



Optimasi Kekasaran Permukaan Proses *Drilling* Baja SKD 11 Pada CNC *Milling* menggunakan Metode Taguchi

Surface Roughness Optimization in Drilling Process of SKD 11 Steel on CNC Milling Using Taguchi Method

Muhamad Fikri Burli¹, Eko Yudo², Nanda Pranandita³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

¹m.fikri.burli@gmail.com, ²yudamessi2207@gmail.com, ³nda.akano@gmail.com

Abstrak

Selama proses pemesinan, penting untuk menentukan *setting* variabel proses yang sesuai untuk mencapai respon terbaik. SKD 11 merupakan jenis baja perkakas, yang biasanya digunakan sebagai alat potong dalam proses permesinan juga sebagai material untuk proses *cold working*. Oleh karena itu, bagian-bagian mesin yang terbuat dari baja SKD 11 diharapkan memiliki kekasaran permukaan yang baik. Kekasaran permukaan adalah karakteristik kinerja permesinan selama proses *drilling* dan biasanya digunakan sebagai respon. Penelitian ini akan menggunakan kombinasi variabel proses putaran spindel, *feed rate* dan pelumasan untuk mengoptimalkan kekasaran permukaan. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi sebagai metode penelitian. Berdasarkan hasil optimasi yang diverifikasi pada eksperimen konfirmasi, kombinasi variabel proses yang menghasilkan nilai respon terbaik pada proses *drilling* SKD 11 adalah putaran spindel 1600 rpm, *feed rate* 0,140 mm/menit, dan pelumasan tipe dromus dengan rata-rata kekasaran permukaan 0,829 μm .

Kata Kunci: *drilling*, kekasaran, taguchi, SKD 11, CNC.

Abstract

During the machining process, it is important to determine the appropriate process variable settings to achieve the best response. SKD 11 is a type of tool steel, which is usually used as a cutting tool in the machining process as well as a material for cold working processes. Therefore, machine parts made of SKD 11 steel are expected to have good surface roughness. Surface roughness is a performance characteristic of machining during the drilling process and is usually used as a response. This research will use a combination of process variables spindle rotation, feed rate and lubricants to optimize surface roughness. This study uses the Taguchi method as a research method. Based on the optimization results verified in the confirmation experiment, the combination of process variables that produces the best response value in the SKD 11 drilling process is a spindle rotation of 1600 rpm, a feed rate of 0.140 mm/min, and a dromus type lubricant with an average surface roughness of 0.829 μm .

Keywords: *drilling*, roughness, taguchi, SKD 11, CNC.

PENDAHULUAN

Saat ini industri manufaktur mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini menyebabkan persaingan yang ketat di industri manufaktur, yang mengharuskan industri manufaktur untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi dengan biaya seminimal mungkin dalam waktu singkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sangat disarankan untuk menggunakan mesin dengan teknologi *Computer Numerical Control* (CNC) karena memiliki keunggulan dibandingkan mesin konvensional [1].

CNC adalah sistem otomatisasi peralatan mesin yang dioperasikan dengan instruksi pemrograman abstrak dan disimpan dalam media penyimpanan, ini bertentangan dengan kebiasaan kontrol otomatis sederhana peralatan mesin dengan rotasi manual atau penggunaan cam di masa lalu. Dibandingkan dengan mesin konvensional, mesin CNC memiliki beberapa keunggulan, antara lain akurasi pengukuran yang lebih akurat, dapat menangani bentuk kompleks yang tidak dapat diselesaikan oleh mesin konvensional, dan dapat memantau pergerakan mesin di layar monitor untuk pemrosesan yang cepat guna

menghemat waktu. Banyak proses pemesinan yang dapat dilakukan pada peralatan mesin CNC, salah satunya adalah proses *drilling* [2].

Proses *drilling* adalah proses pemesinan yang sederhana. Proses *drilling* berfungsi untuk membuat lubang bulat pada benda kerja. Pada proses *drilling*, geram akan keluar melalui alur *helix* pada mata bor. Pendinginan menjadi sulit karena ujung mata bor bersentuhan dengan benda kerja yang terpotong. Pendinginan dilakukan dengan mengalirkan cairan pendingin ke benda kerja atau dengan menyemprotkan cairan pendingin melalui lubang tengah mata bor [3].

Banyak aspek yang mempengaruhi kualitas lubang *drill*. Semua aspek yang terlibat dalam operasional pemotongan mempunyai andil di dalam ‘menciptakan’ kualitas hasil pemesinan. Secara umum aspek-aspek tersebut meliputi parameter pemotongan (*cutting parameter*), perkakas potong (*cutting tool*), material benda kerja (*workpiece material*) serta sistem pendinginan (*cooling system*) yang mencakup *cutting fluid* dan *cooling strategy* yang digunakan [4].

Beberapa penelitian tentang variabel proses yang berpengaruh pada proses *drilling*. Penelitian tentang akurasi lubang bor pada material SKD 11. Pada semua respon terlihat bahwa penggunaan *carbide drill* mampu memberikan hasil yang lebih baik dalam operasi pengeboran pada material SKD 11 bila dibandingkan dengan penggunaan HSS *drill*. Begitu juga pengoperasian laju pemakanan (*feed rate*) yang lebih rendah pada semua jenis perkakas potong (*cutting tool*) dapat memberikan kinerja pemotongan yang lebih diinginkan [4].

Penelitian tentang respon kekasaran permukaan dan *material removal rate*, dengan parameter kecepatan potong: 80 mm/menit, 100 m/menit, 120 m/menit, 140 m/menit dan pemakanan: 0,14 mm/rev, 0,15 mm/rev, 0,16 mm/rev. Variabel proses yang mempengaruhi kekasaran minimum pada penelitian ini adalah kecepatan potong pada level 1 sebesar 80 m/menit dan besar pemakanan pada level 2 sebesar 0.15 mm/rev [5].

Metode Taguchi digunakan untuk mengetahui variabel proses mana yang paling besar pengaruhnya terhadap respon. Metode Taguchi adalah cara yang efektif untuk mendapatkan produk berkualitas tinggi dengan biaya rendah. Metode Taguchi dimaksudkan untuk menentukan penyetulan terbaik dari variabel dan untuk menjaga kinerja proses tidak terpengaruh oleh berbagai sumber. Secara ekonomis, metode ini dapat memenuhi kebutuhan pemecahan masalah dan pengoptimalan Anda. Teknik Taguchi memungkinkan untuk mengoptimalkan proses dengan pengujian minimal tanpa harus mengembangkan proses model. Metode Taguchi dapat meningkatkan kinerja dari segi waktu dan biaya [6].

Dari pembahasan di atas menunjukkan bahwa aspek-aspek seperti parameter pemotongan, jenis alat potong, jenis material, dan jenis pelumasan memiliki pengaruh terhadap kualitas lubang *drill*. Maka dari itu penelitian tentang *setting* parameter pemotongan pada proses *drilling* baja SKD 11 perlu dilakukan untuk menghasilkan kekasaran permukaan optimal.

METODE PENELITIAN

Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini dipilih rancangan percobaan berdasarkan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan metodologi yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dengan biaya dan sumber daya yang rendah. Metode Taguchi membuat produk atau proses menjadi kokoh terhadap variabel gangguan (*noise*), oleh karena itu metode Taguchi disebut juga sebagai *robust design*.

Metode Taguchi menggunakan matriks khusus, sering disebut sebagai matriks ortogonal. Matriks ortogonal biasanya digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dapat menghasilkan jumlah informasi maksimum yang mungkin dari semua variabel yang mempengaruhi parameter. Matriks ortogonal adalah pilihan kombinasi level variabel input untuk setiap eksperimen [7].

Langkah-langkah yang harus dilakukan saat melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan kualitas karakteristik

Hasil kekasaran permukaan yang baik adalah yang paling terkecil. Oleh karena itu, *smaller the better* dipilih sebagai karakteristik kualitas pada penelitian ini.

2. Penentuan variabel proses dan variabel gangguan

Variabel proses yang digunakan dalam penelitian ini antara lain variasi putaran *spindle*, *feed rate*, dan jenis pelumasan. Kemudian, titik lokasi pengukuran kekasaran benda kerja dipilih sebagai variabel gangguan (*noise*).

3. Penentuan nilai variabel proses dan jumlah level

Ada tiga nilai variabel proses pada penelitian ini yaitu variasi putaran *spindle*, *feed rate*, dan jenis pelumasan. Dimana masing-masing variabel proses mempunyai tiga level percobaan.

Tabel 1. Variabel Proses dan Level Percobaan

Variabel proses	Satuan	Level (Tingkatan)		
		1	2	3
A Putaran <i>spindle</i> (n)	Rpm	1000	1300	1600
B <i>Feed rate</i> (f)	mm/menit	140	180	220
C Pelumasan	-	Dromus	Mineral oil	Dry cutting

4. Pemilihan matriks ortogonal

Berdasarkan jumlah variabel proses dan level yang ditunjukkan pada Tabel 1, derajat kebebasan dihitung untuk menentukan matriks ortogonal mana yang akan digunakan. Perhitungan derajat kebebasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Total Derajat Kebebasan

No	Variabel proses	Jumlah level (k)	Derajat kebebasan (k-1)
1	Putaran <i>spindle</i>	3	2
2	Feed rate	3	2
3	Lubrikan	3	2
Total derajat kebebasan			6

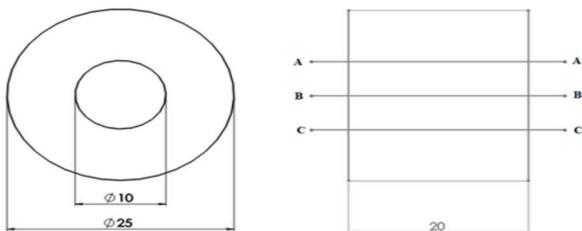
Tabel 3. Matriks ortogonal untuk matriks L_9

No. Percobaan	Variabel Proses		
	A Putaran <i>spindle</i> (Rpm)	B Feed rate (mm/menit)	C Lubrikan
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Dari Tabel 2, jumlah variabel proses dan derajat kebebasan yang digunakan adalah enam. Oleh karena itu, tergantung pada pilihan matriks ortogonal yang tersedia, matriks ortogonal L_9 (3^3) memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai desain eksperimen. Percobaan dilakukan secara acak menggunakan *software randomization*. Percobaan direplikasi sebanyak tiga kali untuk mengatasi pengaruh gangguan (*noise*) terhadap hasil penelitian. Matriks ortogonal L_9 (3^3) dapat dilihat pada Tabel 3.

5. Prosedur percobaan

Prosedur percobaan terbagi menjadi 2 proses yaitu proses pengeboran benda kerja menggunakan mesin CNC *milling* Mori Seiki MV-40M dan proses pengujian kekasaran permukaan benda kerja. Setiap benda kerja dilakukan pengukuran pada tiga titik pengukuran, yaitu titik A, B, dan C. Titik-titik pengukuran tersebut diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik pengukuran uji kekasaran

6. Metode analisis

Metode Taguchi menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data eksperimen. ANOVA adalah metode komputasi yang memungkinkan Anda memperkirakan secara kuantitatif nilai respon. Metode Taguchi menggunakan ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data eksperimen yang terdiri dari dua level atau lebih dan dua variabel atau lebih [7]. Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam menghitung ANOVA.

- 1) Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A1}} + \frac{A_3^2}{n_{A2}} \dots \frac{A_n^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N} \quad (1)$$

- 2) Derajat kebebasan (*degree of freedom*)

$$V_a = \text{Banyaknya level pada variabel A-1} \quad (2)$$

- 3) Rata-rata kuadrat (*mean square*)

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (3)$$

- 4) Nilai F

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e} \quad (4)$$

- 5) Perhitungan SS'

$$SS'_A \equiv SS_A - V_A \times MS_e \quad (5)$$

- 6) Persen Kontribusi

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (6)$$

Alat dan Bahan Penelitian

Alat penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. CNC *Milling*

CNC *Milling* yang digunakan pada penelitian ini adalah MORI SEIKI MV-40M. Dengan spesifikasi mesin sebagai berikut:

- Merek : MORI SEIKI MV-40M
- Produsen : Jepang
- Dimensi Meja : 900×450 mm
- Putaran *Spindle*, maks : 8000 Rpm



Gambar 2. CNC *milling* MORI SEIKI MV-40M

2. Mata bor

Mata bor *carbide* berfungsi untuk membuat lubang pada benda kerja SKD 11. Spesifikasi mata bor *carbide* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Merek : YG-1
- Produsen : Korea Selatan
- Tipe : DHD424100
- Coating : TiAlN
- Kedalaman *drill* : 5×D
- Diameter *drill* : 10 mm



Gambar 3. Mata bor *carbide*

3. Alat uji kekasaran (*Surface roughness tester*)

Surface roughness tester adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan suatu benda kerja. *Surface roughness tester* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Surface roughness tester*

4. Bahan Penelitian

Baja SKD 11 digunakan sebagai bahan penelitian dengan ukuran diameter 25 mm dan panjang 20 mm. Baja SKD 11 adalah jenis baja karbon tinggi dikarenakan kandungan karbonnya 1,55%. Baja SKD 11 juga merupakan jenis baja perkakas tahan karat berkualitas yang banyak digunakan di industri karena sifat kekerasannya yang tinggi dan tahan aus.



Gambar 5. Benda kerja SKD 11

HASIL DAN PEMBAHASAN

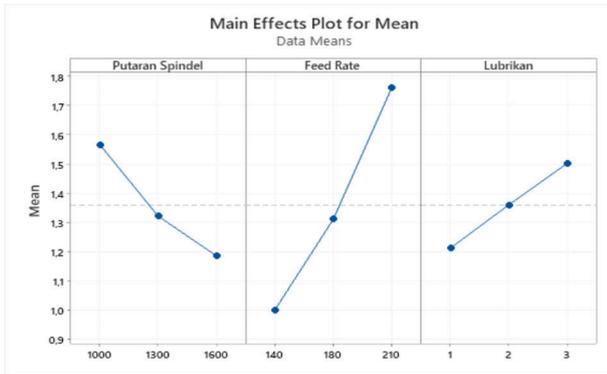
Data penelitian diambil dengan cara mengkombinasikan variabel-variabel proses yang terdapat pada mesin CNC *Milling* MORI SEIKI MV-40M. Adapun variabel-variabel proses yang diduga berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan antara lain putaran *spindle* (A), *feed rate* (B), lubrikan (C). Setelah memiliki data pengujian, maka langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan data dengan menggunakan desain eksperimen dan pengolahan data yang dilakukan menggunakan cara perhitungan eksperimen metode Taguchi dengan bantuan perangkat lunak. Kekasaran benda kerja diukur menggunakan alat uji kekasaran (*surface roughness tester*). Data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil percobaan

Eksp.	Replikasi			Mean Ra	SNR
	Ra1	Ra2	Ra3		
1	0,981	1,146	1,043	1,057	-0,4967
2	1,444	1,415	1,463	1,441	-3,1721
3	2,260	2,343	1,994	2,199	-6,8644
4	0,895	1,041	1,215	1,050	-0,4934
5	1,429	1,395	1,414	1,413	-3,0012
6	1,579	1,302	1,619	1,500	-3,5600
7	0,841	0,937	0,894	0,891	0,9973
8	1,090	1,033	1,111	1,078	-0,6564
9	1,582	1,490	1,690	1,578	-4,0249
Rata-rata				1,357	-2,3635

1. Pengaruh Level dari Variabel Terhadap Rata-rata Kekasaran Permukaan

Untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel terhadap rata-rata kekasaran permukaan, dilakukan perhitungan berdasarkan data respon kekasaran permukaan yang diperoleh dari uji kekasaran permukaan, sehingga dibuat grafik respon kekasaran permukaan. Rata-rata ditunjukkan pada Gambar 6.

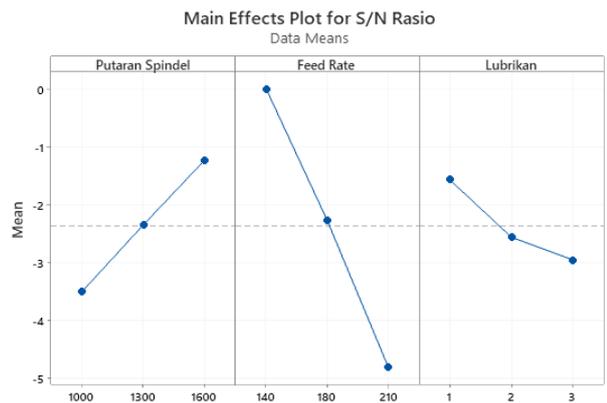


Gambar 6. Plot rata-rata untuk kekasaran permukaan

Berdasarkan plot pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa variabel proses yang memiliki nilai kekasaran minimum yaitu A3B1C1 dengan nilai kekasaran berturut A3 = 1,185 ; B1 = 0,999 ; C1 = 1,212, atau dapat dikatakan variabel putaran *spindle* pada level 3 dengan kekasaran permukaan sebesar 1,185 μm ; variabel *feed rate* pada level 1 dengan kekasaran permukaan sebesar 1,185 μm ; dan variabel jenis lubrikan pada level 1 dengan kekasaran permukaan sebesar 1,212 μm .

2. Pengaruh Level dari Variabel Terhadap Rasio S/N

Berdasarkan plot pada Gambar 7 terlihat bahwa variabel proses yang memiliki nilai rasio S/N terbesar yaitu A3B1C1 dengan nilai rasio S/N berturut A3 = -1,2280 dB; B2 = 0,0024; C1 = -1,5711, atau dapat dikatakan variabel putaran *spindle* pada level 3 dengan nilai rasio S/N -1,2280 dB; variabel *feed rate* pada level 1 dengan nilai rasio S/N 0,0024 dB; dan variabel jenis lubrikan pada level 1 dengan nilai rasio S/N 1,5711 dB.



Gambar 7. Plot rasio S/N untuk kekasaran permukaan

3. ANOVA

Analisis variansi (ANOVA) bertujuan untuk mendapatkan besar nilai pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses.

Tabel 5. ANOVA dari Rata-rata Kekasaran Permukaan

Variabel Proses	DF	SS	MS	%Kontribusi	P _{Value}
Putaran <i>spindle</i>	2	0,222	0,111	17,53	0,155
<i>Feed rate</i>	2	0,882	0,441	69,38	0,044
Lubrikan	2	0,125	0,062	9,88	0,246
Error	2	0,041	0,020	3,22	
Total	8	1,271		100	

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa variabel B (*Feed rate*) memiliki kontribusi terbesar terhadap rata-rata kekasaran permukaan benda kerja, sebesar 69,38%. Sedangkan variabel C (Lubrikan) memiliki kontribusi terkecil terhadap rata-rata kekasaran permukaan sebesar 9,88%.

Tabel 6. ANOVA dari Rasio S/N

Variabel Proses	DF	SS	MS	%Kontribusi	P _{Value}
Putaran <i>spindle</i>	2	7,819	3,909	16,74	0,109
<i>Feed rate</i>	2	34,865	17,432	74,66	0,027
Lubrikan	2	3,057	1,528	6,55	0,239
Error	2	0,959	0,479	2,05	
Total	8	46,701		100	

Berdasarkan Tabel 6, diketahui bahwa variabel B (*Feed rate*) memiliki kontribusi terbesar terhadap rasio S/N, yaitu sebesar 74,66%. Sedangkan variabel C (Lubrikan) memiliki kontribusi terkecil terhadap rasio S/N yaitu sebesar 6,55%.

4. Prediksi Kekasaran Permukaan Optimal

Sebelumnya telah diketahui variabel-variabel yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap rata-rata kekasaran permukaan, adalah sebagai berikut:

- 1) Variabel A Level 3 (Putaran *spindle* 1600 Rpm)
- 2) Variabel B Level 1 (*Feed rate* 140 mm/menit)
- 3) Variabel C Level 1 (Lubrikan jenis dromus)

Dengan menggunakan perhitungan prediksi nilai kekasaran permukaan yang optimal., didapat prediksi nilai rata-rata kekasaran permukaan yang menghasilkan respon optimal adalah 0,6816 μm dengan interval keyakinan minimum 0,3630 μm dan maksimum 1,0001 μm . Sedangkan nilai prediksi rasio S/N kekasaran permukaan adalah 1,9303 dB dengan interval keyakinan minimum 0,3831 dB dan maksimum 3,4675 dB.

5. Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari analisis sebelumnya menunjukkan bahwa rata-rata kekasaran permukaan dan kombinasi variabel yang mempengaruhi rasio S/N adalah sama. Artinya, kecepatan putaran *spindel* pada 1600 rpm, *feed rate* 140 mm/menit, lubrikan tipe dromus.

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan kekasaran permukaan yang ditunjukkan pada Tabel 7, variabilitas (Rasio S/N) mengalami peningkatan dari eksperimen Taguchi ke eksperimen konfirmasi. Dengan demikian

kombinasi optimal variabel-variabel tersebut terbukti dapat meningkatkan kualitas kekasaran permukaan benda kerja.

Tabel 7. Interpretasi hasil pengukuran permukaan benda kerja

Respon (Kekasaran Permukaan)		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Kombinasi Awal	Rata-rata (μm)	1,290	$1,290 \pm 0,433$
	Rasio S/N (dB)	-2,212	$-2,212 \pm 2,046$
Eksperimen Taguchi	Rata-rata (μm)	0,891	$0,6816 \pm 3,186$
	Rasio S/N (dB)	0,997	$1,9303 \pm 1,5372$
Eksperimen Konfirmasi Optimum	Rata-rata (μm)	0,829	$0,829 \pm 0,433$
	Rasio S/N (dB)	1,621	$1,621 \pm 2,046$

Setelah dilakukan eksperimen konfirmasi, Rata-rata kekasaran permukaan yaitu 0,829 berada diantara interval keyakinan rata-rata hasil prediksi (0,396 – 1,262). Jadi, dapat disimpulkan bahwa *setting* kombinasi level variabel pada kondisi optimum adalah valid.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisis hasil percobaan yang telah dilaksanakan, maka dari penelitian ini yang berjudul “Optimasi Kekasaran Permukaan Proses *Drilling* Baja SKD 11 pada CNC *Milling* Menggunakan Metode Taguchi” kombinasi variabel proses yang dapat menghasilkan nilai respon terbaik adalah putaran *spindle* 1600 rpm, *feed rate* 0,140 mm/menit, dan pelumasan yang digunakan jenis dromus dengan rata-rata kekasaran permukaan sebesar 0,829 μm .

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti dapat memberikan saran untuk penelitian selanjutnya yang mana diharapkan penelitian selanjutnya bisa lebih dikembangkan dan hasil penelitian bisa lebih maksimal, antara lain:

- (1) Pada penelitian ini metode Taguchi digunakan sebagai metode penelitian. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan metode penelitian lainnya.
- (2) Variasi jenis pelumasan dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis lainnya seperti *synthetic fluids* atau *semi synthetic fluids*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. A. Nasr dan A. K. Kamrani, *Computer-based design and manufacturing: An information-based approach*. Springer, Boston, MA, 2007.
- [2] H. S. Rahman, I. F. Rahmad, dan A. Saleh, “Perancangan Mesin Cnc (Computer Numerically Control) Mini Plotter Berbasis Arduino,” *IT J.*, vol.

5, no. 2, hal. 152–161, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.22303/it.5.2.2017.152-161>.

- [3] Widarto, *TEKNIK PEMESINAN JILID 2 SMK Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan*. 2008.
- [4] P. W. Ndaruhadi dan B. Santosa, “Akurasi Lubang Bor Hasil Proses Pengeboran Pada Material SKD-11,” *Pros. SNIJA*, hal. 191–195, 2015.
- [5] Syahbuddin dan T. B. Santoso, “Optimasi Parameter Pemotongan Proses *Drilling* Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Laju Pelepasan Material Menggunakan Metode Taguchi,” *Pros. KITT (Konferensi Ilm. Teknol. Texmaco)*, vol. 1, no. 1, hal. 117–124, 2018.
- [6] J. P. Kumar dan P. Packiaraj, “Effect of drilling parameters on surface roughness , tool wear , material removal rate and hole diameter error in drilling of OHNS,” *Int. J. Adv. Eng. Res. Stud.*, vol. 1, no. 3, hal. 150–154, 2012.
- [7] I. Soejanto, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.