

ABSTRAK

Proses pemesinan CNC *turning* tidak hanya dituntut menghasilkan kualitas permukaan yang baik, tetapi juga mampu menekan konsumsi daya listrik agar proses menjadi lebih efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter *cutting speed*, *feed rate*, dan *nose radius insert* terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*) dan *power consumption*, menganalisis interaksi antarparameter, serta menentukan kombinasi parameter pemotongan yang optimum pada proses *finishing* baja S45C untuk komponen *bushing flange*. Penelitian menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan *Box-Behnken Design* (BBD) tiga faktor dan tiga level. Parameter faktor yang digunakan meliputi *cutting speed*, *feed rate*, dan *nose radius insert*, sedangkan variabel respon adalah kekasaran permukaan dan *power consumption*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga parameter berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan *power consumption*. Faktor yang paling dominan terhadap kekasaran permukaan adalah *nose radius insert*, sedangkan terhadap *power consumption* adalah *cutting speed*. Hasil optimasi multi-respon menghasilkan kombinasi parameter optimum berupa *cutting speed* 130 m/min, *feed rate* 0,02 mm/rev, dan *nose radius insert* 0,8021 mm, pada penerapan dilapangan dapat menggunakan *nose radius insert* 0,8 mm sebagai ukuran komersial yang paling mendekati, dengan prediksi kekasaran permukaan sebesar 0,88 μm dan *power consumption* sebesar 912,2210 Watt, serta nilai *composite desirability* sebesar 0,7184. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode RSM efektif dalam menentukan parameter pemotongan optimum untuk menghasilkan kekasaran permukaan sesuai spesifikasi *bushing flange* dengan konsumsi daya yang rendah.

Kata kunci: CNC *turning*, *Response Surface Methodology* (RSM), *Box-Behnken Design* (BBD), kekasaran permukaan, *power consumption*, baja S45C, *bushing flange*.

ABSTRACT

CNC turning machining is required not only to produce good surface quality but also to reduce electrical power consumption so that the machining process becomes more efficient. This study aims to analyze the effects of cutting speed, feed rate, and insert nose radius on surface roughness and power consumption, examine the interactions among these machining parameters, and determine the optimum combination of cutting parameters for the finishing process of S45C steel used in bushing flange components. The study employed the Response Surface Methodology (RSM) with a three-factor, three-level Box-Behnken Design (BBD). The input factors consisted of cutting speed, feed rate, and insert nose radius, while the response variables were surface roughness and power consumption.

The results showed that all three machining parameters significantly influenced both surface roughness and power consumption. The most dominant factor affecting surface roughness was the insert nose radius, whereas cutting speed was the most influential factor affecting power consumption. Multi-response optimization yielded the optimum machining parameters of 130 m/min cutting speed, 0.02 mm/rev feed rate, and a 0.8021 mm insert nose radius. For practical industrial application, a 0.8 mm insert nose radius can be used as the closest commercially available size. Under these optimum conditions, the predicted surface roughness was 0.88 μm , the predicted power consumption was 912.2210 W, and the composite desirability value was 0.7184. These findings indicate that the Response Surface Methodology (RSM) is an effective approach for determining optimum machining parameters to achieve the surface roughness required for bushing flange specifications while maintaining low power consumption.

Keywords: *CNC turning, Response Surface Methodology (RSM), Box-Behnken Design (BBD), surface roughness, power consumption, S45C steel, bushing flange.*

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Disiplin Ilmu Pendukung	9
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Mesin CNC	10
2.2.2 Pengertian Mesin CNC <i>Turning</i>	11
2.2.3 Prinsip Kerja Mesin CNC <i>Turning</i>	11
2.2.4 Komponen Utama Mesin CNC <i>Turning</i>	12
2.2.5 Parameter Proses CNC <i>Turning</i>	14
2.2.6 Pemrograman CNC <i>Turning</i>	16
2.2.7 Baja S45C	20
2.2.8 Komposisi Baja S45C	20
2.2.9 Sifat – Sifat Baja S45C	21
2.2.10 <i>Insert</i> CNC <i>Turning</i>	22
2.2.11 Media Pendinginan Pengertian Mesin CNC <i>Turning</i>	26

2.2.12	Jenis – jenis <i>Cutting Fluid</i>	27
2.2.13	Metode Penggunaan <i>Cutting Fluid</i>	29
2.2.14	Penggunaan Minyak Nabati Sebagai <i>Cutting Fluid</i>	30
2.2.15	Kekasaran Permukaan.....	32
2.2.16	<i>Power Consumption</i>	38
2.2.17	<i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	40
2.3	Penelitian Terdahulu	48
2.4	Posisi Penelitian	58
BAB III METODE PENELITIAN		60
3.1	Jenis Penelitian.....	60
3.2	Kerangka Konseptual	60
3.3	Tahapan Penelitian	61
3.4	Alat dan Bahan.....	67
3.5	Variabel Penelitian	73
3.5.1	Variabel Bebas	73
3.5.2	Variabel Tetap.....	74
3.5.3	Variabel Respon	75
3.6	Langkah Pengambilan Data	75
3.6.1	Uji Kekasaran Permukaan.....	76
3.6.2	Pengukuran <i>Power Consumption</i>	76
3.7	Rancangan Penelitian <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	76
3.8	Rancangan Pengolahan Data dan Analisis Data	77
3.8.1	Uji Normalitas Data	78
3.8.2	Uji Signifikansi Model.....	78
3.8.3	Uji Pengaruh Terhadap Respon	79
3.8.4	Uji Kesesuaian Model.....	79
3.8.5	Optimasi Respon	79
3.9	Jadwal Kegiatan Penelitian	80
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		81
4.1	Data Penelitian	81
4.1.1	Pengumpulan Data Uji Kekasaran Permukaan	81
4.1.2	Pengumpulan Data Uji <i>Power Consumption</i>	82

4.2 Hasil Pengolahan Data	83
4.2.1 Uji Normalitas Data	84
4.2.2 Uji Signifikansi Model	85
4.2.3 Uji Pengaruh Terhadap Respon Kekasaran Permukaan.....	86
4.2.4 Uji Pengaruh Terhadap Respon <i>Power Consumption</i>	89
4.2.5 Uji Kesesuaian Model	92
4.2.6 <i>Plot</i> Permukaan Respon Kekasaran Permukaan	94
4.2.7 <i>Plot</i> Permukaan Respon <i>Power Consumption</i>	98
4.2.8 Optimasi Multi-Respon.....	103
4.3 Pembahasan.....	105
4.3.1 Pengaruh Parameter Faktor terhadap Kekasaran Permukaan	105
4.3.2 Pengaruh Parameter Faktor terhadap <i>Power Consumption</i>	108
4.3.3 Parameter Pemesinan yang Optimal	111
BAB V PENUTUP.....	114
5.1 Kesimpulan	114
5.2 Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA.....	117
LAMPIRAN.....	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sumbu mesin CNC <i>turning</i>	12
Gambar 2.2	Bagian – bagian mesin CNC <i>turning</i>	12
Gambar 2.3	Proses pemotongan <i>turning</i>	14
Gambar 2.4	Siklus kerja program <i>absolute</i>	16
Gambar 2.5	Siklus kerja program <i>incremental</i>	17
Gambar 2.6	Prosedur pemilihan alat potong dan optimasi kondisi pemotongan	26
Gambar 2.7	Formulasi bahan dasar <i>cutting fluids</i>	29
Gambar 2.8	<i>Illustration</i> Rz	33
Gambar 2.9	<i>Illustration</i> Rq.....	33
Gambar 2.10	<i>Illustration</i> Ra	34
Gambar 2.11	<i>Illustration</i> Rp.....	34
Gambar 2.12	<i>Illustration</i> Rv	34
Gambar 2.13	<i>Illustration</i> Rt.....	35
Gambar 2.14	Profil kekasaran permukaan.....	36
Gambar 2.15	Pengukuran kekasaran permukaan.....	38
Gambar 2.16	Grafik <i>power</i> atau daya pada pemesinan	39
Gambar 2.17	Pengukuran arus listrik mesin CNC <i>turning</i> pada proses pemotongan	40
Gambar 2.18	Konsep dasar <i>Response surface methodology</i>	41
Gambar 2.19	Kubus <i>Box-Behnken Design</i> (BBD).....	41
Gambar 2.20	Kubus <i>Central Composite Design</i> (CCD).....	43
Gambar 3.1	Diagram kerangka konseptual penelitian.....	61
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian.....	62
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> tahapan pengolahan data.....	66
Gambar 3.4	Mesin CNC <i>turning</i> OPTI-Turn L40	67
Gambar 3.5	Alat uji kekasaran permukaan.....	68
Gambar 3.6	Jangka sorong digital.....	69
Gambar 3.7	<i>Clamp meter</i>	70
Gambar 3.8	Raw material spesimen baja S45C	71
Gambar 3.9	<i>Insert carbide coated CVD</i> (TiCN + Al ₂ O ₃ + TiN)	71

Gambar 3.10	<i>Sunflower oil</i>	72
Gambar 4.1	Dimensi spesimen sebelum proses <i>finishing</i>	81
Gambar 4.2	Dimensi spesimen setelah proses <i>finishing</i>	81
Gambar 4.3	Titik pengukuran kekasaran permukaan	82
Gambar 4.4	Uji normalitas reespon kekasaran permukaan.....	84
Gambar 4.5	Uji normalitas respon <i>power consumption</i>	85
Gambar 4.6	<i>Main effect plot</i> kekasaran permukaan.....	87
Gambar 4.7	<i>Interaction plot</i> kekasaran permukaan	88
Gambar 4.8	<i>Main effect plot power consumption</i>	91
Gambar 4.9	<i>Interaction plot power consumption</i>	92
Gambar 4.10	<i>Surface plot</i> kekasran permukaan variasi <i>cutting speed</i> dan <i>feed rate</i>	94
Gambar 4.11	<i>Contour plot</i> kekasran permukaan variasi <i>cutting speed</i> dan <i>feed rate</i>	94
Gambar 4.12	<i>Surface plot</i> kekasran permukaan variasi <i>cutting speed</i> dan <i>nose radius insert</i>	95
Gambar 4.13	<i>Contour plot</i> kekasaran permukaan variasi <i>cutting speed</i> dan <i>nose radius insert</i>	96
Gambar 4.14	<i>Surface plot</i> kekasran permukaan variasi <i>feed rate</i> dan <i>nose radius insert</i>	97
Gambar 4.15	<i>Contour plot</i> kekasran permukaan variasi <i>feed rate</i> dan <i>nose radius insert</i>	97
Gambar 4.16	<i>Surface plot power consumption</i> variasi <i>cutting speed</i> dan <i>feed rate</i>	99
Gambar 4.17	<i>Contour plot power consumption</i> variasi <i>cutting speed</i> dan <i>feed rate</i>	99
Gambar 4.18	<i>Surface plot power consumption</i> variasi <i>cutting speed</i> dan <i>nose radius insert</i>	100
Gambar 4.19	<i>Contour plot power consumption</i> variasi <i>cutting speed</i> dan <i>nose radius insert</i>	101
Gambar 4.20	<i>Surface plot power consumption</i> variasi <i>feed rate</i> dan <i>nose radius insert</i>	102

Gambar 4.21 <i>Contour plot power consumption variasi feed rate dan nose radius</i> <i>insert</i>	102
Gambar 4.22 Hasil optimasi respon <i>desirability function</i>	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>G-code</i> pada mesin CNC <i>turning</i>	17
Tabel 2.2	<i>M-code</i> pada mesin CNC <i>turning</i>	19
Tabel 2.3	<i>International grade of S45C</i>	20
Tabel 2.4	Komposisi baja S45C.....	21
Tabel 2.5	Sifat mekanik baja S45C.....	21
Tabel 2.6	Sifat termal baja S45C	22
Tabel 2.7	Sifat material bahan pelapis	25
Tabel 2.8	<i>Roughness class</i>	37
Tabel 2.9	Kekasaran permukaan hasil pemesinan berdasarkan ASME B.16-1	37
Tabel 2.10	<i>Box-Behnken Design</i> (BBD) tiga faktor.....	42
Tabel 2.11	Desain CCD tiga faktor tiga level	43
Tabel 3.1	Penentuan level faktor parameter <i>finishing</i>	73
Tabel 3.2	Desain matriks BBD 3 faktor dan 3 level	76
Tabel 3.3	Rancangan RSM BBD	77
Tabel 3.4	ANOVA model regresi kekasaran permukaan.....	78
Tabel 3.5	ANOVA model regresi <i>power consumption</i>	79
Tabel 3.6	Jadwal penelitian.....	80
Tabel 4.1	Data hasil kekasaran permukaan parameter <i>finishing</i>	82
Tabel 4.2	Data hasil <i>power consumption</i> parameter <i>finishing</i>	83
Tabel 4.3	Data respon kekaasaran permukaan dan <i>power consumption</i>	83
Tabel 4.4	<i>Analysis of Variance</i> model regresi kekasaran permukaan.....	85
Tabel 4.5	<i>Analysis of Variance</i> model regresi <i>power consumption</i>	86
Tabel 4.6	Hasil ANOVA respon kekasaran permukaan	86
Tabel 4.7	Hasil ANOVA respon <i>power consumption</i>	89
Tabel 4.8	Uji koefisien determinasi dan uji <i>lack of fit</i>	93
Tabel 4.9	Kriteria optimasi respon.....	103
Tabel 4.10	Nilai optimasi terhadap kekasaran permukaan	111
Tabel 4.11	Nilai optimasi terhadap <i>power consumption</i>	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Desain 2D <i>bushing flange</i>	126
Lampiran 2	Desain 3D <i>bushing flange</i>	127
Lampiran 3	Hasil uji kekasaran permukaan	128
Lampiran 4	Hasil pemesinan spesimen	130
Lampiran 5	Proses uji kekasaran permukaan	131
Lampiran 6	Pengambilan data arus listrik mesin ketika pemotongan	131
Lampiran 7	Proses pemesinan spesimen	131
Lampiran 8	Proses pengeboran spesimen.....	132
Lampiran 9	Data arus listrik	132
Lampiran 10	Spesifikasi <i>motor spindle</i> dan mesin CNC <i>turning</i>	136