidak sama

Kesimpulan: $P\text{-value} > 0,05 = 9,22$, maka H_0 gagal ditolak, artinya tidak ada pengaruh faktor *point angle* terhadap GRG.

Dari hasil analisis variansi untuk respon secara serentak (multirespon) atau yang diwakilki oleh nilai GRG, maka dapat disimpulkan bahwa faktor kecepatan potong dan gerak makan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap GRG. Faktor cairan pendingin dan sudut ujung pahat tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap GRG.

Persen kontribusi mengindikasikan kekuatan relatif/porsi dari masing-masing faktor dalam mengurangi variasi dari respon secara serentak. Jika besar kontribusi *error* kurang dari lima belas persen, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Jika *error* besar kontribusinya lebih dari lima belas persen, maka mengindikasikan bahwa ada faktor yang berpengaruh terabaikan.

Persen kontribusi dihitung dari analisis variansi dengan menggunakan persamaan 2.50. Hasil perhitungan persen kontribusi ditunjukkan pada Tabel 4.11. Contoh perhitungan persen kontribusi pada faktor kecepatan potong (v) adalah:

$$SS'_v = SS_v - db_v \cdot MS_E$$

$$SS'_v = 0,02883 - (2 \times 0,003092)$$

$$SS'_v = 0,0226$$

sehingga

$$\rho_v = \frac{SS'_v}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_v = \frac{0,0226}{0,51037} \times 100\%$$

$$\rho_v = 4,43\%$$

Tabel 4.11. ANAVA dan Persen Kontribusi untuk GRG

Parameter Proses	DF	SS	MF	F	p value	Persen Kontribusi (%)
Coolant	1	0,000455	0,000455	0,15	0,709	-0,516683974
V	2	0,02883	0,014415	4,66	0,037	4,437173031
f	2	0,449661	0,224831	72,72	0,000	86,89323432
PA	2	0,000506	0,000253	0,08	0,922	-1,112526206
Error	10	0,030918	0,003092			
Total	17	0,51037				

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan: hasil minus pada persen kontribusi dimutlakan atau menjadi 0% yang artinya tidak menunjukkan adanya kontribusi.

Dari hasil perhitungan persen kontribusi diatas dapat dilihat bahwa persen kontribusi terbesar diberikan oleh faktor gerak makan (f) yaitu sebesar 86,89%. Persen kontribusi dari faktor kecepatan potong (v) adalah sebesar 4,43%, sedangkan persen kontribusi faktor sudut ujung pahat (PA) dan faktor cairan pendingin adalah sebesar 0%.

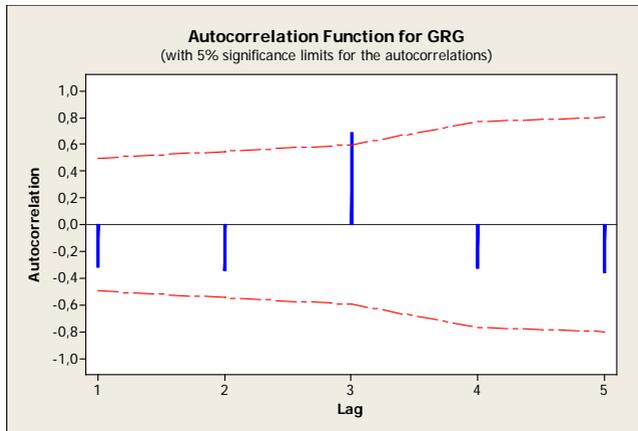
4.7 Pengujian Residual

Pengujian residual dilakukan untuk membuktikan asumsi residual bersifat bebas satu sama lain (independen), mempunyai *mean* nol dan varians yang konstan σ^2 (identik), serta berdistribusi normal. Pengujian residual dilakukan sebagai berikut:

4.7.1 Uji independen

Residual dianalisa untuk menjamin bahwa pengamatan dilakukan secara acak dan tidak ada korelasi antar pengamatan. Uji independen dilakukan dengan menggunakan plot ACF (*Auto Correlation Function*). Gambar 4.2 menunjukkan bahwa ada residual yang tidak independen pada lag 3, sedangkan nilai korelasi yang lain masih berada dalam interval \pm

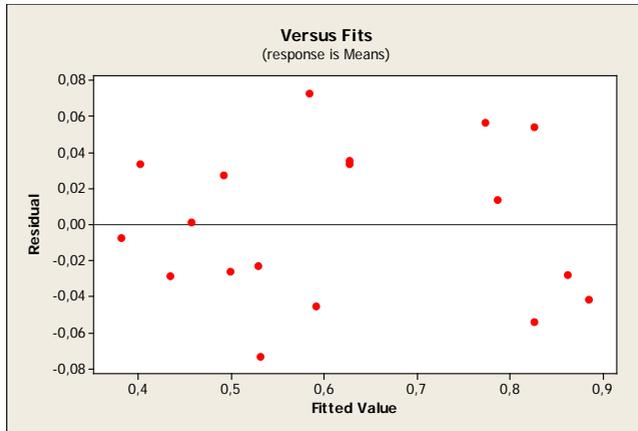
$$\frac{2}{\sqrt{n}}$$



Gambar 4.2 Plot ACF

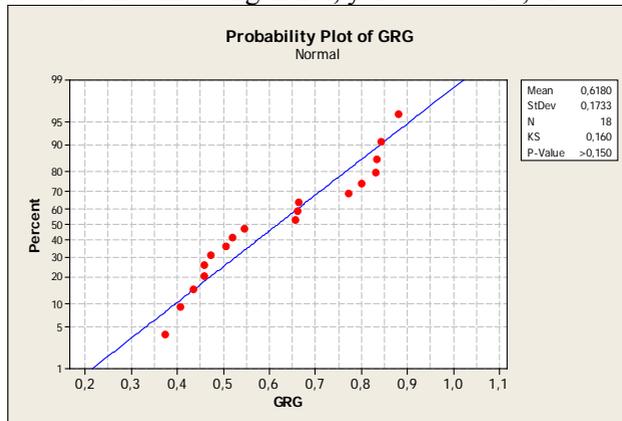
4.7.2 Uji Identik

Uji identik dilakukan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Gambar 4.3 merupakan plot *residual versus fits* yang menunjukkan bahwa residual tersebar secara acak dan merata baik diatas garis angka 0 maupun dibawah garis angka 0, sehingga residual tidak membentuk pola tertentu. Residual yang berada di atas garis angka 0 berjumlah 9 buah dan yang berada di bawah garis angka 0 berjumlah 9 buah, sehingga kesimpulannya residual memiliki penyebaran yang sama.

Gambar 4.3 Plot *Residual Versus Fits*

4.7.3 Uji Kenormalan

Residual dianalisa untuk menjamin bahwa pengamatan mengikuti distribusi normal. Tes distribusi normal menggunakan Kolmogorov-Smirnov karena jumlah data kurang dari 50 buah. Gambar 4.4 menunjukkan hasil tes distribusi normal. Nilai deviasi standar dari residual adalah sebesar 0,1733 dan nilai *mean* tidak sama dengan nol, yaitu sebesar 0,6180.



Gambar 4.4 Tes Distribusi Normal

H_0 : residual berdistribusi normal.

H_1 : residual tidak berdistribusi normal.

Kondisi H_0 gagal ditolak apabila $P_{value} > \alpha$.

Kesimpulan: nilai $P_{value} > 0,150$ dan $\alpha = 0,05$, maka H_0 gagal ditolak, artinya residual mengikuti distribusi normal.

4.8 Prediksi Multirespon Optimal dan Interval Keyakinan

Berdasarkan kombinasi faktor untuk respon yang optimum seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9, maka dapat ditentukan prediksi dari nilai GRG optimal. Penentuan prediksi nilai GRG optimal dilakukan berdasarkan nilai rata-rata GRG masing-masing level faktor yang ditunjukkan pada Tabel 4.8. Kombinasi dari faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap multirespon yang optimal adalah:

1. Faktor *coolant* pada level 1
2. Faktor V pada level 3
3. Faktor f pada level 1
4. Faktor PA pada level 2

Nilai prediksi GRG tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan 2.53 yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\hat{\mu} = \gamma_m + \sum_{i=1}^o (\bar{y}_i - \gamma_m)$$

$$\hat{\mu} = 0,6180 + (0,6231 - 0,6180) + (0,6659 - 0,6180) + (0,8270 - 0,6180) + (0,6230 - 0,6180)$$

$$\hat{\mu} = 0,8848$$

Dengan demikian, nilai GRG prediksi untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum adalah 0,8848.

Penentuan interval keyakinan rata-rata GRG prediksi diawali dengan menghitung banyaknya pengamatan yang

efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan 2.54 sebagai berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor - faktor untuk menduga rata - rata}}$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{18 \times 2}{1 + (1 + 2 + 2 + 2)}$$

$$n_{\text{eff}} = 4,5$$

$$\text{Nilai } F_{(0,05;1;2)} = 4,96 \text{ dan } MS_E = 0,003092$$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata GRG hasil optimasi adalah sebagai berikut:

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E}{n_{\text{eff}}}}$$

$$CI_1 = \sqrt{\frac{4,96 \times 0,003092}{4,5}}$$

$$CI_1 = \pm 0,05837$$

Dengan demikian, rata-rata GRG prediksi untuk interval keyakinan 95% adalah $0,8848 \pm 0,05837$ atau $0,826 \leq GRG_{\text{prediksi}} \leq 0,943$.

4.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi hasil yang telah diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan interval keyakinan rata-rata GRG prediksi dengan interval keyakinan rata-rata GRG eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi seting faktor yang diperoleh dari hasil optimasi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.10. Eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak tiga kali replikasi. Hasil dari masing-masing respon pada eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Respon Eksperimen Konfirmasi dengan Menggunakan Kombinasi Optimum

Setting Faktor	Momen Torsi (Nm)	Gaya Tekan (N)	Kekasaran Permukaan (μm)
Kombinasi Optimum	219	1134	7.71
	218	1134	7.13
	210	1117	7.25
Rata-Rata	216	1128	7.36

Sumber: Hasil Pengukuran

Penentuan interval keyakinan rata-rata GRG eksperimen konfirmasi dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung banyaknya pengamatan efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung dengan menggunakan persamaan 2.54 sebagai berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor} - \text{faktor untuk menduga rata-rata}}$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{18 \times 2}{1 + (1 + 2 + 2 + 2)}$$

$$n_{\text{eff}} = 4,5$$

$$\text{Nilai } F_{(0,05;1;2)} = 4,96, MS_E = 0,003092 \text{ dan } r = 3$$

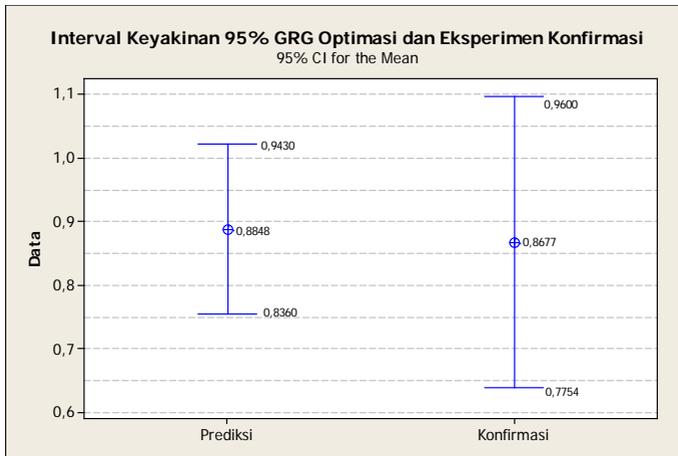
Perhitungan interval keyakinan rata-rata GRG eksperimen konfirmasi dengan menggunakan persamaan 2.55 dan 2.56 adalah sebagai berikut:

$$CI_2 = \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$CI_2 = \sqrt{4,96 \times 0,003092 \times \left[\frac{1}{4,5} + \frac{1}{3} \right]}$$

$$CI_2 = \pm 0,0923$$

Dengan demikian, rata-rata GRG eksperimen konfirmasi dengan interval keyakinan 95% adalah $0,8677 \pm 0,0923$ atau $0,775 \leq GRG_{\text{konfirmasi}} \leq 0,96$. Hasil plot interval keyakinan 95% rata-rata GRG optimasi dan eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Plot interval keyakinan Hasil Optimasi dan Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi digunakan untuk memverifikasi bahwa nilai rata-rata yang ditaksir untuk faktor dan level yang telah dipilih dari eksperimen adalah valid. Estimasi nilai rata-rata sebenarnya pada kondisi optimum didasarkan pada hasil n ilai rata-rata yang diperoleh dari eksperimen. Validasi ditetapkan jika rata-rata dari hasil eksperimen konfirmasi berada didalam interval hasil prediksi.

Berdasarkan Gambar 4.5, nilai GRG hasil eksperimen konfirmasi berada diantara interval GRG hasil optimasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa seting kombinasi level faktor pada kondisi optimum yang telah didapat adalah valid.

4.10 Perbandingan antara Hasil Kombinasi Awal dengan Kombinasi Optimum

Pada penelitian ini, juga dilakukan eksperimen dengan menggunakan seting faktor kombinasi awal. Kombinasi awal merupakan kombinasi faktor yang diseting pada level tengah, dalam hal ini faktor diseting pada level 2 (dua). Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengetahui *improvement* dari masing-masing respon, baik secara individu maupun secara

serentak. Hal itu dilakukan dengan membandingkan hasil respon pada kombinasi awal dengan hasil respon pada kombinasi optimum. Kombinasi faktor untuk kombinasi awal ditunjukkan oleh Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Kombinasi Faktor untuk Kombinasi Awal

Faktor	Kombinasi Awal	
	Nilai	Level
<i>Coolant</i>	<i>Soluble Cutting Oil</i>	1
Kecepatan potong	25,66 m/menit	2
Gerak makan	0,13 mm/put	2
<i>Point angle</i>	118°	2

Eksperimen dengan kombinasi awal dilakukan sebanyak tiga kali replikasi, dan hasil dari masing-masing respon dari eksperimen tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Hasil Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal

Setting Faktor	Momen Torsi (Nm)	Gaya Tekan (N)	Kekasaran Permukaan (μm)
Kombinasi Awal	367	1727	8,34
	374	1764	8,67
	375	1749	8,44
Rata-Rata	372	1747	8,48

Sumber: Hasil Pengukuran

Normalisasi untuk nilai rata-rata masing-masing respon dengan karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik dihitung dengan menggunakan persamaan 2.45. Dari hasil normalisasi, kemudian dilakukan perhitungan *deviation sequence* dengan menggunakan persamaan 2.47 dan GRC dengan menggunakan persamaan 2.48. Langkah terakhir adalah menentukan GRG yang merupakan nilai rata-rata dari GRC.

Nilai GRG pada eksperimen awal adalah 0,6621 sedangkan GRG pada eksperimen konfirmasi adalah 0,8677. Dengan demikian, nilai GRG eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan sebesar 31,05% dibandingkan dengan nilai GRG pada kombinasi awal. Tabel 4.15 menunjukkan perbandingan antara GRG pada kombinasi awal dengan kombinasi optimum.

Tabel 4.15 Perbandingan GRG Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum

	GRG
Kombinasi awal	0,6621
Kombinasi optimum	0,8677
Peningkatan	31,05%

Sumber: Hasil perhitungan

Karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik dari semua respon terpenuhi. Hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan nilai dari respon tersebut pada kombinasi optimum. Besarnya penurunan respon momen torsi adalah sebesar 41,93%, gaya tekan sebesar 35,43%, kekasaran permukaan sebesar 17,45% dan keausan tepi pahat sebesar 15,1%. Perbandingan dari masing-masing respon secara individu antara kombinasi awal dengan kombinasi optimum ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perbandingan Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum

Respon	Komb Awal	Komb Opt	Penurunan	Keterangan
Momen Torsi (Nm)	372	216	41,93%	Turun
Gaya Tekan (N)	1747	1128	35,43%	Turun
Kekasaran permukaan (μm)	8,48	7,36	17,45%	Turun

Sumber: Hasil Perhitungan

Nilai respon hasil kombinasi awal dan nilai repon hasil kombinasi optimum perlu diuji secara statistik untuk mengetahui apakah nilai-nilai tersebut sama atau berbeda. Adapun uji statistik yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Uji kenormalan
- Uji kesamaan variansi
- Uji kesamaan rata-rata

Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

- Uji kenormalan data

Hipotesis untuk uji kenormalan data adalah sebagai berikut:

H_0 : Residual berdistribusi normal

H_1 : Residual berdistribusi tidak normal

Kriteria penolakan adalah:

Tolak H_0 jika nilai *p-value* kurang dari 0,05

Hasil uji kenormalan data kombinasi awal dan kombinasi optimum untuk masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.17 Hasil Uji Kenormalan Data

Kombinasi Awal			Kombinasi Optimum		
Respon	Pvalue	Keterangan	Respon	Pvalue	Keterangan
Mz	> 0.150	Berdistribusi Normal	Mz	> 0.150	Berdistribusi Normal
Fz	> 0.150	Berdistribusi Normal	Fz	0,079	Berdistribusi Normal
Ra	> 0.150	Berdistribusi Normal	Ra	> 0.150	Berdistribusi Normal

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.17 menunjukkan bahwa *P-value* untuk masing-masing respon hasil optimasi semuanya bernilai diatas 0,05. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa

data kombinasi awal dan kombinasi optimum mengikuti distribusi normal.

b. Uji kesamaan variansi

Hipotesis untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Kriteria penolakan adalah:

Tolak H_0 jika nilai *P-value* kurang dari 0,05

Hasil uji kesamaan variansi data kombinasi awal dan kombinasi optimum untuk masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Uji Dua Variansi

variansi		
Respon	Pvalue	Keterangan
Mz	0,877	Sama
Fz	0,435	Sama
Ra	0,468	Sama

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil uji variansi pada Tabel 4.18 menunjukkan bahwa *P-value* untuk momen torsi bernilai 0,877, *P-value* untuk gaya tekan bernilai 0,435 dan *P-value* untuk kekasaran permukaan bernilai 0,468. Dengan demikian kombinasi awal dan kombinasi optimum memiliki variansi yang sama untuk semua respon.

c. Uji Kesamaan Rata-rata

Hipotesis untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2$$

Kriteria penolakan adalah:

Tolak H_0 jika nilai *p-value* kurang dari 0,05

Hasil uji kesamaan rata-rata data kombinasi awal dan kombinasi optimum untuk masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Uji Kesamaan Rata-rata

Kesamaan Rata-Rata		
Respon	Pvalue	Keterangan
Mz	0,000	$Mz_O < Mz_A$
Fz	0,000	$Fz_O < Fz_A$
Ra	0,012	$Ra_O < Ra_A$

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil uji kesamaan rata-rata pada Tabel 4.19 menunjukkan bahwa rata-rata dari momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan dari pada kombinasi optimum lebih kecil dari rata-rata pada kombinasi awal. Hasil uji kesamaan rata-rata dapat dilihat pada *lampiran 6*.

4.11 Analisis Pengaruh Faktor terhadap Masing-Masing Respon

Analisis variansi yang disajikan dalam Tabel 4.10 menunjukkan bahwa faktor kecepatan potong dan gerak makan memiliki pengaruh yang signifikan dalam menurunkan respon momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan secara serentak, dimana semua respon memiliki karakteristik semakin kecil semakin baik. Faktor cairan pendingin dan sudut ujung pahat dinilai tidak signifikan dalam menurunkan total respon secara serentak.

Analisis variansi juga dilakukan untuk respon individu. Berikut adalah ringkasan analisis variansi untuk respon individu yang ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Analisis Variansi untuk Respon Individu

Parameter Proses	Momen Torsi (Mz)		Gaya Tekan (Fz)		Kekasaran	
	F	P _{value}	F	P _{value}	F	P _{value}
Coolant	8,61	0,015	4,88	0,052	0,09	0,770
V	4,65	0,037	5,41	0,026	8,26	0,008
f	773,37	0,000	226,07	0,000	1,24	0,330
PA	3,62	0,066	12,60	0,002	0,53	0,602

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Faktor cairan pendingin dan sudut ujung pahat yang tidak memiliki pengaruh dalam menurunkan respon secara serentak namun dianggap mampu menurunkan respon secara individu. Faktor kecepatan potong, gerak makan dan sudut ujung pahat memiliki pengaruh terhadap momen torsi dan gaya tekan.

Gaya tekan dan torsi cenderung lebih besar pada gerak makan yang memiliki level lebih tinggi, begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh mekanisme pembentukan geram. Gaya dan momen yang dibutuhkan bergantung pada sudut ujung pahat seperti yang digunakan dalam rumus 2.16 dan 2.17. Momen torsi juga dipengaruhi oleh kecepatan potong, dimana kecepatan potong dengan level yang lebih rendah akan menghasilkan momen torsi yang kecil, begitu juga sebaliknya. Pada respon kekasaran permukaan, dapat dilihat bahwa gerak makan dengan level yang tinggi menyebabkan kekasaran permukaan akan naik.

Penggunaan cairan pendingin jenis *soluble cutting oil* mampu menurunkan momen torsi dan laju keausan tepi pahat. Untuk keausan tepi pahat, penggurdian dengan menggunakan kombinasi faktor proses yang sama telah dilakukan hingga mencapai seratus lubang, namun belum menunjukkan adanya keausan pada tepi pahat. Gambar yang menyajikan keausan tepi pahat pada lubang ke-100 dapat dilihat pada *lampiran 5*. Dari hasil ini dapat diambil kesimpulan sementara penggunaan cairan pendingin dianggap mampu menurunkan laju keausan tepi pahat secara signifikan.

4.12 Evaluasi Hasil Eksperimen

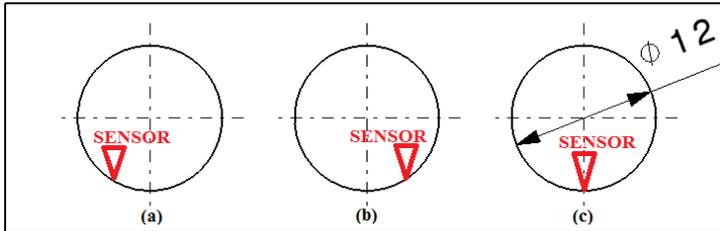
4.12.1 Parameter Proses

Pemilihan level untuk parameter proses sudut ujung pahat adalah 102° , 118° dan 134° . Menurut Tabel 2.1, nilai sudut ujung pahat yang dianjurkan untuk material baja S50C adalah 118° dan atau 125° - 145° (Rochim, 1993). Sudut ujung pahat sebesar 102° dipilih dengan mempertimbangkan beberapa faktor. Faktor pertama adalah bahwa eksperimen pendahuluan telah dilakukan untuk menentukan level dari parameter proses sudut ujung pahat. Pada sudut ujung pahat dengan level lebih dari 134° , pahat dan mesin gurdi radial tipe KMR-700DS yang digunakan tidak mampu melakukan proses penggurdisan pada material S50C. Faktor kedua, dari segi statistik, apabila rentang nilai untuk sudut ujung pahat kecil maka data yang diperoleh juga tidak berbeda secara signifikan, sehingga kurang maksimal dalam analisa multirespon. Oleh sebab itu, level sudut ujung pahat sebesar 102° (lebih runcing) dipilih sebagai salah satu level parameter proses untuk analisa selanjutnya karena diprediksi memiliki pengaruh terhadap momen torsi, gaya tekan maupun kekasaran permukaan.

4.12.2 Kekasaran Permukaan

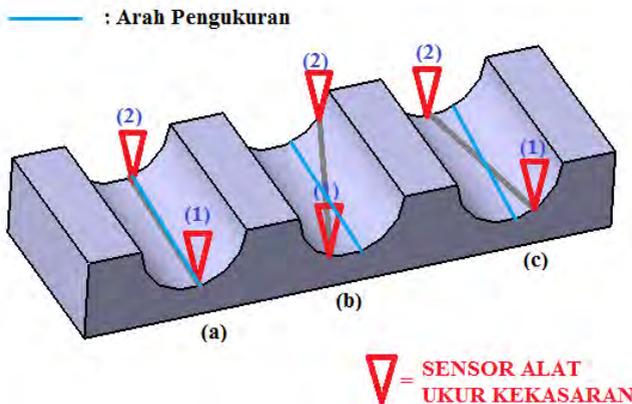
Proses pengukuran kekasaran permukaan untuk benda silindris tidak semudah pengukuran kekasaran permukaan pada benda yang rata, misalnya mengukur kekasaran permukaan pada spesimen hasil dari proses EDM, WEDM, *freis* dan sebagainya. Pada benda silindris, terdapat perbedaan ketinggian yang cukup signifikan antara bagian dasar lubang dengan permukaan samping kiri maupun kanannya. Sensor pada alat ukur kekasaran permukaan diletakkan pada bagian permukaan bawah lubang. Semakin kecil diameter lubang, maka semakin sulit proses pengukuran kekasaran permukaan karena bagian permukaan bawah lubang untuk peletakan sensor akan semakin kecil. Sensor pada alat ukur kekasaran permukaan memungkinkan adanya terjadi kesalahan

peletakkan sensor pada lubang. Gambar 4.6 menunjukkan ilustrasi kemungkinan peletakkan sensor.



Gambar 4.6 Ilustrasi Peletakan Sensor Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Gambar 4.6 bagian (a) dan (b) menunjukkan peletakan sensor alat ukur kekasaran permukaan tidak ditempatkan tepat didasar lubang. Pada gambar (c) ditunjukkan peletakan sensor alat ukur kekasaran permukaan yang tepat untuk pengukuran benda silindris. Selain karena peletakan yang salah, juga ada kemungkinan sensor berjalan menyrong pada saat proses pengukuran. Gambar 4.7 menunjukkan potongan baja S50C hasil penggurdian. Dapat dilihat contoh sensor alat ukur kekasaran permukaan yang berjalan lurus dan yang berjalan menyrong, baik serong ke kanan maupun serong ke kiri.



Gambar 4.7 Ilustrasi Sensor yang Berjalan Serong

Pada Gambar 4.7 diilustrasikan posisi sensor alat ukur kekasaran pada saat pengukuran dengan angka 1 dan 2. Posisi 1 merupakan posisi awal peletakan sensor. Sensor berjalan ke posisi 2 lalu kembali ke posisi 1 atau dengan kata lain sensor berjalan maju lalu kemudian mundur. Gambar bagian (a) menunjukkan sensor sudah berjalan tepat ke arah dalam lubang sedangkan gambar bagian (b) dan (c) terlihat sensor berjalan serong menyimpang dari arah pengukuran.

Penggunaan *jig* atau alat cekam tertentu dapat menjadi salah satu cara menjamin sensor berjalan tidak menyerong untuk semua lubang, sehingga tidak ada lagi kesalahan peletakan sensor.

Pada proses penggurdian, setelah pahat menembus benda kerja sebaiknya mesin dimatikan terlebih dahulu sebelum pahat diangkat keatas. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya penggoresan pada benda kerja. Apabila pada saat pahat diangkat keatas masih dalam kondisi berputar, pahat mungkin akan menggores benda kerja akibat putaran pahat yang tidak sempurna karena ada getaran ataupun keausan pada spindel.

4.12.3 Hasil Optimasi

Mengacu pada Tabel 4.2, kombinasi optimum hasil optimasi adalah level-level 1-3-1-2 sesuai dengan kombinasi ke tujuh. Dapat dilihat bahwa sebelum melakukan eksperimen konfirmasi, nilai respon pada kombinasi ke tujuh merupakan nilai terkecil diantara 18 kombinasi, sehingga kombinasi optimum diprediksi memiliki nilai respon minimal yang sama dengan kombinasi ke tujuh. Hasil optimasi untuk kombinasi optimum menunjukkan bahwa ada penurunan nilai momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan dibandingkan dengan kombinasi awal dengan level 1-2-2-2.

Setelah dilakukan eksperimen konfirmasi, ternyata nilai respon kombinasi optimum masih diatas nilai respon pada kombinasi ke empat dengan level 1-2-1-1. Tabel 4.21 menunjukkan perbandingan nilai respon untuk kombinasi optimum dan kombinasi keempat.

Tabel 4.21 Nilai Respon Kombinasi Optimum dan Kombinasi Keempat

Respon	Kombinasi					
	Komb Ke empat			Komb Opt		
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3
Momen Torsi (Nm)	217	214	216	219	218	210
Gaya Tekan (N)	1126	1101	1117	1134	1134	1117
Kekasaran permukaan (μm)	5,77	6,59	6,35	7.71	7.13	7,25

Nilai respon hasil kombinasi keempat dan nilai repon hasil kombinasi optimum perlu diuji secara statistik untuk mengetahui apakah nilai-nilai tersebut sama atau berbeda. Adapun uji statistik yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Uji kenormalan
- Uji kesamaan variansi
- Uji kesamaan rata-rata

Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

- Uji kenormalan data

Hipotesis untuk uji kenormalan data adalah sebagai berikut:

H_0 : Residual berdistribusi normal

H_1 : Residual berdistribusi tidak normal

Kriteria penolakan adalah:

Tolak H_0 jika nilai *p-value* kurang dari 0,05

Hasil uji kenormalan data kombinasi keempat dan kombinasi optimum untuk masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.22 berikut.

Tabel 4.22 Hasil Uji Kenormalan Data

Kombinasi Keempat			Kombinasi Optimum		
Respon	Pvalue	Keterangan	Respon	Pvalue	Keterangan
Mz	> 0.150	Berdistribusi Normal	Mz	> 0.150	Berdistribusi Normal
Fz	> 0.150	Berdistribusi Normal	Fz	0.079	Berdistribusi Normal
Ra	> 0.150	Berdistribusi Normal	Ra	> 0.150	Berdistribusi Normal

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.22 menunjukkan bahwa *P-value* untuk masing-masing respon hasil optimasi semuanya bernilai diatas 0,05. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa

data kombinasi keempat dan kombinasi optimum mengikuti distribusi normal.

b. Uji kesamaan variansi

Hipotesis untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Kriteria penolakan adalah:

Tolak H_0 jika nilai *P-value* kurang dari 0,05

Hasil uji kesamaan variansi data kombinasi keempat dan kombinasi optimum untuk masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil Uji Dua Variansi
variansi

Respon	Pvalue	Keterangan
Mz	0.175	Sama
Fz	0.751	Sama
Ra	0.691	Sama

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil uji variansi pada Tabel 4.23 menunjukkan bahwa *P-value* untuk momen torsi bernilai 0,175, *P-value* untuk gaya tekan bernilai 0,751 dan *P-value* untuk kekasaran permukaan bernilai 0,691. Dengan demikian kombinasi keempat dan kombinasi optimum memiliki variansi yang sama untuk semua respon.

c. Uji Kesamaan Rata-rata

Hipotesis untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2$$

Kriteria penolakan adalah:

Tolak H_0 jika nilai *p-value* kurang dari 0,05

Hasil uji kesamaan rata-rata data kombinasi keempat dan kombinasi optimum untuk masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Hasil Uji Kesamaan Rata-rata

Kesamaan Rata-Rata		
Respon	Pvalue	Keterangan
Mz	1.000	$\mu_1 = \mu_2$
Fz	0.236	$\mu_1 = \mu_2$
Ra	0.033	$\mu_1 < \mu_2$

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil uji kesamaan rata-rata pada Tabel 4.24 menunjukkan bahwa rata-rata dari momen torsi dan gaya tekan pada kombinasi keempat dan kombinasi optimasi adalah sama. Namun, rata-rata dari kekasaran permukaan pada kombinasi keempat lebih kecil dari pada rata-rata kombinasi optimum. Hasil uji kesamaan rata-rata dapat dilihat secara rinci pada *lampiran 7*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen, proses optimasi, eksperimen konfirmasi serta analisis yang telah dilakukan, maka dari penelitian yang berjudul “Optimasi Multirespon Pada Proses Gurdi Untuk Material S50C Dengan Menggunakan Metode Taguchi-*Grey Relational Analysis* dan Tambahan Cairan Pendingin” dapat disimpulkan:

1. Kontribusi dari faktor untuk meminimalkan respon momen torsi, gaya tekan dan kekasaran permukaan secara serentak adalah:
 - a. Kecepatan potong (v) sebesar 4,43%
 - b. Gerak makan (f) sebesar 86,89%
 - c. Cairan pendingin dan sudut ujung pahat (PA) masing-masing sebesar 0% sehingga tidak memberikan kontribusi untuk meminimalkan respon secara serentak.
2. Seting faktor yang menghasilkan respon-respon yang memenuhi karakteristik kualitasnya adalah:
 - a. Cairan pendingin menggunakan *soluble cutting oil* tanpa penambahan *extreme pressure*.
 - b. Kecepatan potong pada 41,7 mm/min.
 - c. Gerak makan pada 0,07 mm/put.
 - d. Sudut ujung pahat sebesar 118^0 .

Sesuai dengan batasan masalah, maka kesimpulan dari eksperimen ini berlaku secara khusus untuk material baja S50C dengan menggunakan pahat HSS berdiameter 12 mm dan mesin gurdi radial tipe KMR-700DS.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya bisa menggunakan metode pengolahan data yang lain sebagai pembandingan.
2. Pada penelitian selanjutnya agar menggunakan pahat gurdi yang memiliki tangkai tirus agar menghindari *slip* selama pengambilan data.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan seting faktor yang lain dan menambahkan faktor lain untuk mengurangi eror.
4. Perlu dibuatkan *jig* atau alat cekam tertentu untuk menjamin sensor berjalan tidak menyerong pada pengukuran kekasaran permukaan silindris.

DAFTAR PUSTAKA

- Datta, S. dan Mahapatra, S. S. (2010), “Modeling, Simulation and Parametric Optimization of Wire EDM Process using Response Surface Methodology Coupled with Grey-Taguchi Technique,” **International Journal of Engineering, Science and Technology**, Vol. 2, No. 5, hal. 162-183.
- Deng, J. (1989), “Introduction to Grey System,” **Journal of Grey System**, Vol 1, hal 1–24.
- Ezugwu, E. O., dan Lai, C. J. (1995). “Failure Mode and Wear Mechanism of M35 High Speed Steel Drills When Machining Inconel 910,” **Journal of Matereial Processing Technology**, Vol. 49, pp. 295-312.
- Galloway, D. F. (1957), “Some experiments on the influence of various factors on drill performance,” **Trans. A.S.M.E**, Vol. 79, pp.191-231.
- Haq, N. A., Marimuthu, P. dan Jeyapul, R. (2008), “Multi response optimization of machining parameters of drilling Al/SiC metal matrix composite using grey relational analysis in the Taguchi method,” **The International Journal of Advanced Manufacture Technology**, Vol. 37, hal. 250-255.
- Huang, J. T. dan Liao, Y. S. (2003), “Optimization of Machining Parameters of Wire-EDM based on Grey Relational and Statistical Analyses,” **International Journal of Production Research**, Vol 41, hal.1707–1720.
- Jeyapaul, R., Shahabudeen, P. dan Krishnaiah, K. (2005), “Quality management research by considering multi-response problems in the Taguchi method-a review,” **The International Journal of Advanced Manufacture Technology**, Vol. 26, hal. 1331–1337.
- Jindal, A. (2012), “Analysis of Tool Wear Rate in Drilling Operation using Scanning Electron Microscope (SEM),“ **Journal of Minerals &**

- Materials Characterization & Engineering**, Vol. 11, No. 1, pp. 43-54.
- Lee, B. Y., Liu H. S., dan Tarng, Y. S., (1998), "Modeling and optimization of drilling process," **Journal of Materials Processing Technology** 74 (1998) 149–157.
- Lin, J. L. dan Lin, C. L. (2002), "The Use of Orthogonal Array with Grey Relational Analysis to Optimize the Electrical Discharge Machining Process with Multiple Performance Characteristics," **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Vol 42, hal. 237–244.
- Lin, T. R. (2002), "Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel," **Journal of Materials Process Technology**, Vol.127, hal. 8–16.
- Montgomery, D. C. (2009), **Design and Analysis of Experiment**, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Park, S. H. (1996), **Robust Design and Analysis for Quality Engineering**, 1st edition, Chapman & Hall, London.
- Ranganathan, S., Senthilvelan, T. dan Gopalakannan, S. (2012), "Multiple Performance Optimization in Drilling of GFRP Composites Using Grey Analysis," **IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM-2012)**.
- Rochim, T. (1993), **Proses Pemesinan**, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ross, P. J. (2008), **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw Hill Companies, Inc., Taiwan.
- Soejanto, I. (2009), **Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi**, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Tonshoff, H. K., Spintig, W., König, W. dan Nesises, A. (1994), "Machining of holes: developments in drilling technology," **Annals of the CIRP**, Vol.43/2, pp.551-561.

- Tosun, N., Cogun, C. dan Tosun, G. (2004), "A Study on Kerf and Material Removal Rate in Wire Electrical Discharge Machining based on Taguchi Method," **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 152, hal. 316-322.
- Tosun, N. (2006), "Determine of optimum parameters for multi-performance characteristics in drilling by using grey relational analysis," **The International Journal of Advanced Manufacture Technology**, Vol.28, hal. 450-455.
- Sales, W. F., G. Guimaraes, A. R. Machado dan E. O. Uzugwu (2002), "Cooling ability of cutting fluid and measurement of chip-tool interface temperature," **industrial lubrication and tribology**," Vol.54. hal. 57-68

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



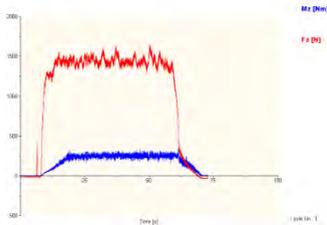
Febryand Justy Putra, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 21 Februari 1990, penulis adalah putra kedua dari pasangan Bapak Julius Budijanto dan Betty Ribut Deconiwaty. Pendidikan formal penulis antara lain adalah pendidikan dasar di SD Kristen Petra 13 Surabaya, lulus pada tahun 2002. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Negeri 15 Surabaya, lulus pada tahun 2008. Pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis mengambil program studi sistem manufaktur. Selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin, penulis telah mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan dengan menjadi ketua Keluarga Mahasiswa Katolik (KMK ITS) pada tahun 2009 dan menjadi wakil ketua KMK ITS pada tahun 2010.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

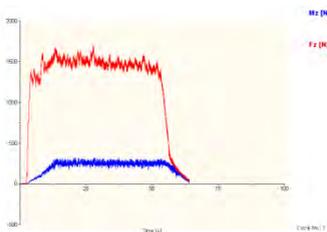
Lampiran 1

GRAFIK DATA MOMEN TORSI (T) DAN GAYA TEKAN (F)

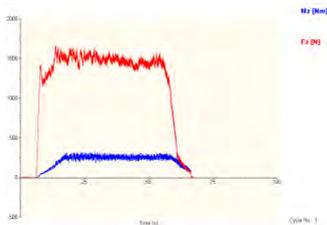
1. Kombinasi faktor proses: 1111



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



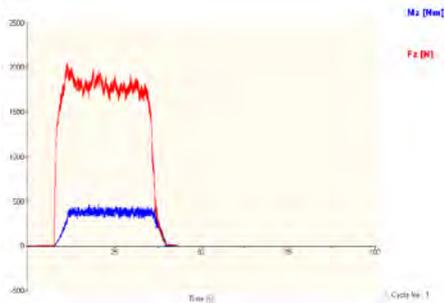
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



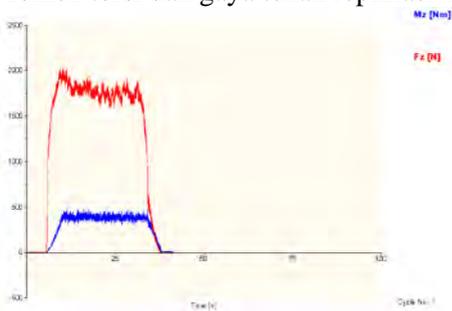
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-1 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1111

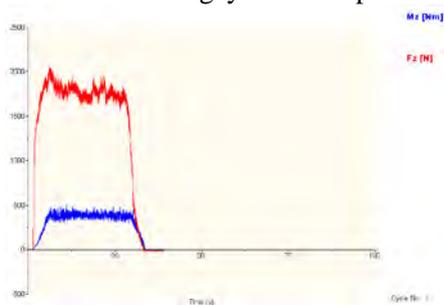
2. Kombinasi faktor proses: 1122



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



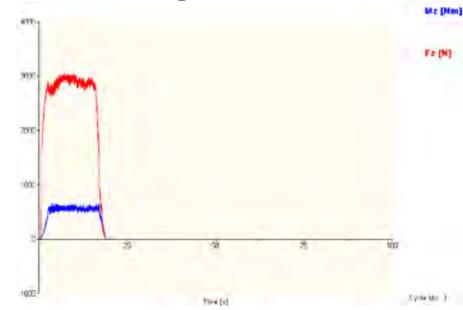
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



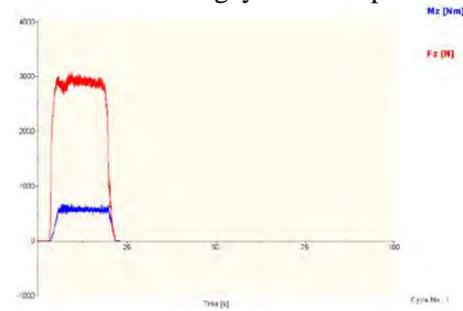
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-2 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1122

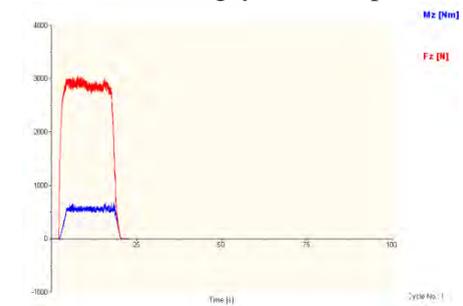
3. Kombinasi faktor proses: 1133



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



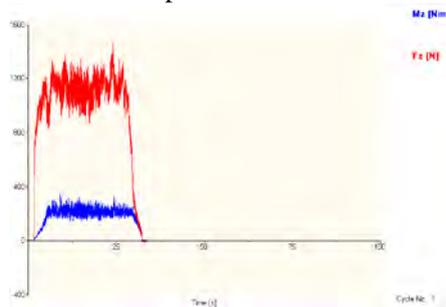
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



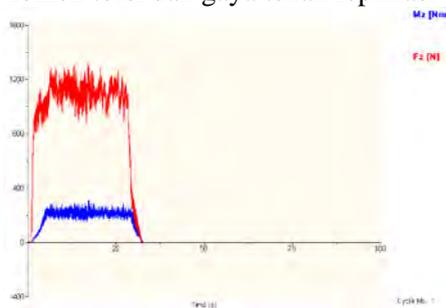
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-3 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1133

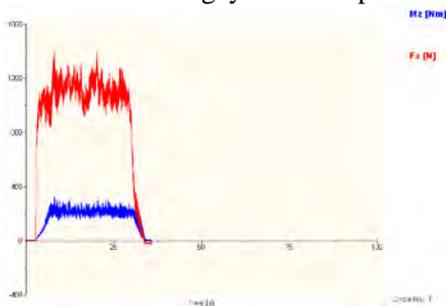
4. Kombinasi faktor proses: 1211



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



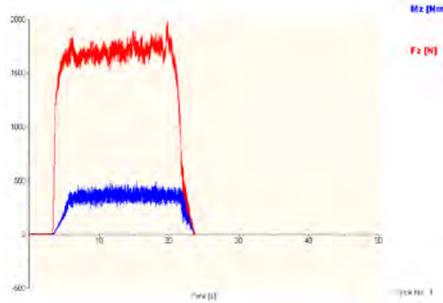
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



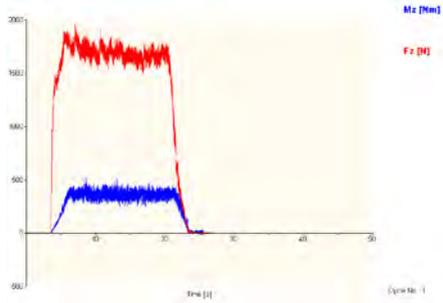
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-4 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1211

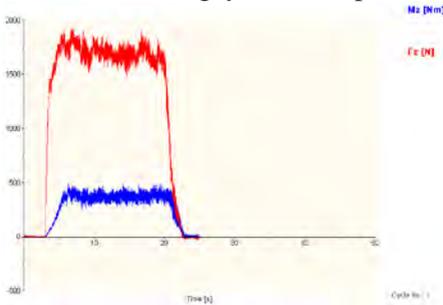
5. Kombinasi faktor proses: 1222



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



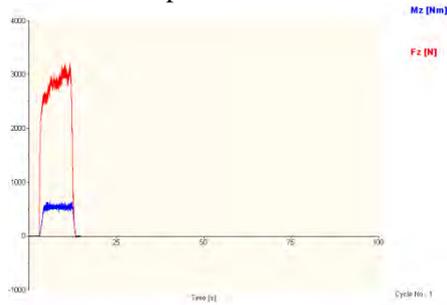
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



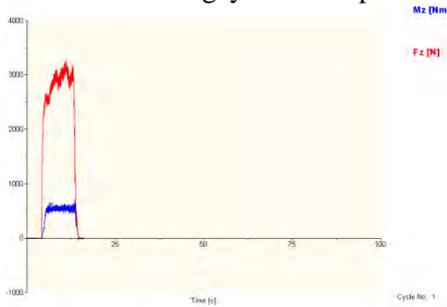
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-5 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1222

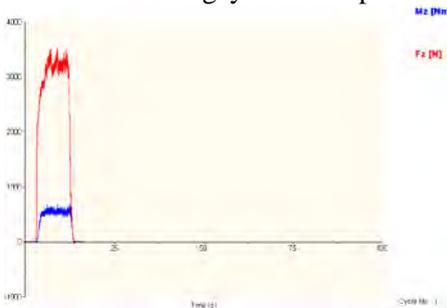
6. Kombinasi faktor proses: 1233



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



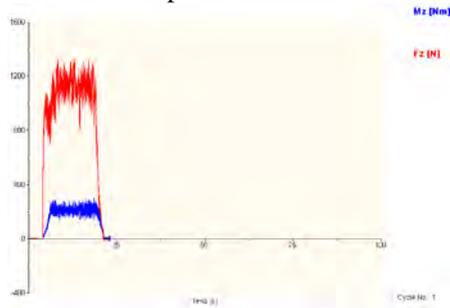
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



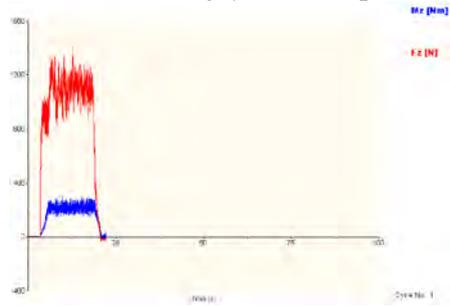
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-6 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1233

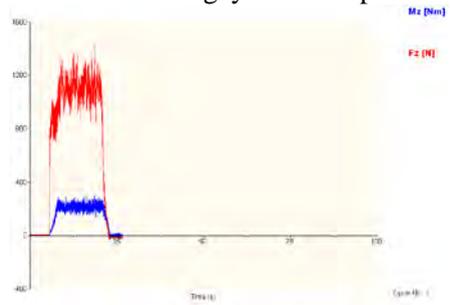
7. Kombinasi faktor proses: 1312



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



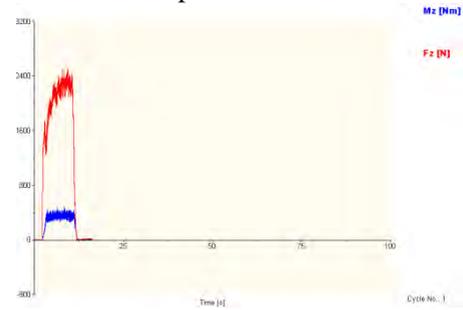
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



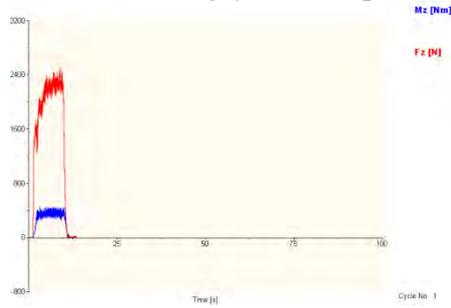
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-7 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1312

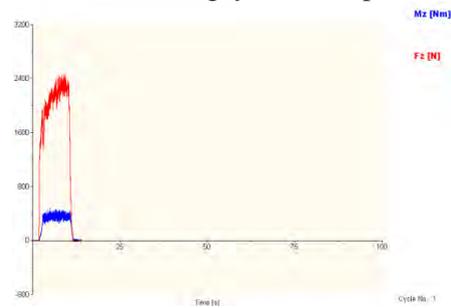
8. Kombinasi faktor proses: 1323



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



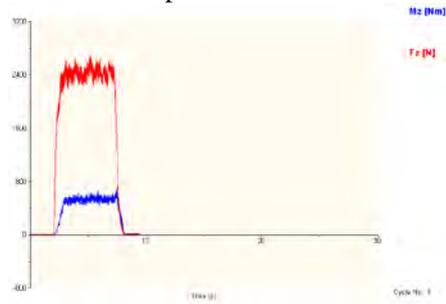
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



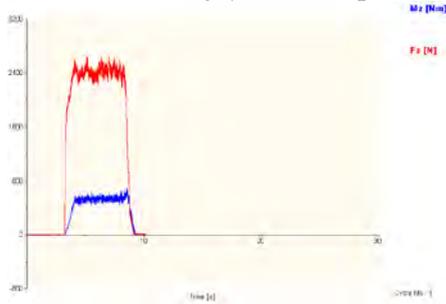
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-8 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1323

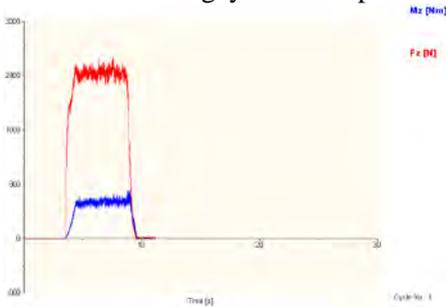
9. Kombinasi faktor proses: 1331



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



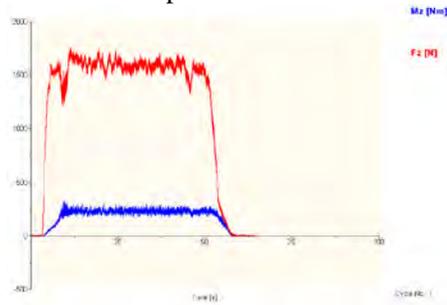
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



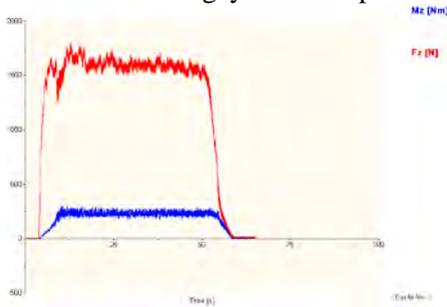
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-9 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 1331

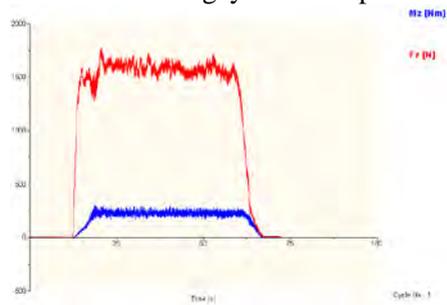
10. Kombinasi faktor proses: 2113



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



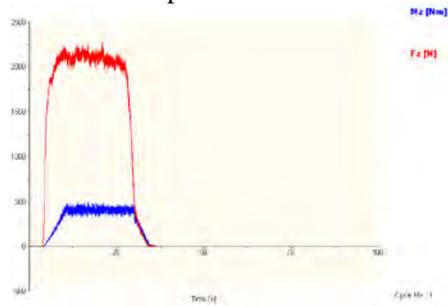
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



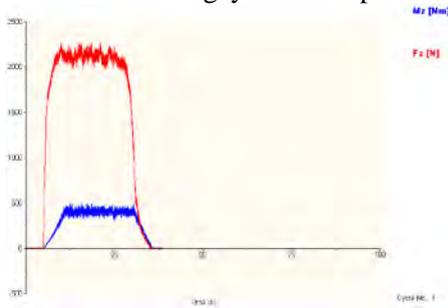
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-10 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2112

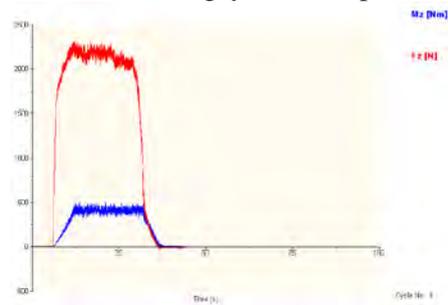
11. Kombinasi faktor proses: 2121



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



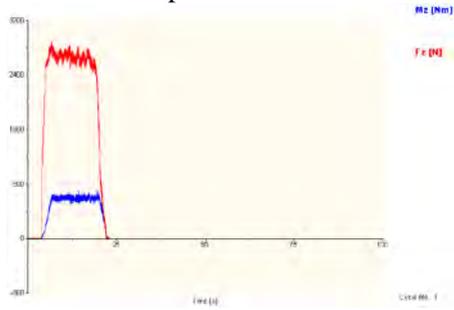
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



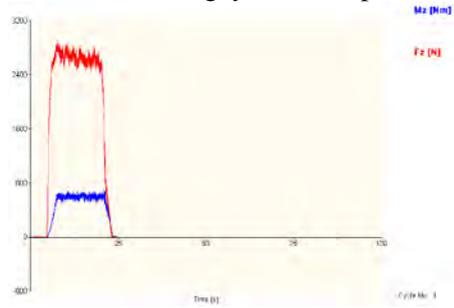
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-11 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2121

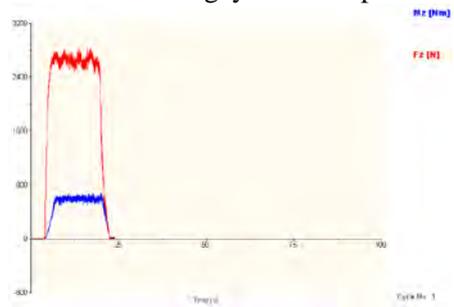
12. Kombinasi faktor proses: 2132



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



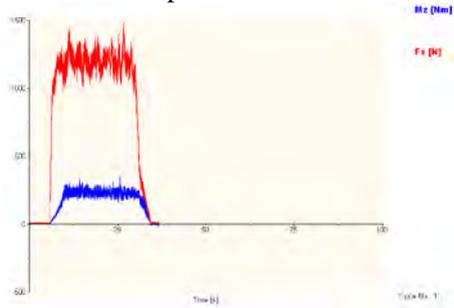
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



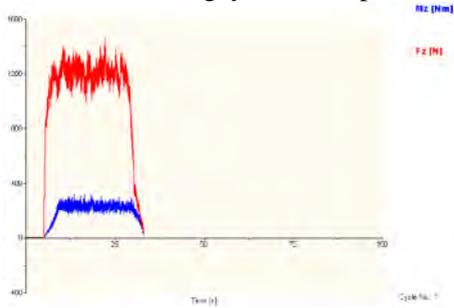
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-12 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2132

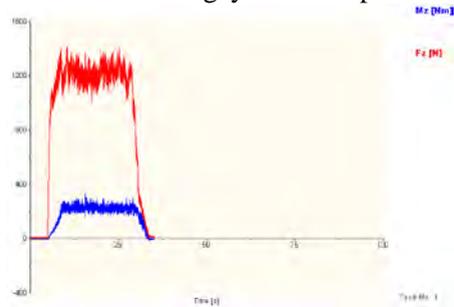
13. Kombinasi faktor proses: 2212



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



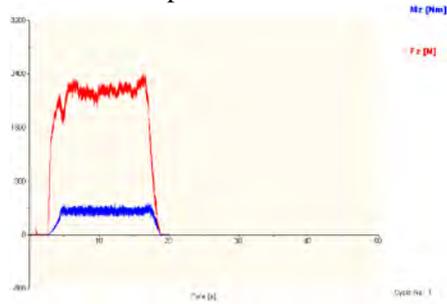
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



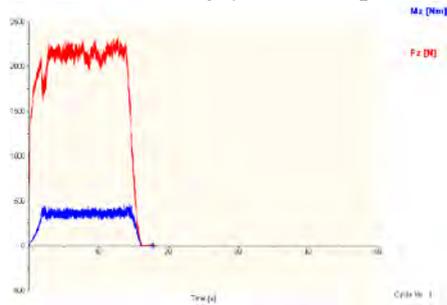
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-13 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2212

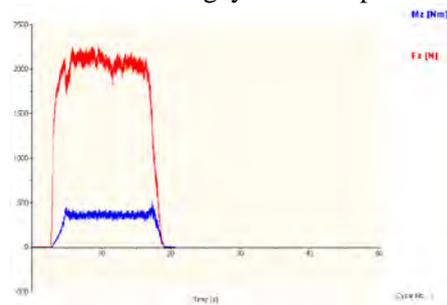
14. Kombinasi faktor proses: 2223



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



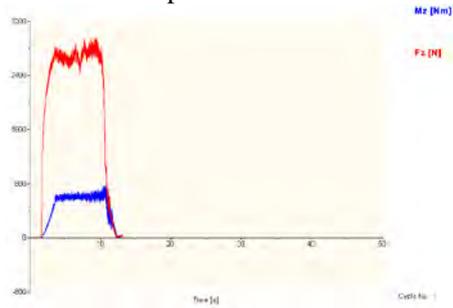
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



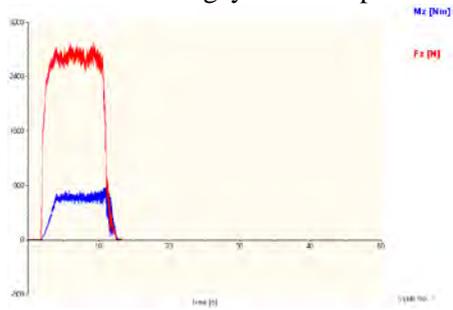
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-14 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2223

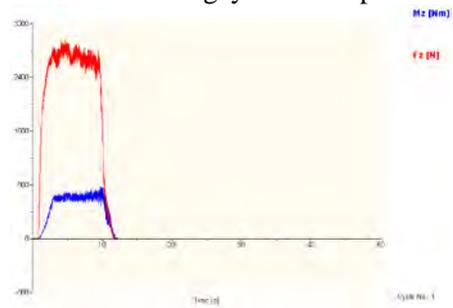
15. Kombinasi faktor proses: 2231



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



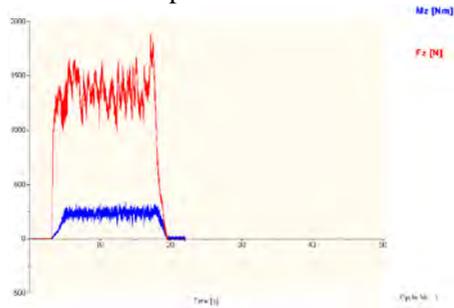
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



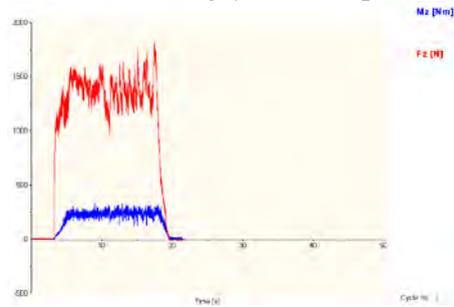
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-15 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2231

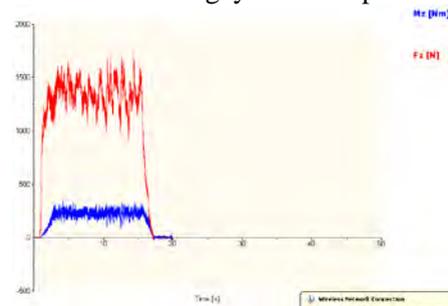
16. Kombinasi faktor proses: 2313



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



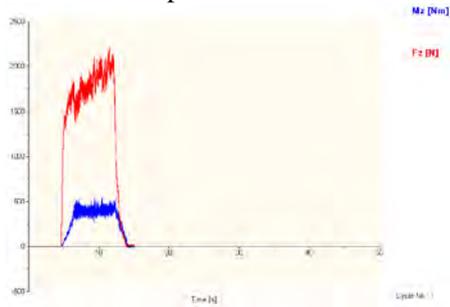
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



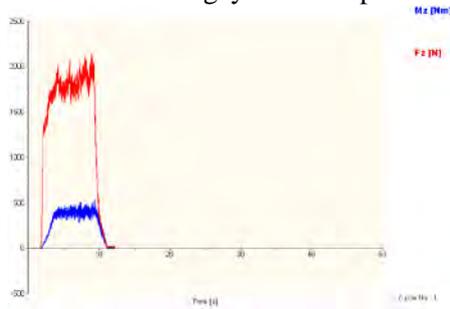
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-16 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2313

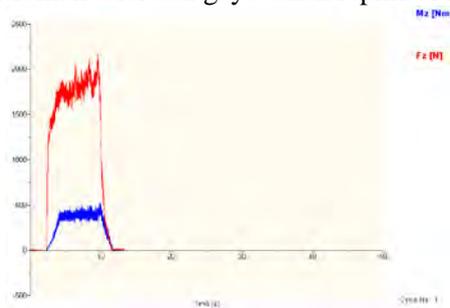
17. Kombinasi faktor proses: 2321



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



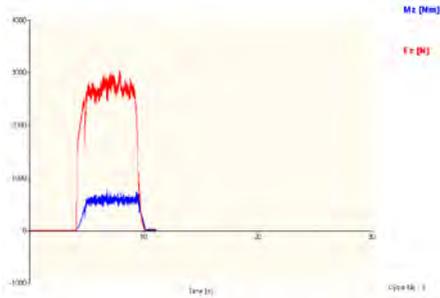
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



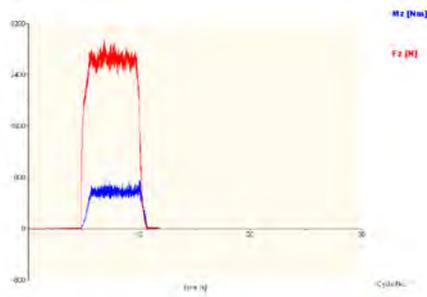
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-17 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2321

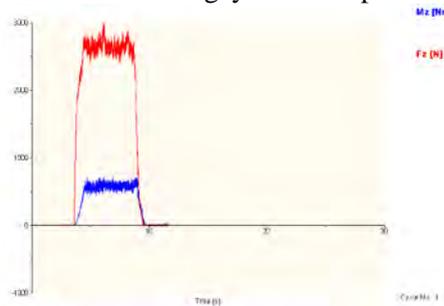
18. Kombinasi faktor proses: 2332



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



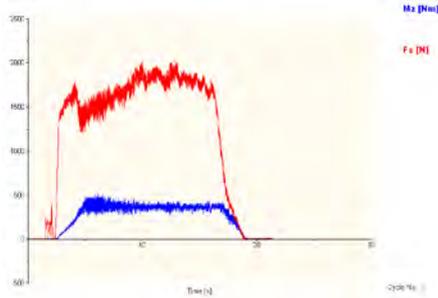
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



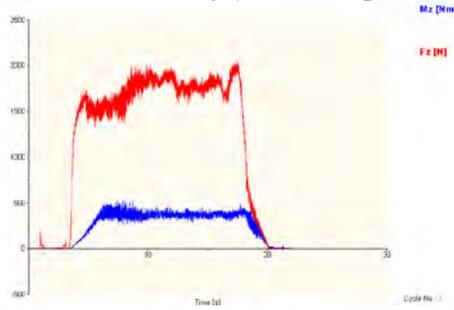
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-18 Grafik F dan T pada kombinasi faktor proses 2332

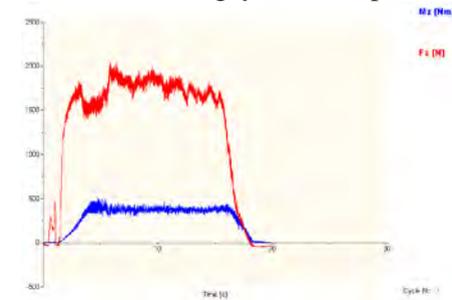
19. Kombinasi awal dengan faktor proses: 1222



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



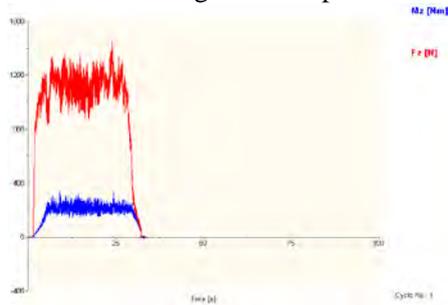
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



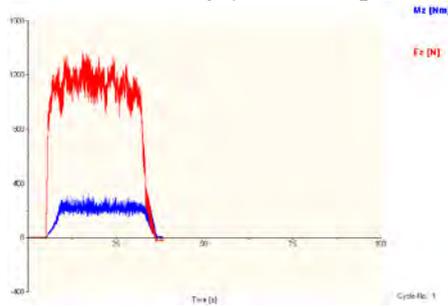
Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-19 Grafik F dan T pada kombinasi awal dengan faktor proses 1222

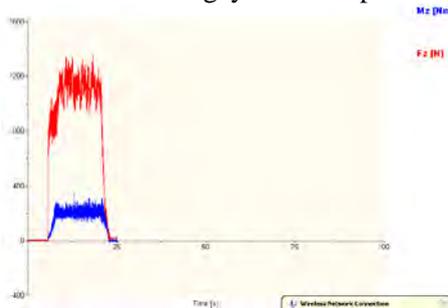
20. Kombinasi awal dengan faktor proses: 1312



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 1



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 2



Momen torsi dan gaya tekan replikasi 3

Gambar L-20 Grafik F dan T pada kombinasi optimum dengan faktor proses 1312

*Lampiran 2***SETING DINAMOMETER UNTUK
PENGUKURAN MOMEN TORSI DAN GAYA
TEKAN**

Gambar L-21 *Charge Amplifier* type 5070A dan Data Akuisisi tipe 5697A



Gambar L-22 *Dinamometer* Tipe 9272

Lampiran 3

HASIL PENGUKURAN KEKASARAN PERMUKAAN

1. Kekasaran Permukaan pada Eksperimen

Tabel L-1 Kekasaran Permukaan pada Eksperimen

Percobaan					Kekasaran Permukaan (μm)								
No	cool ant	v	f	PA	Lokasi		Lokasi		Lokasi		Rata-rata 1	Rata-rata 2	Rata-rata 3
					1	2	1	2	1	2			
1	1	1	1	1	3,61	3,51	3,4	3,54	4,76	4,64	3,56	3,47	4,7
2	1	1	2	2	4,21	4,75	4,31	4,89	3,06	3,64	4,48	4,6	3,35
3	1	1	3	3	6,75	6,53	8,1	7,84	6,97	6,63	6,64	7,97	6,8
4	1	2	1	1	6,07	5,47	6,27	6,91	6,04	6,66	5,77	6,59	6,35
5	1	2	2	2	7,37	7,83	9,15	8,65	9,24	9,8	7,6	8,9	9,52
6	1	2	3	3	6,56	6,64	5,59	5,47	5,94	6,1	6,6	5,53	6,02
7	1	3	1	2	9,37	8,05	7,34	8,7	8,8	7,46	8,71	8,02	8,13
8	1	3	2	3	6,62	5,94	10,26	9,54	9,67	8,57	6,28	9,9	9,12
9	1	3	3	1	6,02	6,5	10,11	9,71	9,07	10,73	6,26	9,91	9,9
10	2	1	1	3	6,55	5,53	5,69	4,63	6,84	6,5	6,04	5,16	6,67
11	2	1	2	1	3,91	4,47	4,14	4,64	4,06	4,54	4,19	4,39	4,3
12	2	1	3	2	7,05	8,55	7,84	6,4	6,12	5,5	7,8	7,12	5,81
13	2	2	1	2	7,14	6,3	6,61	7,39	7,74	7,66	6,72	7	7,7
14	2	2	2	3	5,36	4,64	6,94	6,28	6,77	7,35	5	6,61	7,06
15	2	2	3	1	7,67	7,91	8,08	7,9	8,26	6,96	7,79	7,99	7,61
16	2	3	1	3	6,37	6,53	8,44	8,34	6,52	6,9	6,45	8,39	6,71
17	2	3	2	1	7,18	7,48	8,96	9,2	9,2	8,62	7,33	9,08	8,91
18	2	3	3	2	8,42	7,96	7,14	7,54	8,22	8,1	8,19	7,34	8,16

2. Kekasaran Permukaan dengan kombinasi awal faktor proses 1222

Tabel L-2 Kekasaran Permukaan dengan Kombinasi Awal

Percobaan					Kekasaran Permukaan (μm)		
No	cool ant	v	f	PA	Lokasi		Rata-rata
					1	2	
1	1	2	2	2	8,28	8,4	8,34
2	1	2	2	2	8,5	8,84	8,67
3	1	2	2	2	8,52	8,36	8,44

3. Kekasaran Permukaan pada Eksperimen Konfirmasi
Tabel L-3 Kekasaran Permukaan pada Eksperimen Konfirmasi

No	Percobaan				Kekasaran Permukaan (μm)		
	<i>cool ant</i>	v	f	PA	Lokasi		Rata-rata
					1	2	
1	1	3	1	2	7,56	7,86	7,71
2	1	3	1	2	7,24	7,02	7,13
3	1	3	1	2	7,17	7,33	7,25

Lampiran 4

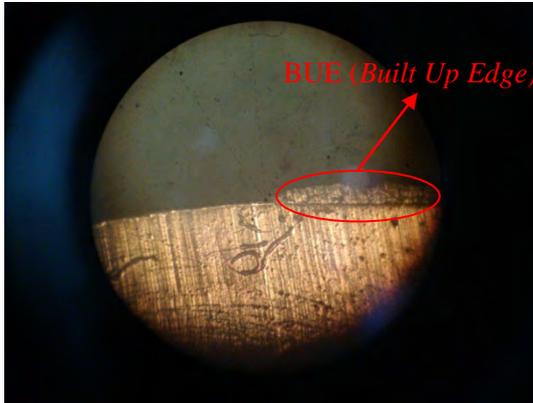
**SETING ALAT UKUR KEKASARAN
PERMUKAAN**



Gambar L-23 Seting Alat Ukur Kekasaran Permukaan

*Lampiran 5***KEAUSAN TEPI PAHAT PADA LUBANG KE-100**

Keausan tepi pahat pada lubang ke-100 setelah seratus kali penggurdian dengan menggunakan kombinasi faktor 1111.



Gambar L-24 Keausan Tepi Pahat pada Lubang Ke-100

Lampiran 6

UJI KESAMAAN RATA-RATA UNTUK KOMBINASI AWAL DAN KOMBINASI OPTIMUM

Two-Sample T-Test and CI: MT a, MT o

Two-sample T for MT a vs MT o

	N	Mean	StDev	SE Mean
MT a	3	372.00	4.36	2.5
MT o	3	215.67	4.93	2.8

Difference = μ (MT a) - μ (MT o)
 Estimate for difference: 156.33
 95% CI for difference: (144.24, 168.43)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 41.13 P-Value = 0.000 DF = 3

Gambar L-25 Uji Kesamaan Rata-Rata Untuk Momen Torsi

Two-Sample T-Test and CI: F a, F o

Two-sample T for F a vs F o

	N	Mean	StDev	SE Mean
F a	3	1746.7	18.6	11
F o	3	1128.33	9.81	5.7

Difference = μ (F a) - μ (F o)
 Estimate for difference: 618.3
 95% CI for difference: (579.7, 657.0)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 50.90 P-Value = 0.000 DF = 3

Gambar L-26 Uji Kesamaan Rata-Rata Untuk Gaya Tekan

Two-Sample T-Test and CI: Ra a, Ra o

Two-sample T for Ra a vs Ra o

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ra a	3	8.483	0.169	0.098
Ra o	3	7.363	0.306	0.18

Difference = μ (Ra a) - μ (Ra o)
 Estimate for difference: 1.120
 95% CI for difference: (0.477, 1.763)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 5.55 P-Value = 0.012 DF = 3

Gambar L-27 Uji Kesamaan Rata-Rata Untuk Kekasaran Permukaan

Lampiran 7

UJI KESAMAAN RATA-RATA UNTUK KOMBINASI KEEMPAT DAN KOMBINASI OPTIMUM

Two-Sample T-Test and CI: MT4, MTO				
Two-sample T for MT4 vs MTO				
	N	Mean	StDev	SE Mean
MT4	3	215.67	1.53	0.88
MTO	3	215.67	4.93	2.8
Difference = mu (MT4) - mu (MTO)				
Estimate for difference: 0.00				
95% CI for difference: (-12.83, 12.83)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.00 P-Value = 1.000 DF = 2				

Gambar L-28 Uji Kesamaan Rata-Rata Untuk Momen Torsi

Two-Sample T-Test and CI: F4, FO				
Two-sample T for F4 vs FO				
	N	Mean	StDev	SE Mean
F4	3	1114.7	12.7	7.3
FO	3	1128.33	9.81	5.7
Difference = mu (F4) - mu (FO)				
Estimate for difference: -13.67				
95% CI for difference: (-43.10, 15.77)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.48 P-Value = 0.236 DF = 3				

Gambar L-29 Uji Kesamaan Rata-Rata Untuk Gaya Tekan

Two-Sample T-Test and CI: RA4, RaO				
Two-sample T for RA4 vs RaO				
	N	Mean	StDev	SE Mean
RA4	3	6.237	0.422	0.24
RaO	3	7.363	0.306	0.18
Difference = mu (RA4) - mu (RaO)				
Estimate for difference: -1.127				
95% CI for difference: (-2.084, -0.169)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.75 P-Value = 0.033 DF = 3				

Gambar L-30 Uji Kesamaan Rata-Rata Untuk Kekasaran Permukaan

Lampiran 8

SPESIFIKASI CAIRAN PENDINGIN

HUSKEY™ SOLUBLE CUTTING OIL**DESCRIPTION**

HUSKEY SOLUBLE CUTTING OIL is a versatile, compounded, water-soluble cutting oil designed primarily as a lubricant and coolant for cutting and grinding operations on both ferrous and non-ferrous metals. **HUSKEY SOLUBLE CUTTING OIL** has proven outstanding as a coolant for heavy-duty machining operations, as an emulsifiable hydraulic oil and as a rust preventative.

USAGE

HUSKEY SOLUBLE CUTTING OIL is recommended for most milling, drilling, turning, cut-off and power sawing of ferrous and non-ferrous metals. It is also effective in reaming, broaching, tapping and grinding operations.

ADVANTAGES

- Good lubricity for Smooth Finishes
- Multi-purpose, Good from Light to Heavy-Duty Operations
- Excellent Corrosion and Stain Control
- Excellent Emulsification of Water

TYPICAL SPECIFICATIONS

<u>TEST</u>	<u>ASTM METHOD</u>	<u>RESULT</u>
Viscosity, SUS @ 100°F	D-445	300
Neutralization (Acid) No.	D-94	1.2
Flash Point, °F	D-92	325
Aluminum Corrosion Test, 24 hr. @ 140°F	D-665	PASS
Copper Corrosion Test	D-665	PASS
Steel Corrosion Test, 24 hr. @ 140°F	D-665	PASS
Emulsion Stability, 48 hr. @ 185°F	D-3707	Excellent

PACKAGE AVAILABILITY

1 gal. Jug (4/case), 5 gal. Pail
15 gal. Keg and 55 gal. Drum

The name of this product or group of products is for product identification only. HUSK-ITT CORPORATION makes no warranties, representations or conditions of any kind expressed or implied whether for merchantability or fitness with respect to these products. The final determination of the suitability of the products for the application contemplated by the user is the sole responsibility of the buyer. HUSK-ITT CORPORATION sales personnel are not authorized to amend this warranty limitation.

©1994

