



**universitas
MALIKUSSALEH**

TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

**OPTIMASI PARAMETER KEKASARAN PERMUKAAN DAN
KEKERASAN MATERIAL BAJA AISI 1045 PADA PROSES
PERMESINAN *CNC TURNING* DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *TAGUCHI***

**Diajukan sebagai syarat-syarat diperlukan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Diususun Oleh:

**M. TAUFIK ANWAR
190120128**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
LHOKSEUMAWE
2024**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M.Taufik Anwar
Nim : 190120128
Jurusan/Prodi/Bidang : Teknik Mesin/Teknik mesin/Manufaktur
Tempat/tanggal Lahir : Sumur Padang/04 Agustus 2001

Dengan ini menyatakan skripsi yang berjudul *Optimasi Parameter Kekasaran Permukaan dan Kekerasan Material Baja AISI 1045 Pada Proses Permesinan CNC Turning dengan Menggunakan Metode Taguchi*. adalah hasil kerja tulisan saya sendiri didampingi dosen pembimbing bukan hasil plagiat dari karya tulis orang lain. Tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari sumber lain yang saya kutip tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan plagiarisme.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika di kemudian hari ternyata terbukti bahwa skripsi yang saya tulis adalah plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku, dan saya bertanggung jawab secara mandiri tidak ada sangkut pautnya dengan Dosen Pembimbing dan kelembagaan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Lhokseumawe, 1 Februari 2024

Saya yang membuat pernyataan,



M. Taufik Anwar
NIM. 190120128

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

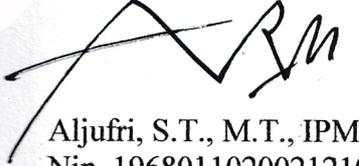
Judul Tugas Akhir (Skripsi) : Optimsi Parameter Kekasaran Permukaan dan Kekerasan Material Baja AISI 1045 pada Proses Permesinan CNC *Turning* dengan Menggunakan Metode *Taguchi*.

Nama Mahasiswa : M.Taufik Anwar
NIM : 190120128
Jurusan/Bidang : Teknik Mesin/Manufaktur
Tanggal Sidang : 29 Januari 2024

Lhokseumawe, 1 Februari 2024

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Aljufri, S.T., M.T., IPM
Nip. 196801102002121001

Pembimbing Pendamping



Abdul Rahman, S.T., M.Eng
Nip. 196811202003121001

Penguji Utama



Alchalil, S.T., M.T
Nip. 196909082006041017

Penguji Pendamping



Reza Putra, S.T., M.Eng., IPM
Nip. 197806292005011004

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Mesin,



Abdul Rahman, S.T., M.Eng
Nip. 196811202003121001

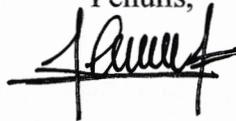
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Berdasarkan hasil ujian Sidang Tugas Akhir Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh pada tanggal 29 Januari 2024, dengan ini dinyatakan telah memenuhi persyaratan akademik:

Judul Tugas Akhir (Skripsi) : Optimasi Parameter Kekasaran Permukaan Dan Kekerasan Material Baja AISI 1045 Pada Proses Permesinan CNC Turning Dengan Menggunakan Metode *Taguchi*.
Nama Mahasiswa : M. Taufik Anwar
NIM : 190120128
Tempat/Tanggal Lahir : Sumur Padang, 04 Agusturs 2001
Program Studi/Bidang : Teknik Mesin/Teknik Manufaktur
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama : Aljufri, S.T., MT.IPM
Pembimbing Pendamping : Abdul Rahman, S.T., M.Eng.
Ketua Penguji : Alchalil, S.T., M.T
Anggota Penguji : Reza Putra, S.T., M.Eng

Lhokseumawe, 1 Februari 2024

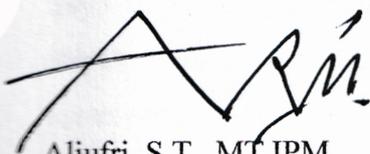
Penulis,



M. Taufik Anwar
NIM 190120128

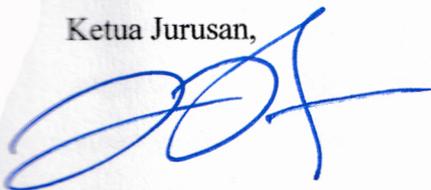
Menyetujui:

Pembimbing Utama,



Aljufri, S.T., MT.IPM.
NIP 196801102002121001

Ketua Jurusan,



Asnawi, S.T., M.Sc.
NIP 198002272006041010

Mengetahui:

Pembimbing Pendamping,



Abdul Rahman, S.T., M.Eng.
NIP 196811202003121001

Ketua Program Studi,



Abdul Rahman, S.T., M.Eng.
NIP 196811202003121001

LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan bismillahirrahmanirrahim, saya panjatkan puji syukur kepada ALLAH SWT, yang telah memberikan nikmat, hidayah, dan taufik-Nya kepada saya sehingga skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan kehariban Rasulullah Muhammad SAW.

Kupersembahkan skripsi ini kepada:

Ayahanda, Ibunda dan Orang Tercinta

Bapak Drs. Akhirman dan Uma Dahlia S.Pd yang senantiasa memberikan ketenangan, motivasi, doa terbaik, dan telah menyisihkan finansialnya, sehingga saya dapat menyelesaikan masa studi saya. Abang Riki Rahman, S.T., M.Sc, Kakak Desrita Aryani, S.E, Kakak Nuning Yukasih S.Pd, dan adik saya Ahmad Solihuddin, terimakasih atas semangat dan dukungannya, dan kepada Anisya Salsadila Aiman Br Siagian S.T yang selalu memberikan semangat dan mendengarkan keluh kesah saya. Semoga ALLAH SWT membalas semua kebaikan kalian dengan pahala yang berlipat ganda, Aamiin. Aku sayang kalian.

Dosen pembimbing dan Penguji

Ucapan terimakasih kepada Bapak Aljufri, S.T., M.T., IPM dan Bapak Abdul Rahman, S.T., M.Eng yang telah memberikan tenaga, waktu, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan skripsi saya hingga saya dinyatakan lulus.

Saya juga mengucapkan terimakasih kepada Bapak Alchalil, S.T., M.T, dan Bapak Reza Putra, S.T., M.Eng., IPM selaku dosen penguji atas masukan dan saran yang dapat membangun dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Teman-teman seperjuangan

Saya persembahkan juga skripsi ini kepada teman-teman seperjuangan terutama angkatan Mesin 2019 yang telah bersama-sama berbagi ilmu, pengalaman dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wata'ala* yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan ke ruh junjungan alam, nabi besar Muhammad *Shalallahu 'Alaihi Wa Sallam*, yang syafa'atnya sama-sama kita harapkan terlebih-lebih di yaumul akhir kelak. Adapun judul Tugas Akhir yang diambil penulis yaitu "**Optimasi Parameter Kekasaran Permukaan dan Kekerasan Material Baja AISI 1045 Pada Proses Permesinan *CNC Turning* dengan Menggunakan Metode *Taguchi***". Penulisan Tugas akhir ini merupakan syarat untuk mahasiswa dalam menyelesaikan masa studi di Fakultas Teknik Mesin Universitas Malikussaleh. Saya mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua saya Bapak Drs. Akhirman dan Ibu Dahlia, S.Pd atas dukungan, kasih sayang, didikan, dan doa yang tak satupun bisa saya balas didunia ini. Semoga ALLAH SWT yang memberikan tempat di surga-Nya sebagai balasan. Pada kesempatan ini dengan tulus dan kerendahan hati, saya juga menyampaikan rasa terimakasih dan hormat yang sebesar- besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Herman Fithra, S.T., M.T., IPM., ASEAN., Eng selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Asnawi, S.T., M,Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Malikussaleh.
4. Bapak Abdul Rahman, S.T., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan sekaligus Dosen Pembimbing Pendamping saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Nurul Islami, S.T., M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

6. Bapak Alchalil, S.T., M.T, selaku Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan sekaligus Dosen Penguji Utama saya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Muahammad Sayuthi, S.T., Selaku Dosen Pembimbing Akademik
8. Bapak Aljufri S.T., M.T., IPM Selaku Dosen Pembimbing Utama dalam penyusunan Tugas Akhir
9. Bapak Reza Putra S.T., M.Eng., IPM selaku Dosen Penguji Pendamping Saya dalam penulisan Tugas Akhir.
10. Seluruh Dosen dan Staf Administrasi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
11. Abang Riki Rahman, S.T., M.Sc, Kakak Desrita Aryani, S.E, Kakak Nuning Yukasih S.Pd, dan adik saya Ahmad Solihuddin yang selalu senantiasa memberikan semangat arahan dan motivasi dalam mengerjakan skripsi sehingga saya bisa sampai di tahap ini.
12. Persembahan kecil saya untuk Anisya Salsadila Aiman, S.T yang selalu mendengarkan keluh kesah saya, memberikan semangat dan dukungan tak henti-hentinya untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Rendi Zulhijar dan Muhammad Suheri selaku rekan penelitian saya.
14. Seluruh teman-teman yang telah mendukung dan membantu dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwasanya Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar penulisan kedepannya lebih baik lagi. Besar harapan penulisan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Lhokseumawe, 29 Januari 2024

Penulis,

M. Taufik Anwar
190120128

ABSTRAK

Sejalan dengan ilmu pengetahuan dan teknologi, suatu hasil produksi permesinan harus diimbangi dengan peningkatan kualitas, salah satunya pada proses permesinan CNC *Turning*. Kekasaran permukaan di identifikasikan sebagai atribut kualitas dan metode *taguchi* diasumsikan secara langsung terkait dengan kinerja mekanis pemotongan, produktifitas dan biaya produksi. Untuk alasan ini telah banyak penelitian dan pengembangan dengan tujuan untuk mengetahui *setting* parameter yang dapat menghasilkan nilai kekasaran dan kekerasan yang optimal serta untuk mengetahui persen kontribusi dari variabel proses (parameter) CNC *Turning* dengan respon kekasaran permukaan. Variabel proses permesinan yang divariasikan dengan putaran spindel, kedalaman pemakanan, dan gerak makan. Metode yang digunakan adalah metode *taguchi*, dengan rancangan *matriks orthogonal* L_9 (3^3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa settingan parameter yang tepat dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang minimum menggunakan metode *taguchi* yaitu putaran spindel 350 rpm pada level 2, kedalaman pemakanan 0,5 mm pada level 1, dan gerak makan 0,04 mm/ putaran. Pada taraf signifikan 5% ($\alpha=0,05$), Putaran spindel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran $F_{hitung}=1,24 < F_{(0,05;2,2)} = 19,00$. Untuk kedalaman pemakanan memiliki nilai yang signifikan terhadap kekasaran menyatakan bahwa bahwa $F_{hitung} = 1,13 < F_{(0,05;2,2)} = 19,00$, untuk gerak makan menyatakan bahwa $F_{hitung} = 2,78 < F_{(0,05;2,2)} = 19,00$. Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa pengaruh kontribusi dari variabel-variabel proses mengurangi variabel terikat Ra adalah putaran spindel yaitu sebesar 5,1%, kedalaman pemakanan memiliki kontribusi sebesar 4,93%, dan gerak makan memiliki persen yaitu sebesar 35%. Untuk pengaruh kekerasan dari hasil proses perlakuan dengan proses pembubutan CNC *Turning* yang dilakukan mengalami penurunan kekerasan. Hasil yang diperoleh sebelum pembubutan didapatkan rata-rata kekerasan yakni sebesar 162 HBW. Setelah dilakukan pembubutan CNC *Turning* di dapatkan hasil kekerasan sebesar 140 HBW, dengan penurunan kekerasan setelah terjadi perlakuan proses pembubutan CNC *Turning* sebesar 21 HBW.

Kata kunci :kekasaran, kekerasan, metode *taguchi*, CNC *Turning*.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL TUGAS AKHIR (SKRIPSI)	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Permesinan	5
2.2 Mesin Bubut <i>CNC</i>	6
2.2.1 Bagian-bagian utama mesin <i>CNC Turning</i>	6
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin <i>CNC Turning</i> CK 6136	8
2.3 Pahat Bubut	9
2.3.1 Pahat Karbida	11
2.4 Karakteristik Baja AISI 1045	12
2.5 Poros	13
2.6 Kekasaran Permukaan	14
2.7 Variabel Proses	17

2.7.1	Putaran Spindel	17
2.7.2	Kedalaman Pemakanan	17
2.7.3	Gerak Makan	18
2.8	Kekerasan (Hardness)	19
2.9	Metode <i>Taguchi</i>	21
2.9.1	Matriks <i>Orthogonal</i>	21
2.9.2	<i>Signal to Noise Rasio (S/N Rasio)</i>	23
2.9.3	Analisa Dalam Metode <i>Taguchi</i>	24
2.9.4	Eksperimen Konfirmasi	28
2.9.5	Uji Normalitas	28
2.9.6	Uji Homogenitas	29
BAB III METODE PENELITIAN		30
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.1.1	Tempat Penelitian	30
3.1.2	Waktu Penelitian	30
3.2	Bahan dan Peralatan	31
3.2.1	Bahan	31
3.2.2	Peralatan	31
3.3	Variabel Penelitian	32
3.3.1	Variabel Bebas	32
3.3.2	Variabel Tetap	32
3.4	Prosedur Penelitian	33
3.4.1	Proses Pembubutan	33
3.4.2	Pengujian Kekerasan	34
3.4.3	Metode Eksperimen	35
3.4.4	Optimasi <i>S/N Ratio</i>	36
3.4.5	Eksperimen Konfirmasi	36
3.4.6	Analisa Variansi dan Persen Kontribusi	37
3.4.7	Melakukan Analisa Hasil Penelitian	37
3.4.8	Pembuatan Produk Poros Transmisi	37
3.4.9	Pengujian Kekerasan (Brinell)	38

3.4.10	<i>Flowchart</i> Prosedur Penelitian	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Pengambilan Data Hasil Eksperimen	41
4.1.1	Pengukuran Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Benda Kerja	41
4.1.2	Perhitungan Nilai Rata-rata Kekasaran permukaan	42
4.2	Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Rata-rata kekasaran	44
4.3	Analisis Variansi dan Persen Kontribusi	44
4.4	Hasil Prediksi Nilai Kekasaran Permukaan yang Optimal dan Interval Keyakinan	51
4.5	Perhitungan Rasio S/N dari Respon	52
4.5.1	Pengaruh Level Dari Faktor Terhadap Variansi Kekasaran	54
4.5.2	Analisis Variansi Rasio	56
4.5.3	Prediksi Rasio S/N kekasaran Permukaan Yang Optimal	62
4.6	Eksperimen Konfirmasi	66
4.6.1	Hasil Pengolahan Data Eksperimen Konfirmasi	66
4.7	Pengukuran Kekerasan Brinell Permukaan Benda Kerja	67
4.7.1	Perhitungan Nilai Kekerasan Brinell	70
4.7.2	Perbandingan Nilai Kekerasan Brinell Sebelum Dan Sesudah Pembubutan	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>CNC Turning</i> CK 6136	8
Gambar 2. 2 <i>Control Elements</i> Sinumerik 808D	9
Gambar 2. 3 Pahat bubut luar dan pahat bubut dalam	11
Gambar 2. 4 Pahat Karbida	12
Gambar 2. 5 Poros Transmisi	13
Gambar 2. 6 Penyimpangan Rata-rata Aritmatika	14
Gambar 2. 7 Parameter Dalam Profil Permukaan	15
Gambar 2. 8 Uji <i>Rockwell</i>	19
Gambar 2. 9 Uji <i>Vickers</i>	20
Gambar 2. 10 Uji <i>Brinell</i>	21
Gambar 3. 1 Material Benda Kerja	32
Gambar 3. 2 Spesimen Setelah Pembubutan	35
Gambar 3. 3 Poros Trasn misi	38
Gambar 3. 4 Alat Uji Kekerasan <i>Brinell</i>	39
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 4. 1 Plot Pengaruh Dari Faktor Terhadap Mean Rasio S/N	55
Gambar 4. 2 Gambar Spesimen Pengujian Kekerasan Brinell Sebelum Pembubutan	69
Gambar 4. 2 Gambar Spesimen Pengujian Kekerasan Brinell Setelah Pembubutan	70
Gambar 4. 4 Plot Pengaruh Dari Faktor Terhadap Means Rasio S/N	73
Gambar 4. 5 Perbandingan Nilai Kekerasan Brinell sebelum Dan Sesudah pembubutan	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Baja AISI 1045	13
Tabel 2. 2 Sifat Kimia Baja AISI 1045	13
Tabel 2. 3 Nilai Kekasaran dan Tingkat Kekerasan	16
Tabel 2. 4 Kemampuan Proses Permesinan Untuk Kekasaran Permukaan	18
Tabel 3. 1 Hubungan Rencana Kegiatan Terhadap waktu	31
Tabel 3. 2 Peralatan Kerja	32
Tabel 3. 3 Parameter Kendali dan Level untuk <i>Orthogonal array L9</i>	33
Tabel 3. 4 Total Derajat Kebebasan Parameter dan Level	35
Tabel 3. 5 <i>Orthogonal Array</i> untuk <i>Taguchi L9</i>	36
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Kekasaran	41
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Sebelum Dan Sesudah pembubutan	42
Tabel 4. 3 Data Hasil Eksperimen <i>Taguchi</i>	43
Tabel 4. 4 Respon Rata-rata Kekasaran Dari Pengaruh Faktor	44
Tabel 4. 5 Analisis Varians Rata-rata Kekasaran Permukaan	49
Tabel 4. 6 Persen Kontribusi Terhadap Rata-rata Kekasaran Permukaan	51
Tabel 4. 7 Perhitngan S/N Rasio	54
Tabel 4. 8 Respon Rasio S/N Kekasaran Permukaan Dari pengaruh faktor	55
Tabel 4. 9 Analisis Varians Rasio S/N Kekasaran Permukaan	60
Tabel 4. 10 Persen Kontribusi Terhadap Rata-rata Kekasaran Permukaan	62
Tabel 4. 11 Hasil Kekasaran ANNOVA	64
Tabel 4. 12 Kondisi Hipotesis Nol Respon Secara Serentak	65
Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Ra Optimum	66
Tabel 4. 14 Interpretasi Hasil Ukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja	67
Tabel 4. 15 Data Hasil Sebelum Pembubutan Pengujian Kekerasan Brinell	68
Tabel 4. 16 Data Hasil Setelah Pembubutan Pengujian Kekerasan Brinell	69
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Hardness</i> Brinell	71
Tabel 4. 18 Respon Rata-rata Kekerasan Dari Pengaruh Faktor	71
Tabel 4. 19 Analisa Varians Rasio S/N Kekerasan Permukaan	72
Tabel 4. 20 Hasil Kekerasan ANNOVA	73

DAFTAR NOTASI

V_c	= Kecepatan Potong (m/min)
π	= Konstanta (senilai 3,14)
d	= Diameter Benda kerja (mm)
n	= Kecepatan Putar (Rpm)
a	= Kedalaman Pemakanan (mm)
d_0	= Diameter Awal (mm)
d_m	= Diameter Akhir (mm)
v	= Kecepatan gerak makan (mm/min)
f	= Gerak makan (mm/putaran)
n	= Putaran Benda kerja (rad/min)
P	= Beban yang diberikan (KP atau Kgf)
D	= Diameter indentor yang digunakan
d	= Diameter bekas lekukan
Y_i	= Nilai kekasaran permukaan benda kerja
n	= Jumlah replikasi (pengulangan)
KA	= Jumlah <i>level</i> faktor A
A_i	= <i>Level</i> ke i faktor A
N_{ai}	= Jumlah percobaan <i>level</i> ke i faktor A
T	= Jumlah seluruh nilai data
N	= Banyaknya data keseluruhan.
A_1	= Jumlah nilai data faktor A
A_2	= Jumlah nilai data faktor A <i>level</i> 2
A_3	= Jumlah nilai data faktor A <i>level</i> 3
n_{A1}	= Banyak data pada faktor A <i>level</i> 1
n_{A2}	= Banyak data pada faktor A <i>level</i> 2
n_{A3}	= Banyak data pada faktor A <i>level</i> 3
T	= Jumlah seluruh nilai data
N	= Banyak data keseluruhan
V_a	= Derajat kebebasan faktor A

V_t	= Total semua <i>level</i> – 1.
V_e	= Derajat kebebasan <i>error</i> .
SS'_A	= Jumlah kuadrat dari variabel yang dihitung persen kontribusinya.
SS_T	= Jumlah kuadrat total
V_A	= Derajat kebebasan dari variabel yang dihitung persen kontribusinya
n_m	= Jumlah Rata-rata
\bar{n}	= Hasil Rata-rata minimum
N_{eff}	= Banyaknya pengamatan
F_α	= f tabel
V_E	= Variabel <i>error</i>
MS_E	= Rata-rata kuadrat dari variabel <i>error</i>
μ_{prediksi}	= Dugaan rata-rata pada kombinasi optimum

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Surat Penunjuk Pembimbing Tugas Akhir
- Lampiran 2 Lembar konsultasi Pembimbing
- Lampiran 3 Proses Melakukan Pembubutan
- Lampiran 4 Pengambilan Data Kekasaran Dan kekerasan
- Lampiran 5 Hasil Proses pembubutan *CNC Turning*
- Lampiran 6 Analisa Variansi Rata-rata dan Persen Kontribusi menggunakan *Software minitab 19*
- Lampiran 7 Analisa Variansi S/N Ratio dan Persen Kontribusi menggunakan *Software minitab 19*
- Lampiran 9 Hasil Pengujian Kekerasan sebelum pembubutan
- Lampiran 10 Hasil Pengujian Kekerasan sesudah pembubutan
- Lampiran 11 Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan
- Lampiran 12 Bukti Submit Jurnal
- Lampiran 13 *Toefl*
- Lampiran 14 *Curriculum Vitae*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan proses permesinan dalam industri manufaktur menyediakan mesin-mesin untuk proses produksi baik yang bekerja secara manual maupun secara *CNC (Computer Numerical Control)*. Karena suatu tuntutan yang harus dipenuhi dalam industri manufaktur seperti dimensi dengan toleransi yang sangat kritis, maka mesin *CNC* banyak dipilih oleh perusahaan karena mempunyai kelebihan dari pada mesin manual/konvensional yaitu lebih teliti dan lebih cepat dalam proses permesinan baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

Proses permesinan sendiri tentu dituntut untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan memiliki karakteristik geometri yang baik serta waktu produksi yang kecil. Dalam proses permesinan suatu produk dapat menyebabkan penyimpangan dalam geometri yang telah dirancang (Pane dan Sudiyanto, 2021). Tinggi rendahnya tingkat kekasaran permukaan dari sebuah proses permesinan yang dipilih akan berpengaruh terhadap timbulnya konsentrasi tegangan. Apabila dikenai pembebanan yang tinggi akan memicu terjadinya keretakan. Pada pembuatan suatu produk yang permukaannya kasar akan lebih cepat mengalami kegagalan atau kerusakan dibandingkan permukaan yang halus (Mujiono, 2016).

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi, produk yang dihasilkan dari proses permesinan harus diimbangi dengan peningkatan kualitas, salah satunya kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan ini juga penting untuk menghindari korosi, dimana material yang mengalami korosi biasanya memiliki *surface roughness* atau kekasaran permukaan yang tinggi. Kekasaran permukaan juga diidentifikasi sebagai atribut kualitas dan diasumsikan secara langsung terkait dengan kinerja mekanis pemotongan, produktivitas, dan biaya produksi. Untuk alasan ini telah banyak penelitian dan pengembangan

dengan tujuan mengoptimalkan kondisi pemotongan, untuk mendapatkan kemampuan mesin yang diinginkan (Veera dan Vinoth, 2019).

Pemilihan material sangat penting sebagai penentu kualitas suatu produk. Baja AISI 1045 sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri ataupun dalam kehidupan masyarakat. Baja AISI 1045 merupakan material logam yang dikelompokkan sebagai baja karbon sedang. Beberapa contoh benda dari bahan baja AISI 1045 yang memerlukan kekasaran permukaan seperti transmisi, poros, *conecticting rod* dan *crankshaft* yang digunakan pada mesin atau alat berat untuk memastikan kinerja yang optimal.

Pada penelitian yang sama yang dilakukan pada material baja SKD-11 dengan variabel kekasaran permukaan dengan proses *CNC Turning*. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi faktor atau parameter proses pada proses bubut SKD-11 yang dapat menghasilkan respon yang paling optimal adalah putaran *spindel* sebesar 640 rpm, kedalaman pemakanan sebesar 1 mm, dan gerak makan 0,05 mm/put. Dengan persen kontribusi putaran *spindel* sebesar 81,55%, kedalaman pemakanan memiliki kontribusi terbesar yaitu sebesar 0,47%, dan gerak makan sebesar 1,97%. (Supriyandi dkk, 2021). Pada penelitian yang dilakukan pada material S45-C optimasi parameter pada respon kekasaran dan kekerasan permukaan dengan menggunakan metode *taguchi*. Hasil penelitian dan analisis serta hasil percobaan konfirmasi yang telah dilakukan putaran *spindel* yaitu 605 Rpm *feeding* yaitu 0,031 mm/menit, kedalaman pemakanan yaitu 0,125 mm (Yasa dan Hartutuk, 2016).

Kualitas produk merupakan hal yang tidak dapat diabaikan, sehingga diperlukan desain eksperimen yang tepat. Salah satu metode desain eksperimen yaitu metode *taguchi*. Metode *Taguchi* digunakan untuk menganalisa faktor mana saja yang memiliki pengaruh paling besar serta kondisi optimal parameter permesinan mana yang menghasilkan kekasaran dan kekerasan permukaan yang paling baik. Salah satu kelebihan metode *taguchi* ialah desain eksperimen *taguchi* lebih efisien karena memungkinkan untuk melakukan penelitian yang melibatkan banya faktor dan jumlah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi terhadap kondisi yang optimal kekasaran dan kekerasan permukaan baja AISI 1045. Maka variasi yang optimal akan dilakukan pembuatan produk jadi berupa poros menggunakan proses permesinan CNC Turning CK 6136.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan beberapa permasalahan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh putaran *spindle* (n), kedalaman pemakanan (a), dan gerak makan (f) terhadap tingkat kekasaran permukaan benda uji hasil permesinan *CNC Turning* pada baja AISI 1045 dengan menggunakan metode Taguchi?
2. Apakah terdapat pengaruh kekerasan permukaan setelah dilakukan proses pembubutan dengan parameter proses putaran *spindle* (n), kedalaman pemakanan (a), dan gerak makan (f)?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi lingkup penulisan yang lebih terperinci, maka penulis hanya membatasi pembahasan berikut:

1. Material yang digunakan yaitu Baja AISI 1045.
2. Proses pembubutan menggunakan mesin CNC Turning CK 6136.
3. Jenis pahat yang digunakan adalah pahat *carbide*.
4. Metode yang digunakan dalam optimasi kekasaran permukaan menggunakan metode Taguchi desain *Orthogonal Array L9(3³)*.
5. Hanya mengoptimasi kekerasan permukaan dengan menggunakan tiga parameter pada proses CNC bubut dengan material baja AISI 1045.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dengan ini tujuan penelitiannya sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui parameter yang memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekasaran permukaan hasil proses permesinan *CNC Turning*.
2. Untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaan sebelum dan sesudah pembubutan dilakukan pada material Baja AISI 1045.
3. Untuk mengetahui *setting* parameter parameter nilai kekasaran permukaan yang optimal pada baja AISI 1045 proses permesinan *CNC Turning* dengan menggunakan metode Taguchi desain *Orthogonal Array* L9(3³).

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dengan penelitian ini dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu:

1. Berdasarkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.
2. Dapat digunakan sebagai masukan dan data base tentang *setting* parameter proses pada bubut *CNC* untuk mengoptimasi kekasaran dan kekerasan permukaan pada baja AISI 1045.
3. Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan tentang optimasi kekasaran permukaan kerja Baja AISI 1045.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses permesinan

Proses permesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam di bagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu: proses pemotongan dengan mesin pres, proses pemotongan konvensional dengan perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (shering), pengepresan (pressing), dan penarikan (drawing elongating). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (turning), proses freis (milling), sekrap (shaping), proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses permesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja.

Proses permesinan dilakukan dengan cara memotong bagian benda kerja yang tidak digunakan dengan menggunakan pahat (cutting tool), sehingga terbentuk permukaan benda kerja menjadi komponen yang dikehendaki. Pahat yang digunakan dipasang pada satu jenis mesin perkakas dengan gerakan relatif tertentu (berputar atau bergeser) disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat. Pahat yang digunakan dapat diklasifikasikan sebagai pahat bermata potong (multiple point cutting tool). Pahat dapat melakukan gerakan potong (cutting) dan gerak makan (feeding). Proses permesinan dapat diklasifikasikan dalam benda kerja silindris atau konis dengan benda kerja atau pahat berputar, dan proses permesinan untuk membentuk benda kerja permukaan tanpa memutar benda kerja.

(Junaedi dan Suhartini, 2022) proses permesinan adalah proses pembentukan geram (chips) akibat perkakas (tools) yang dipasangkan pada mesin perkakas, bergerak relatif terhadap benda kerja (work piece) yang dicekam pada daerah kerja mesin perkakas. Proses permesinan termasuk dalam klasifikasi proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk dari logam dengan cara memotong, mengupas, atau memisah.

2.2 Mesin Bubut CNC

Dalam industrial manufaktur, proses produksi dilakukan dengan sangat cepat. Penggunaan mesin *CNC* sangat disarankan karena hasil proses yang dilakukan sangat baik dibandingkan dengan cara konvensional. Mesin *CNC* banyak dipakai di industri manufaktur diantaranya industri otomotif dan industri kedirgantaraan. Mesin *CNC* digunakan untuk membuat komponen-komponen otomotif, poros, cetakan blok mesin, cetakan ruang bakar, dan pekerjaan permesinana yang sifatnya meratakan permukaan, membuat lubang, ulir, dan tap ulir. (Permana dan Yayat, 2019).

Mesin bubut *CNC* adalah mesin dimana benda kerja atau *part* di cekam dan diputar oleh *spindle* (poros pemutar) utama, sementara alat potong yang digunakan, dipasang dan bergerak dalam berbagai sumbu (*axis*) dioperasikan dengan sistem *Computer Numerical Control* (*CNC*). Dan dilengkapi dengan intruksi desain yang presisi. Mesin bubut *CNC* terdiri bagian mesin perkakas dan bagian kontrol *CNC*. Mesin perkakas terdiri dari bagian pahat dan pencekamnya, meja mesin bubut, dan bagian pemegang/pencekam benda kerja. Seperti pada mesin produksi lainnya, saat melakukan proses pembubutan dengan mesin *CNC*, seorang operator mesin perlu menentukan dan memilih parameter permesinan yang perlu ditentukan oleh seorang operator mesin bubut *CNC* yaitu kedalaman potong (*depth of cut*), kecepatan makan (*feed rate*), dan putaran spindle (*spindle speed*). (Permana dan Yayat, 2019).

Mesin bubut *CNC* umumnya digunakan dalam proses pembuatan berbagai komoditas, dimana benda kerja dijepit dan diputar, dan alat pemotong ditempatkan untuk operasi *OD* (*diameter luar*) dan *ID* (*diameter dalam*) seperti: poros dan pipa. Mesin bubut *CNC* ini memiliki bentuk simetris/melingkar dan cocok untuk bagian yang memiliki poros (*poros putar*) yang dapat menangkap (memperbaiki dengan lingkaran) poros. Mesin bubut dengan opsi tambahan seperti sumbu *Y*, spindle tambahan, atau opsi tambahan khusus untuk otomatisasi biasanya disebut sebagai "*Turning Centre*".

2.2.1 Bagian-bagian Utama Mesin CNC Turning

Mesin *CNC turning* memiliki bagian-bagian terpenting dari mesin tersebut. Terdapat 2 bagian terpenting yaitu: Bagian Mekanik, dan Bagian Pengendali.

1. Bagian Mekanik Mesin *CNC Turning*.

a. Motor Utama

Motor utama adalah motor penggerak putaran *spindle* dan berfungsi memutar benda kerja. Motor utama berperan dalam mengatur putaran dan menjadi variabel yang penting dalam proses pembubutan.

b. *Step Motor*

Step Motor berfungsi menggerakkan eretan kearah sumbu X dan sumbu Z. Pada arah sumbu X bertujuan untuk melakukan pemotongan benda kerja sedangkan pada arah sumbu Z bertujuan untuk penyayatan benda kerja. Ketelitian dari step motor pada tiap mesin *CNC* rata-rata adalah 0.01 mm dan dengan maksimal kecepatan bervariasi tergantung dari jenis mesin yang disesuaikan dengan kebutuhan. Pada dasarnya tiap-tiap mesin mempunyai spesifikasi ketelitian dan kecepatan yang bervariasi tergantung kebutuhan.

c. *Head Stock*

Head stock pada mesin bubut *CNC* memiliki motor penggerak mesin yang menggerakkan spindle utama. *Head stock* atau kepala tetap adalah bagian yang berputar yang mencekam benda kerja dan memutarnya.

d. Eretan (Support)

Eretan digunakan untuk dudukan rumah pahat dan menentukan arah gerakan penyayatan. Arah gerakan penyayatan gerakan dapat sejajar, tegak lurus atau miring terhadap sumbu utama. Eretan berfungsi untuk menahan benda kerja agar tetap pada posisi *center* dan tetap pada poros putar utama untuk benda kerja yang mempunyai dimensi yang panjang.

e. *Revolver*

Revolver adalah bagian yang berfungsi sebagai rumah alat potong. *Revolver* berputar dan mendapatkan alat potong sesuai program. Dengan *revolver*, maka alat potong yang sedang tidak terpakai dalam posisi aman dan selalu siap digunakan ketika program dipakai adalah multi *tool*.

f. *Bed* Mesin

Bed mesin adalah sebagai tempat bertumpunya bagian-bagian mesin, sebagai penyangga beban dan sebagai alas.

2. Bagian Pengendali/ Panel Kontrol

Panel kontrol pada mesin *CNC Turning* pada dasarnya setiap mesin *CNC* memiliki kontrol panel yang prinsip kerjanya sama. Hanya saja biasanya terdapat perbedaan pada pengaturan tata letak, simbol, ataupun istilah yang dipakai. Operator *CNC* akan mengontrol seluruh mesin melalui tombol pada panel kontrol untuk mengatur dan menghentikan sumbu perpindahan mesin dengan menekan tombol yang terdapat pada panel kontrol (Turning, 2020).

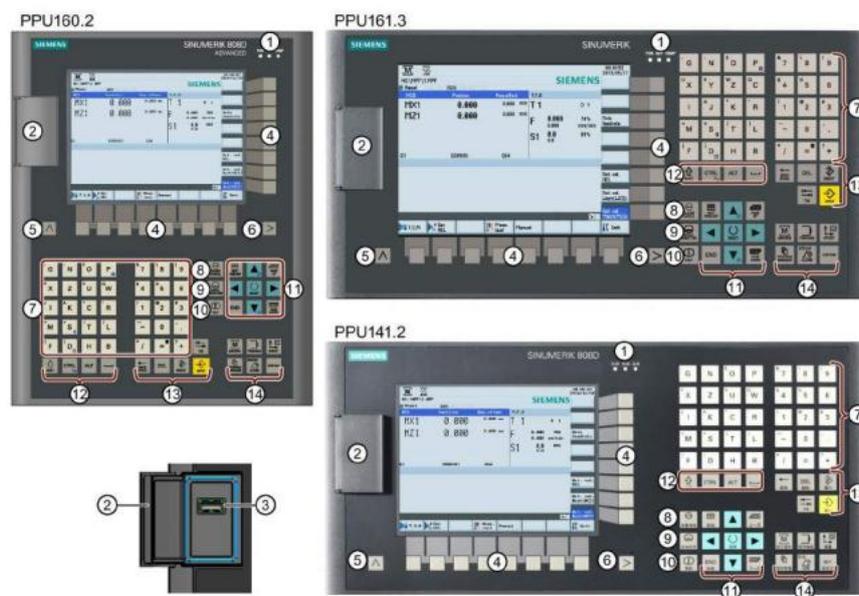
2.1.2 Prinsip Kerja Mesin *CNC Turning* CK 6136.

Mesin *CNC Turning* CK 6136 diperlihatkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Mesin *CNC Turning* CK 6136

Mesin *CNC Turning* CK 6136 adalah mesin bubut *CNC 2-axis* yang dikhususkan untuk pengerjaan benda kerja kecil sampai menengah. Prinsip gerakan dasar sama seperti mesin bubut konvensional yaitu gerakan arah melintang dan arah memanjang dengan sistem koordinat sumbu X dan Z. Prinsip kerja mesin juga sama dengan mesin bubut konvensional yaitu benda kerja berputar pada pencekam sedangkan alat potong diam dan penyayatan benda kerja oleh alat potong dengan *feeding* tertentu. Kontrolnya saat ini menggunakan “*siemens sinumerik 808D*”. Gambar 2.2 menunjukkan kontrol yang digunakan pada mesin *CNC Turning* CK 6136 menggunakan siemens sinumerik 808D.



Gambar 2.2 *Control Elements Sinumerik 808D*

- | | |
|---|---|
| <p>① Status indicators</p> <p>② Protective cover for USB interface</p> <p>③ USB Interface</p> <p>④ Horizontal and vertical keys
Call the corresponding vertical/horizontal softkeys on the screen</p> <p>⑤ Return key
Returns to the next higher-level menu</p> <p>⑥ Menu extension key
Calls the extended menu items</p> <p>⑦ Alphabetic and numeric keys</p> | <p>⑧ Alarm cancellation key
Cancels alarms and messages that are marked with the symbol on this key</p> <p>⑨ Wizard key
Guides you through performing basic commissioning and operation tasks</p> <p>⑩ Help key
Calls help information</p> <p>⑪ Cursor keys</p> <p>⑫ Modifier keys for use in key combinations</p> <p>⑬ Edit control keys</p> <p>⑭ Operating area keys</p> |
|---|---|

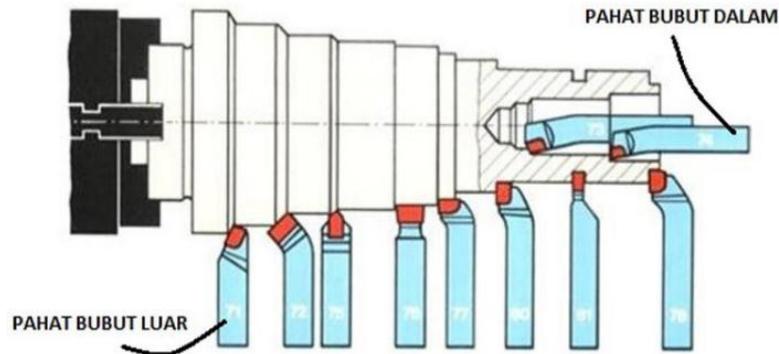
2.3 Pahat Bubut

Pahat adalah suatu alat yang terpasang pada mesin perkakas yang berfungsi untuk memotong benda kerja atau membentuk benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Pada proses kerjanya pahat digunakan untuk memotong material yang keras sehingga material dari pahat haruslah lebih keras dari material yang akan dibubut (Suhartono, 2016).

Pahat merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan yang dapat mempengaruhi efisiensi proses produksi karena pahat memiliki umur. Dipasaran terdapat pahat dengan merek sama akan tetapi harganya berbeda. Jenis pahat potong Karbida dan HSS merupakan salah satu pahat potong yang sering dipakai, tetapi masih ada pahat potong lainnya yang bisa digunakan sesuai dengan sifat dari keuletannya dan nilai ekonomis yang tinggi. Berikut ini adalah material pahat secara berurutan dari yang paling lunak tetapi ulet sampai dengan yang paling keras tetapi getas, yaitu (Supriyanto, 2017).

- a. Baja Karbon Tinggi
- b. HSS (High Speed Steels)
- c. Paduan Cor Nonferro
- d. Karbida
- e. CBN (Cubic Barron Nitride)

Untuk umur pahat yang diketahui dari browsur atau katalog yang dikeluarkan oleh produsen/penjual pahat, tetapi katalog ini tidak menginformasikan dengan jelas dan lengkap tentang pemakaian untuk pemotongan benda kerja apa. Umur pahat juga diketahui dari hasil pengujian permesinan (secara empiris) untuk pasangan material benda kerja dan pahat tertentu. Jenis material benda kerja yang berbeda akan memberikan umur pahat yang berbeda juga. Dalam aplikasinya pahat yang digunakan untuk memotong berbagai macam benda kerja. Jadi untuk setiap pahat dan setiap material benda kerja harus mempunyai data umur dan kondisi pemotongan tertentu dalam setiap perencanaan proses permesinan. Berikut ini pahat bubut sesuai dengan kegunaannya pada Gambar 2.3 (Hendri dan Richard, 2007).



Gambar 2.3 Pahat bubut luar dan pahat bubut dalam

2.3.1 Pahat Karbida

Pahat karbida adalah jenis pahat yang disemen dengan bahan padat dan dibuat dengan cara sintering serbuk karbida. Kandungan dari pahat karbida yaitu nitrida dan oksida dengan bahan pengikat umumnya dari kobalt (Co). Hot hardness karbida yang disemen akan menurun jika hanya terjadi pelunakan pada elemen pengikat. Semakin besar tingkat persentase pengikat (Co) maka yang terjadi kekerasannya akan menurun. Namun, sebaliknya keuletannya akan meningkat. Pahat karbida memiliki 3 jenis sisipan, antara lain.

1. Karbida *tungsten* paduan WC + Co (WC-TiC-Ta-NiC) digunakan dalam keperluan permesinan baja
2. Karbida *Tungsten* (WC+Co) adalah jenis pahat karbida yang digunakan sebagai alat memotong besi tuang (cast iron cutting grade) atau dalam permesinan besi cor dan logam nin ferro.
3. Karbida lapis (coated cemented carbide) adalah pahat karbida *tungsten* yang dilapisi dengan beberapa lapis karbida, nitrida oksida (TiC +Ni + Mo) digunakan dalam permesinan logam kekuatan suhu tinggi.

Pahat karbida mempunyai sifat-sifat mekanik seperti kekerasan yang tinggi pada berbagai tingkatan suhu, konduktivitas termal yang tinggi serta modulus yang juga tinggi dan ketahanan aus yang baik, sehingga alat potong yang terbuat dari karbida sementasi (cemented carbide) atau sering disebut sebagai karbida saja dibuat dengan metode metalurgi serbuk. Proses pembuatan karbida

dilaksanakan dengan proses sintering atau *hot pressing* (HPP), dimana partikel-partikel karbida halus digabungkan dengan menggunakan suatu pengikat (binder).

Karbida yang pertama dikembangkan adalah tunsten karbida, dimana dalam pembuatannya serbuk tunsten karbida diikat oleh suatu pengikat logam yang umumnya menggunakan *kobalt* sebagai pengikat. Selama proses ini pengikat (kobalt) memasuki tahap mencair sedangkan serbuk karbida akan tetap dalam wujud padat karena memiliki titik lebur yang tinggi. Hasilnya, pengikat akan menyemen atau menyatukan massa butiran karbida dan membentuk komposit matriks logam. Berikut ini Gambar 2.4 merupakan gambar pahat potong karbida



Gambar 2. 4 Pahat Karbida

2.4 Karakteristik Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon pada besi sebesar 0,6% - 0,7% dengan titik lebur 2900°C, dengan berat jenis 7,85 g/cm³, kekuatan tarik hingga 600 kg/mm² (Syahrillah dkk, 2016).

Sedangkan sifat mekanik dari baja AISI 1045 ini memiliki sifat sulit dibengkokkan, dilas, maupun dipotong. Baja ST 60 disebut juga baja keras, banyak sekali digunakan untuk perakitan mesin, roda gigi, pembuatan tanki, perkapalan, jembatan, dan dalam permesinan

Baja AISI 1045 sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena memiliki kekuatan yang cukup tinggi dan tahan terhadap keausan. Beberapa contoh benda dari bahan baja AISI 1045 yang memerlukan kekasaran seperti transmisi, poros, *connecting rod* dan *crankshaft* yang digunakan pada mesin atau alat berat memerlukan kekasaran permukaan yang tinggi untuk memastikan kinerja yang optimal.

Baja AISI 1045 juga memiliki sifat mekaniknya seperti *Hardness*, *Brinell*, *Tensile Strength*, modulus elastisitas, dan lain sebagainya. Sifat mekanik dari material baja AISI 1045 sendiri dapat diperhatikan pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Baja AISI 1045

Mechanical Properties	Result
Hardness, Brinell	163
Hardness, Knoop (Converted from brinell hardness)	184
Hardness, Rockwell B (converted from brinell hardness)	84
Hardness, Vickers (converted from brinell hardness)	170
Tensile Strength	720 N/mm ²
moment of inertia	2,03 x 10 ⁻⁹ mm ⁴
shear test	557,4 MPa
Modulus of Elasticity	14,48 MPa
shear strain	14,48 MPa
Shear Modulus (Typical for steel)	80 GPa

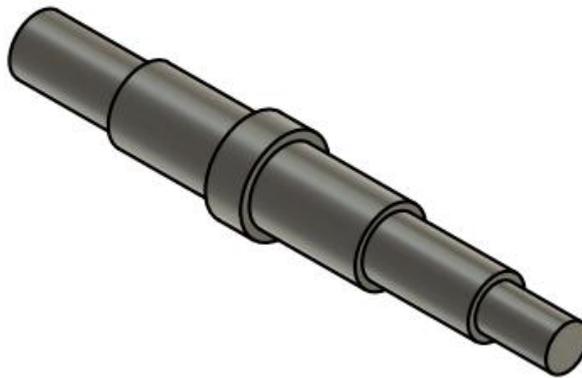
Sifat kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Sifat Kimia Baja AISI 1045

material	Komposisi								
	C%	Si %	S%	P%	Mn%	Ni%	Cr%	Mo%	Cu%
Baja ST 60	0,47	0,27	0,0034	0,0014	0,71	0,0089	0,0291	0,0022	0,0313

2.5 Poros

Poros atau yang biasa disebut *shaft* merupakan bagian dari mesin yang berputar. Penampang dari sebuah poros biasanya adalah bulat. Biasanya poros juga terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, *flywheel*, engkol dan *sprocket* yang berfungsi untuk memindahkan putaran poros tersebut. Poros juga ada beberapa macam jenis seperti poros *transmisi*, poros *spindle*, poros lurus dan poros engkol. Beberapa poros engkol memiliki berbagai fungsi-fungsinya masing-masing.



Gambar 2.5 Poros Transmisi

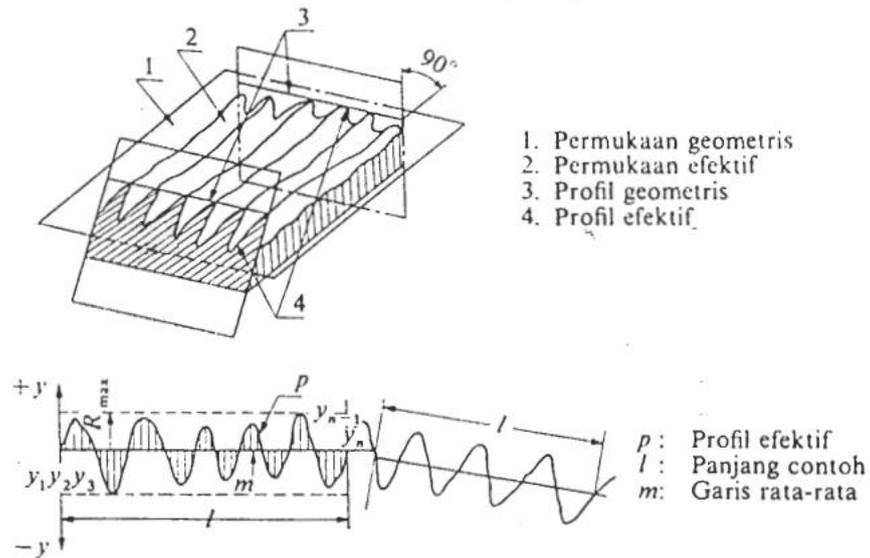
Gambar 2.5 merupakan poros transmisi yang akan dibuat setelah didapatkan kekasaran yang optimal setelah dilakukan 9 kali percobaan menggunakan mesin bubut CNC Bubut CK 6136.

2.6 Kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan produk yang dihasilkan dari proses permesinan (salah satunya adalah proses pembubutan) merupakan salah satu karakteristik kualitas utama dalam pembuatan dan desain bagian mesin (Rochim, 2001). Kekasaran permukaan adalah deviasi rata-rata aritmatika dari garis tengah profil. Aritmatika (Ra) adalah jumlah rata-rata puncak tertinggi dan terendah dari setiap gelombang yang diukur pada panjang tertentu.

(Juhana, 2000) Mendefenisikan deviasi rata-rata aritmatika (Ra) sebagai rerata koordinat profil efektif garis tengah. Profil efektif adalah kontur dari luas

permukaan efektif yang memotong bidang yang secara tradisional ditentukan untuk permukaan geometris yang ideal. Representasi yang lebih jelas dari luas geometrik, luas efektif, profil geometrik, dan profil efektif di tunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penyimpangan Rata-rata Aritmatika

(Juhana, 2000)

Kekasaran permukaan yang paling umum adalah kekasaran permukaan rata-rata aritmatika. (Saputro, 2010), mendefenisikan kekasaran permukaan mean aritmatika ini sebagai mean aritmatika dari nilai absolut jarak antara profil yang diukur dan profil rata-rata. Rata-rata aritmatika kekasaran permukaan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum y \text{ (}\mu\text{m)} \quad (2.1)$$

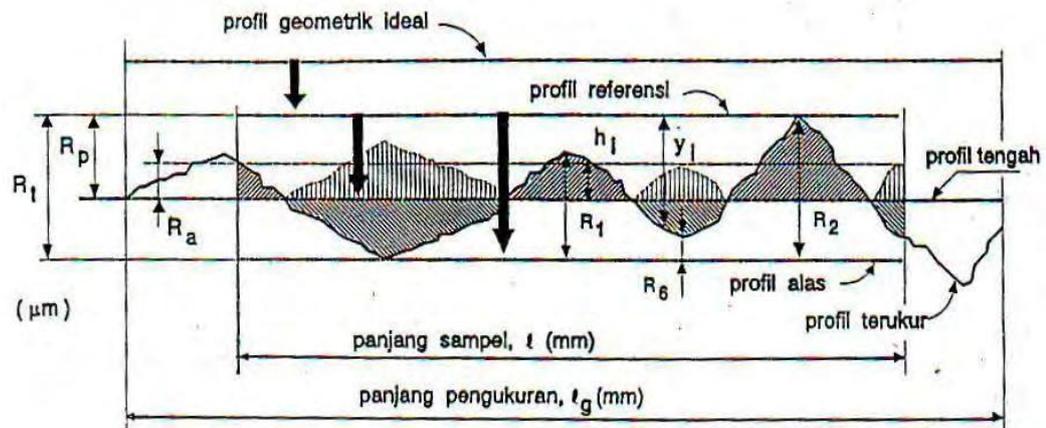
Keterangan :

Ra = kekasaran permukaan Rata-rata; (μm)

y = Jarak Profil Referensi ke Profil Terukur

n = jumlah sampel.

Gambar 2.7 menunjukkan posisi Ra dan parameter kekasaran lainnya seperti bentuk profil yang dibaca dari pengukur kekasaran permukaan, panjang benda uji, dan panjang pengukur.



Gambar 2.7 Parameter Dalam Profil Permukaan.

ISO (Organisasi Internasional untuk Standardisasi) 3012 telah membagi Kekasaran Mean Aritmatika (R_a) menjadi 12 tingkat kekasaran. Angka kekasaran permukaan ini dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan kesalahan dalam menginterpretasikan harga satuan kekasaran permukaan. Ini memungkinkan Anda untuk menentukan nilai R_a atau menggunakan nilai kekasaran ISO untuk menulis kekasaran permukaan secara langsung dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Nilai Kekasaran dan Tingkat kekasaran (Saputro, 2010).

Kekasaran, R_a (μm)	Tingkat kekasaran	Panjang sampel (mm)	Keterangan
50	N12	8	Sangat kasar
25	N11		
12,5	N10	2,5	Kasar
6,3	N9		
3,2	N8	0,8	Normal
1,6	N7		
0,8	N6		
0,4	N5		
0,2	N4	0,25	Halus
0,1	N3		
0,05	N2		
0,025	N1	0,08	Sangat halus

(Saputro, 2010) Parameter Ra lebih sensitif terhadap penyimpangan yang terjadi dalam proses pemesinan dibandingkan dengan parameter kekasaran permukaan lainnya, sehingga cocok untuk memeriksa kualitas permukaan akhir benda kerja yang diproduksi secara massal, Namun jika identifikasi permukaan digunakan untuk menerangkan ketidakraturan konfigurasi permukaan yang bersangkutan, parameter Ra sebenarnya tidak mempunyai dasar yang kuat untuk mengidentifikasi hal tersebut. Hal ini dikarenakan pada beberapa profil permukaan dapat memiliki nilai Ra yang hampir sama. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah sebagai berikut:

1. Parameter permesinan, yaitu kecepatan potong dan gerak makan.
2. Bentuk pahat, yaitu radius pojok dan sudut geram.
3. Sifat material benda kerja dan bahan pahat.
4. Peralatan bantu dan cairan pendingin yang di gunakan.
5. Jenis dan kualitas dari mesin yang digunakan.
6. Getaran antara alat potong pahat, benda kerja dan mesin.

(Rochim, 1993), menyatakan bahwa parameter Ra cocok untuk mengontrol kualitas permukaan akhir part yang diproduksi dalam jumlah banyak, karena Ra lebih sensitif terhadap ketidakraturan proses permesinan jika dibandingkan dengan parameter kekasaran permukaan lainnya. Namun, jika identifikasi permukaan digunakan untuk menjelaskan ketidakraturan konfigurasi permukaan yang bersangkutan, parameter Ra sebenarnya tidak memiliki dasar yang kuat untuk identifikasinya.

Menurut (Seprianto dan Rizal, 2009) berbagai nilai contoh kekasaran yang dapat dicapai oleh beberapa cara pengerjaan pada proses permesinan yang di standarkan di tampilkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Kemampuan Proses Permesinan Untuk Kekasaran Permukaan.

operation	Kekasaran Permukaan (Mikron)										
	25	12,5	6,25	3,2	1,6	0,8	0,4	0,20	0,10	0,05	0,025
Gergaji Pemotongan Las	■	■									
Gerinda Tangan	■	■	■	■							
Pengikiran, Amplas			■	■	■	■					
Bubut, Shapping, Freis			■	■	■	■					
Pengeboran			■	■	■	■					
Surface grinding			■	■	■	■					
Cylindrical grinding					■	■	■	■	■		
Horning, laping						■	■	■	■		
Polishing							■	■	■	■	
Super finishing								■	■	■	■
Bulfring									■	■	■

2.7 Variabel proses

Parameter pemotongan pada proses pembubutan yang dimaksud dengan parameter pemotongan pada proses pebubutan merupakan informasi dasar-dasar perhitungan, rumus dan tabel-tabel yang mendasari teknologi proses pemotongan/penyayatan pada mesin bubut diantaranya parameter proses pembubutan dalam penelitian ini meliputi:

2.7.1 putaran *spindle*

putaran *spindle* sering dikaitkan dengan putaran pembubutan dalam benda kerja. Kecepatan putaran mesin bubut didefinisikan sebagai jumlah putaran permenit (RPM) dari *spindle*, sehingga mewakili kecepatan putaran. Untuk pembubutan, putaran *spindle* (kecepatang potong atau V_c), atau kecepatan benda kerja yang dilalui pahat, atau keliling benda kerja, sangat penting.

kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan atau pemotongan benda kerja. Harga kecepatan potong ditentukan oleh jenis alat potong dan jenis benda kerja yang dipotong:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/min} \quad (2.2)$$

keterangan :

v_c = Kecepatan Potong (m/min)

π = Konstanta, senilai 3,14

d = Diameter Benda kerja (mm)

n = Kecepatan Putar (Rpm)

2.7.2 Kedalaman Pemakanan

Kedalaman pemakanan adalah perbedaan rata-rata antara diameter benda kerja sebelum berputar dan diameter benda kerja setelah diputar. Kedalaman pemakanan dapat disesuaikan dengan menggeser peluncur silang melalui roda pemintal (skala dial menunjukkan perbedaan nilai diameter). Kedalaman pemakanan dapat diartikan sebagai kedalaman pahat yang menembus benda kerja selama pemotongan atau ketebalan sisipan mesin bubut (Supriyandi dkk, 2021)

Untuk menentukan kedalaman pemakanan dapat digunakan dengan menggunakan rumus berikut:

$$A = \frac{d_0 - d_m}{2} \quad (2.3)$$

Dimana : a = Kedalaman Pemakanan (mm)

d_0 = Diameter Awal (mm)

d_m = Diameter Akhir (mm)

2.7.3 Gerak Makan

Gerak makan adalah jarak yang ditempuh oleh pahat penyayat ketika langkah pemakanan berlangsung. Gerak makan (feeding) adalah jarak tempuh

perkakas (mm) setiap perputaran benda kerja. Menurut (Widarto, 2008) gerak makan (*feeding*) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali, sehingga satuan f adalah mm/putaran atau inchi/put. Lebih besar gerak makan lebih tebal pula bram/serpih yang dihasilkan. Gerak makan juga tergantung pada tipe pemakanan (*roughing/finishing*), jenis bahan yang dihasilkan dan pahat potong yang digunakan.

Kualitas permukaan potong tergantung pada kondisi pemotongan, misalnya kecepatan potong rendah dengan *feeding* dan *depth of cut* yang besar akan menghasilkan permukaan yang kasar (*roughing*), sebaliknya kecepatan potong tinggi dengan *feeding* dan *depth of cut* kecil menghasilkan permukaan yang halus. Berikut ini rumus untuk menghitung kecepatan makan menggunakan rumus dibawah ini:

$$V = f \cdot n \text{ (mm/min)} \quad (2.4)$$

Dimana: v = kecepatan gerak makan (mm/min)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran Benda kerja (rad/min)

2.8 Kekerasan (Hardness)

Hardness test merupakan uji *Destructive test* (Pengujian merusak) dimana pada pengujian ini dapat diketahui suatu nilai kekerasan pada sebuah material atau spesimen uji. Cara pengujian *hardness* ini dilakukan dengan metode *hardness vickers, rockwell* dan *brinell*. Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan kemudian ditekan dengan beban tertentu. Beban yang diterapkan pada waktu tertentu biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop, setelah beban dihilangkan. Permukaan harus relatif halus, rata, bersih dari debu atau kerak (Syahrillah dkk, 2016).

Metode *brinell* dan *vickers* memiliki prinsip dasar yang sama dalam menentukan angka kekerasannya, yaitu menitikberatkan pada perhitungan kekuatan bahan terhadap setiap daya luas penampang bidang yang menerima pembebanan tersebut. Sedangkan metode *rockwell* menitikberatkan pada

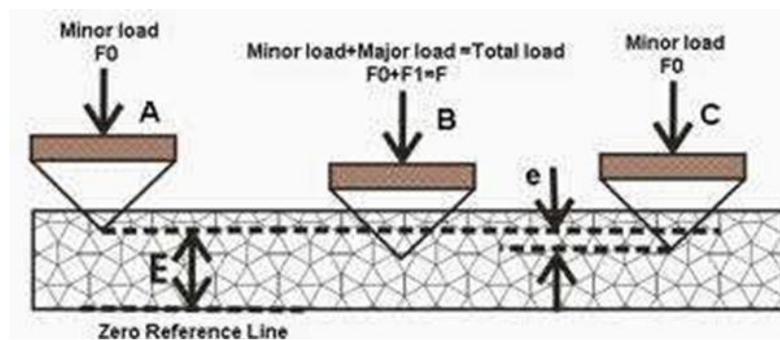
pengukuran kedalaman hasil penekanan atau penekan (indenter) yang membentuk bekasnya (indentasi) pada benda uji. Untuk penjelasannya sebagai berikut:

1. Metode pengujian *Rockwell*

Metode *Rockwell* terdapat dua macam indenter yang ukurannya bervariasi, yaitu:

- a. Kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut dengan *Rockwell cone*.
- b. Bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai *rockwell ball*.

Berikut ini gambar yang menunjukkan proses pengujian *Rockwell* dapat dilihat pada Gambar 2.8.

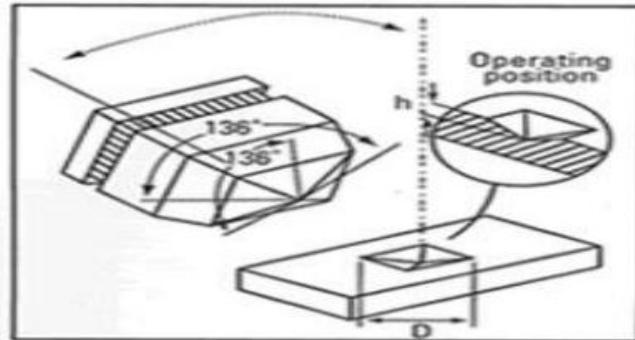


Gambar 2.8 Uji *Rockwell*

2. Metode pengujian *Vickers*.

Pada umumnya kekerasan diartikan sebagai ketahanan terhadap deformasi, sedangkan nilai kekerasan pada logam adalah ukuran ketahanan logam terhadap deformasi permanen atau plastis.

Indentation hardness adalah pengukuran didasarkan pada kedalaman atau lebar goresan yang dibuat oleh suatu indenter pada permukaan logam dengan beban tertentu. Pada saat teknik pengukuran dengan *indentasi* merupakan teknik pengukuran yang banyak dilakukan dan tidak merusak spesimen secara berlebihan. Adapun beberapa teknik pengukuran kekerasan dengan *indentasi* yang banyak dilakukan adalah pengujian *rockwell* sesuai yang ditetapkan oleh ASTM dan standar E-18, sedangkan kekerasan *Brinell* sesuai dengan keketatapan ASTM E-10, dan pengujian *Vickers* sesuai dengan ASTM Standar E-29 (Industri, 2018). Berikut ini gambar yang menunjukkan proses pengujian *Vickers* dapat dilihat pada Gambar 2.9.

Gambar 2. 9 Uji *Vickers*

3. Metode pengujian *Brinell*

Cara pengujian *Brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja krom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu oleh suatu gaya tekan secara statis dengan diameter tertentu oleh suatu gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji tanpa sentakan. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Diameter paling atas dari lekukan tersebut diukur secara teliti. Rumus yang dipakai untuk menentukan kekerasan logam uji:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.5)$$

Keterangan :

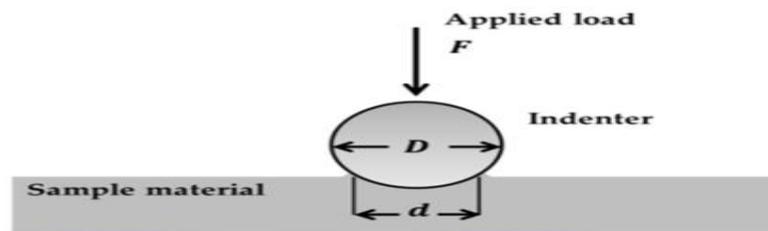
P = beban yang diberikan (KP atau Kgf)

D = diameter indenter yang digunakan

d = diameter bekas lekukan

kekerasan ini biasa yang disingkat dengan HB atau HBN (Brinell hardness Number). Semakin keras logam yang di uji, maka semakin tinggi nilai HB.

Berikut ini gambar yang menunjukkan proses pengujian *Brinell* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Uji *Brinell*

2.9 Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* adalah metode penelitian teknik baru yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas benda kerja dan proses sambil meminimalkan biaya dan sumber daya. Proses *Taguchi* berusaha untuk mencapai tujuan ini dengan membuat benda kerja dan proses tidak berpengaruh oleh berbagai variabel gangguan (*noise*), misalnya bahan material, peralatan manufaktur, tenaga kerja dan kondisi operasional. Metode *Taguchi* membuat benda kerja atau proses kuat terhadap variabel-variabel gangguan (*noise*) tersebut. Oleh karena itu, metode *Taguchi* juga disebut *robust design* (Soejanto, 2009)

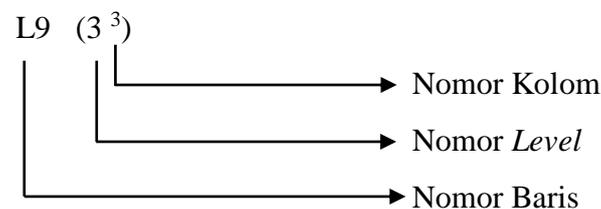
Metode *Taguchi* mempunyai beberapa kelebihan seperti:

1. Design eksperimen *taguchi* lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Design eksperimen *Taguchi* memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang dapat dikontrol (faktor gangguan).
3. Metode *Taguchi* menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor-faktor yang menghasilkan respon optimum.

2.9.1 Matriks *Orthogonal*

Matriks *Orthogonal* adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun berdasarkan baris dan kolom. Kolom mempersentasikan faktor dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya. Baris merupakan kombinasi dari faktor dalam percobaan. Matriks disebut *orthogonal* karena setiap level dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam percobaan (Soejanto, 2009).

Jadi matriks *Orthogonal* merupakan suatu matriks seimbang dari faktor dan level sedemikian hingga pengaruh dari faktor atau level yang lain. Berikut Cara penomoran *orthogonal array*.



Keterangan :

1. Notasi L menyatakan informasi mengenai rancangan bujursangkar latin.
2. Nomor baris menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Matriks Orthogonal*.
3. Nomor kolom menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *Matriks Orthogonal*.
4. Nomor level menyatakan jumlah level faktor.

Untuk 2 level, tabel OA terdiri dari L_4 , L_8 , L_{12} , L_{16} , dan L_{32} , sedangkan untuk 3 level tabel OA terdiri dari L_9 , L_{18} , L_{27} . Pemilihan jenis *Matriks Orthogonal* akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total. Penentuan derajat bebas berdasarkan pada:

1. Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi.
2. Jumlah *level* dari faktor yang diamati.

Resolusi percobaan yang diinginkan atau batasan biaya *Matriks Orthogonal* memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Kesimpulan yang diambil dapat mencapai setiap level secara keseluruhan dengan kisaran parameter kontrol.
2. Sangat menghemat pelaksanaan percobaan karena tidak menggunakan prinsip *fully factorial* seperti percobaan yang biasa, tetapi menggunakan prinsip *fractional factorial*. Artinya Anda tidak perlu mencoba semua kombinasi laye, cukup beberapa saja.
3. Kemudahan dalam analisa data. Pemilihan *Matriks Orthogonal* yang sesuai ditentukan dari jumlah *level* variabel. *Matriks Orthogonal* memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel dengan jumlah percobaan yang minimum. Suatu *matriks orthogonal* dilambangkan dengan persamaan:

La (b^c) dengan : L = jumlah rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyak *level* variabel

c = Banyak variabel

2.9.2 *Signal to Noise Rasio (S/N Rasio)*

Menurut (Soejanto, 2009) metode *Taguchi* memperkenalkan pendekatan *rasio S/N* untuk meneliti pengaruh faktor noise terhadap variasi yang timbul. Jenis yang digunakan dalam metode *Taguchi* ada 3 jenis, yaitu: sebagai berikut:

1. *Smaller the Better* merupakan jenis analisa suatu cacat pada produk, yang mana harga idealnya kalau bisa harus sama dengan nol. Yang berarti semakin kecil kekasaran permukaan maka akan semakin baik. Untuk perhitungannya dapat menggunakan pada rumus berikut:

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

keterangan:

Y_i = Nilai kekasaran permukaan benda kerja

n = Jumlah replikasi (pengulangan)

2. *Larger the Better* merupakan analisa kebalikan analisa *Smaller is Better* yang biasanya untuk mencari kecepatan penghasil gram (MRR) yang paling besar, yang berarti semakin besar MRR maka semakin produktif proses produksi tersebut. Untuk perhitungannya dapat menggunakan rumus berikut:

$$S/N = -10 \cdot \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.7)$$

3. *Nominal the Better* merupakan analisa yang sering digunakan ketika nilai yang ditentukan adalah mutlak atau sangat diharapkan. Oleh karena itu, tidak boleh lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang ditetapkan sebelumnya. Contohnya adalah dimensi bagian mekanik di industri manufaktur. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada rumus berikut:

$$S/N = -10 \cdot \log \frac{y^{-2}}{s^2} \quad (2.8)$$

2.9.3 Analisa Dalam Metode Taguchi

Analysis of variance (ANOVA) merupakan teknik yang memungkinkan untuk pengujian perbedaan variasi pengaruh suatu faktor dari sampel yang diambil. Dengan menggunakan ANOVA dapat ditarik kesimpulan apakah sampel yang diambil memiliki kesamaan rata-rata atau tidak. *Analysis of variance* (ANOVA) digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut bisa diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

(Supriyandi, dkk 2021) mengatakan analisa varian atau ANOVA digunakan untuk menentukan besarnya dampak dari setiap parameter kontrol dalam proses. Besarnya pengaruh ini dapat ditentukan dengan membandingkan nilai jumlah kuadrat dari parameter kontrol dengan semua parameter kontrol.

Analysis of variance (ANOVA) pada metode taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. ANOVA merupakan teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif megestimasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan mode bisa

ditentukan. ANOVA yang digunakan umumnya ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data percobaan yang terdiri dari dua level atau lebih dan dua faktor atau lebih.

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung derajat kebebasan, nilai F dan nilai probabilitas:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.9)$$

Keterangan :

KA = jumlah *level* faktor A

A_i = *level* ke i faktor A

n_{ai} = jumlah percobaan *level* ke i faktor A

T = jumlah seluruh nilai data

N = banyaknya data keseluruhan.

1. Jumlah kuadrat (*sum of square*)

Jumlah kuadrat setiap faktor, contoh untuk faktor A:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} - \frac{T^2}{N} \quad (2.10)$$

Keterangan:

A₁ = jumlah nilai data faktor A

A₂ = jumlah nilai data faktor A *level* 2

A₃ = jumlah nilai data faktor A *level* 3

n_{A1} = banyak data pada faktor A *level* 1

n_{A2} = banyak data pada faktor A *level* 2

n_{A3} = banyak data pada faktor A *level* 3

T = jumlah seluruh nilai data

N = Banyak data keseluruhan

2. Derajat kebebasan (*degree of freedom*)

Derajat kebebasan setiap faktor, derajat kebebasan total dengan *error* dan derajat kebebasan *error*. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$V_a = \text{banyak level pada faktor A-1} \quad (2.11)$$

V_t = Total semua *level* -1

$$V_e = v_t - (v_a + v_b + \dots V_n)$$

Keterangan:

V_a = Derajat kebebasan faktor A

V_t = Total semua *level* - 1

V_e = Derajat kebebasan *error*.

3. Rata-rata kuadrat (*means squar*)

Rata-rata kuadrat setiap faktor, contoh untuk faktor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (2.12)$$

4. Jumlah kuadrat total

$$SS_T = \sum y^2 \quad (2.13)$$

Keterangan:

y = Banyak data

5. Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$SS_m = n \bar{y}^2 \quad (2.14)$$

Keterangan:

n = Banyak data

6. Jumlah kuadrat *error*

$$SS_e = SST - SS_m - SS_{\text{faktor}} \quad (2.15)$$

Keterangan:

$$SS_{\text{Faktor}} = SSA + SSB + \dots SS_n$$

7. Rata-rata kuadrat *error*

$$(MS_e) = \frac{SS_e}{V_e} \quad (2.16)$$

8. Nilai F

$$F \text{ rasio} = \frac{SS_A}{SS_e} \quad (2.17)$$

9. Nilai probabilitas

Nilai P atau probabilitas dapat diartikan sebagai kesalahan yang diamati dari suatu uji statistik. Proses analisis P selalu dibandingkan

dengan α yaitu nilai signifikan atau juga disebut sebagai nilai kesalahan maksimum yang dapat diterima.

10. Persen kontribusi

Persen kontribusi menunjukkan porsi (kekuatan relatif) masing-masing variabel proses terhadap total variansi dari respon-respon yang diamati secara serentak. Interpretasi yang dilakukan pada hasil percobaan dengan menggunakan desain Taguchi berikut:

$$\rho = \frac{SS_A}{SS_T} 100\% \quad (2.18)$$

$$SS'_A = SS_A - MS_e(V_A) \quad (2.19)$$

Keterangan:

SS'_A = Jumlah kuadrat dari variabel yang dihitung persen kontribusinya.

SS_T = Jumlah kuadrat total

V_A = derajat kebebasan dari variabel yang dihitung persen kontribusinya

Perhitungan prediksi nilai kekasaran permukaan yang optimal didasarkan pada rata-rata kekasaran setiap level variabel. Nilai prediksi kekasaran dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\hat{n} = n_m + \sum_{i=1}^q (\bar{n} - n_m) \quad (2.20)$$

Keterangan:

n_m = jumlah Rata-rata

\bar{n} = Hasil Rata-rata minimum

Penerima interval kepercayaan rata-rata untuk kekasaran permukaan yang diprediksi awalnya digunakan untuk menghitung jumlah pengamatan yang valid. Pengamatan yang valid dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$N_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan variabel untuk menduga rata-rata}} \quad (2.21)$$

$$CI_{optimal} : \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;vE} \cdot MSE}{n_{eff}}} \quad (2.22)$$

Keterangan:

N_{eff} = Banyaknya pengamatan

F_{α} = f tabel

V_E = Variabel *error*

MS_E = rata-rata kuadrat dari variabel *error*

$$\mu_{\text{prediksi}} = \bar{Y} + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{A}_2 - \bar{Y}) + (\bar{C}_2 - \bar{Y}) \quad (2.23)$$

Keterangan:

μ_{prediksi} = dugaan rata-rata pada kombinasi optimum

\bar{Y} = Rata-rata S/N

$$\mu_{\text{prediksi}} - \text{CI} \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + \text{CI} \quad (2.24)$$

2.9.4 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen yang dilakukan berdasarkan kombinasi variabel hasil optimasi. Tujuannya adalah untuk mencocokkan hasil respon secara aktual dan sekaligus membandingkan hasil respon pada kondisi awal dengan hasil respon setelah dilakukan proses optimasi (Supriyandi dkk, 2021)

Langkah-langkah dalam eksperimen konfirmasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Melakukan eksperimen berdasarkan kombinasi untuk respon optimal.
- b. Membandingkan rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dengan rata-rata hasil prediksi.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila:

- a. Rata-rata hasil percobaan hasil konfirmasi mendekati rata-rata hasil prediksi.
- b. Interval keyakinan dari rata-rata respon percobaan konfirmasi berhimpit atau beririsan dengan interval keyakinan $(1 - \alpha)$ 100% dari rata-rata respon hasil optimal.

2.9.5 Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah suatu data berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas yang penulis gunakan pada penelitian ini menggunakan *Kolmogorov Smirnov* (Soejanto, 2009).

- a. Hipotesis uji kenormalan data adalah :

H_0 = data berdistribusi normal (maka terima H_0)

H_1 = data tidak berdistribusi normal (maka Tolak H_0)

- b. Kriteria penolakan adalah :

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

Terima H_0 : $p - \text{value} > \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0.05$

2.9.6 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah kelompok dalam populasi yang sama atau tidak. Jika kelompok dalam populasi tersebut mempunyai variasi yang sama maka kelompok tersebut dikategorikan homogen (Soejanto, 2009)

- a. Hipotesis uji dua variasi adalah:

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

H_0 : $\sigma^2 \neq \sigma^2$ Maka Terima H_0 (Tidak Homogen)

- b. Kriteria penolakan adalah:

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

Terima H_0 : $p - \text{value} > \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0.05$.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Pemilihan lokasi tersebut dikarenakan fasilitas yang tersedia pada tempat tersebut dapat melancarkan pelaksanaan proses penelitian.

3.1.2 Waktu

Penelitian ini dilakukan kurang lebih dua bulan (± 2 bulan) dimulai dari penelusuran literatur. Untuk tahapan penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.1:

Tabel 3. 1 Hubungan Rencana Kegiatan Terhadap Waktu

No	Tahapan	Waktu (Bulan) 2023-2024									
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	
1	Studi Literatur										
2	Pembuatan Proposal										
3	Seminar Proposal Penelitian										
4	Tahap Penelitian										
5	Analisa Data dan Penulisan Laporan										
6	Seminar Hasil dan Sidang Akhir										

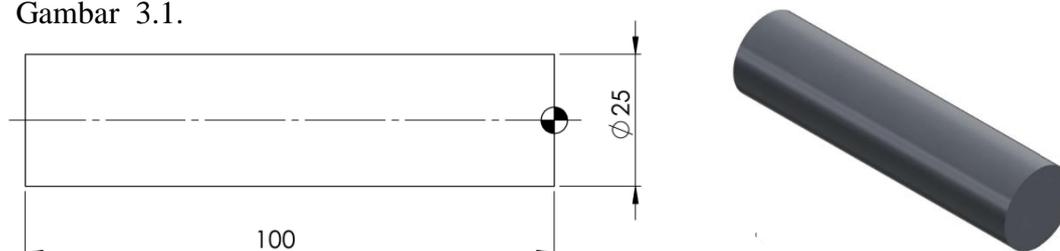
3.2 Bahan dan Peralatan

3.2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam proses permesinan ini yaitu baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang dengan persentase kandungan karbon sebesar 0,30% – 0,60% dengan titik lebur 2900°C, disebut juga baja sedang. Selain digunakan di komponen pada mesin baja ini termasuk dalam kelompok baja konstruksi dan umumnya digunakan untuk keperluan struktural seperti konstruksi, bangunan, jembatan, mesin dan peralatan industri.

Baja AISI 1045 sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri otomotif karena memiliki kekuatan yang cukup tinggi dan tahan terhadap keausan. Beberapa contoh benda dari bahan baja AISI 1045 yang memerlukan kekasaran seperti transmisi, poros, *connecting rod* dan *crankshaft* yang digunakan pada mesin atau alat berat memerlukan kekasaran permukaan yang tinggi untuk memastikan kinerja yang optimal.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Material Benda Kerja

3.2.2 Peralatan

Adapun peralatan kerja yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Peralatan Kerja

No	Alat yang digunakan	Jumlah
1	Mesin Bubut CNC	1 Unit
2	Kunci chuck, Kunci rumah pahat, <i>Centre jalan</i> , <i>Chuck</i> bor. Kunci bor	1 Unit
3	Pahat bubut karbida	1 Unit
4	Alat uji kekasaran permukaan (<i>Roughnesstest</i>)	1 Unit
5	Alat uji kekerasan <i>Hardness</i> (<i>Brinell</i>)	1 unit

3.3 Variabel Eksperimen

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

3.3.1 Variabel Bebas

variabel bebas merupakan variabel yang nilainya ditentukan peneliti yang kondisinya dapat diubah dengan menggunakan metode tertentu untuk mendapatkan variabel terikat dari objek penelitian, dan dapat diperoleh hubungan antar keduanya. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan sebagai berikut:

a. Putaran *Spindle* (Rpm)

Putaran *spindle* yang dipakai pada penelitian ini yaitu besarnya antara 250 put/menit, 350 put/menit, 450 put/menit. Penelitian ini dilakukan pada mesin CNC Turning CK 6136.

b. Kedalaman Pemakanan (a, mm)

Kedalaman yang dipakai pada penelitian ini yaitu antara range 0,5 mm, 0,7 mm, dan 0,9 mm dengan dua tingkat proses yaitu *facing* benda kerja dan proses *Medium Roughing*.

c. Gerak Makan (f, mm/putaran)

Gerak makan yang digunakan pada penelitian ini yaitu besarnya antara 0,02 mm/putaran, 0,03 mm/putaran, dan 0,04 mm/ putaran.

3.3.2 Variabel Tetap

Variabel tetap dalam penelitian ini bertujuan agar tidak terlalu meluas dan mampu mendapatkan akurasi yang lebih terfokus dan nilai-nilai faktor dijaga konstan agar tidak berubah selama percobaan. Adapun variabel tetap pada penelitian ini adalah Material baja AISI 1045, Mesin CNC Turning CK 6136, pengujian kekasaran menggunakan *surface roughness tester* mitutoyo SJ-310, dan pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *brinell*.

3.4 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini memiliki prosedur penelitian yang mencakup pemilihan material baja ST 60, proses pembubutan dengan parameter proses putaran spindel (n), kedalaman pemakanan (a), dan gerak makan (f) sebanyak 9 spesimen pembubutan dengan variasi parameter proses secara acak dan dilakukan pengujian kekasaran dan kekerasan permukaan.

3.4.1 Proses pembubutan

Sebelum dilakukan pembubutan maka ditentukan parameter proses yaitu putaran spindel, kedalaman pemakanan, dan gerak makan. Berikut ini parameter yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

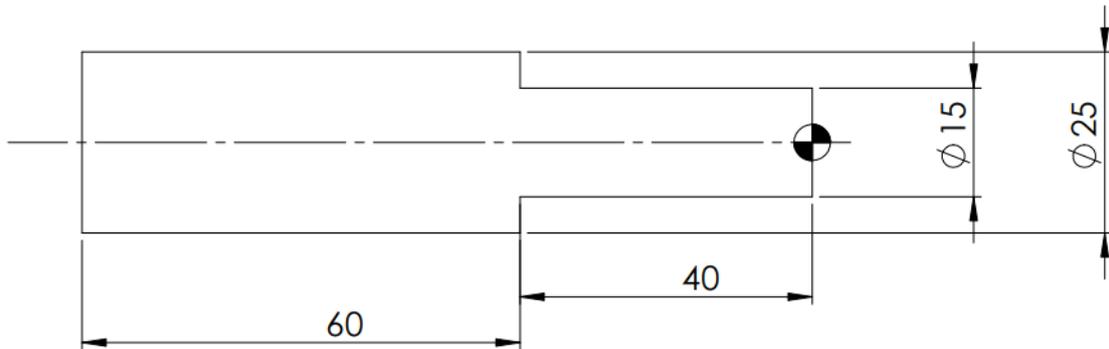
Tabel 3. 3 Parameter Kendali dan Level untuk *Orthogonal array L9*

Kontrol Faktor	satuan	Level		
		1	2	3
Putaran <i>Spindle</i>	rpm	250	350	450
Kedalaman Pemakanan	mm	0,5	0,7	0,9
Gerak Makan	mm/put	0,02	0,03	0,04

Adapun langkah-langkah persiapan pembubutan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua peralatan yang dibutuhkan.
2. Pemasangan benda kerja dan pemograman benda kerja sesuai setingan nomor percobaan.
3. Pemasangan *insert* dan *holder* mesin CNC *Gedee Weiler LEARN TURN*
4. Melakukan proses pembubutan benda kerja dengan menyalakan mesin CNC dan menyeting Variabel-variabel proses kemudian masukan nilai variabel proses pada pemograman penyayatan benda kerja.
5. Lepaskan benda kerja pada cekaman mesin bubut CNC.
6. Matikan mesin CNC.

Hasil dari pembubutan dilakukan sebanyak 9 spesimen dengan parameter proses yang telah ditetapkan maka dapat dilihat hasil pembutan pada penelitian ini pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Spesimen Setelah Pembubutan

3.4.2 Pengujian kekasaran

Pengujian kekasaran permukaan pada penelitian ini menggunakan alat *Roughness Test*. Saat benda kerja dilakukan pengukuran nilai kekasaran pada setiap benda kerja yang telah dibubut, maka nilai kekasaran permukaan akan dilihat pada tampilan layar pada alat ukur tersebut. Setelah itu membandingkan nilai kekasaran permukaan yang telah didapatkan dari 9 spesimen yang dilakukan pembubutan pada mesin CNC. Berikut ini merupakan cara menggunakan alat uji *surface roughness test* berikut:

1. Siapkan material benda yang akan di uji.
2. Tekan tombol daya (power) Pada *roughness tester* sampai keluar angka nol pada monitor.
3. Tempelkan sensor diatas material dan diamkan sampai proses selesai.
4. Kemudian akan keluar nilai hasil pengukuran pada monitor.

3.4.3 Metode eksperimen

Metode eksperimen yang digunakan penelitian ini adalah metode *Taguchi*. Metode *Taguchi* adalah metodologi baru untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan dengan tujuan untuk menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode *Taguchi* menjadikan produk atau proses bersifat kokoh terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga perancangan kokoh (*robust design*).

Tabel 3. 4 Total Derajat Kebebasan Parameter dan Level

No	Parameter	Jumlah level (k)	$V_s = (k - 1)$
1	putaran <i>Spindle</i>	3	2
2	Kedalaman Pemakanan	3	2
3	Gerak Makan	3	2
	Total derajat kebebasan		6

Tabel 3.4 menunjukkan total derajat kebebasan parameter dan level yang digunakan adalah 6. Derajat kebebasan pada *matriks orthogonal* harus bernilai sama atau lebih besar dari total derajat kebebasan faktor level yang telah ditetapkan. Berdasarkan banyaknya variabel bebas dan jumlah level maka dilakukan perhitungan derajat kebebasan faktor dan level. Hal ini mengakibatkan derajat kebebasan minimum yang harus dimiliki oleh *matriks orthogonal* yang digunakan adalah 6. Oleh karena itu, sesuai dengan pilihan yang tersedia, *matriks orthogonal L9 (3³)* memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan *matriks orthogonal* yang ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 *Orthogonal Array* untuk *Taguchi L9*

Nomor Percobaan	Parameter Kendali		
	Kecepatan <i>Spindle</i> (Rpm)	Gerak makan (mm/put)	Kedalaman pemakanan (mm)
1	250	0,02	0,5
2	250	0,03	0,7
3	250	0,04	0,9
4	350	0,02	0,7
5	350	0,03	0,9
6	350	0,04	0,5
7	450	0,02	0,9
8	450	0,03	0,5
9	450	0,04	0,7

Tabel 3.5 merupakan hasil dari variasi parameter kendali yang di acak menggunakan *Orthogonal Array* dimana akan dilakukan 9 percobaan dengan kecepatan *Spindle*, gerak makan, dan kedalaman pemakanan yang sudah ditentukan.

3.4.4 Optimasi S/N Ratio

Pada tahap ini adalah untuk mencari hasil rata-rata dari hasil yang diperoleh setelah pengukuran benda kerja dengan tujuan untuk mengetahui hasil perhitungan rata-rata yang paling minimum dari hasil percobaan untuk rumus yang digunakan pada rumus 2.5. Untuk menghitung S/N Ratio pada penelitian ini digunakan *Smaller is Better*, tujuannya dilakukan perhitungan S/N Rasio yang memengaruhi kekasaran permukaan. Untuk rumus digunakan pada rumus 2.5

3.4.5 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi pada penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi hasil yang telah diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan interval keyakinan rata-rata kekasaran eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi

yang dilakukan dengan menggunakan kombinasi *setting* variabel yang diperoleh dari hasil optimasi. Dalam melakukan pengambilan data eksperimen konfirmasi benda kerja membutuhkan minimal 5 benda kerja untuk dilakukan proses pengambilan data tersebut.

3.4.6 Analisa Variansi dan Persen Kontribusi

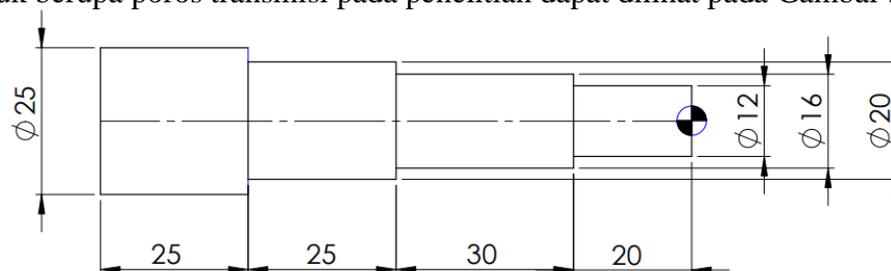
Analisis varians (ANOVA) digunakan untuk menentukan variabel proses yang berkontribusi dalam mengurangi variasi respon kekasaran permukaan benda kerja. Pada penelitian ini dilakukan ANOVA terhadap kekasaran yang merupakan respon yang mewakili respon secara keseluruhan.

3.4.7 Melakukan Analisa Hasil Penelitian.

Analisa pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Taguchi*, dimana akan dilakukan pengumpulan data dan perhitungan, serta pengujian data dengan statistik antara lain analisis varians, test hipotesa, serta penerapan rumus-rumus pada data hasil percobaan. Tujuannya untuk mengetahui parameter proses paling optimal. Adapun untuk rencana melakukan pembubutan pada baja ST 60 dapat dilihat pada Gambar 3.2 dengan banyaknya spesimen sebanyak 9 buah.

3.4.8 Pembuatan produk poros transmisi

Pembuatan produk pada penelitian ini berupa poros transmisi. Setelah dilakukan pembubutan spesimen sebanyak 9 kali dari variabel proses yang didapatkan optimal dan dilakukan analisa data menggunakan metode *taguchi orthogonal Array L(9³)*. Berikut merupakan rencana gambar dari pembuatan produk berupa poros transmisi pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Poros Trasnmisi

3.4.9 pengujian kekerasan (Brinell)

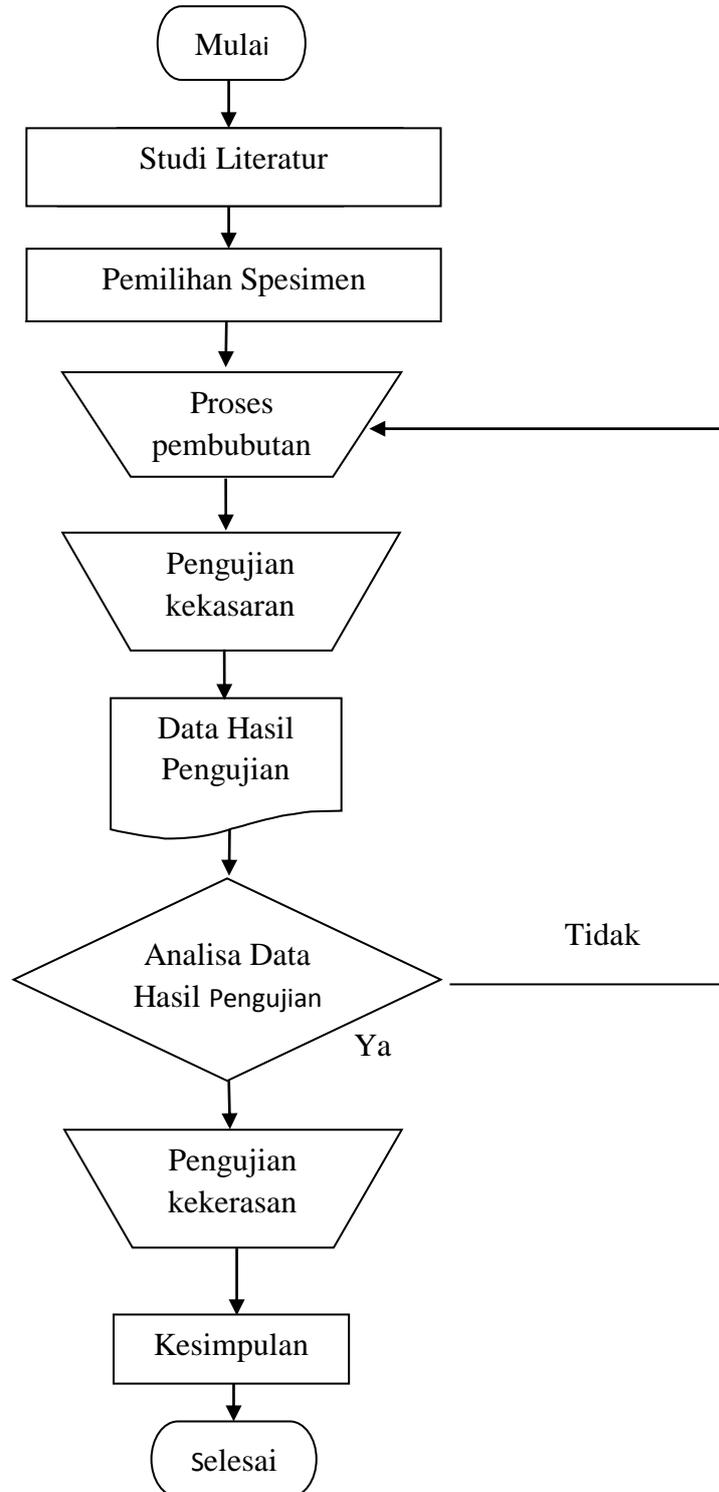
Uji kekerasan *brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja diperkeras (terbuat dari baja krom) dengan diameter tertentu oleh gaya tekan secara statis pada permukaan logam. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan ditiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter lekukan paling atas diukur guna menentukan kekerasan logam yang di uji. Setelah dilakukan pembubutan dan di dapatkan hasil kekasaran yang optimal maka dilakukan uji kekerasan *brinell* untuk mengetahui pengaruh kekerasan sebelum dilakukan pembubutan dan sesudah dilakukan pembubutan apakah terdapat kekerasannya berbeda dengan proses permesinan *CNC Turning* CK 6136. Alat uji kekerasan *Brinell* yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Alat Uji Kekerasan *Brinell*

3.4.10 Flowchart Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data Hasil Eksperimen

pengambilan data eksperimen dilakukan dengan mengkombinasikan dengan variabel-variabel yang terdapat pada mesin CNC Bubut CK 6136. Adapun variabel proses yang diambil dalam penelitian ini diduga memiliki pengaruh respon kekasaran permukaan yaitu putaran *spindle* (A), kedalaman pemakanan (B), dan gerak makan (C). Pelaksanaan pengumpulan data dalam eksperimen ini dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

4.1.1 Pengukuran Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Benda Kerja

Kekasaran permukaan benda kerja diukur dengan menggunakan alat ukur *surface roughnes tester*. Hasil pengukuran kekasaran di perlihatkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian kekasaran

Nomor Pengujian	Hasil Pengujian Kekasaran			Rata-rata
	R1	R2	R3	
1	5,583	5,214	5,171	5,323
2	4,299	4,168	4,407	4,291
3	4,469	4,109	4,744	4,441
4	4,307	4,338	4,458	4,368
5	4,180	4,017	3,147	3,781
6	4,637	5,738	4,552	4,976
7	4,467	4,302	2,649	3,806
8	5,932	5,220	5,612	5,588
9	6,259	6,472	6,483	6,405

Untuk kekerasan permukaan benda kerja diukur dengan menggunakan alat ukur *Hardness Brinell*. Pengukuran dilakukan dua kali pengujian yakni sebelum pembubutan dan sesudah pembubutan. Hasil pengukuran kekerasan di perlihatkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Sebelum dan Sesudah Pembubutan

Nomor Pengujian	Kekerasan sebelum Pembubutan			Rata-rata (HBW)	Kekerasan sesudah Pembubutan			Rata-rata (HBW)
	R1	R2	R3		R1	R2	R3	
1	167,630	164,193	165,213	165,679	160,206	157,309	140,109	152,541
2	160,861	161,189	160,533	160,861	140,645	158,266	154,489	151,133
3	162,514	161,519	163,856	162,630	140,645	143,236	140,645	141,508
4	161,189	161,519	160,861	161,190	141,727	150,250	140,109	144,029
5	160,861	160,861	160,533	160,751	129,749	123,979	131,192	128,307
6	162,514	163,519	163,856	163,296	131,192	130,950	120,913	127,685
7	162,182	161,519	163,519	162,406	137,472	154,489	145,896	145,952
8	161,189	161,519	160,533	161,080	134,908	145,896	157,946	146,250
9	160,861	160,206	160,533	160,533	117,958	114,115	143,097	125,0567
Rata- rata				162,047	Rata-rata			140,273

Kekerasan diukur dengan menggunakan alat uji kekerasan *Hardness Brinell* dengan skala HBS dengan bola baja indentor berdiameter 5 dan beban (test load) 125 kgf. Dapat dilihat pada Tabel 4.2 diatas hasil menunjukkan penurunan kekerasan setelah proses pembubutan. Dari hasil pengujian sebelum pembubutan didapatkan hasil kekerasan *Brinell* 162 HBW, setelah dilakukan pembubutan hasil kekerasaran *Brinell* didapatkan 140 HBW. Selisih pengurangan hasil kekerasan didapatkan sebesar 21 HBW.

4.1.2 Perhitungan Nilai Rata-rata Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan benda kerja diukur dengan menggunakan alat ukur *surface roughnes tester*. Hasil keseluruhan untuk data perhitungan nilai rata-rata kekasaran permukaan menggunakan eksperimen *taguchi* di perlihatkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Hasil Eksperimen *Taguchi*

Matriks <i>Orthogonal</i> L9(3 ³)							
Faktor				Data			
Eksperimen	A	B	C	R1	R2	R3	Mean
1	1	1	1	5,583	5,214	5,171	5,323
2	1	2	2	4,299	4,168	4,407	4,291
3	1	3	3	4,469	4,109	4,744	4,441
4	2	1	2	4,307	4,338	4,458	4,368
5	2	2	3	4,180	4,017	3,147	3,781
6	2	3	1	4,637	5,738	4,552	4,976
7	3	1	3	4,467	4,302	2,649	3,806
8	3	2	1	5,932	5,220	5,612	5,588
9	3	3	2	6,259	6,472	6,483	6,405
Mean							4,775

untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan, dilakukan pengolahan data respon (data asli) kekasaran permukaan baja AISI 1045 yang diperoleh langsung dari pengujian kekasaran permukaan baja AISI 1045. Perhitungan nilai rata-rata kekasaran permukaan melalui kombinasi level dari masing-masing faktor dapat dilihat sebagai berikut:

1. Perhitungan rata-rata pada faktor A (Putaran Spindle)

$$A1 = 1/3 (5,323 + 4,291 + 4,441) = 4,685$$

$$A2 = 1/3 (4,368 + 3,781 + 4,976) = 4,375$$

$$A3 = 1/3 (3,806 + 5,588 + 6,404) = 5,266$$

2. Perhitungan rata-rata pada faktor B (Kedalaman Pemakanan)

$$B1 = 1/3 (5,323 + 4,368 + 3,806) = 4,499$$

$$B2 = 1/3 (4,291 + 3,781 + 5,588) = 4,533$$

$$B3 = 1/3 (4,441 + 4,976 + 6,404) = 5,274$$

3. Perhitungan rata-rata pada faktor C (Gerak Makan)

$$C1 = 1/3 (5,323 + 4,976 + 5,588) = 5,296$$

$$C2 = 1/3 (4,291 + 4,368 + 6,404) = 5,021$$

$$C3 = 1/3 (4,441 + 3,781 + 3,806) = 4,009$$

4.2 Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Rata-rata Kekasaran

Untuk ketiga faktor utama yang diamati adalah putaran spindel (A), Kedalaman pemakanan (B), Gerak Makan (C). Adapun faktor dapat diperlihatkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Respon Rata-rata Kekasaran Dari Pengaruh Faktor

Level	A	B	C
1	4,685	4,499	5,295
2	4,375	4,554	5,021
3	5,266	5,274	4,009
Delta	0,891	0,774	1,286
Rank	2	3	1

Tabel 4.4 menunjukkan respon kekasaran permukaan keseluruhan parameter, Gerak makan (C) menempati peringkat pertama dan diikuti putaran Spindle (A) dan kedalaman pemakanan (B). Gerak makan memiliki pengaruh yang besar pada hasil kekasaran permukaan pada proses permesinan *CNC Turning* dapat diketahui dari analisis Variansi.

4.3 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi untuk setiap faktor pada semua pengukuran respon dengan mengidentifikasi pengujian kebenaran hipotesa terhadap pengaruh faktor.

Analisis of Variance (ANOVA) dipergunakan untuk menentukan variabel proses yang mempunyai kontribusi dalam mengurangi variasi respon kekasaran permukaan. Dalam penelitian ini, ANOVA dilakukan pada kekasaran yang mewakili respon keseluruhan.

Dengan menggunakan model analisis variansi dua arah yang terdiri dari perhitungan jumlah kuadrat, derajat kebebasan, rata-rata jumlah kuadrat, serta F-rasio seperti perhitungan dibawah ini.

Perhitungan Jumlah kuadrat (sum of square) Faktor A

Untuk menentukan sum of square (jumlah kuadrat) pada faktor A menggunakan persamaan 2.9 yaitu sebagai berikut:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{14,055^2}{3} + \frac{13,125^2}{3} + \frac{15,798^2}{3} - \frac{42,978^2}{9} = 1,2275$$

Untuk menentukan derajat kebebasan pada faktor A menggunakan persamaan 2.11 yaitu sebagai berikut:

$$V_a = 3 - 1 = 2$$

Untuk menentukan *mean square* (rata-rata kuadrat) pada faktor A menggunakan persamaan 2.12 :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{1,2275}{2} = 0,6137$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan 2. 13 jumlah kaudrat total :

$$SS_T = \sum y^2$$

$$SS_T = (5,323)^2 + (4,291)^2 + (4,441)^2 + \dots\dots\dots (6,405)^2$$

$$= 211,3292$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat karena rata rata menggunakan persamaan 2.14

jumlah kuadrat karena rata-rata (Mean) :

$$\begin{aligned} SS_m &= n \bar{y}^2 \\ &= 9 \times (4,775)^2 \\ &= 205,2056 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat *error* menggunakan persamaan 2. 15

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SSA + SSB + SSC \\ &= 1,2275 + 1,1219 + 2,7535 \\ &= 5,1029 \end{aligned}$$

Untuk menentukan kuadrat *error* menggunakan persamaan 2.15

Residual error :

$$\begin{aligned} SSe &= SST - SS_m - Ssfaktor \\ &= 211,3292 - 205,2056 - 5,1029 \\ &= 1,0207 \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai F rasio menggunakan persamaan 2.17

$$\begin{aligned} \text{F rasio} &= \frac{SSA}{SSe} \\ &= \frac{1,2275}{1,0207} \\ &= 1,2026 \end{aligned}$$

Perhitungan Jumlah kuadrat (Sum of square) Faktor B

Untuk menentukan sum of square (jumlah kuadrat) pada faktor B menggunakan persamaan 2.9 yaitu sebagai berikut:

$$SS_B = \frac{B_1^2}{nB_1} + \frac{B_2^2}{nB_2} + \frac{B_3^2}{nB_3} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{13,497^2}{3} + \frac{13,66^2}{3} + \frac{15,821^2}{3} - \frac{42,978^2}{9} = 1,1219$$

Untuk menentukan derajat kebebasan pada faktor B menggunakan persamaan 2.11 yaitu sebagai berikut:

$$V_B = 3-1 = 2$$

Untuk menentukan *mean square* (rata-rata kuadrat) pada faktor B menggunakan persamaan 2.12 :

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{1,1219}{2} = 0,5609$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan 2. 13 jumlah kuadrat total :

$$SS_T = \sum y^2$$

$$SS_T = (5,323)^2 + (4,291)^2 + (4,441)^2 + \dots\dots\dots (6,404)^2 \\ = 211,3292$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat karena rata rata menggunakan persamaan 2.14

jumlah kuadrat karena rata-rata (Mean) :

$$SS_m = n \bar{y}^2$$

$$= 9 \times (4,775)^2$$

$$= 205,2056$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat *error* menggunakan persamaan 2. 15

$$SS_{Faktor} = SSA + SSB + SSC$$

$$= 1,2275 + 1,1219 + 2,7535$$

$$= 5,1029$$

Untuk menentukan kuadrat *error* menggunakan persamaan 2.15

Residual error :

$$SS_e = SST - SS_m - SS_{faktor}$$

$$= 211,3292 - 205,2056 - 5,1029$$

$$= 1,0207$$

Untuk menentukan nilai F rasio menggunakan persamaan 2.17

$$F \text{ rasio} = \frac{SS_B}{SS_e}$$

$$= \frac{1,1219}{1,0207} = 1,0991$$

Perhitungan Jumlah kuadrat (Sum of square) Faktor C

Untuk menentukan sum of square (jumlah kuadrat) pada faktor C menggunakan persamaan 2.9 yaitu sebagai berikut:

$$SS_C = \frac{C_1^2}{nC_1} + \frac{C_2^2}{nC_2} + \frac{C_3^2}{nC_3} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_C = \frac{15,887^2}{3} + \frac{15,063^2}{3} + \frac{12,028^2}{3} - \frac{42,978^2}{9} = 2,7535$$

Untuk menentukan derajat kebebasan pada faktor C menggunakan persamaan 2.11 yaitu sebagai berikut:

$$V_a = 3 - 1 = 2$$

Untuk menentukan *mean square* (rata-rata kuadrat) pada faktor C menggunakan persamaan 2.12 :

$$MS_C = \frac{SS}{VC} = \frac{2,7535}{2} = 1,3767$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan 2. 13 jumlah kaudrat total :

$$SS_T = \sum y^2$$

$$SS_T = (5,323)^2 + (4,291)^2 + (4,441)^2 + \dots\dots\dots (6,404)^2$$

$$= 211,3292$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat karena rata rata menggunakan persamaan 2.14

jumlah kuadrat karena rata-rata (Mean) :

$$SS_m = n \bar{y}^2$$

$$= 9 \times (4,775)^2$$

$$= 205,2056$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat *error* menggunakan persamaan 2. 15

$$SS_{Faktor} = SSA + SSB + SSC$$

$$= 1,2275 + 1,1219 + 2,7535$$

$$= 5,1029$$

Untuk menentukan kuadrat *error* menggunakan persamaan 2.15

Residual error :

$$\begin{aligned} SSe &= SST - SS_m - Ssfaktor \\ &= 211,3292 - 205,2056 - 5,1029 \\ &= 1,0207 \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai F rasio menggunakan persamaan 2.17

$$\begin{aligned} \text{F rasio} &= \frac{SSC}{SSe} \\ &= \frac{2,7535}{1,0207} \\ &= 2,6976 \end{aligned}$$

Untuk menentukan rata-rata kuadrat *error* menggunakan persamaan

Residual error :

$$MS \text{ Residual error } (MS_e) = \frac{SSe}{V_e} = \frac{1,0207}{2} = 0,5103$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SSe \\ &= 1,2275 + 1,1219 + 2,7535 + 1,0207 \\ &= 6,1236 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan analisis varians terhadap rata-rata kekasaran permukaan diperlihatkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Analisis Varians Rata-rata Kekasaran Permukaan

Sumber	v	SS	MS	F rasio
A	2	1,2275	0,6137	1,2026
B	2	1,1219	0,5609	1,0991
C	2	2,7535	1,3767	2,6976
<i>Error</i>	2	1,0207	0,5103	-

Total	8	6,1236	-	-
-------	---	--------	---	---

untuk mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing Faktor, SS' dihitung terlebih dahulu pada persamaan 2.20

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS'_A - MS_E(V_A) \\ &= 1,2275 - 0,5103 (2) \\ &= 0,2095 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS'_B - MS_E(V_A) \\ &= 1,1219 - 0,5103 (2) \\ &= 0,1013 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_C &= SS'_C - MS_E(V_A) \\ &= 2,7535 - 0,5103 (2) \\ &= 1,7329 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_e &= SST - SSA - SSB - SSC \\ &= 6,1236 - 0,2095 - 0,1013 - 1,7329 \\ &= 4,0799 \end{aligned}$$

Sedangkan persentase kontribusi untuk masing-masing faktor dihitung menggunakan persamaan 2.18

$$\rho = \frac{SS_A}{V_{ST}} 100\%$$

$$\rho^A = \frac{0,2095}{6,1236} 100\% = 34\%$$

$$\rho^B = \frac{1,1219}{6,1236} 100\% = 18\%$$

$$\rho^c = \frac{2,7535}{6,1236} 100\% = 44\%$$

$$\rho^e = \frac{4,0799}{6,1236} 100\% = 4\%$$

Dari perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata kekasaran permukaan dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Persen Kontribusi Terhadap Rata-rata Kekasaran Permukaan

Sumber	V	SS	MS	SS'	P(%)
A	2	1,2275	0,6137	0,2095	34%
B	2	1,1219	0,5609	1,1219	18%
C	2	2,7535	1,3767	2,7535	44%
<i>Error</i>	2	1,0207	0,5103	4,0799	4%
Total	8	-	-	-	100%

Pada tabel perhitungan kontribusi faktor pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa faktor Gerak makan (C) memiliki kontribusi terbesar pada kekarasan permukaan bila dibandingkan dengan faktor lainnya dengan nilai didapatkan 44%. Faktor kedalaman pemakanan (B) dengan nilai 18%. Untuk putaran spindel (A) didapatkan 34%.

4.4 Hasil Prediksi Nilai Kekasaran Permukaan yang Optimum dan interval keyakinan

Prediksi nilai kekasaran optimum dilakukan untuk mengetahui perkiraan nilai kekasaran permukaan rata-rata yang mungkin bisa dicapai dari hasil eksperimen. Perhitungan nilai prediksi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= 4,775 + (4,685 - 4,775) + (4,499 - 4,775) + (5,296 - 4,775) \\ &= 4,93 \end{aligned}$$

Dengan demikian nilai prediksi kekasaran permukaan pada kombinasi variabel yang menghasilkan respon optimal yaitu 4,93. penerimaan interval kepercayaan rata-rata untuk kekasaran permukaan prediksi digunakan untuk menghitung banyaknya pengamatan yang efektif. Banyaknya pengamatan efektif dihitung berdasarkan persamaan 2.21

Perhitungan banyaknya pengamatan yang efektif berdasarkan persamaan 2.21 yaitu sebagai berikut:

$$N_{\text{eff}} = \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)}$$

$$= 3,857$$

Nilai F tabel

Nilai $F_{(0,5;2;2)} = 19,00$ dan $MS_e = 0,5103$

Perhitungan interval kepercayaan rata-rata kekasaran permukaan hasil optimasi berdasarkan persamaan 2.22

$$CI_{\text{optimasi}} = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;vE} \cdot MS_E}{n_{\text{eff}}}}$$

$$CI_{\text{optimasi}} = \sqrt{\frac{19,00 \times 0,5103}{3,857}}$$

$$CI_{\text{optimasi}} = \pm 1,585$$

Dengan demikian interval kepercayaan 95% rata-rata hasil kekasaran permukaan hasil optimasi yaitu sebagai berikut:

$$\mu_{\text{prediksi}} - CI \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI$$

$$4,93 - 1,585 \leq 4,93 \leq 4,93 + 1,585$$

$$3,345 \leq 6,515$$

4.5 Perhitungan Rasio S/N dari Respon

Data ditransformasikan kedalam bentuk rasio S/N (signal to noise) untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap varians kualitas dimana S/N untuk karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik (Smaller is better).

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas yaitu memaksimalkan variabilitas kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran mempunyai karakteristik semakin kecil kekasaran benda kerja maka akan semakin baik.ada juga hasil perhitungan untuk mengetahui nilai rasio S/N dapat diuraikan berdasarkan persamaan 2.6

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

Eksperimen 1

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [5,583^2 + 5,214^2 + 5,171^2] \right] = -14,5278$$

Eksperimen 2

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [4,299^2 + 4,168^2 + 4,407^2] \right] = -12,6541$$

Eksperimen 3

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [4,469^2 + 4,109^2 + 4,744^2] \right] = -12,96383$$

Eksperimen 4

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [4,307^2 + 4,338^2 + 4,458^2] \right] = -12,8059$$

Eksperimen 5

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [4,180^2 + 4,017^2 + 3,147^2] \right] = -11,6149$$

Eksperimen 6

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [4,637^2 + 5,738^2 + 4,552^2] \right] = -13,9879$$

Eksperimen 7

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [4,467^2 + 4,302^2 + 2,649^2] \right] = -11,8068$$

Eksperimen 8

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [5,932^2 + 5,220^2 + 5,612^2] \right] = -14,9569$$

Eksperimen 9

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [6,259^2 + 6,472^2 + 6,483^2] \right] = -16,1310$$

Hasil perhitungan Rasio S/N diatas maka untuk hasil respon kekasaran permukaan benda kerja yang mempunyai karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik (smaller is better) diperlihatkan pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Perhitungan S/N Rasio

Matriks <i>Orthogonal</i> L9(3 ³)							
Faktor			Data				
Eksperimen	A	B	C	R1	R2	R3	S/N
1	1	1	1	5,583	5,214	5,171	-14,5278
2	1	2	2	4,299	4,168	4,407	-12,6541
3	1	3	3	4,469	4,109	4,744	-12,9638
4	2	1	2	4,307	4,338	4,458	-12,8059
5	2	2	3	4,180	4,017	3,147	-11,6149
6	2	3	1	4,637	5,738	4,552	-13,9879
7	3	1	3	4,467	4,302	2,649	-11,8068
8	3	2	1	5,932	5,220	5,612	-14,9569
9	3	3	2	6,259	6,472	6,483	-16,1310
Mean							-13,4872

4.5.1 Pengaruh Level Dari Faktor Terhadap Variansi kekerasan

Perhitungan variabilitas nilai rasio S/N kekerasan permukaan benda kerja melalui kombinasi level masing-masing faktor dapat dilihat dibawah ini dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A1 = 1/3 (-14,5278 + -12,6541 + -12,9638) = -13,3819$$

$$A2 = 1/3 (-12,8059 + -11,6149 + -13,9879) = -12,8029$$

$$A3 = 1/3 (-11,6149 + -14,9549 + -16,1310) = -14,2336$$

$$B1 = 1/3 (-14,5278 + -12,8059 + -11,8068) = -13,0468$$

$$B2 = 1/3 (-12,6541 + -11,6149 + -14,9569) = -13,0753$$

$$B3 = 1/3 (-12,9638 + -13,9879 + -16,1310) = -14,3609$$

$$C1 = 1/3 (-14,5278 + -13,9879 + -14,9569) = -14,4908$$

$$C2 = 1/3 (-12,6541 + -12,8059 + -16,1310) = -13,8636$$

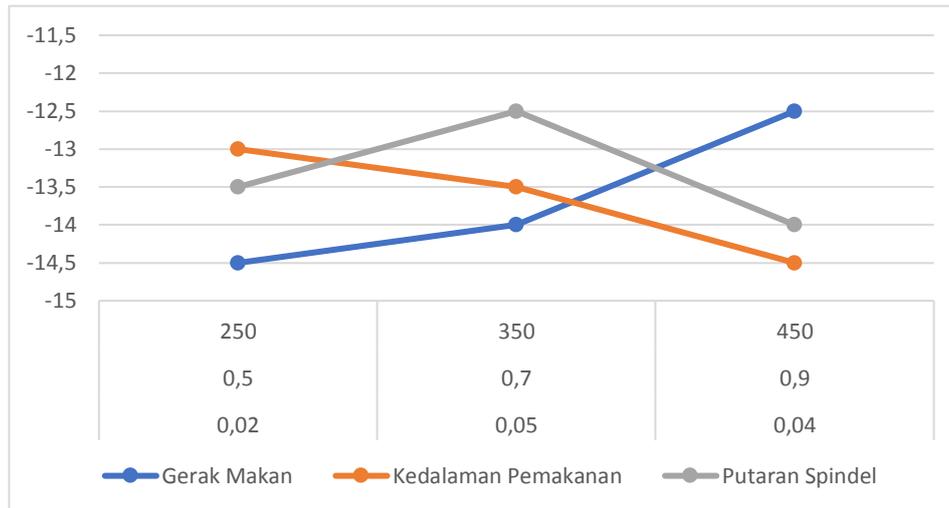
$$C3 = 1/3 (-12,9638 + -11,6149 + -11,8068) = -12,1285$$

Untuk ketiga faktor utama yang diamati adalah putaran spindle, kedalaman pemakanan, dan gerak makan yang secara bersama-sama pengaruh faktornya dapat diperlihatkan pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Respon Rasio S/N Kekasaran Permukaan Dari Pengaruh Faktor

Level	A	B	C
1	-13,3819	-13,0468	-14,4908
2	-12,8029	-13,0753	-13,8636
3	-14,2336	-14,3609	-12,1285
Delta	1,50	1,31	2,36
Rank	2	3	1

Dari tabel 4.8 menunjukkan bahwa pada settingan parameter untuk dapat dihasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimal pada proses permesinan CNC Turning yaitu faktor A level 2 (Putaran Spindel 350), faktor B level 1 (Kedalaman Pemakanan 0,5 mm) Faktor C level 3 (Gerak Makan 0,04). Berikut adalah plot yang menunjukkan kondisi optimal dari respon rasio S/N kekasaran permukaan dari pengaruh faktor tersebut menggunakan *software* minitab 19.



Gambar 4.1 Plot Pengaruh Dari Faktor Terhadap Mean Rasio S/N

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa faktor A level 2 (Putaran spindel dengan kecepatan putaran spindel 350 rpm) dengan hasil S/N rasio sebesar -12,8029. Kemudian pada faktor B level 1 (Kedalaman pemakanan dengan kecepatan makan sebesar 0,5 mm) dengan hasil S/N rasio sebesar -13,0468. Kemudian untuk faktor C level 3 (Gerak makan 0,04 mm/putaran) dengan hasil S/N rasio -12,1285.

4.5.2 Analisis Varians Rasio

untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan analisis model variansi 2 arah. Perhitungan analisis varians terdiri dari perhitungan jumlah kuadrat, derajat kebebasan serta rata-rata dapat dilihat seperti dibawah ini:

Perhitungan jumlah kuadrat (sum of square) faktor A

Untuk menentukan jumlah kuadrat (sum of square) pada faktor A berdasarkan persamaan

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{-40,1457^2}{3} + \frac{-38,4087^2}{3} + \frac{-42,7008^2}{3} - \frac{-364,1534^2}{9} = 3,411$$

Untuk menghitung derajat kebebasan pada faktor A berdasarkan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Untuk menentukan rata-rata kuadrat (mean of square) pada faktor A menggunakan persamaan 2.12 :

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{3,411}{2} = 1,7055$$

untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan 2.13 jumlah kuadrat total:

$$SS_T = \sum y^2$$

$$SS_T = (-14,5278)^2 + (-12,6541)^2 + (-12,9638)^2 + \dots + (-16,1310)^2 \\ = 1.657,12$$

untuk menentukan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan persamaan 2.14

jumlah kuadrat karena rata-rata (Mean)

$$SS_m = n \bar{y}^2$$

$$= 9 \times (-13,4943)^2 \\ = 1.638,865$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat *error* menggunakan persamaan 2.15

$$SS_{Faktor} = SS_A + SS_B + \dots SS_n \\ = 3,411 + 3,380 + 8,985 \\ = 15,776$$

Untuk menentukan rata-rata kuadrat *error* menggunakan persamaan

Residual error :

$$SS_e = SST - SS_m - SS_{faktor} \\ = 1.657,12 - 1.638,865 - 15,776 \\ = 2,479$$

Untuk menentukan nilai F rasio menggunakan persamaan 2.17

$$\begin{aligned} F \text{ rasio} &= \frac{SS_A}{SS_e} \\ &= \frac{3,411}{2,479} \\ &= 1,3759 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat (sum of square) faktor B

Untuk menentukan jumlah kuadrat (sum of square) pada faktor B berdasarkan persamaan

$$\begin{aligned} SS_B &= \frac{B_1^2}{n_{B_1}} + \frac{B_2^2}{n_{B_2}} + \frac{B_3^2}{n_{B_3}} - \frac{T^2}{N} \\ SS_B &= \frac{-39,1405^2}{3} + \frac{-39,2259^2}{3} + \frac{-43,0827^2}{3} - \frac{-364,15341^2}{9} = 3,380 \end{aligned}$$

Untuk menghitung derajat kebebasan pada faktor B berdasarkan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Untuk menentukan rata-rata kuadrat (mean of square) pada faktor B menggunakan persamaan 2.12 :

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B} = \frac{3,380}{2} = 1,690$$

untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan 2.13 jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned} SS_T &= \sum y^2 \\ SS_T &= (-14,5278)^2 + (-12,6541)^2 + (-12,9638)^2 + \dots + (-16,1310)^2 \\ &= 1.657,12 \end{aligned}$$

untuk menentukan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan persamaan 2.14

jumlah kuadrat karena rata-rata (Mean)

$$\begin{aligned} SS_m &= n \bar{y}^2 \\ &= 9 \times (-13,4943)^2 \\ &= 1.638,865 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat *error* menggunakan persamaan 2.15

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SSA + SSB + \dots SS_n \\ &= 3,411 + 3,380 + 8,985 \\ &= 15,776 \end{aligned}$$

Untuk menentukan rata-rata kuadrat *error* menggunakan persamaan *Residual error* :

$$\begin{aligned} SSe &= SST - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 1.657,12 - 1.638,865 - 15,776 \\ &= 2,479 \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai F rasio menggunakan persamaan 2.17

$$\begin{aligned} \text{F rasio} &= \frac{SSB}{SSe} \\ &= \frac{3,380}{2,479} \\ &= 1,363 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat (sum of square) faktor C

Untuk menentukan jumlah kuadrat (sum of square) pada faktor berdasarkan persamaan

$$\begin{aligned} SS_C &= \frac{C_1^2}{nc_1} + \frac{C_2^2}{nc_2} + \frac{C_3^2}{nc_3} - \frac{T^2}{N} \\ SS_C &= \frac{-43,4726^2}{3} + \frac{-41,5910^2}{3} + \frac{-36,3855^2}{3} - \frac{-364,1534^2}{9} = 8,985 \end{aligned}$$

Untuk menghitung derajat kebebasan pada faktor C berdasarkan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$V_C = 3-1 = 2$$

Untuk menentukan rata-rata kuadrat (mean of square) pada faktor C menggunakan persamaan 2.12 :

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = \frac{8,985}{2} = 4,4925$$

untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan 2.13 jumlah kuadrat total:

$$SS_T = \sum y^2$$

$$SS_T = (-14,5278)^2 + (-12,6541)^2 + (-12,9638)^2 + \dots + (-16,1310)^2 \\ = 1.657,12$$

untuk menentukan jumlah kuadrat karena rata-rata menggunakan persamaan 2.14

jumlah kuadrat karena rata-rata (Mean)

$$SS_m = n \bar{y}^2$$

$$= 9 \times (-13,4943)^2 \\ = 1.638,865$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat *error* menggunakan persamaan 2.15

$$SS_{Faktor} = SSA + SSB + \dots SS_n \\ = 3,411 + 3,380 + 8,985 \\ = 15,776$$

Untuk menentukan rata-rata kuadrat *error* menggunakan persamaan

Residual error :

$$SS_e = SST - SS_m - SS_{faktor} \\ = 1.657,12 - 1.638,865 - 15,776 \\ = 2,479$$

Untuk menentukan nilai F rasio menggunakan persamaan 2.17

$$F \text{ rasio} = \frac{SSC}{SS_e} \\ = \frac{8,985}{2,479} \\ = 3,624$$

Untuk menentukan jumlah rata-rata kuadrat *error* menggunakan persamaan *Residual error* :

$$MS \text{ Residual error } (MS_e) = \frac{SS_e}{V_e} = \frac{2,479}{2} = 1,2395$$

Untuk menentukan jumlah kuadrat total menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ &= 3,411 + 3,380 + 8,985 + 2,479 \\ &= 18,255 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan analisis varians terhadap rasio S/N dapat diperlihatkan pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Analisis Varians Rasio S/N Kekasaran Permukaan

Sumber	v	SS	MS	F rasio
A	2	3,411	1,7055	1,375
B	2	3,380	1,690	1,363
C	2	8,985	4,4925	3,624
<i>Error</i>	2	18,255	1,239	-
Total	8	34,031	-	-

untuk mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing Faktor, SS' dihitung terlebih dahulu pada persamaan 2.20

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS'_A - MS_E (V_A) \\ &= 3,411 - 1,2395(2) \\ &= 0,932 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS'_B - MS_E (V_A) \\ &= 3,380 - 1,2395(2) \\ &= 0,901 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_C &= SS'_C - MS_E (V_A) \\ &= 8,985 - 1,2395 (2) \\ &= 6,506 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_e &= SST - SSA - SSB - SSC \\ &= 18,255 - 0,932 - 0,901 - 6,502 \\ &= 9,92 \end{aligned}$$

Sedangkan persentase kontribusi untuk masing-masing faktor dihitung menggunakan persamaan 2.18

$$\rho = \frac{SS_A}{SS_T} 100\%$$

$$\rho^A = \frac{0,932}{18,255} 100\% = 5,105\%$$

$$\rho^B = \frac{0,901}{18,255} 100\% = 4,935\%$$

$$\rho^C = \frac{6,506}{18,255} 100\% = 35,63\%$$

$$\rho^e = \frac{9,92}{18,255} 100\% = 54,34\%$$

Dari perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata kekasaran permukaan dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Persen Kontribusi Terhadap Rata-rata Kekasaran Permukaan

Sumber	v	SS	MS	SS'	P(%)
A	2	3,411	1,7055	0,932	5,105%
B	2	3,380	1,690	0,901	4,935%
C	2	8,985	4,4925	6,506	35,63%
<i>Error</i>	2	18,255	1,239	9,92	54,34%
Total	8	34,031	-	-	100 %

Pada tabel perhitungan kontribusi faktor pada tabel 4.10 menunjukkan pengaruh faktor C (Gerak Makan) memiliki kontribusi terbesar terhadap kekasaran permukaan dibandingkan dengan faktor lainnya (35,63%).

4.5.3 Prediksi Rasio S/N Kekasaran Permukaan Yang Optimal

Sudah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rasio S/N kekasaran permukaan yang optimum adalah:

- Faktor A level 2 (putaran spindel 350)
- Faktor B level 1 (kedalaman pemakanan 0,5 mm)
- Faktor C level 3 (Gerak makan 0,04 mm/put)

Sehingga model persamaan rata-rata kekasaran permukaan dengan persamaan 2.24 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{prediksi}} &= \bar{Y} + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{A}_2 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y}) \\ &= \bar{B}_1 + \bar{A}_2 + \bar{C}_3 + 2 \times \bar{Y} \\ &= -13,0468 + (-12,8029) + (-12,1285) + 2 \times -13,4872 \\ &= -64,953\end{aligned}$$

Untuk interval keyakinan rata-rata kekasaran permukaan benda kerja pada tingkat keyakinan 95% dengan persamaan 2 sebagai berikut:

Diketahui : $F_{(0,05;2;2)} = 19,00$ dan $MS_e = 1,2395$

$$\begin{aligned}N_{\text{eff}} &= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} \\ &= 3,857\end{aligned}$$

$$CI_{\text{optimasi}} = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;vE} \cdot MS_E}{n_{\text{eff}}}}$$

$$CI_{\text{optimasi}} = \pm \sqrt{\frac{19,00 \times 1,2395}{3,857}}$$

$$CI_{\text{optimasi}} = \pm 2,4701$$

$$\mu_{\text{prediksi}} - CI \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI$$

$$-64,953 - 2,4701 \leq -64,953 \leq -64,953 + 2,4701$$

$$-67,4237 \leq -64,953 \leq -62,4829$$

Berdasarkan perhitungan, ANOVA untuk kekasaran permukaan benda kerja ditampilkan pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil Kekasaran ANOVA

Sumber	v	SS	MS	F _{hitung}	P(%)
A	2	1,2285	0,6143	1,24	20
B	2	1,1220	0,5610	1,13	18,4%
C	2	2,7532	1,3766	2,78	45,1%
Error	2	0,9912	0,9912	-	16,2%
Total	8	6,0950	-	-	100 %

jika nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} hal ini menunjukkan bahwa variabel proses berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak. Hipotesis nol serta hipotesis alternatif yang digunakan dalam pengujian hipotesis menggunakan distribusi F sebagai berikut:

1. Variabel A (putaran spindel)

H₀ : Tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan

H₁ : Ada pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan.

a. Kriteria penolakan adalah :

Tolak H₀ jika P- value < α dan α = 5% = 0,05

b. Hasil :

Menggunakan *software statistic* P_{value} = 0,447

Menggukan hitungan manual F_{Tabel} = 19,00

Kesimpulan : F_{Hitung} = 1,24 < F_(0,05;2,2) = 19 maka H₀ diterima H₁ ditolak, artinya bahwa variabel putaran spindel tidak memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan.

2. Variabel B (Kedalaman Pemakanan)

H_0 : Tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan

H_1 : Ada pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan.

a. Kriteria penolakan adalah :

Tolak H_0 jika P- value $< \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

b. Hasil :

Menggunakan *software statistic* $P_{\text{value}} = 0,469$

Menggunakan hitungan manual $F_{\text{Tabel}} = 19,00$

Kesimpulan : $F_{\text{Hitung}} = 1,13 < F_{(0,05;2,2)} = 19$ maka H_0 diterima H_1 ditolak, artinya bahwa variabel kedalaman pemakanan tidak memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan.

3. Variabel C (Gerak Makan)

H_0 : Tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan

H_1 : Ada pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan.

a. Kriteria penolakan adalah :

Tolak H_0 jika P- value $< \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

b. Hasil :

Menggunakan *software statistic* $P_{\text{value}} = 0,265$

Menggunakan hitungan manual $F_{\text{Tabel}} = 19,00$

Kesimpulan : $F_{\text{Hitung}} = 2,78 < F_{(0,05;2,2)} = 19$ maka H_0 diterima H_1 ditolak, artinya bahwa variabel gerak makan tidak memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Kondisi *hipotesis nol* (H_0) pada masing-masing variabel proses diperlihatkan pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Kondisi Hipotesis Nol Respon Secara Serentak

Sumber Variasi	Kondisi H_0
A	Diterima
B	Diterima
C	Diterima

4.6 Eksperimen Konfirmasi

eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal yaitu putaran spindel 350 rpm pada level 2 kemudian kecepatan pemakanan 0,5 mm pada level, kemudian gerak makan 0,04 pada level 3.

kondisi yang optimum menghasilkan kekasaran rata-rata untuk eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Ra Optimum

Eksperimen Konfirmas (A,B,C)	R1	R2	R3	Mean	Rasio S/N
	4,702	5,252	4,709	4,8876	-13,5648

4.6.1 Hasil Pengolahan Data Eksperimen Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut harus berada dalam interval kepercayaan konfirmasi

1. Interval kepercayaan rata-rata untuk eksperimen konfirmasi sebagai berikut :

$$CI = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;vE} \cdot MSE}{n_{eff}}}$$

Dari tabel 4.11 Diketahui $F_{(0,05;2;2)} = 19$ dan $MS_e = 0,9912$

$$CI_{optimasi} = \pm \sqrt{19 \times 0,9912 \times \left(\frac{1}{3,857} + \frac{1}{3}\right)}$$

$$= \pm 3,3407$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah

$$4,8876 - 3,3750 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 4,8876 + 3,3750$$

$$1,5469 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 8,2283$$

2. Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen konfirmasi yaitu sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;vE} \cdot MS_E}{n_{eff}}}$$

Dari tabel 4.10 Diketahui $F_{(0,05;2;2)} = 19$ dan $MS_e = 1,239$

$$\begin{aligned} CI_{optimasi} &= \pm \sqrt{19 \times 1,239 \left(\frac{1}{3,857} + \frac{1}{3} \right)} \\ &= 3,7350 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah

$$-13,5684 - 3,7350 \leq \mu_{konfirmasi} \leq -13,5684 + 3,7350$$

$$-17,3034 \leq \mu_{konfirmasi} \leq -9,8334$$

Setelah hasil perhitungan interval keyakinan pada tingkat keyakinan 95% untuk eksperimen *taguchi* kemudian dibandingkan dengan interval keyakinan untuk eksperimen konfirmasi. Interval keyakinan tersebut dapat ditampilkan pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Interpretasi Hasil Ukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Respon (Kekasaran Permukaan)		prediksi	Optimasi
Eksperimen <i>Taguchi</i>	Rata-rata	4,976	$4,93 \pm 1,585$
	Variabilitas (S/N)	-64,953	$-64,953 \pm 2,4701$
Eksperimen Konfirmasi	Rata-rata	4,887	$4,8876 \pm 3,3407$
	Variabilitas (S/N)	-13,5684	$-13,5684 \pm 3,7350$

Berdasarkan hasil interpretasi pada tabel 4.14 yaitu eksperimen *taguchi* ke eksperimen konfirmasi mengalami penurunan rata-rata. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi parameter yang optimal dapat menurunkan nilai kekasaran permukaan dengan kata lain kualitas permukaan yang dihasilkan semakin halus sesuai dengan karakteristik kualitas yang diinginkan “**Smalle the better.**”

4.7 Pengukuran Kekerasan Brinell Permukaan Benda Kerja

Baja AISI 1045 yang akan di lakukan pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 2 kali pengujian. Yang pertama dilakukan pengujian sebelum dilakukan pembubutan untuk pengujian kedua dilakukan setelah pembubutan. Pada pengujian brinell ini menggunakan skala HBS dengan bola baja indenter berdiameter 5 dan beban (test load) 120 kgf.

Setelah dilakukan pengujian kemudian data-data yang diperoleh dapat diperlihatkan pada tabel berikut. Untuk data pengujian sebelum pembubutan dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4. 15 Data Hasil Sebelum Pembubutan Pengujian Kekerasan Brinell

Nomor Pengujian	Hasil Pengujian Kekerasan Brinell			Rata-rata (HBW)
1	167,630	164,193	165,213	165,679
2	160,861	161,189	160,533	160,861
3	162,514	161,519	163,856	162,630
4	161,189	161,519	160,861	161,190
5	160,861	160,861	160,533	160,751
6	162,514	163,519	163,856	163,296
7	162,182	161,519	163,519	162,406
8	161,189	161,519	160,533	161,080
9	160,861	160,206	160,533	160,533
Rata-rata	162,0473 HBW			

Setelah dilakukan pengujian kekerasan brinell sebelum pembubutan, dapat dilihat spesimen pengujian pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Gambar Spesimen Pengujian Kekerasan Brinell Sebelum Pembubutan

Tabel 4. 16 Data Hasil Setelah pembubutan Pengujian Kekerasan Brinell

Nomor Pengujian	Hasil Pengujian Kekerasan Brinell			Rata-rata (HBW)
1	160,206	157,309	140,109	152,541
2	140,645	158,266	154,489	151,133
3	140,645	143,236	140,645	141,508
4	141,727	150,250	140,109	144,029
5	129,749	123,979	131,192	128,307
6	131,192	130,950	120,913	127,685
7	137,472	154,489	145,896	145,952
8	134,908	145,896	157,946	146,250
9	117,958	114,115	143,097	125,0567
Rata-rata	140,2736 HBW			

Setelah dilakukan pembubutan kemudian dilakukan pengujian kekerasan. Data-data yang diperoleh setelah pembubutan dapat diperlihatkan pada Tabel 4.16

Setelah dilakukan pengujian kekerasan brinell setelah pembubutan, dapat dilihat spesimen pengujian pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Gambar Spesimen Pengujian Kekerasan Brinell Setelah Pembubutan

4.7.1 Perhitungan Nilai kekerasan Brinell

Dalam menghitung nilai kekerasan brinell pada spesimen menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 HBS &= \frac{2kgF}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \\
 HBS &= \frac{2(125 \text{ kgF})}{(3,14 \times 5\text{mm})(5\text{mm} - \sqrt{(5\text{mm})^2 - (1\text{mm})^2})} \\
 &= \frac{240\text{kgF}}{7,85 \text{ mm} \times 0,21 \text{ mm}} \\
 &= 157,62
 \end{aligned}$$

Kekerasan permukaan benda kerja diukur dengan menggunakan alat ukur Hardness Brinell. Hasil keseluruhan untuk data percobaan di perlihatkan pada Tabel 4.17

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Kekerasan Hardness Brinell

Eksperimen	Faktor			Data			
	A	B	C	R1	R2	R3	Mean
1	1	1	1	137,472	154,489	145,896	152,541
2	1	2	2	140,645	158,266	154,489	151,133
3	1	3	3	140,645	143,236	140,645	141,508
4	2	1	2	141,727	150,250	140,109	144,028
5	2	2	3	129,749	123,979	131,192	128,306
6	2	3	1	131,192	130,950	120,913	127,685
7	3	1	3	160,206	157,309	140,109	145,952
8	3	2	1	134,908	145,896	157,946	146,25
9	3	3	2	117,958	114,115	143,097	125,056
Mean							140,2736

Untuk ketiga faktor utama yang diamati adalah putaran spindel (A), Kedalaman pemakanan (B), Gerak Makan (C). Adapun faktor dapat diperlihatkan pada Tabel 4.18

Tabel 4. 18 Respon Rata-rata Kekerasan Dari Pengaruh Faktor

Level	A	B	C
1	148,4	147,5	142,2
2	133,3	141,9	140,1
3	139,1	131,4	138,6
Delta	0,891	16,1	3,6
Rank	2	1	3

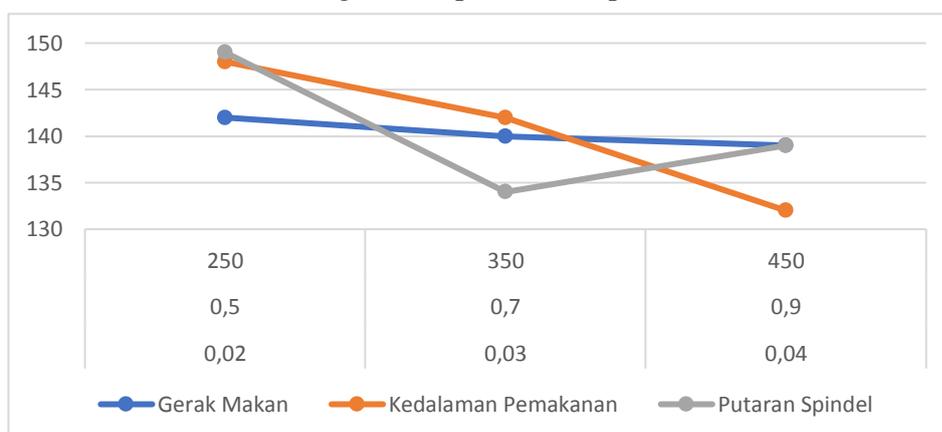
Tabel 4.18 menunjukkan respon kekerasan permukaan keseluruhan parameter, Kedalaman pemakanan (B) menempati peringkat pertama dan diikuti putaran Spindel (A) dan Gerak makan (C). Kedalaman pemakanan memiliki pengaruh yang besar pada hasil kekerasan permukaan pada proses permesinan CNC *Turning* dapat diketahui dari analisis Variansi dengan menggunakan perhitungan metode taguchi.

Sedangkan untuk hasil perhitungan Analisis Varian Rasio S/N kekerasan Permukaan di perlihatkan pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Analisis Varian Rasio S/N kekerasan Permukaan

Level	A	B	C
1	43,40	43,34	42,99
2	42,47	42,99	42,84
3	42,77	42,31	42,81
Delta	0,92	1,03	0,18
Rank	2	1	3

Dari hasil perhitungan Analisis varian rasio S/N kekerasan permukaan faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kekerasan permukaan di dapatkan pada variabel , Kedalaman pemakanan 0,5 mm di level 1 (B) menempati peringkat pertama dan diikuti putaran Spindel 250 rpm di level 1 (A) dan Gerak makan 0,04 dilevel 3 (C). Hasil grafik di perlihatkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Plot Pengaruh Dari Faktor Terhadap Means Rasio S/N

Untuk hasil perhitungan ANOVA kekerasan permukaan benda kerja diperoleh dari hasil perhitungan *software minitab* dapat dilihat pada Tabel 4.20

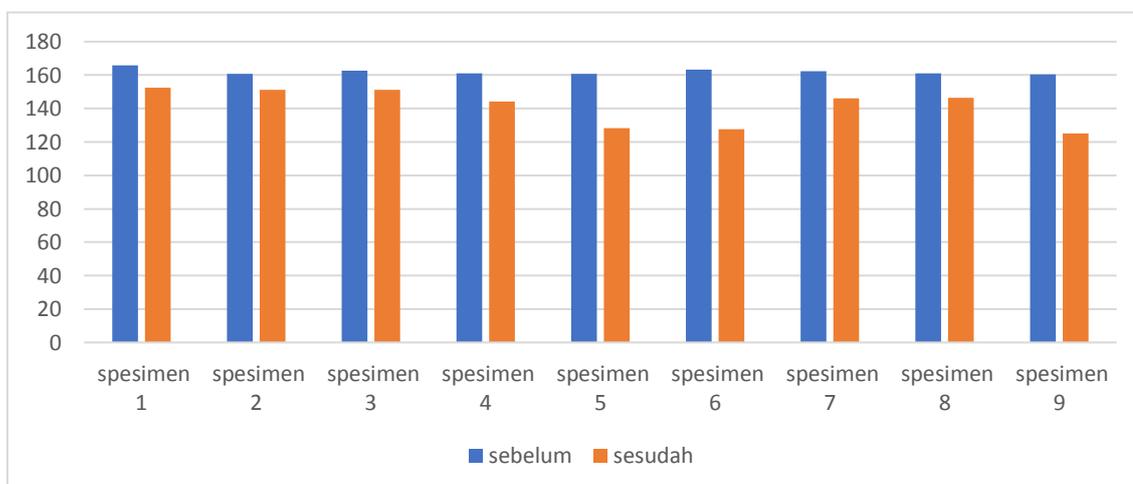
Tabel 4. 20 Hasil Kekerasan ANOVA

Sumber	v	SS	MS	F _{hitung}	P(%)
A	2	1,2285	0,6143	1,24	20%
B	2	1,1220	0,5610	1,13	18,4%
C	2	2,7532	1,3766	2,78	45,1%
<i>Error</i>	2	0,9912	0,9912	-	16,2%
Total	8	6,0950	-	-	100 %

Hasil perhitungan menggunakan *Software minitab* menunjukkan bahwa pengaruh kontribusi dari variabel-variabel proses didapatkan gerak makan memiliki kontribusi terbesar untuk kekerasan yaitu sebesar 45,1%, untuk pengaruh kekerasan yang kedua diperoleh dari variabel putaran spindel yaitu sebesar 20%, dan untuk kedalaman pemakanan persen kontribusi sebesar 18,4 %

4.7.2 Perbandingan Nilai Kekerasan Brinell Sebelum dan Sesudah Pembubutan

Setelah dilakukan pengujian kekerasan brinell nilai kekerasan sebelum dilakukan pembubutan dan sesudah dapat dilihat perbandingannya pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Perbandingan Nilai Kekerasan Brinell Sebelum Dan Sesudah Pembubutan

Setelah dilakukan pengujian kekerasan Brinell nilai kekerasan pada hasil sebelum dan sesudah pembubutan dapat dilihat perbandingan kekerasan pada gambar 4.4. dapat dilihat perbandingan yang terjadi setiap spesimen mengalami penurunan kekerasan setelah terjadinya proses perlakuan pembubutan pada mesin CNC Turning.

Pada hasil pengujian sebelum proses pembubutan mendapat nilai rata-rata keseluruhan sebesar 162 HBW. Setelah terjadi proses pembubutan dengan diameter awal 25 pemakanan 10 dengan hasil kekerasan sebesar 141 HBW. Dengan begitu selisih kurangnya nilai kekerasan 21 HBW.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisa dan pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada interval kepercayaan 95% atau taraf signifikan 5% ($\alpha = 0,05$), Putaran spindel tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan dan dapat dilihat pada hasil uji analisa data yang menyatakan bahwa putaran spindel $F_{hitung} = 1,24 < F_{(0,05;2,2)} = 19,00$. Untuk kedalaman pemakanan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran dengan hasil uji analisis yang menyatakan bahwa $F_{hitung} = 1,13 < F_{(0,05;2,2)} = 19,00$. Untuk gerak makan, tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan dan dapat dilihat pada hasil uji analisis data yang menyatakan bahwa $F_{hitung} = 2,78 < F_{(0,05;2,2)} = 19,00$.
2. Hasil penelitian menunjukkan tingkat kekerasan permukaan sebelum dan sesudah pembubutan mengalami penurunan kekerasan permukaan setelah terjadi proses pembubutan. Dengan hasil kekerasan sebelum sebesar 162 HBW dan setelah dilakukan pembubutan dengan hasil kekerasan 141 HBW. Dengan begitu selisih kurangnya nilai kekerasan 21 HBW.
3. Settingan parameter nilai kekasaran permukaan yang optimal pada baja AISI 1045 proses permesinan dengan menggunakan metode taguchi desain *Orthogonal Array L9(3³)* didapatkan hasil pengujian yang optimal yaitu putaran spindel 350 rpm pada level 2 kemudian kedalaman pemakanan 0,5 mm pada level 1, kemudian gerak makan 0,04 pada level 3. Sedangkan untuk parameter kekerasan yang optimal terhadap kekerasan permukaan di dapatkan pada variabel, Kedalaman pemakanan 0,5 mm di level 1 (B) menempati peringkat pertama dan diikuti putaran Spindel 250 rpm di level 1 (A) dan Gerak makan 0,04 di level 3 (C).

5.2 SARAN

saran yang bisa diberikan penulis setelah dilakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, gunakan teknik atau desain eksperimen berbeda.
2. Penelitian ini masih bisa di kembangkan lagi dengan cara menambah variabel bebasnya dimana penelitian selanjutnya harus mempelajari apa saja parameter yang lain berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hendri Budiman, dan Richard Richard. (2007). Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metoda Variable Speed Machining Test. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 31–39. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/16643>
- Industri, solusi (2018). Nilai Standar ASTM Sebagai Parameter Dalam Uji Kekerasan. <https://solusiindustri.com/nilai-standar-astm-uji-kekerasan>
- Junaedi, A., dan Suhartini, T. (2022). Nusantara Hasana Journal. *Nusantara Hasana Journal*, <http://nusantarahasanajournal.com/index.php/nhj/article/view/279>
- Juhana, O. d. S. M., M., (2000). Menggambar Teknik Mesin dengan Standar ISO. Pustaka Grafika.
- Kalpakjian, S dan Schmid, S. (2013). Manufacturing engineering and technology, SI 6th Edition. *Pearson*, 1216.
- Mujiono. (2016). Pengaruh Kecepatan Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja EMS 45 Pada Proses End Milling Surface. *Teknik Mesin*, 1, 33–34.
- Pane, N. A. R., dan Sudiyanto, A. (2021). Proses Pengecoran Dan Manufaktur Logam. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, 1(2), 123–130.
- Permana, D. I., dan Yayat, Y. (2019). Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Aluminium Proses Pembubutan Dengan Metode Taguchi. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 3(1), 10. <https://doi.org/10.25077/metal.3.1.10-16.2019>
- Rochim, T., (2001), "Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik", Institut Teknologi Bandung.
- Rochim, T., (1993), "Teori dan Teknologi Proses Permesinan", Institut Teknologi Bandung.
- Saputro, H. (2010). Model Matematik Untuk Memprediksi Kekasaran Permukaan Hasil Proses Cnc Bubut Tanpa Pendinginan. *Traksi*, 10(1), 18–31.
- Seprianto, D., dan Rizal, S. (2009). Analisa Pengaruh Perubahan Ketebalan Permukaan, kecepatan Putar Pada Mesin, Kecepatan Pemakanan(Feeding) Frais Horisontal Terhadap Kekasaran Permukaan Logam. *Jurnal Austenit*, Volume 1,33-38.
- Soejanto, I. (2009). Desain eksperimen dengan metode taguchi. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Suhartono, R. (2016). Geometri Pahat Bubut HSS Pada Proses Membubut Muka Poros Baja Karbon Rendah Dari Hasil Pemotongan Menggunakan Las Oxy-Acetylen. *Ppkm I, 1*, 45–48.
- Supriyandi, J., Yudo, E., dan Satria, A. (2021). Optimasi Kekasaran Permukaan Proses CNC Turning Baja SKD-11 dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Health Sains*, 2(7), 1284–1293. <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i7.276>
- Supriyanto. (2017). Pengaruh Variasi Merk Pahat HSS (High Speed Steel) terhadap Keausan Pahat pada Material ST 37. *Universitas Nusantara PGRI Kediri*, 1–10.
- Syahrillah, Gusti R. F., Firman, M., dan Sugeng .P, M. A. (2016). Analisa Uji Kekerasan pada Poros Baja ST 60 dengan Media Pendingin yang Berbeda. *Al-Jazari Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 01(02), 21–26.
- Turning, C. N. C. (2020). *Petunjuk operasional mesin cnc gedee weiler lean turn*.
- Veera Ajay, C., dan Vinoth, V. (2019). Optimization of process parameters in turning of aluminum alloy using response surface methodology. *Materials Today:Proceedings*,<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.236>
- Widarto, D., (2008). Teknik Pemesinan untuk SMK (Budi Santosa, Ed). In: D. P. Nasional, ed. Jakarta: Dirketorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Yasa Utama, F., dan Hartutuk Ningsih, T. (2016). Optimasi Parameter Pemesinan dengan Proses Bubut pada Respon Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Material S45-C Menggunakan Metode Taguchi - Grey - Fuzzy. *Rekayasa Energi Manufaktur*, 1(1). <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v1i1.169>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Penunjuk Pembimbing Tugas Akhir

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)
Telepon. (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450
Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email: ft@unimal.ac.id

SURAT PENUNJUKAN PEMBIMBING PROPOSAL PENELITIAN
Nomor : 219/UN45.1.1/KM.00.00/2023

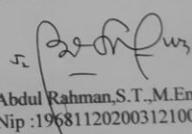
Sehubungan dengan kegiatan pelaksanaan Proposal Penelitian mahasiswa atas :

Nama	: M. Taufik Anwar
Nim	: 190120128
Bidang	: Manufaktur
Pada Semester	: Genap
Tahun Akademik	: 2022/2023

Dengan ini menunjukkan Bapak Aljufri, S.T.,M.T.IPM Nip. 196801102002121001 Sebagai pembimbing Utama Proposal Penelitian dan Bapak Abdul Rahman,S.T.,M.Eng Nip. 196811202003121001. Sebagai pembimbing Pendamping Proposal Penelitian mahasiswa tersebut diatas. Berdasarkan surat tugas ini, proses bimbingan terhadap mahasiswa tersebut ditetapkan, dan akan ditetapkan kembali melalui Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik.

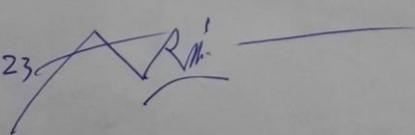
Demikian surat ini dikeluarkan dan untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Lhokseumawe, 11 April 2023
Ketua Prodi Teknik Mesin


Abdul Rahman,S.T.,M.Eng
Nip.:196811202003121001

Tembusan :

- Dosen Pembimbing
- Administrasi Prodi
- Mahasiswa Bersangkutan

Acc
17/05/23


Acc.
22/05/23

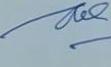
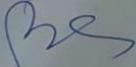

Lampiran 2 Surat Konsultasi Bimbingan Tugas Akhir



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN – PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
Jl. Batam, Blang Pulo, Muara Satu- Lhokseumawe – Aceh (24352)
Tel. (0645)41373-40915, Faks. (0645)44450
website: <https://tm.unimal.ac.id>, e-mail: teknikmesin@unimal.ac.id

KARTU KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

A. Identitas Mahasiswa				
Nama	M. Taufik Anwar	Kode Form JTM.03/TGA		
NIM	190120128			
Konsentrasi Bidang (KDK)	Manufaktur			
Dosen Pembimbing I	Aljufri, ST., MT. IPM			
Dosen Pembimbing II	Abdul Rahman, ST., M.Eng			

No	Hari/ Tanggal	Materi Bimbingan	Koreksi dan Arahan	Tanda Tangan Pembimbing
1	02/01/24	Bab II	Kerif Bab IV sesuai dgn arahan hasil diskusi	
	03/01/24		Perbaiki ds sistem - Siapkan PPT	
	4/1/24	Hal judul	perbaiki beban ulu hasil - cek keubel: fusi kometer	
	8/1/24	Bab Akhir	teshopsi panyach - kumpulkeunke drg. - pulitlog uti Revisi sub san Bab IV	
	08/01/24			
	10/01/24		OK selesai	

Lampiran 3 Proses Melakukan Pembubutan



Lampiran 4 Pengambilan Data Kekasaran dan kekerasan

a. Kekasaran



b. kekerasan



Lampiran 5 Hasil Proses pembubutan CNC Turning



Lampiran 6 Analisis Variansi Rata-rata Dan persen Kontribusi menggunakan *Software Minitab 19*

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
kecepatan Spindle	2	1,2285	1,2285	0,6143	1,24	0,447
kedalaman pemakanan	2	1,1220	1,1220	0,5610	1,13	0,469
Gerak Makan	2	2,7532	2,7532	1,3766	2,78	0,265
Residual Error	2	0,9912	0,9912	0,4956		
Total	8	6,0950				

Lampiran 7 Analisis Variansi Rasio S/N Dan persen Kontribusi menggunakan *Software Minitab 19*

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
kecepatan Spindle	2	3,411	3,411	1,705	1,38	0,420
kedalaman pemakanan	2	3,380	3,380	1,690	1,37	0,422
Gerak Makan	2	8,985	8,985	4,492	3,64	0,215
Residual Error	2	2,468	2,468	1,234		
Total	8	18,244				

Lampiran 8 Sertifikat Baja AISI 1045



SeAH Besteel Corp.
1-6, SORYONG-DONG, KUNSAN,
CHEONGBUK, KOREA(573-711)

MILL CERTIFICATE

TEL : +82-(0)63-460-8572, 8318(QA)
+82-(0)63-460-8114(Repres.)
FAX : +82-(0)63-460-8423 Page(0/0)

Date : 2018-03-11
Cert. No. : 201803-019834
Customer :
Heat No. : 276685

Steel Grade : AISI 1045/S45C
Shape of Product : ROUND BAR
Delivery Condition : As Rolled

Size (mm) : 13 - 1,000
Length (mm) : 6,000
Weight (kg) :
Quantity(pcs) : 1,000

Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)				
		C	SI	MN	P	S
		x 100	x 100	x 100	x 100	x 100
Spec.	Min.	42	15	6		
	Max.	48	35	9	30	35
	Result	45	25	8	MAX	MAX
Inspection Items		Product Hardness (HB)				
		SURFACE	160-220 HB	48-50 HRC		

Mechanical Properties AISI 1045/S45C

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Young's modulus (GPa)	E	190 - 210
Poisson's ratio	v	0,27 - 0,30
Density(Kg/m ³)	P	7.700 - 8.030
Yield strength (MPa)		569
Shear strength (MPa)		343
Extension ratio (%)		20
Area reduction (Psi)		30
Hardness (Hb)	Hb	160 - 220

<-Remarks>>

B/DS : 4

----- End of report -----

We hereby certify that the material described herein has been made in accordance with the rules of the contract.

Certified by

O. Y. Cho

Manager of Quality Assurance Dept

Lampiran 9 Hasil pengujian Kekerasan sebelum pembubutan



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155 - Indonesia
Telp. (061) 8210436, 8211235, Fax. (061) 8215845

<http://www.polmed.ac.id> email : polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id

HASIL PENGUJIAN

Nama : M. Taufik Anwar
Nim : 190120128
Institusi : Universitas Malikussaleh
Jurusan/ Prodi : Teknik Mesin
Jenis Pengujian : Hardness Test
Type : Brinell Hardness Tester
Model : FB-3000LC
Ser. No : LB1523
Metode Pengujian : Brinell
Scale : HBW
Indentor : 5 mm
Test Load : 125 KgF
Material Bahan : AISI 1045 (*Round Bar*)
Daerah Pengujian : Surface

1				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,970	167,630
Titik 2	125	5	0,980	164,193
Titik 3	125	5	0,977	165,213
RATA – RATA				165,679

2				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,990	160,861
Titik 2	125	5	0,989	161,519
Titik 3	125	5	0,991	160,533
RATA – RATA				160,861

3				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,985	160,861
Titik 2	125	5	0,988	161,189
Titik 3	125	5	0,981	160,533
RATA - RATA				160,861



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155 - Indonesia
Telp. (061) 8210436, 8211235, Fax. (061) 8215845

<http://www.polmed.ac.id> email : polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id

4				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,989	162,514
Titik 2	125	5	0,988	161,519
Titik 3	125	5	0,990	163,856
RATA - RATA				162,630

5				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,990	160,861
Titik 2	125	5	0,990	160,861
Titik 3	125	5	0,991	160,533
RATA - RATA				160,751

6				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,986	162,182
Titik 2	125	5	0,988	161,519
Titik 3	125	5	0,982	163,519
RATA - RATA				162,406

7				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,986	162,182
Titik 2	125	5	0,988	161,519
Titik 3	125	5	0,982	163,519
RATA - RATA				162,406



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155 - Indonesia
Telp. (061) 8210436, 8211235, Fax. (061) 8215845

<http://www.polmed.ac.id> email : polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id

8				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,989	162,514
Titik 2	125	5	0,988	163,519
Titik 3	125	5	0,991	163,856
RATA - RATA				163,296

9				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,990	160,861
Titik 2	125	5	0,992	160,206
Titik 3	125	5	0,991	160,533
RATA - RATA				160,533

Diuji oleh.

Muhammad Iqbal, A.Md.
NIP : 19930804 201577 0103

Lampiran 10 Hasil pengujian Kekerasan sesudah pembubutan



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155 - Indonesia
Telp. (061) 8210436, 8211235, Fax. (061) 8215845

<http://www.polmed.ac.id> email : polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id

HASIL PENGUJIAN

Nama : M. Taufik Anwar
Nim : 190120128
Institusi : Universitas Malikussaleh
Jurusan/ Prodi : Teknik Mesin
Jenis Pengujian : Hardness Test
Type : Brinell Hardness Tester
Model : FB-3000LC
Ser. No : LB1523
Metode Pengujian : Brinell
Scale : HBW
Indentor : 5 mm
Test Load : 125 KgF
Material Bahan : AISI 1045 (*Round Bar*)
Daerah Pengujian : Surface

1				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,070	137,472
Titik 2	125	5	1,010	154,489
Titik 3	125	5	1,039	145,896
RATA – RATA				145,952

2				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,058	140,645
Titik 2	125	5	0,998	158,266
Titik 3	125	5	1,010	154,489
RATA – RATA				151,133

3				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,058	140,645
Titik 2	125	5	1,074	143,236
Titik 3	125	5	1,058	140,645
RATA - RATA				141,508



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155 - Indonesia
Telp. (061) 8210436, 8211235, Fax. (061) 8215845

<http://www.polmed.ac.id> email : polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id

4				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,054	141,727
Titik 2	125	5	1,024	150,250
Titik 3	125	5	1,060	140,109
RATA - RATA				144,029

5				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,101	129,749
Titik 2	125	5	1,126	123,979
Titik 3	125	5	1,095	131,192
RATA - RATA				128,307

6				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,095	131,192
Titik 2	125	5	1,096	130,950
Titik 3	125	5	1,140	120,913
RATA - RATA				127,685

7				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	0,992	160,206
Titik 2	125	5	1,001	157,309
Titik 3	125	5	1,060	140,109
RATA - RATA				152,541



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155 - Indonesia
Telp. (061) 8210436, 8211235, Fax. (061) 8215845

<http://www.polmed.ac.id> email : polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id

8				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,080	134,908
Titik 2	125	5	1,039	145,896
Titik 3	125	5	0,999	157,946
RATA - RATA				146,250

9				
NO	F	D	d	HBW
Titik 1	125	5	1,154	117,958
Titik 2	125	5	1,173	114,115
Titik 3	125	5	1,049	143,097
RATA - RATA				125,057

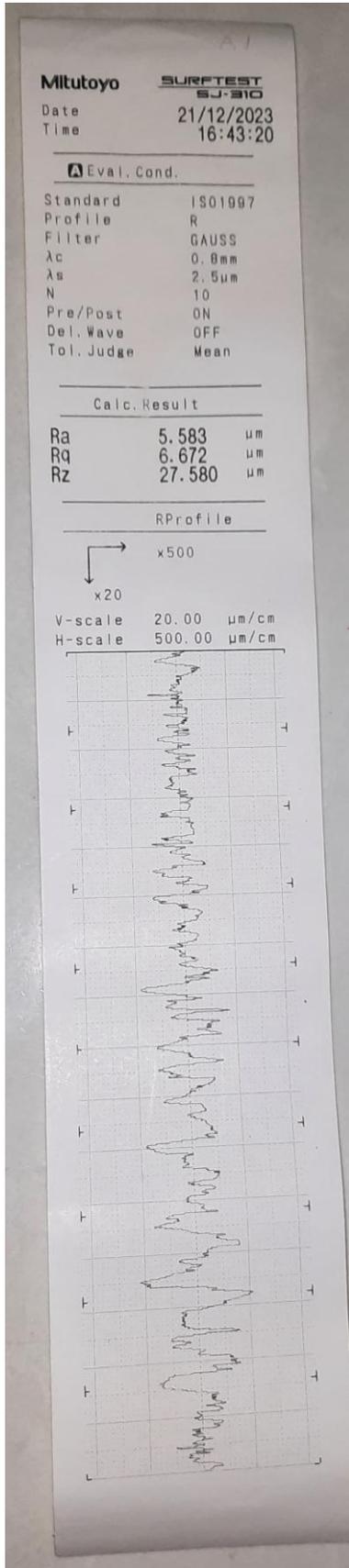
Diuji oleh.

Muhammad Iqbal, A.Md.
NIP : 19930804 201577 0103

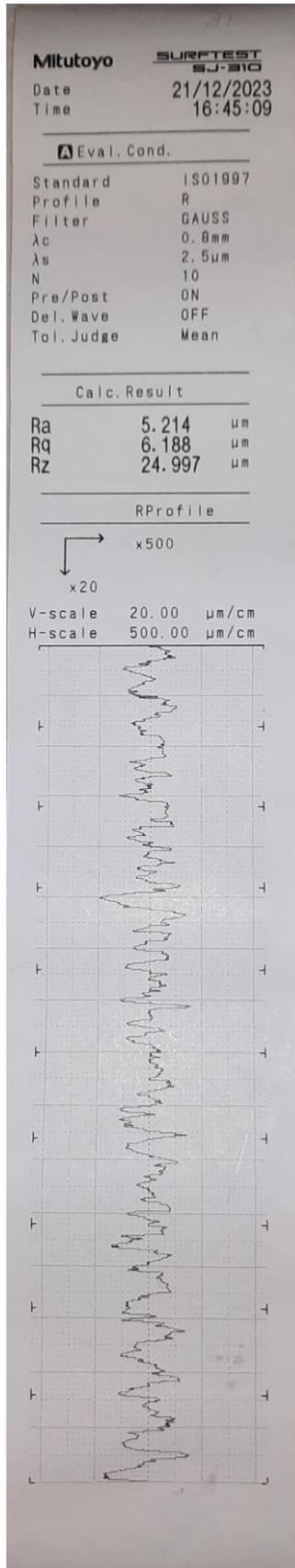
Lampiran 11 Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Eksperimen 1

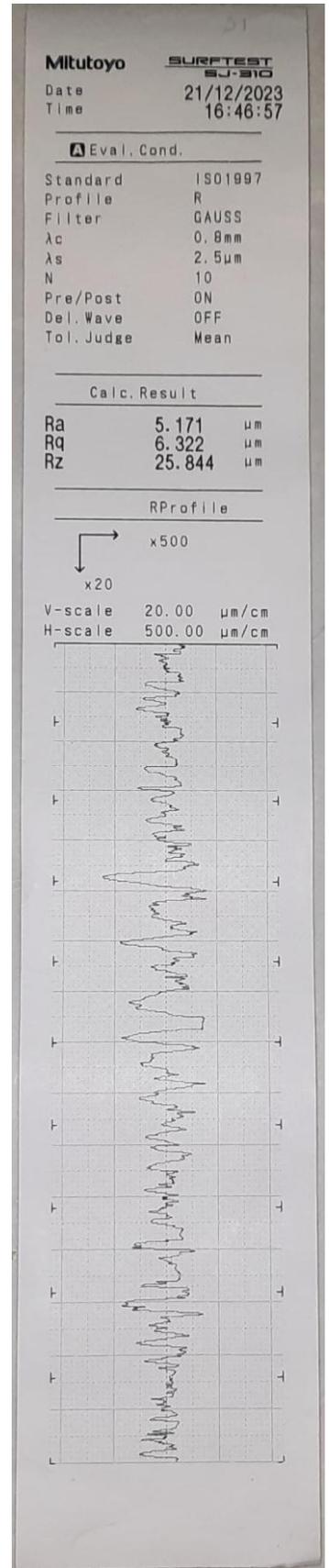
Data R1



Data R2

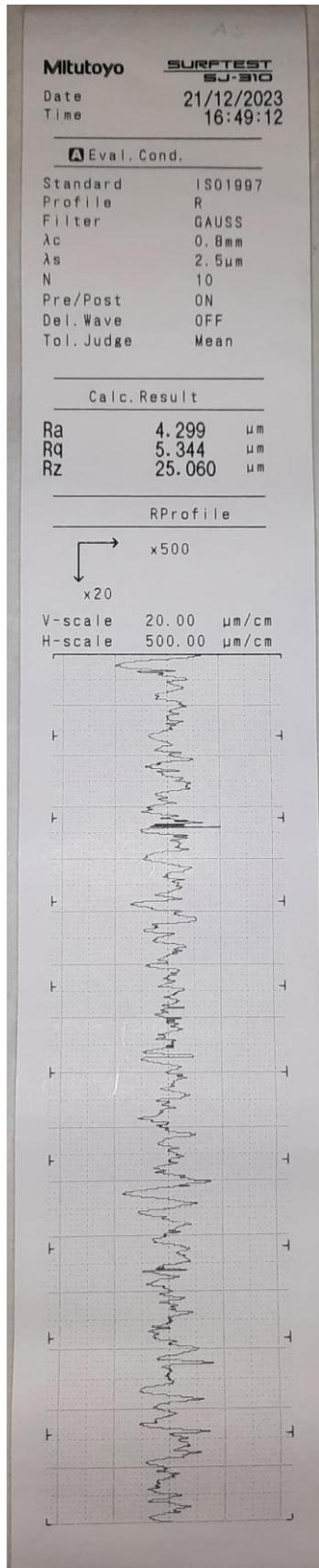


Data R3

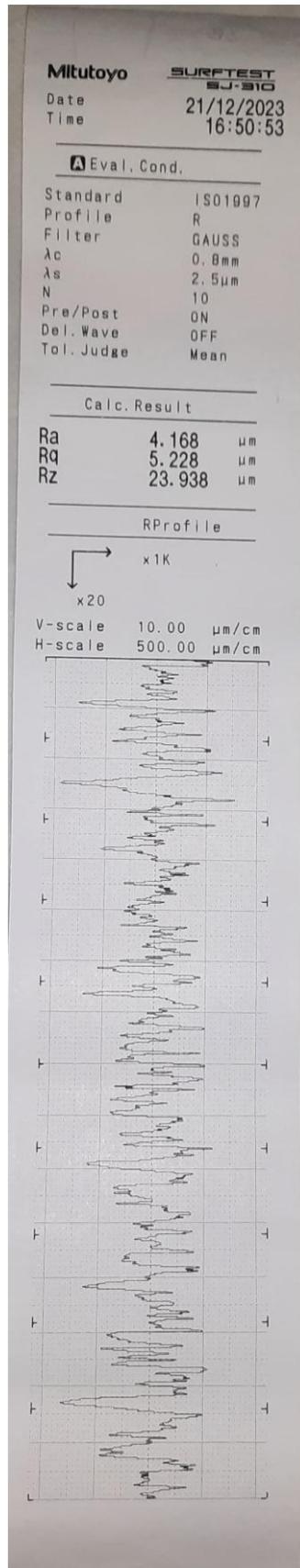


Ekspерimen 2

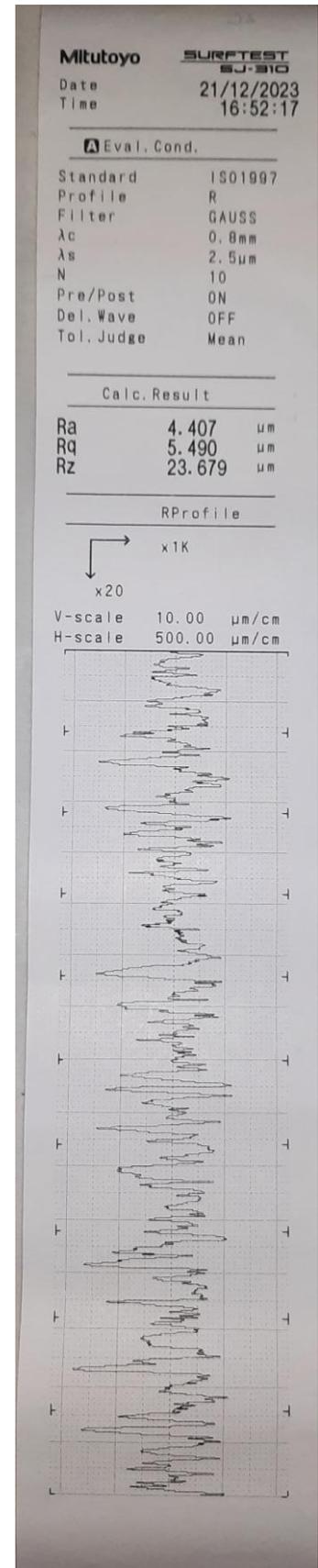
Data R1



Data R2

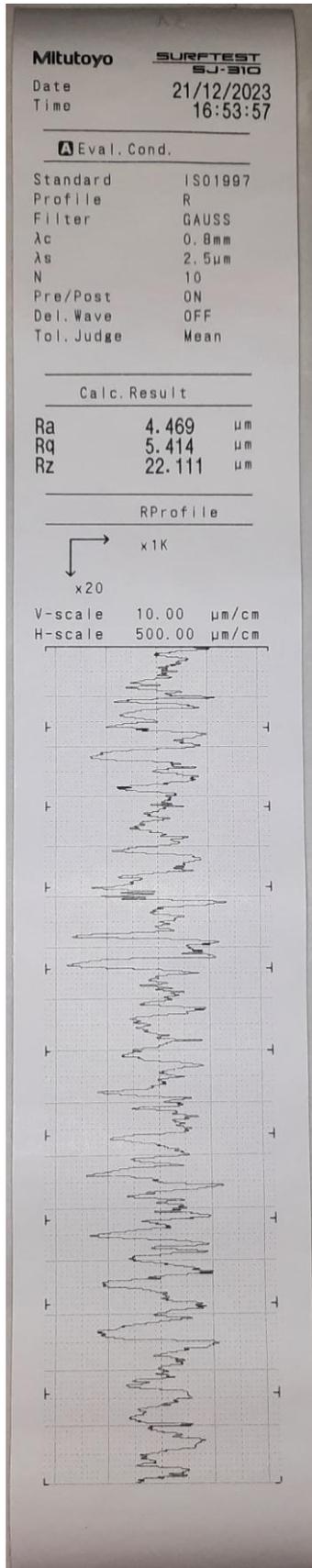


Data R3

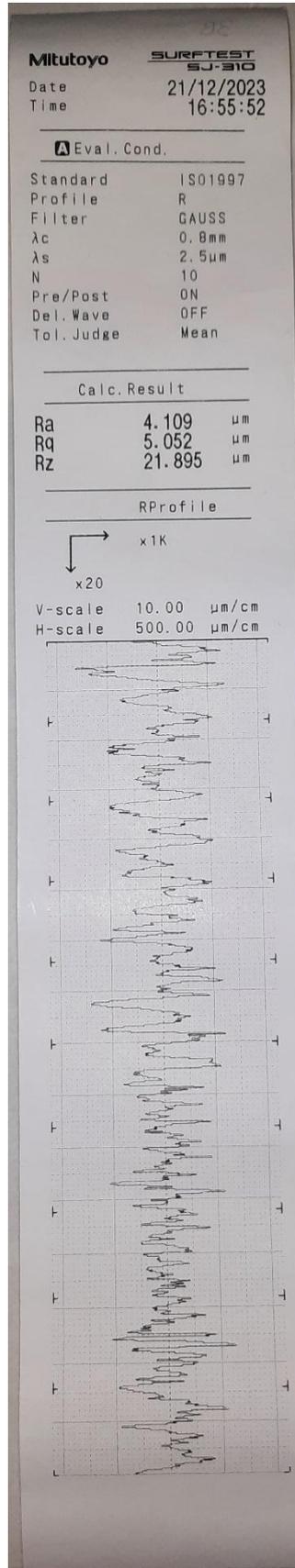


Eksperimen 3

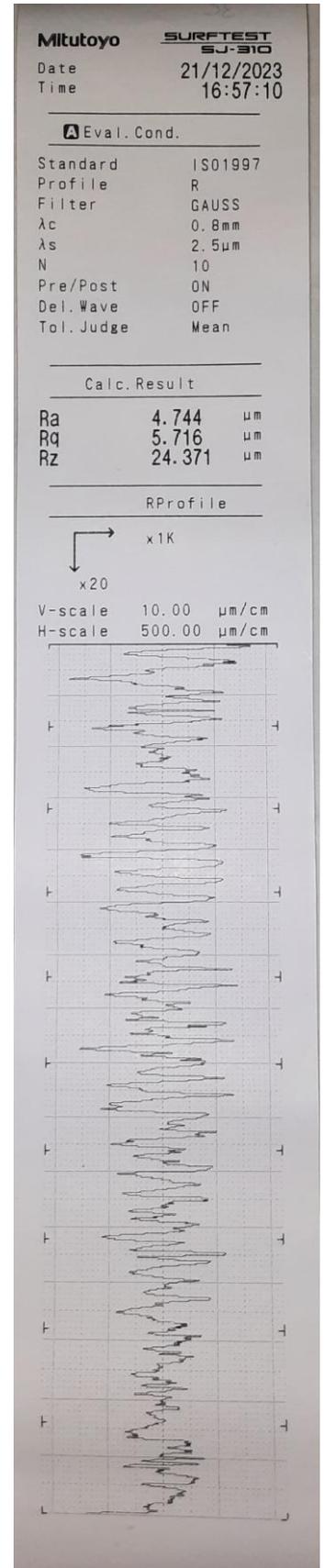
Data R1



Data R2

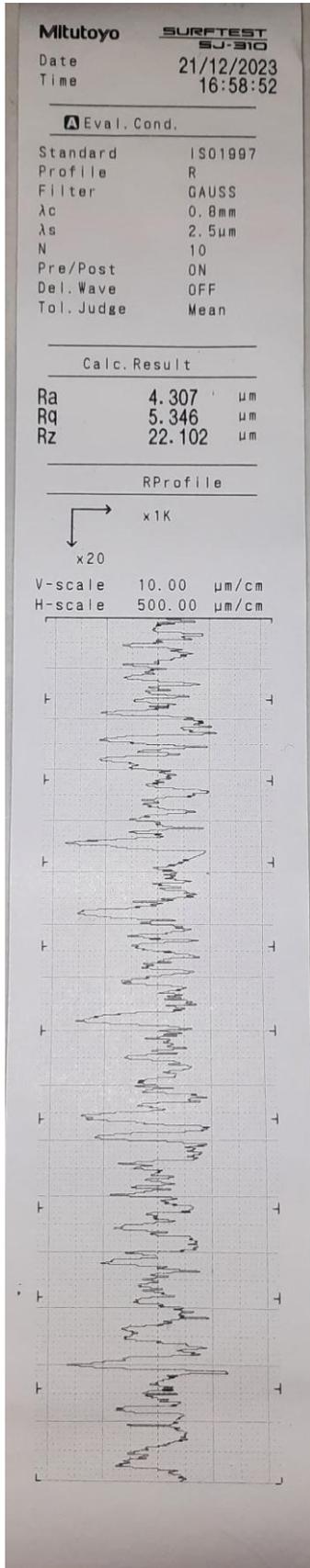


Data R3

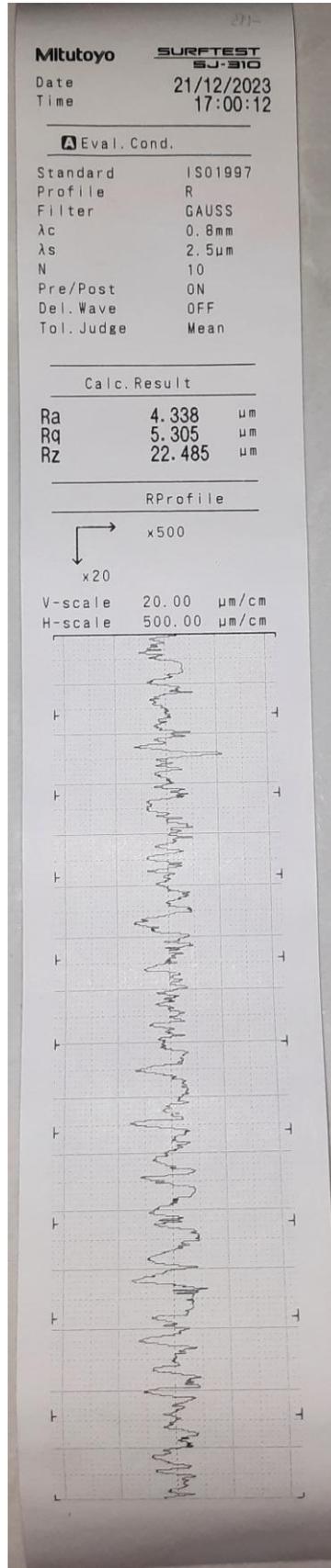


Ekspерimen 4

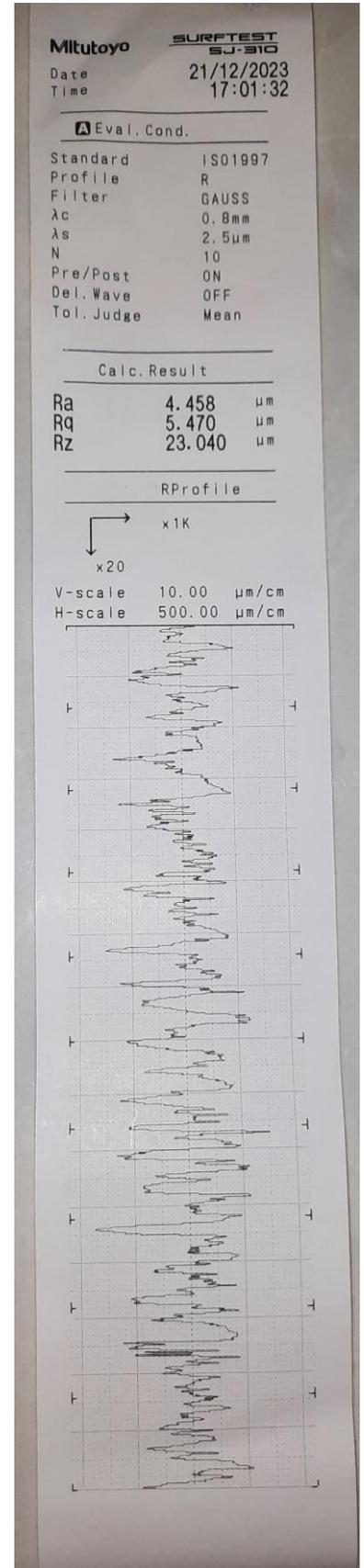
Data R1



Data R2

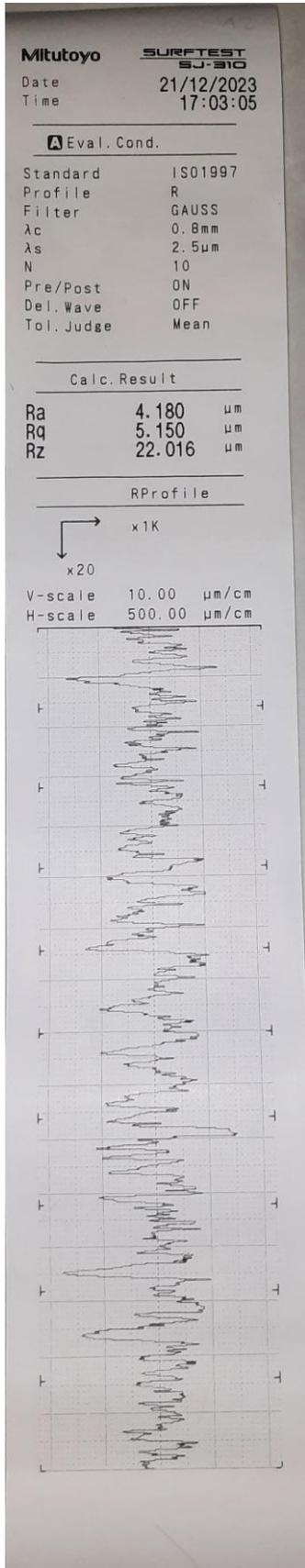


Data R3

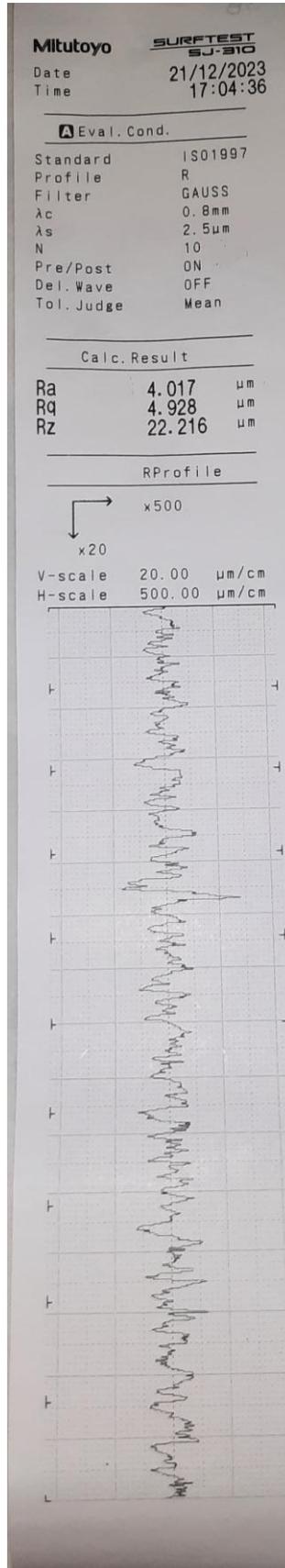


Eksperimen 5

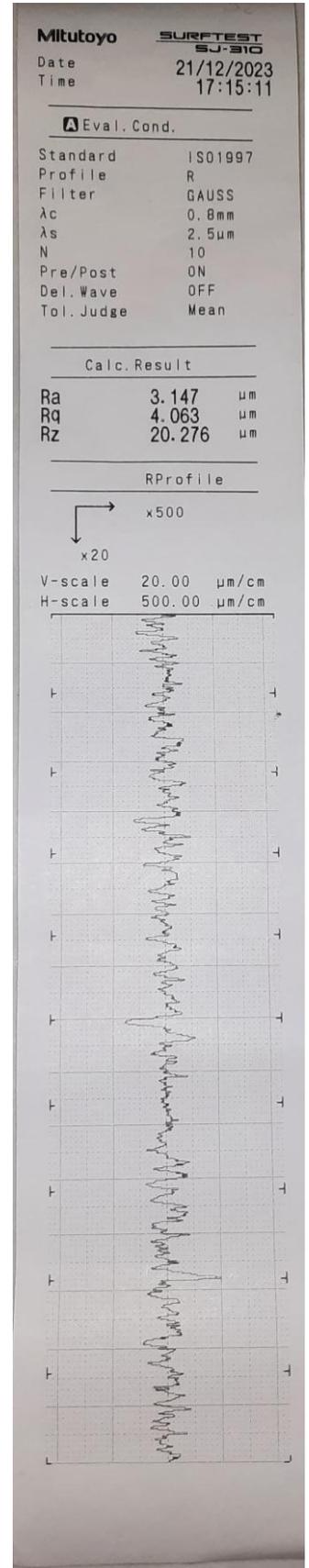
Data R1



Data R2

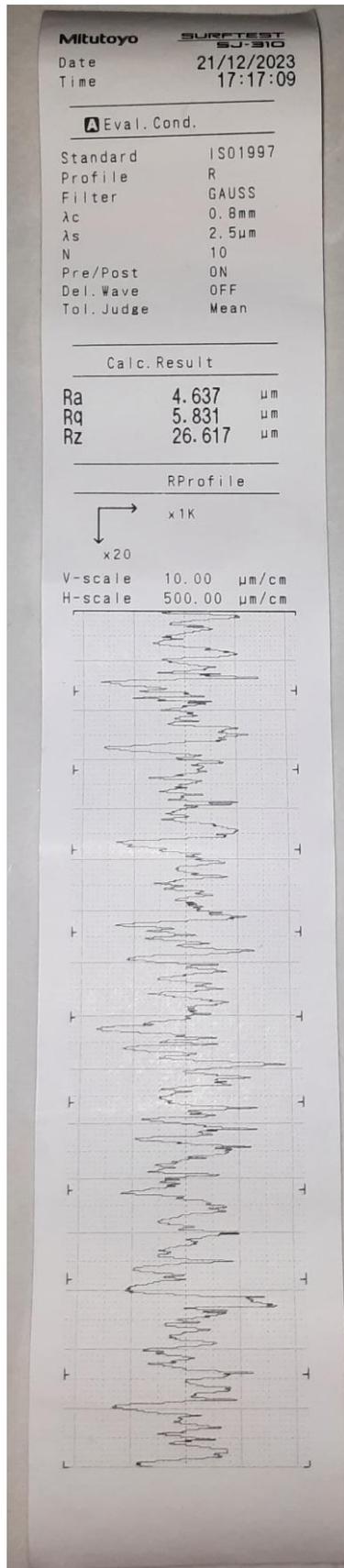


Data R3

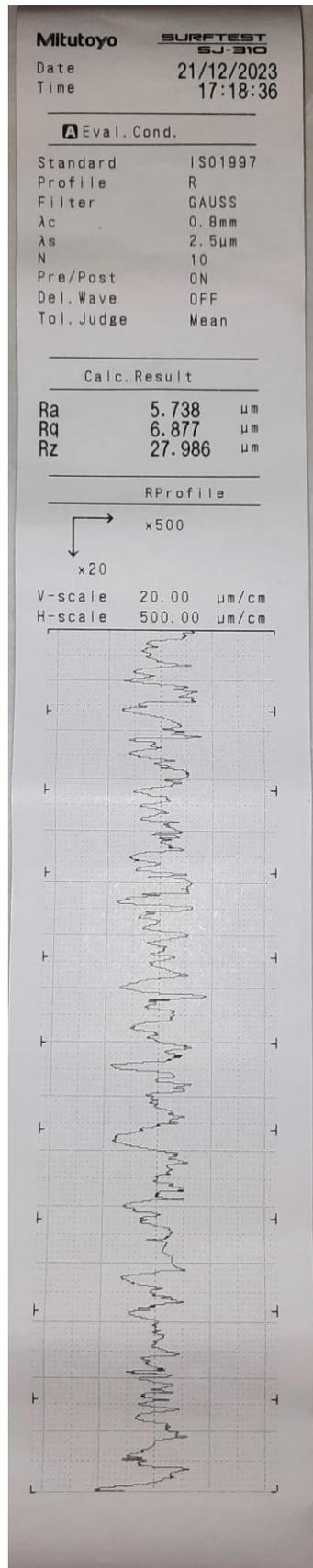


Eksperimen 6

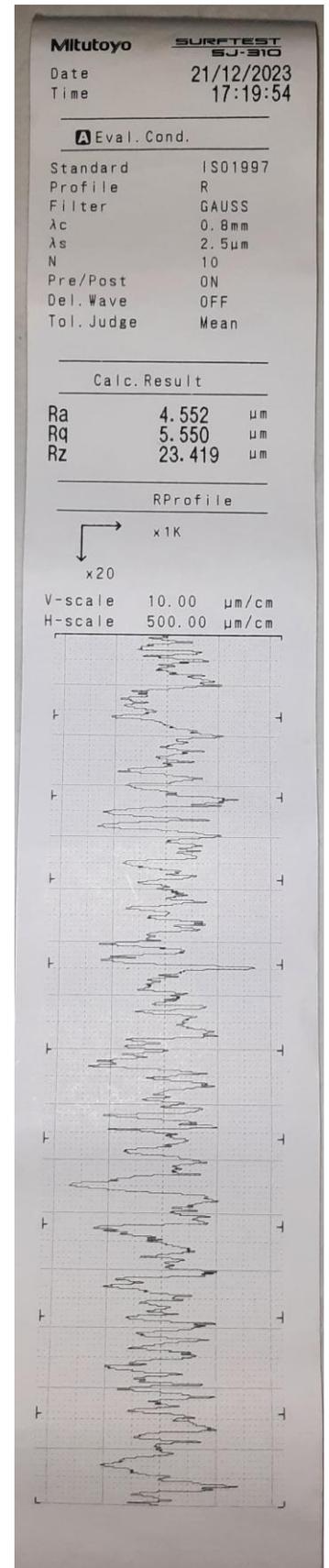
Data R1



Data R2

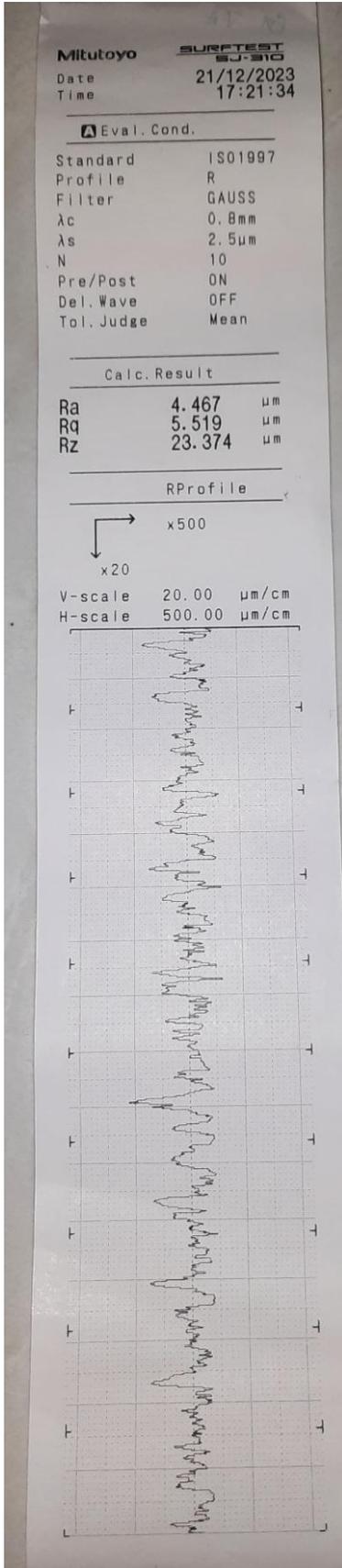


Data R3

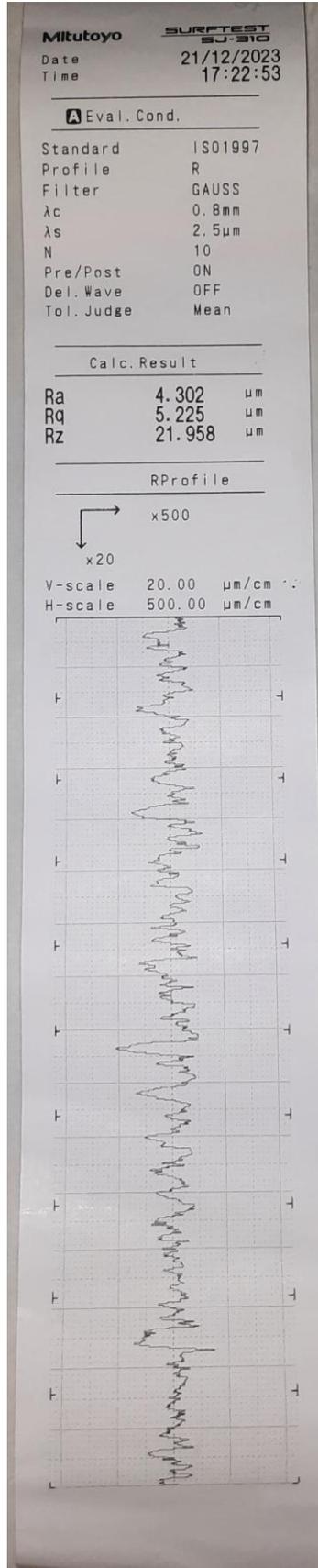


Eksperimen 7

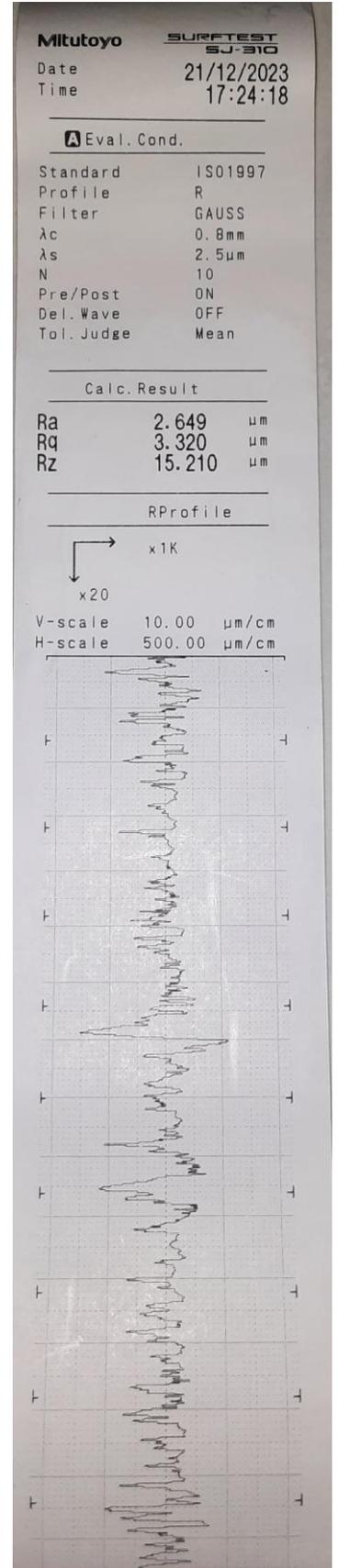
Data R1



Data R2

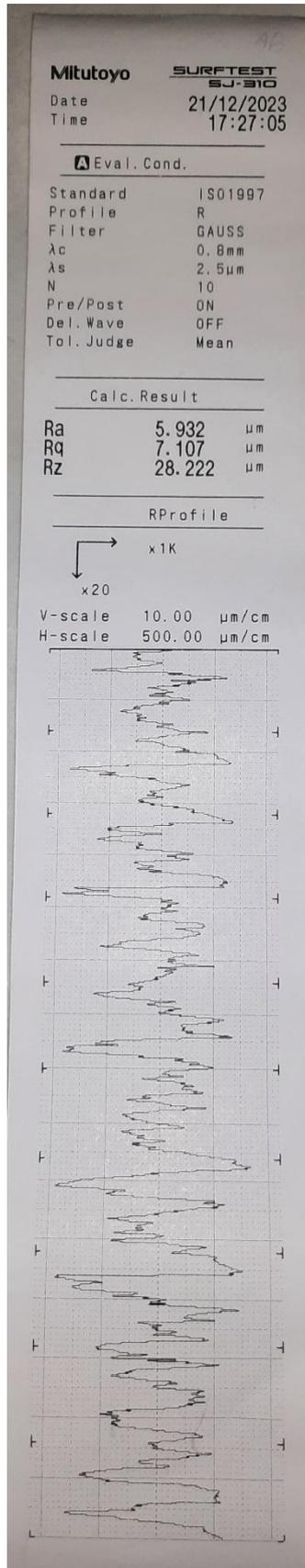


Data R3

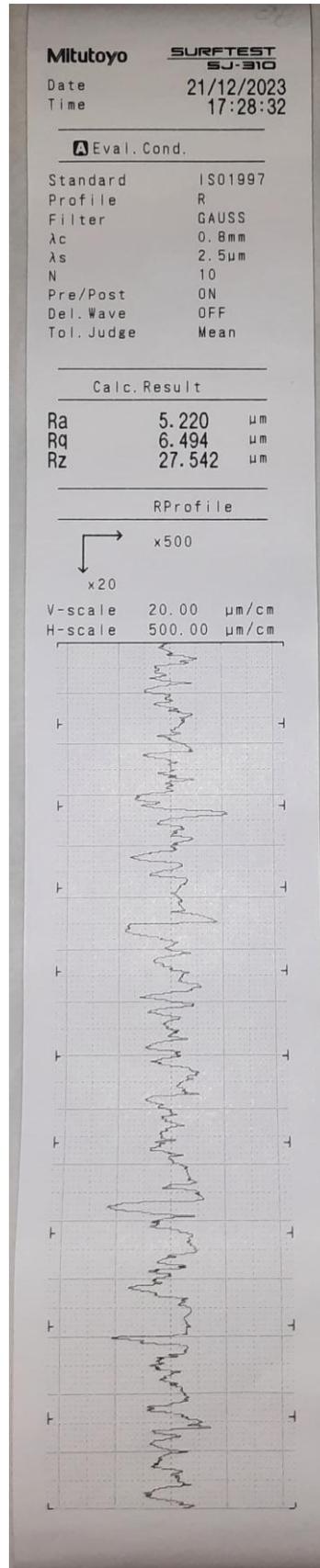


Ekspерimen 8

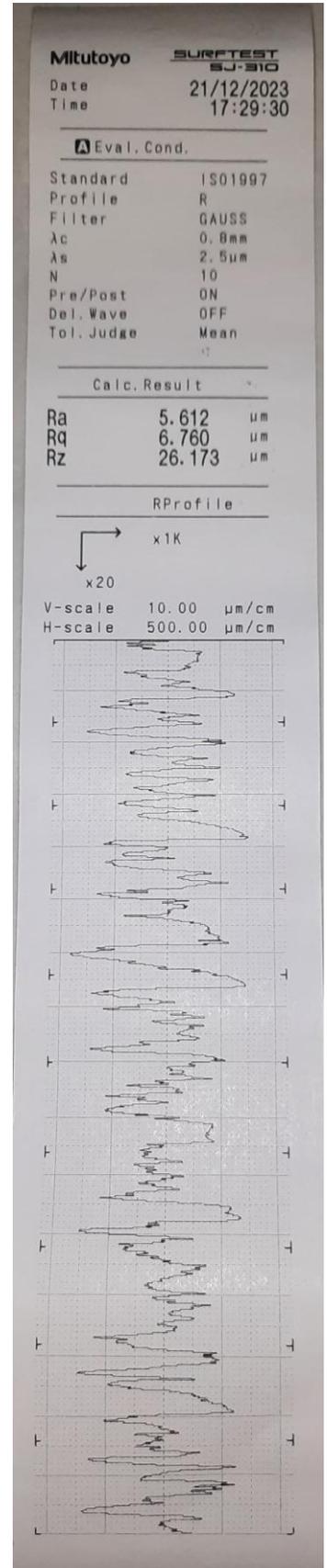
Data R1



Data R2

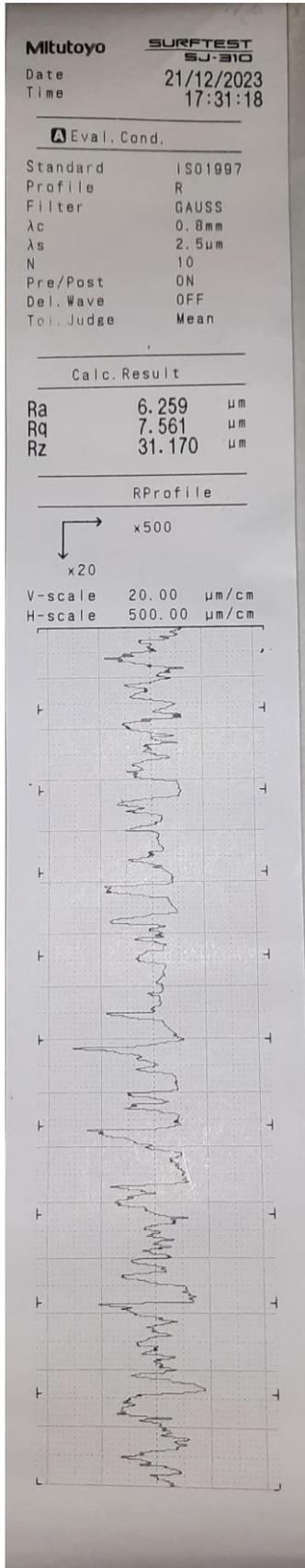


Data R3

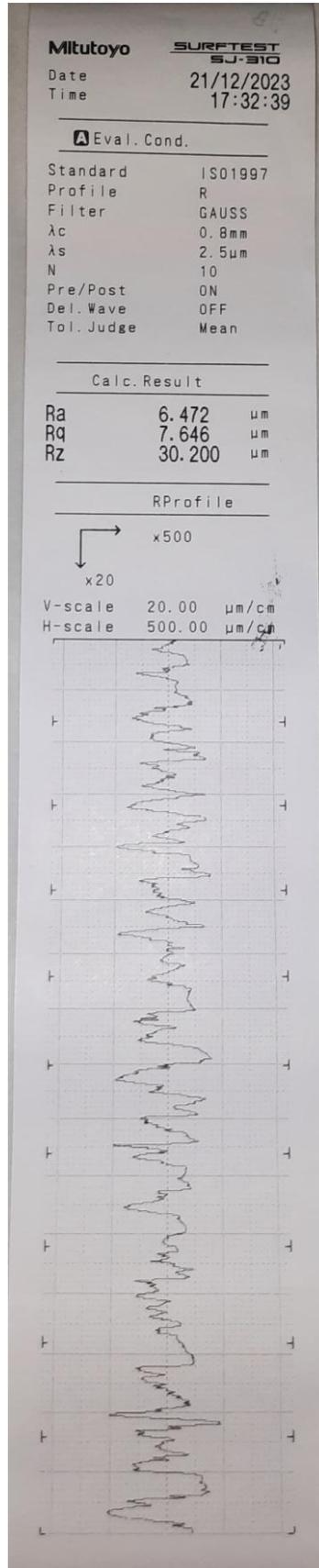


Ekspерimen 9

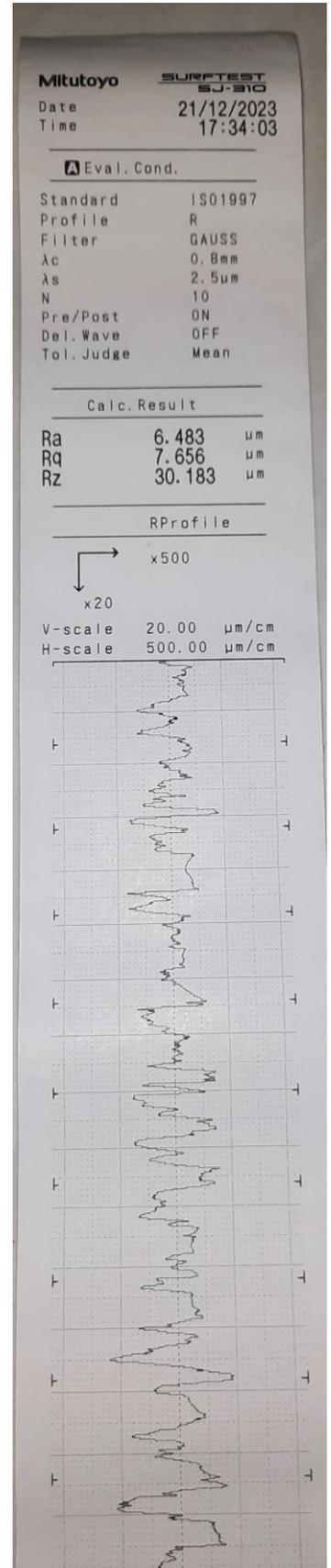
Data R1



Data R2

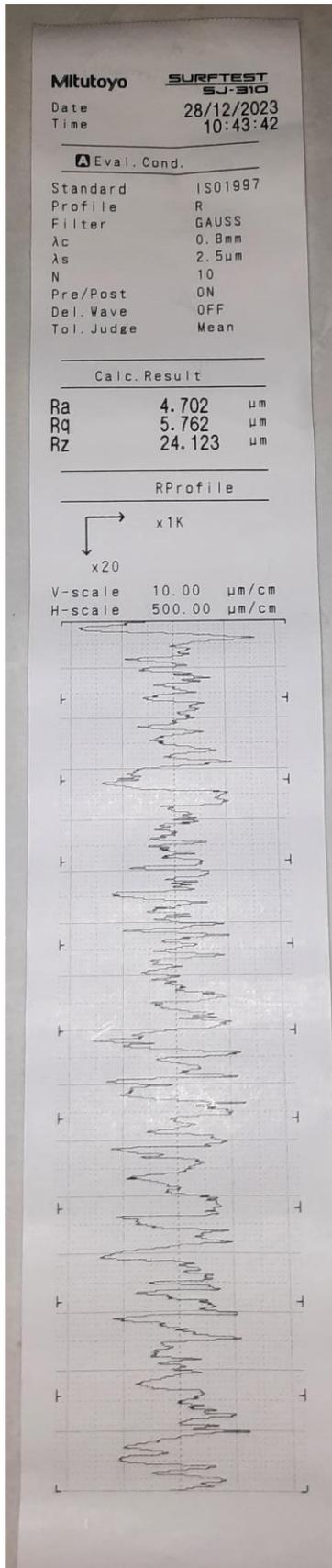


Data R3

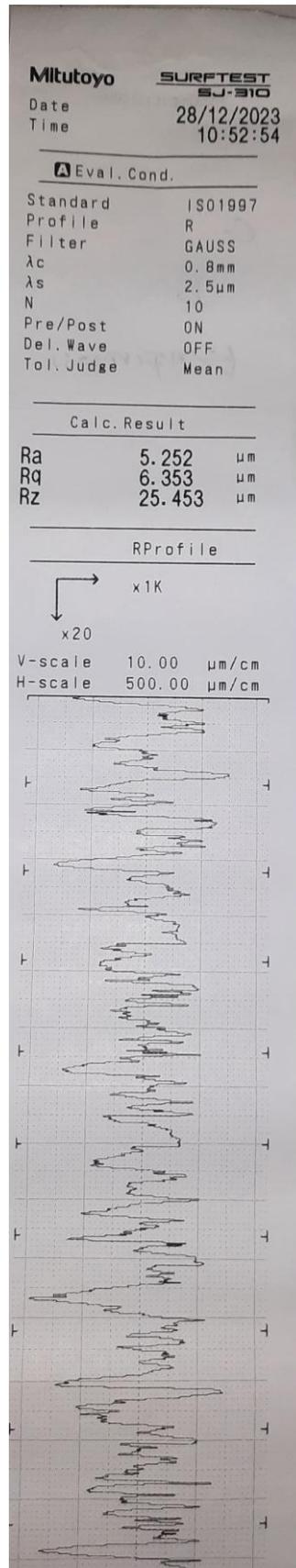


Eksperimen Konfirmasi

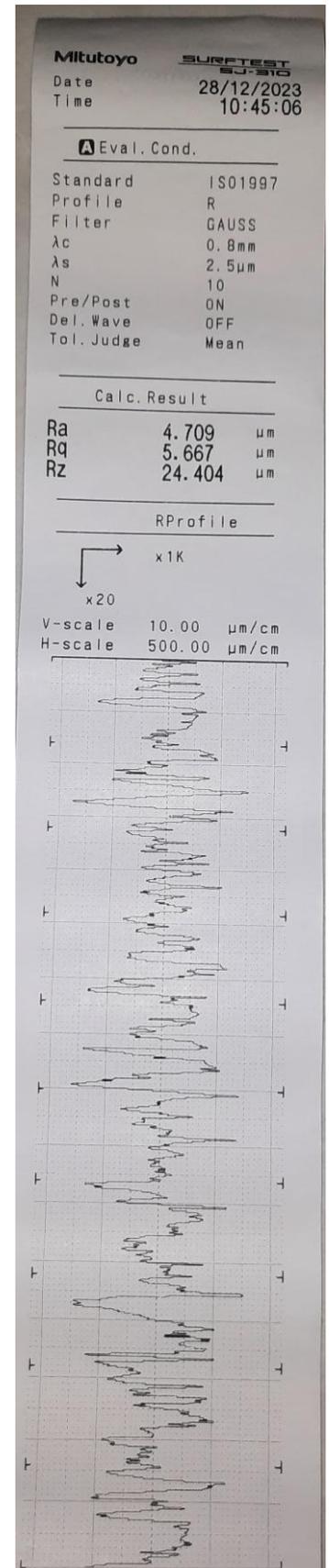
Data R1



Data R2



Data R3



Lampiran 12 Bukti Submit Jurnal

[MJMST] Submission Acknowledgement Inbox x

Mon, Jan 22, 9:06 AM (9 days ago)

Ahmad Nayan <publikasi-ilmiah@unimal.ac.id>

to me ▾

taufik anwar:

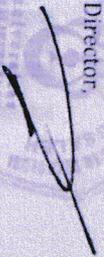
Thank you for submitting the manuscript, "OPTIMASI PARAMETER KEKASARAN PERMUKAAN DAN KEKERASAN MATERIAL BAJA AISI 1045 PADA PROSES PERMESINAN CNC TURNING DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI" to Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL: <https://ojs.unimal.ac.id/mjmst/author/submission/14985>

Username: taufik_anwar

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Lampiran 13 Toefl

	
MINISTRY OF EDUCATION, CULTURES, RESEARCH, AND TECHNOLOGY	
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH	
LANGUAGE CENTER	
Kampus Bukit Indah, Jl. Frian no 09, PO BOX 141 Lhokseumawe	
http://www.uniml.ac.id Email: phabasauniml@gmail.com	
TEST SCORE RECORD	
Certificate Number :68/UN45.17/BS/X/2023	
This is to Certify	
M. Taufik Anwar	
Place / Date of Birth :Sumur Padang/ August 4, 2001.	
Has achieved the following test scores on the paper-based TOEFL	
Section	Scaled Scores
Listening Comprehension	44
Structure and Written Expression	44
Reading Comprehension and Vocabulary	49
Total Scores	457
For internal purposes	
Date of the test October 18, 2023	
Valid through October 18, 2025	
	
Director,	
Teuku Kemal Fasya, M.Hum	
Reg. 19750409 200501 1 003	

Lampiran 14 *Curriculum Vitae*

CURRICULUM VITAE

Data Pribadi

Nama : M. Taufik Anwar
Tempat, Tanggal Lahir : Sumur Padang, 04 Agustus 2001
Agama : Islam
Alamat : Sumur Padang Kec. Padang Gelugur,
Kabupaten Pasaman, Prov. Sumatera Barat.
Nomor Telepon : 082170342912
Email : taufik.190120128@mhs.unimal.ac.id



Riwayat Pendidikan

2019 – 2024 : Universitas Malikussaleh
Program Sarjana (S1), Program Studi Teknik
Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin
2016 – 2019 : MAN 1 Pasaman
2013 – 2016 : MTsN 1 Panti
2007 – 2013 : SDN 13 Makmur

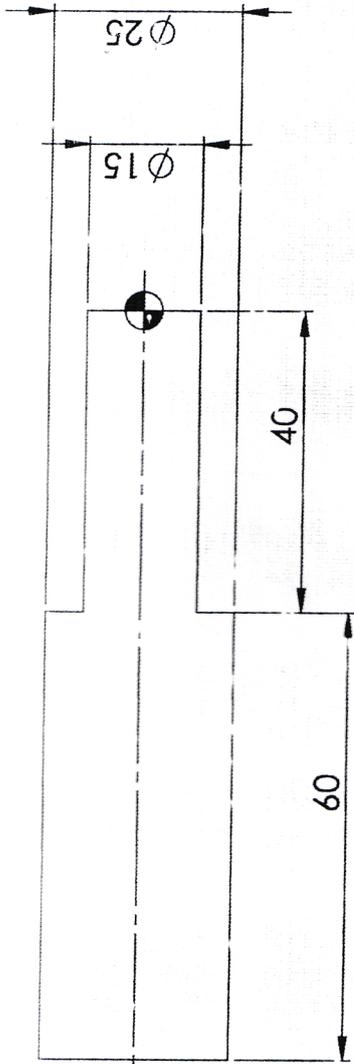
Pengalaman

Juni 2022 – Agustus : Kerja Praktek di PT. Asrindo Citraseni Satria
Duri, Riau.

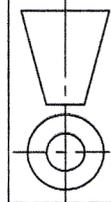
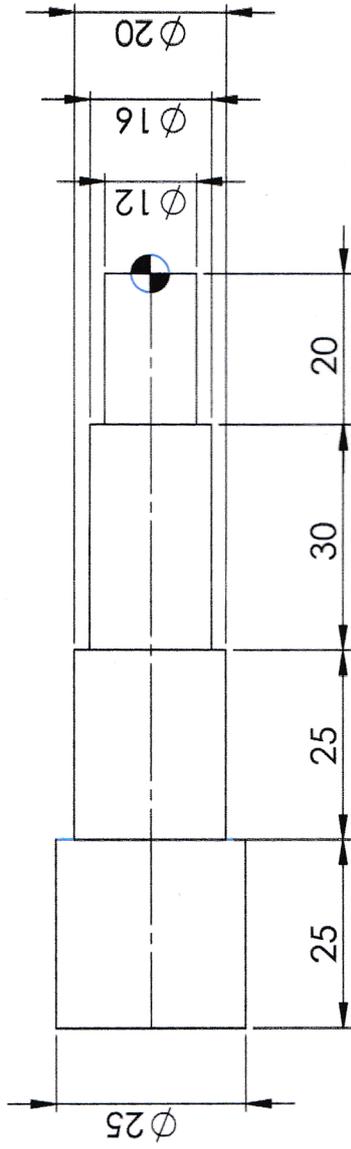
Keahlian

Aplikasi : Microsoft Office (MS Word, MS Excel)
Autodesk Inventor, Minitab 17, Sinumerik 808 D
Bahasa : Bahasa Indonesia, Bahasa Inggris.

A



	Skala : 1:1	Nama : M.Taufik Anwar	Keterangan :	
	Satuan : mm	Nim : 190120128		
	Tanggal : 15/09/2023		Diperiksa : Aljufri S.T.,M.T.,IPM	No : 1
			A4	



Skala : 1:1
 Satuan : mm
 Tanggal : 10/01/2024

Nama : M. Taufik Anwar
 Nim : 190120128
 Diperiksa : Aljufri S.T.,M.T.,JPM

Keterangan :

No : 2

A4