

Validasi Optimasi Kekasaran Permukaan dan Keausan Tepi Pahat Proses Bubut Menggunakan Metode Taguchi dengan Data Tunggal

Ervin Dwi Saputro¹, Sigit Yoewono Martowibowo², dan Gagan Ganjar Tabah²

¹PT. PLN Indonesia Power UPDK Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

²Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung, Indonesia

ervin.dwi@plnindonesiapower.co.id, sigit.yoewono@lecture.unjani.ac.id, gagan.ganjar@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Untuk mendapatkan nilai terbaik, metode Taguchi menggunakan analisis *signal-to-noise* (S/N), yang memerlukan pengumpulan data berulang untuk berbagai faktor kontrol. Namun, dalam praktik, metode Taguchi masih gagal memenuhi gagasan bahwa pengumpulan data hanya dilakukan satu kali saja. Ada pilihan analisis standar yang tidak memerlukan pengumpulan data berulang. Dalam kasus pengumpulan data tunggal, penelitian ini menyelidiki validasi metode Taguchi dengan membandingkan hasil eksperimen validasi dan analisis standar dengan hasil optimasi. Empat parameter perbandingan, yaitu kombinasi faktor kontrol, prediksi nilai optimum, penyimpangan dari nilai prediksi optimum, dan peringkat pengaruh faktor kontrol digunakan untuk menentukan validitas. Data studi kasus proses bubut dan permesinan bubut digunakan dalam penelitian ini. Dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan bahwa metode Taguchi untuk optimasi dengan pengambilan data tunggal adalah valid.

Kata kunci: Optimasi, Metode Taguchi, Analisis S/N, Analisis standar, Proses bubut

Abstract

The Taguchi method uses signal-to-noise ratio (S/N) analysis to obtain optimal values and requires repeated data collection combined with control factors. However, in practice, the Taguchi method is still not in accordance with this concept, even though there are standard analysis options that do not require repeated data collection. In this study, a validation study of the Taguchi method was conducted for the case of a single data collection by comparing the optimization results obtained against standard analysis and validation experiment results. Determination of validity is carried out based on four comparison parameters, namely the combination of control factors, prediction of optimum value, deviation of optimum value prediction, and ranking of control factor influence. This research was conducted using a turning process case study. From this research, it is concluded that the Taguchi method for optimization of a single data collection is valid.

Keywords: Optimization, Taguchi method, S/N analysis, Standard analysis, Turning processes

1. Pendahuluan

Optimasi adalah suatu proses untuk mendapatkan kondisi yang memberikan nilai minimum, maksimum, atau nilai target dari suatu fungsi (Rao, 2009). Salah satu metode optimasi adalah metode Taguchi yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi. Ciri utama optimasi metode Taguchi adalah menghasilkan nilai optimum yang bersifat kokoh (*robust*), yaitu tangguh terhadap variasi gangguan/*noise* (Taguchi dkk., 2005).

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengoptimasi parameter proses bubut yang mempengaruhi kekasaran permukaan, gaya potong, dan masa pakai pahat dengan menggunakan metode Taguchi (Thirumalai dkk., 2013); (Lan dkk., 2018); (Singh & Sultan, 2019); (Patel dkk., 2021). Metode Taguchi juga telah diaplikasikan dalam optimasi parameter proses gudi yang mempengaruhi permukaan akhir dan akurasi dimensi (Aamir dkk., 2020). Banyak peneliti juga telah mengadopsi metode Taguchi untuk meneliti efek dari proses freis terhadap kekasaran permukaan yang optimal dan dimensi produk (Jenarathanan & Jeyapaul, 2013); (Ribeiro dkk., 2017); (Sulaiman et al., 2022). Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan temuan yang memuaskan tentang cara menemukan kombinasi parameter proses yang ideal. Martowibowo dan Wahyudi (Martowibowo & Wahyudi, 2012) berhasil menerapkan metode Taguchi untuk mengoptimalkan proses *wire* EDM untuk pemotongan tirus pada baja ASSAB 760. Ini menghasilkan kecepatan penghasilan geram yang paling tinggi dan kekasaran permukaan yang paling rendah. Somani dkk. (Somani dkk., 2021) menggunakan metode Taguchi untuk mengetahui bagaimana parameter-parameter proses EDM (*arus listrik*, *pulse on time*, dan *pulse off time*) memengaruhi kecepatan penghasilan geram, kekasaran permukaan, dan kecepatan keausan pahat untuk benda kerja baja D2.

Dalam penggunaannya, metode Taguchi mensyaratkan pengambilan data yang berulang untuk mendapatkan sifat

Info Makalah:

Dikirim : 03-05-24;

Revisi 1 : 04-19-24;

Diterima : 04-22-24.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-811-200-796

e-mail : sigit.yoewono@lecture.unjani.ac.id

kokoh tersebut (Roy, 2010). Dalam penerapannya, masih banyak ditemukan optimasi proses produksi menggunakan metode Taguchi yang hanya berdasarkan pengambilan data tunggal. Sebagai contoh adalah optimasi yang dilakukan pada proses bubut (Bhaduria dkk., 2016); (Manivel & Gandhinathan, 2016). Bhaduria, dkk. melakukan optimasi proses bubut baja 45C8 menggunakan metode Taguchi untuk

menghasilkan kekasaran permukaan yang minimum dengan memvariasikan kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman pemotongan. Manivel dan Gandhinathan melakukan optimasi proses bubut kering material ADI (*Austempered Ductile Iron*) menggunakan metode Taguchi untuk menghasilkan kekasaran permukaan dan keausan pahat yang minimum. Selain penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat beberapa penelitian lain yang juga menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan nilai optimum berdasarkan pengambilan data tunggal, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan Kaswadi dkk. (Kaswadi dkk., 2015).

Dalam proses bubut ada berbagai permasalahan yang berakibat pada menurunnya kualitas produk akhir seperti kekasaran permukaan. Hal ini dapat disebabkan antara lain oleh pengaturan parameter permesinan. Untuk mendapatkan produk akhir hasil proses bubut yang baik, perlu diperhatikan parameter-parameter yang berpengaruh pada saat proses bubut berlangsung.

Adanya ketidaksesuaian dari pengaturan parameter proses ini akan menyebabkan menurunnya kualitas dari produk akhir yang akan berdampak pada efisiensi produksi. Oleh karena itu, perlu adanya suatu kajian mengenai bagaimana penentuan *setting* parameter proses yang sesuai agar kualitas produk yang dihasilkan dapat memenuhi kriteria yang diharapkan.

Penelitian ini difokuskan pada optimasi menggunakan data tunggal yang dilakukan pada proses bubut. Proses bubut dipilih karena merupakan salah satu proses permesinan yang banyak digunakan pada industri manufaktur, sehingga sangat penting untuk mengetahui metode optimasi yang tepat agar dihasilkan kondisi optimum saat pembubutan. Penelitian ini akan memeriksa validitas metode Taguchi untuk kasus pengambilan data tunggal pada proses bubut dengan membandingkan hasil optimasi yang diperoleh dengan hasil eksperimen validasi dan analisis standar.

2. Penerapan Metode Taguchi

2.1. Data Eksperimen

Data eksperimental yang diperoleh Manivel dan Gandhinathan dalam menghasilkan nilai kekasaran permukaan dan keausan pahat pada permesinan bubut CNC digunakan dalam penelitian ini (Manivel & Gandhinathan, 2016). Serangkaian eksperimen dilakukan pada mesin bubut CNC dalam menentukan pengaruh parameter permesinan putaran spindel (n), gerak makan (f), dan kedalaman pemotongan (a), terhadap respons keluaran kekasaran permukaan (R_a) dan keausan tepi pahat (VB). Benda kerja yang digunakan untuk eksperimen adalah *Austempered Ductile Iron* (ADI) ASTM *grade* 3. Material benda kerja diaustenisasi pada suhu 880°C selama 2 jam. Setelah austenisasi, dilakukan *quenching* terhadap spesimen dalam air garam (50% $NaNO_3$ dan 50% KNO_3) pada suhu 230°C selama 2 jam. Kekuatan tarik 1241 MPa, kekuatan luluh 893 MPa, kekerasan 45 HR_C dan elongasi 4,88% diperoleh setelah perlakuan panas austemper. Ukuran benda kerja adalah diameter 35 mm dan panjang 90 mm. Seluruh eksperimen dilakukan di mesin bubut CNC Galaxy Midas 6 dalam kondisi permesinan kering dan mata potong baru digunakan untuk setiap pengujian (Galaxy Machinery, 2017). Pahat potong yang digunakan adalah karbida sisipan yang dilapisi CVD dari TaeguTec Company. Keausan tepi pahat diukur menggunakan mikroskop Mitutoyo TM 505.

2.2. Analisis Metode Taguchi

Faktor yang dapat dikendalikan (*controllable factors*) dan faktor yang tidak dapat dikendalikan (*uncontrollable factors* atau *noise*) adalah dua jenis faktor yang ada dalam metode Taguchi (Taguchi, 1986). Kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman pemotongan adalah komponen proses bubut yang dapat dikendalikan. Operator mesin bubut dapat mengontrol ketiga faktor ini, yang dikenal sebagai faktor sinyal, karena faktor-faktor ini merupakan faktor dinamik yang dapat mempengaruhi respons. Faktor kontrol perlu ditinjau kembali untuk memaksimalkan kinerja. Karakteristik fungsional produk proses bubut yang menyimpang dari nilai target produksi disebut faktor tak terkendali. Faktor tak terkendali ini terdiri dari dua bagian: faktor tak terkendali luar (eksternal) dan faktor tak terkendali dalam (internal). Faktor tak terkendali luar adalah debu, kinerja operator, material benda kerja, kelembapan, dan temperatur. Faktor tak terkendali dalam adalah umur mesin dan keausan yang terjadi pada mesin bubut.

Metode Taguchi mensyaratkan dilakukannya pengambilan data respons yang berulang dalam satu kombinasi faktor kontrol. Pengolahan data untuk mendapatkan nilai optimum berdasarkan nilai respons yang berulang tersebut menggunakan nilai S/N (Berube & Wu, 2000); (Hutahaean, 2005); (Soejanto, 2009); (Roy, 2010).

Berikut ini persamaan S/N *smaller the better* untuk kekasaran permukaan dan keausan pahat.

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

2.3. Konsep Perbandingan Analisis S/N dengan Analisis Standar

Pada perbandingan ini, pernyataan metode Taguchi yang digunakan untuk optimasi pada kasus pengambilan data tunggal adalah valid berdasarkan empat parameter pembanding sebagai berikut (Roy, 2010):

1. Kombinasi faktor kontrol nilai optimum

Kombinasi faktor kontrol hasil optimasi berdasarkan metode Taguchi melalui analisis S/N dibandingkan dengan kombinasi faktor kontrol yang dihasilkan melalui analisis standar. Pada poin ini, metode Taguchi dianggap valid apabila kombinasi faktor kontrol yang dihasilkan oleh analisis S/N adalah sama dengan kombinasi faktor kontrol yang dihasilkan oleh analisis standar. Namun demikian, apabila terdapat perbedaan pada kombinasi tersebut dilakukan analisis berdasarkan nilai rata-rata respons yang dihasilkan oleh setiap level faktor kontrol yang berbeda. Metode Taguchi tetap dianggap valid apabila level faktor kontrol yang menimbulkan perbedaan kombinasi tetap menghasilkan nilai rata-rata respons yang sesuai dengan *quality characteristic* yang telah ditentukan dan rata-rata nilai respons yang dihasilkan oleh level faktor kontrol yang berbeda tersebut memiliki perbedaan kurang dari 10%.

2. Prediksi nilai optimum analisis S/N identik dengan analisis standar

Setelah kombinasi faktor kontrol yang memberikan kondisi optimum sesuai *quality characteristic* diketahui, maka nilai optimum suatu respons dapat diprediksi nilainya. Prediksi nilai respons optimum berdasarkan analisis S/N diperoleh melalui persamaan 2 dan 3, sedangkan prediksi nilai respons optimum berdasarkan analisis standar dapat diperoleh melalui persamaan 4.

Prediksi nilai S/N optimum adalah sebagai berikut.

$$S/N_{opt} = \overline{T_{S/N}} + \sum_{i=1}^n (\overline{CF_i} - \overline{T_{S/N}}) \quad (2)$$

Prediksi nilai respons analisis S/N adalah sebagai berikut.

$$y_{opt S/N} = \left(10^{-\frac{S}{N_{opt}}/10} \right)^{0.5} \quad (3)$$

Prediksi nilai respons analisis standar adalah sebagai berikut.

$$y_{opt std} = \bar{T} + \sum_{i=1}^n (\overline{CF_i} - \bar{T}) \quad (4)$$

Pada poin ini, metode Taguchi dianggap valid apabila prediksi nilai respons optimum hasil analisis S/N menunjukkan nilai yang identik dengan prediksi nilai optimum hasil analisis standar yang dianggap valid untuk kasus pengambilan data tunggal. Indikasi nilai yang identik tersebut adalah perbedaan prediksi nilai optimum antara kedua metode kurang dari 10% yang dapat dihitung melalui persamaan 5 berikut ini.

$$\Delta_{opt} = \frac{y_{opt S/N} - y_{opt std}}{y_{opt std}} \times 100\% \quad (5)$$

Apabila perbedaan yang dihasilkan lebih dari 10%, maka dilakukan analisis terhadap penyimpangan prediksi nilai respons optimum yang dihasilkan kedua analisis terhadap hasil eksperimen validasi sehingga validitas metode Taguchi tetap dapat disimpulkan.

3. Penyimpangan prediksi nilai optimum analisis S/N terhadap hasil eksperimen validasi

Prediksi nilai optimum yang dihasilkan oleh analisis S/N dibandingkan terhadap nilai hasil eksperimen validasi untuk melihat seberapa besar penyimpangan yang terjadi. Nilai penyimpangan tersebut dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\Delta_{val} = \frac{y_{opt S/N} - y_{opt val}}{y_{opt val}} \times 100\% \quad (6)$$

Pada poin ini metode Taguchi dinyatakan valid apabila penyimpangan prediksi nilai optimum hasil analisis S/N terbilang kecil atau kurang dari 10%. Penyimpangan yang kecil mengindikasikan bahwa proses optimasi yang dilakukan mampu memprediksi nilai optimum dengan baik.

4. Peringkat pengaruh faktor kontrol hasil ANOVA (*Analysis of Variance*)

Faktor kontrol dianggap berpengaruh jika nilai F hitung lebih besar daripada F kritis pada tingkat kepercayaan tertentu. Nilai F kritis dapat diperoleh dari tabel statistika yang merupakan fungsi dari jumlah faktor kontrol yang diamati dan jumlah derajat kebebasan total dikurangi jumlah faktor kontrol. Untuk penelitian ini digunakan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Pada parameter pembanding ini, metode Taguchi dikatakan valid apabila hasil ANOVA berdasarkan analisis S/N menunjukkan peringkat pengaruh faktor kontrol yang sama dengan ANOVA berdasarkan analisis standar dan hasil *F-test* dari analisis S/N sama dengan analisis standar. Peringkat pengaruh faktor kontrol ditentukan berdasarkan nilai F hitung dan persen kontribusi. Semakin besar nilai F hitung dan persen kontribusi, maka faktor kontrol tersebut semakin berpengaruh terhadap respons yang ditinjau. Apabila terdapat perbedaan peringkat pengaruh faktor kontrol, maka dapat dihitung perbedaan nilai F hitung dan persen kontribusi antara faktor kontrol yang menyebabkan perbedaan peringkat tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Faktor kontrol yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 1. Radius ujung pahat yang digunakan adalah 0,8 dan 0,4 mm tergantung pada jenis pahat yang biasa digunakan untuk proses bubut. Data eksperimen diperlihatkan pada Tabel 2. Jumlah eksperimen yang dipilih adalah 18 berdasarkan pada matriks ortogonal standar dengan level gabungan, yaitu $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ (Soejanto, 2009).

Tabel 1. Faktor Kontrol.

No.	Notasi	Faktor Kontrol	Level		
			1	2	3
1	r_e	Radius ujung pahat (mm)	0,8	0,4	-
2	v_c	Kecepatan potong (m/min)	50	100	150
3	f	Gerak makan (mm/rev)	0,04	0,08	0,12
4	a	Kedalaman pemotongan (mm)	0,2	0,3	0,4

Tabel 2. Data Eksperimen.

No. Eksperimen	Faktor Kontrol				Kasus I Kekasaran Permukaan R_a (μm)	S/N_{R_a}	Kasus II Keausan Tepi Pahat VB (mm)	S/N_{VB}
	r_e	v_c	f	a				
1	0,8	50	0,04	0,2	0,274	11,245	0,137	17,266
2	0,8	50	0,08	0,3	0,324	9,789	0,124	18,132
3	0,8	50	0,12	0,4	0,438	7,171	0,118	18,562
4	0,8	100	0,04	0,2	0,364	8,778	0,126	17,993
5	0,8	100	0,08	0,3	0,340	9,370	0,110	19,172
6	0,8	100	0,12	0,4	0,508	5,883	0,104	19,659
7	0,8	150	0,04	0,3	0,803	1,906	0,134	17,458
8	0,8	150	0,08	0,4	0,470	6,558	0,132	17,589
9	0,8	150	0,12	0,2	0,704	3,049	0,124	18,132
10	0,4	50	0,04	0,4	0,338	9,422	0,128	17,856
11	0,4	50	0,08	0,2	0,421	7,514	0,125	18,062
12	0,4	50	0,12	0,3	0,709	2,987	0,108	19,332
13	0,4	100	0,04	0,3	0,585	4,657	0,104	19,659
14	0,4	100	0,08	0,4	0,446	7,013	0,112	19,016
15	0,4	100	0,12	0,2	0,614	4,237	0,104	19,659
16	0,4	150	0,04	0,4	0,836	1,556	0,132	17,589
17	0,4	150	0,08	0,2	0,636	3,931	0,135	17,393
18	0,4	150	0,12	0,3	1,106	-0,875	0,116	18,711

Tabel 3 dan 4 memperlihatkan *main effect* ANOM (*Analysis of Mean*) data S/N dan data respons untuk kasus I. Tabel 5 dan 6 memperlihatkan ANOVA data S/N dan data respons untuk kasus I.

Tabel 3. *Main Effect* ANOM Data S/N Kasus I.

Kontrol Faktor	Rata-rata Level 1	Rata-rata Level 2	Rata-rata Level 3	Jangkauan	Peringkat
r_e	7,083	4,494	-	2,590	3
v_c	8,021	6,656	2,687	5,334	1
f	6,261	7,363	3,742	3,621	2
a	6,459	4,639	6,267	1,820	4

Tabel 4. *Main Effect* ANOM Data Respons Kasus I.

Kontrol Faktor	Rata-rata Level 1	Rata-rata Level 2	Rata-rata Level 3	Jangkauan	Peringkat
r_e	0,469	0,632	-	0,163	3
v_c	0,417	0,476	0,759	0,242	1
f	0,533	0,440	0,680	0,240	2
a	0,502	0,645	0,506	0,142	4

Tabel 5. ANOVA Data S/N Kasus I.

Faktor Kontrol	Sq	db	V	F	ρ (%)
r_e	30,177	1	30,177	25,203	16,1
v_c	92,135	2	46,067	38,473	49,1
f	41,341	2	20,670	17,263	22,0
a	11,998	2	5,999	5,010	6,4
error	11,974	10	0,998	1	6,4

Tabel 6. ANOVA Data Respons Kasus I.

Faktor Kontrol	Sq	db	V	F	ρ (%)
r_e	0,119	1	0,119	29,456	14,6
v_c	0,401	2	0,200	49,440	49,1
f	0,176	2	0,088	21,717	21,6
a	0,079	2	0,040	9,734	9,7
error	0,041	10	0,003	1	5,0

Tabel 7 dan 8 memperlihatkan *main effect* ANOM data S/N dan data respons untuk kasus II. Tabel 9 dan 10 memperlihatkan ANOVA data S/N dan data respons untuk kasus II.

Tabel 7. *Main Effect* ANOM Data S/N Kasus II.

Kontrol Faktor	Rata-rata Level 1	Rata-rata Level 2	Rata-rata Level 3	Jangkauan	Peringkat
r_e	18,218	18,586	-	0,368	4
v_c	18,201	19,193	17,812	1,381	1
f	17,970	18,227	19,009	1,039	2
a	18,084	18,744	18,378	0,660	3

Tabel 8. *Main Effect* ANOM Data Respons Kasus II.

Kontrol Faktor	Rata-rata Level 1	Rata-rata Level 2	Rata-rata Level 3	Jangkauan	Peringkat
r_e	0,123	0,118	-	0,005	4
v_c	0,123	0,110	0,129	0,019	1
f	0,127	0,123	0,112	0,015	2
a	0,125	0,116	0,121	0,009	3

Tabel 9. ANOVA Data S/N Kasus II.

Faktor Kontrol	Sq	db	V	F	ρ (%)
r_e	0,610	1	0,610	14,326	5,1
v_c	6,086	2	3,043	71,428	50,9
f	3,515	2	1,758	41,255	29,4
a	1,311	2	0,656	15,389	11,0
error	0,426	10	0,036	1	3,6

Tabel 10. ANOVA Data Respons Kasus II.

Faktor Kontrol	Sq	db	V	F	ρ (%)
r_e	0,00010	1	0,0001	15,318	5,0
v_c	0,00110	2	0,0006	76,619	50,2
f	0,00070	2	0,0003	46,120	30,2
a	0,00030	2	0,0001	17,209	11,3
error	0,00007	10	0,0000	1	3,3

Nilai parameter pembandingan validitas analisis S/N dan analisis standar metode Taguchi diperlihatkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai Parameter Pembanding Validitas Metode Taguchi.

	Kombinasi Faktor Kontrol		Prediksi Nilai Optimum		Hasil Validasi (Penyimpangan Prediksi Nilai Optimum)		Peringkat Pengaruh Faktor Kontrol	
	Analisis S/N	Analisis Standar	Analisis S/N	Analisis Standar	Analisis S/N	Analisis Standar	Analisis S/N	Analisis Standar
Kasus I	$r_e = 0,8$ mm	$r_e = 0,8$ mm	$R_a = 0,264$ μ m	$R_a = 0,176$ μ m	$R_a = 0,194$ μ m ($\Delta_{val} = 36,1\%$)	$R_a = 0,194$ μ m ($\Delta_{val} = 9,28\%$)	1. Kecepatan potong	1. Kecepatan potong
	$v_c = 50$ m/min	$v_c = 50$ m/min					2. Gerak makan	2. Gerak makan
	$f = 0,08$ mm/rev	$f = 0,08$ mm/rev					3. Radius ujung pahat	3. Radius ujung pahat
	$a = 0,2$ mm	$a = 0,2$ mm					4. Kedalaman pemotongan	4. Kedalaman pemotongan
Kasus II	$r_e = 0,4$ mm	$r_e = 0,4$ mm	VB = 0,096 mm	VB = 0,094 mm	VB = 0,095 mm ($\Delta_{val} = 1,05\%$)	VB = 0,095 mm ($\Delta_{val} = 1,05\%$)	1. Kecepatan potong	1. Kecepatan potong
	$v_c = 100$ m/min	$v_c = 100$ m/min					2. Gerak makan	2. Gerak makan
	$f = 0,12$ mm/rev	$f = 0,12$ mm/rev					3. Kedalaman pemotongan	3. Kedalaman pemotongan
	$a = 0,3$ mm	$a = 0,3$ mm					4. Radius ujung pahat	4. Radus ujung pahat

Hasil perbandingan validitas metode Taguchi menggunakan analisis S/N dan analisis standar diperlihatkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Perbandingan Validitas Metode Taguchi.

Konsep Perbandingan	Kombinasi Faktor Kontrol	Prediksi Nilai Optimum	Penyimpangan Prediksi Nilai Optimum	Peringkat Pengaruh Faktor Kontrol
Kasus I	V	X	X	V
Kasus II	V	V	V	V

Keterangan:

V : terpenuhi

X : belum terpenuhi

3.1. Kasus I

Optimasi yang telah dilakukan berdasarkan analisis S/N dan analisis standar menunjukkan terpenuhinya syarat dua parameter pembanding validitas metode Taguchi. Pada Tabel 3 s.d. 6 ditunjukkan bahwa kombinasi faktor kontrol dan peringkat pengaruh faktor kontrol hasil ANOM dan ANOVA dari kedua analisis adalah sama. Level radius ujung pahat pada kombinasi faktor kontrol sesuai dengan Rochim (2007) dan Kalpakjian dan Schmid (2009), bahwa radius pojok pahat yang besar akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang baik. *F-test* yang telah dilakukan dengan membandingkan nilai *F* hitung terhadap *F* kritis berdasarkan masing-masing analisis juga menunjukkan kesimpulan yang sama, yaitu keempat faktor kontrol yang diamati adalah berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Kombinasi kontrol faktor yang dihasilkan adalah radius ujung pahat level 1 (0,8 mm), kecepatan potong level 1 (50 m/min), gerak makan level 2 (0,08 mm/rev), dan kedalaman pemotongan level 1 (0,2 mm).

Dua parameter pembanding lainnya tidak memenuhi syarat validitas metode Taguchi. Prediksi nilai optimum yang dihasilkan oleh analisis S/N adalah 0,264 μ m, sedangkan yang dihasilkan oleh analisis standar adalah 0,176 μ m. Penyimpangan prediksi nilai optimum oleh analisis S/N terhadap hasil eksperimen validasi juga cukup besar dan melebihi 10%, yaitu pada nilai 36,1%. Penyimpangan nilai optimum oleh analisis standar terhadap hasil eksperimen validasi sebesar 9,28% (Tabel 11). Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kasus ini, metode Taguchi melalui analisis S/N tidak mampu memprediksi nilai optimum dengan baik. Namun, karena kombinasi faktor kontrol yang diperoleh adalah sama, maka sesungguhnya metode Taguchi melalui analisis S/N sudah mampu menemukan kombinasi faktor kontrol yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan minimum sesuai dengan definisi optimasi. Pada kasus ini metode Taguchi dapat dianggap valid untuk optimasi pada pengambilan data tunggal meskipun penyimpangan yang terjadi cukup besar karena perbedaan pengolahan data respons (Tabel 12).

3.2. Kasus II

Pada Tabel 7 s.d. 10 ditunjukkan bahwa pada kasus ini keempat parameter pembanding memenuhi syarat validitas metode Taguchi untuk pengambilan data tunggal. Kombinasi kontrol faktor yang dihasilkan adalah radius ujung pahat level 2 (0,4 mm), kecepatan potong level 2 (100 m/min), gerak makan level 3 (0,12 mm/rev), dan kedalaman pemotongan level 2 (0,3 mm). Penyimpangan prediksi nilai optimum oleh analisis S/N dan analisis standar terhadap hasil eksperimen validasi cukup kecil, sebesar 1,05% (Tabel 11). Terpenuhinya keempat syarat parameter pembanding di atas, maka pada kasus ini metode Taguchi untuk kasus pengambilan data tunggal adalah efektif (Tabel 12).

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode Taguchi yang digunakan untuk optimasi pada pengambilan data tunggal proses bubut adalah valid. Analisis data S/N dan data respons memberikan hasil yang sama.

Pada kasus I, kombinasi kontrol faktor yang dihasilkan kedua analisis adalah radius ujung pahat level 1 (0,8 mm), kecepatan potong level 1 (50 m/min), gerak makan level 2 (0,08 mm/rev), dan kedalaman pemotongan level 1 (0,2 mm). Namun prediksi nilai kekasaran permukaan kedua analisis memberikan nilai yang berbeda cukup besar ($\Delta_{opt} = 33,3\%$).

Pada kasus II, kombinasi kontrol faktor yang dihasilkan kedua analisis adalah radius ujung pahat level 2 (0,4 mm), kecepatan potong level 2 (100 m/min), gerak makan level 3 (0,12 mm/rev), dan kedalaman pemotongan level 2 (0,3 mm). Prediksi nilai keausan tepi pahat kedua analisis hanya berbeda 2,1% (Δ_{opt}).

Pada penggunaan metode Taguchi dengan pengambilan data tunggal, eksperimen yang dilakukan tidak membutuhkan pengulangan kombinasi faktor kontrol dan jumlah eksperimen yang banyak, dan mampu memprediksi kombinasi faktor kontrol dan peringkat faktor kontrol dengan baik. Namun, perlu dikaji lebih lanjut jumlah eksperimen yang dibutuhkan agar prediksi nilai optimum mendekati nilai optimum sebenarnya dan penyimpangan prediksi nilai optimum menjadi minimum.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung dan Fakultas Teknologi Manufaktur Universitas Jenderal Achmad Yani, atas dukungannya yang sangat berharga selama penelitian ini.

Daftar Notasi

a	= Kedalaman pemotongan [mm]
\overline{CF}_i	= Nilai rata-rata data respons untuk setiap level faktor kontrol
db	= Derajat kebebasan
f	= Gerak makan [mm/rev]
F	= Rasio varian
n	= Jumlah eksperimen dalam satu baris <i>orthogonal array</i>
r_e	= Radius ujung pahat [mm]
R_a	= Kekasaran permukaan [μm]
S/N	= Rasio sinyal terhadap gangguan
S/N_{opt}	= Rasio sinyal optimum terhadap gangguan
S/N_{Ra}	= Rasio sinyal terhadap gangguan untuk kekasaran permukaan
S/N_{VB}	= Rasio sinyal terhadap gangguan untuk keausan tepi pahat
Sq	= Jumlah kuadrat setiap faktor kontrol
$\overline{T}_{\text{exp}}$	= Nilai rata-rata data respons seluruh eksperimen
$\overline{T}_{S/N}$	= Nilai rata-rata data S/N seluruh eksperimen
y_i	= Nilai respons eksperimen ke i
$y_{opt S/N}$	= Nilai respons analisis S/N
$y_{opt std}$	= Nilai respons analisis standar
v_c	= Kecepatan potong [m/min]
v_f	= Kecepatan pemakanan [mm/s]
V	= Varian
VB	= Keausan tepi pahat
Δ_{opt}	= Perbedaan prediksi nilai optimum antara analisis S/N dan analisis standar
Δ_{val}	= Perbedaan nilai optimum analisis S/N terhadap hasil eksperimen validasi
ρ	= Persentase kontribusi [%]

Singkatan:

ANOM = *Analysis of Mean*

ANOVA = *Analysis of Variance*

DOE = *Design of Experiment*

OA = *Orthogonal Array*

S/N = *Signal-to-Noise ratio*

Daftar Pustaka

- Aamir, M., Tu, S., Tolouei-Rad, M., Giasin, K., & Vafadar, A. (2020). Optimization and Modeling of Process Parameters in Multi-hole Simultaneous Drilling Using Taguchi Method and Fuzzy Logic Approach. *Materials*, 13(3), 680. <https://doi.org/10.3390/ma13030680>
- Berube, J., & Wu, C. F. J. (2000). Signal-to-Noise Ratio and Related Measures in Parameter Design Optimization: An Overview. *Sankhya: The Indian Journal of Statistics*, 62(3), 417–432. <https://doi.org/10.2307/25053155>
- Bhaduria, O. S., Goyal, S., & Chauhan, P. S. (2016). Application of Taguchi Method for Optimization of Process Parameters for Minimum Surface Roughness in Turning of 45C8. *International Journal of Current Engineering and Scientific Research*, 3(1), 61–68.
- Galaxy Machinery. (2017). Midas 6. Galaxy Machinery PVT. Ltd. <http://www.galaxymachinery.com/Midas6.html>
- Hutahaean, H. A. (2005). Metode Taguchi-Diktat Kuliah. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya.
- Jenarathanan, M. P., & Jeyapaul, R. (2013). Optimisation of Machining Parameters on Milling of GFRP Composites by Desirability Function Analysis Using Taguchi Method. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 5(4), 23–36. <https://doi.org/10.4314/ijest.v5i4.3>
- Kalpajian, S., & Schmid, S. R. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson Education.
- Kaswadi, A., Lubis, G. S., & Martowibowo, S. . (2015). Optimalisasi Parameter Proses Cetak Injeksi Plastik dengan Metode Simulasi untuk Menurunkan Cacat Defleksi. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), MAN-01*.
- Lan, T. S., Chuang, K. C., & Chen, Y. M. (2018). Optimization of Machining Parameters using Fuzzy Taguchi Method for Reducing Tool Wear. *Applied Sciences*, 8(7), 1011. <https://doi.org/10.3390/app8071011>
- Manivel, D., & Gandhinathan, R. (2016). Optimization of Surface Roughness and Tool Wear in Hard Turning of Austempered Ductile Iron (grade 3) Using Taguchi Method. *Measurement*, 93, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.06.055>
- Martowibowo, S. Y., & Wahyudi, A. (2012). Taguchi Method Implementation in Taper Motion Wire EDM Process Optimization. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 93(4), 357–364. <https://doi.org/10.1007/s40032-012-0043-z>
- Patel, N. S., Parihar, P. L., & Makwana, J. S. (2021). Parametric Optimization to Improve the Machining Process by Using Taguchi Method: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 47(11), 2709–2714. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.005>
- Rao, S. S. (2009). *Engineering Optimization Theory and Practice* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Ribeiro, J. E., César, M. B., & Lopes, H. (2017). Optimization of Machining Parameters to Improve the Surface Quality. *Procedia Structural Integrity*, 5(5), 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.182>
- Rochim, T. (2007). *Klasifikasi, Proses, Gaya, dan Daya Permesinan*. Penerbit ITB.
- Roy, R. K. (2010). *A Primer on the Taguchi Method* (2nd ed.). Society of Manufacturing Engineers.
- Singh, K., & Sultan, I. (2019). Parameters Optimization for Sustainable Machining by Using Taguchi Method. *Materials Today: Proceedings*, 18(7), 4217–4226. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.380>
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Graha Ilmu.
- Somani, N., Tyagi, Y. K., & Kumar, P. (2021). Effect of Process Parameters on Machining of D2 Steel Using Taguchi Method. *Recent Trends in Industrial and Production Engineering*, 67–78. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3135-1_8
- Sulaiman, S., Sh Alajmi, M., Wan Isahak, W. N., Yusuf, M., & Sayuti, M. (2022). Dry Milling Machining: Optimization of Cutting Parameters Affecting Surface Roughness of Aluminum 6061 Using the Taguchi Method. *International Journal of Technology (IJTech)*, 13(1), 58–68.
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering-Designing Quality into Products and Processes*. Asian Productivity Organization.
- Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Thirumalai, R., Senthilkumar, J. S., Selvarani, P., & Ramesh, S. (2013). Machining Characteristics of Inconel 718 Under Several Cutting Conditions Based on Taguchi Method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 227(9), 1889–1897. <https://doi.org/10.1177/0954406212466193>