

## OPTIMASI PARAMETER PEMBUBUTAN PADA MATERIAL AISI 4340 MENGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN GREY RELATIONAL ANALYSIS

Otto Purnawarman<sup>1)</sup>, Achmad Sambas<sup>2)</sup> Bella Rukmana<sup>3)</sup>

<sup>1)2)3)</sup> Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung, Jl. Kanayakan No.21 Bandung.  
Email: <sup>1)</sup>ottopur@gmail.com, <sup>2)</sup>sam@polman-bandung.ac.id, <sup>3)</sup>bellarukmana123@gmail.com

### Abstrak

*Abstrak--* Pada proses pemesinan, keausan pahat (*tool wear*) dan kekasaran permukaan (*surface roughness*) menjadi indikasi utama guna menghasilkan kualitas produk yang baik. Dalam proses pembubutan, parameter kecepatan potong ( $V_c$ ), *feed rate* ( $f$ ), dan *nose radius* ( $r_n$ ) menjadi hal yang berpengaruh terhadap kualitas produk tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi hubungan antara parameter terhadap keausan pahat dan kekasaran permukaan. Digunakan material benda kerja *low alloy steel* AISI 4340 dan alat potong *insert carbide*. Metoda yang digunakan dengan pendekatan aplikasi statistik dengan metode Taguchi, teknik *grey relational analysis* (GRA) untuk mendapatkan kombinasi level terbaik untuk hasil multi respon dan *Analysis of variance* (ANOVA) untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi keausan pahat dan kekasaran permukaan. Faktor yang digunakan adalah kecepatan potong ( $V_c$ ), *feed rate* ( $f$ ), dan *nose radius* ( $r_n$ ) dengan tiga level serta responnya berupa kekasaran permukaan ( $R_a$ ) dan keausan pahat ( $VB$ ). Hasil dari ANOVA, menunjukkan bahwa kecepatan potong ( $V_c$ ) dan *feed rate* ( $f$ ) adalah faktor signifikan untuk kekasaran permukaan dan keausan pahat. Didapatkan nilai level faktor yang optimal untuk mendapatkan kekasaran permukaan ( $R_a$ ) dan keausan pahat ( $VB$ ) minimum adalah  $V_c$  level 1 = 73.73 m/min,  $f$  level 1 = 0.1 mm/rev, dan  $r_n$  level 1 = 1.2 mm.

**Kata Kunci:** kecepatan potong, *feed rate*, *nose radius*, AISI 4340, Taguchi, *grey relational analysis*, ANOVA

### Abstract

*In the turning process, the parameters of cutting speed ( $V_c$ ), feed rate ( $f$ ), and nose radius ( $r_n$ ) are things that influence the quality of the product. This study aims to optimize the relationship between the parameters of tool wear and surface roughness. AISI 4340 low alloy steel workpiece material and carbide insert cutting tools are used. The method used is a statistical application approach with the Taguchi method, gray relational analysis (GRA) techniques to get the best level combination for multi-response results and Analysis of variance (ANOVA) to determine factors that affect tool wear and surface roughness. The factor used is cutting speed. ( $V_c$ ), feed rate ( $f$ ), and nose radius ( $r_n$ ) with three levels and the responses are surface roughness ( $R_a$ ) and tool wear ( $VB$ ). The results of the ANOVA show that cutting speed ( $V_c$ ) and feed rate ( $f$ ) are significant factors for surface roughness and tool wear. The optimal factor level values for obtaining surface roughness ( $R_a$ ) and minimum tool wear ( $VB$ ) were  $V_c$  level 1 = 73.73 m/min,  $f$  level 1 = 0.1 mm/rev, and  $r_n$  level 1 = 1.2 mm.*

**Keywords:** cutting speed, feed rate, nose radius, AISI 4340, Taguchi, grey relational analysis, ANOVA

## I. PENDAHULUAN

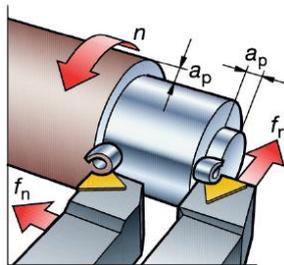
Tantangan utama industri permesinan adalah fokus pada pencapaian kualitas tinggi, dalam hal akurasi dimensi benda kerja, hasil permukaan, produktifitas, umur alat potong yang panjang, dan ekonomis serta kinerja produk dengan mengurangi dampak lingkungan, Dureja (2014). Kualitas hasil permukaan proses pemesinan bubut dinilai dari kemampuan dalam menghasilkan kekasaran permukaan ( $R_a$ ). Keausan pahat merupakan salah satu faktor dalam mempengaruhi hasil kekasaran permukaan, sehingga sangat penting pula untuk meminimalkan keausan pahat dengan mengoptimalkan parameter pemotongan.

Optimasi parameter pemotongan diperlukan untuk pencapaian kekasaran permukaan ( $R_a$ ) dan keausan pahat ( $VB$ ) minimal. Parameter pemesinan yang harus diperhatikan adalah kecepatan potong ( $V_c$ ), *feed rate* ( $f$ ), *depth of cut* ( $a_p$ ).

Metode desain eksperimental *Taguchi* adalah salah satu teknik yang diterima secara luas untuk kualitas produk dan proses. Konsep utama dari teknik ini adalah penggunaan desain parameter, yang merupakan metode rekayasa untuk desain produk atau proses yang berfokus pada penentuan pengaturan parameter yang dapat diproduksi pada tingkat karakteristik kualitas terbaik dengan variasi minimum. Desain *Taguchi* menyediakan metode yang kuat dan efisien untuk merancang proses yang beroperasi secara terus menerus dan optimal dalam berbagai kondisi

Tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui faktor yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan dan keausan pahat secara signifikan, serta menentukan kombinasi faktor yang baik untuk menghasilkan multi respon optimum.

### Landasan Teori Proses Bubut



Gambar 1. Parameter pemotongan (Sandvik Technical Guide, 2009)

Parameter pemotongan proses bubut adalah kecepatan putar (rpm), gerak makan ( $f$ ), dan kedalaman potong ( $a_p$ ).

Perhitungan putaran mesin didasari dari kecepatan potong ( $V_c$ ). Kecepatan potong adalah kemampuan

mata potong untuk menyayat benda kerja dengan aman dalam satuan panjang per waktu (m/min). Nilai kecepatan potong ( $V_c$ ) didapatkan berdasarkan jenis material benda kerja dan alat potong

### Geometri Alat Potong (*Nose Radius*)

Salah satu bagian penting pada alat potong adalah *nose radius* pahat ( $r_\epsilon$ ). Akan tetapi, *nose radius* pahat ( $r_\epsilon$ ) yang besar akan memperbesar gaya radial ( $f_x$ ), sehingga untuk sistem pemotongan yang tidak kaku (poros panjang dengan diameter yang relatif kecil) mungkin akan terjadi lenturan ataupun getaran yang akan menurunkan kualitas geometrik produk. Semakin besar *nose radius* ( $r_\epsilon$ ) maka semakin tinggi temperatur penetrasinya, Chou Y.K (2004).

### Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan ( $R_a$ ) adalah indeks kualitas produk mekanis. Parameter pemesinan yang mempengaruhi hasil permukaan adalah tipe operasi pemesinan, gerak pemakanan ( $f$ ), dan geometri alat potong terutama *nose radius* pahat ( $r_\epsilon$ ), Groover (2010). Sebagaimana nilai kekasaran permukaan hasil permukaan ditentukan oleh rumus:

$$R_a = \frac{f^2}{32 \times r_\epsilon} \quad (1)$$

Dimana,

- $R_a$  = rata-rata kekasaran total ( $\mu\text{m}$ )
- $f$  = gerak makan (mm/r)
- $r_\epsilon$  = *nose radius* (mm)

### Keausan Pahat

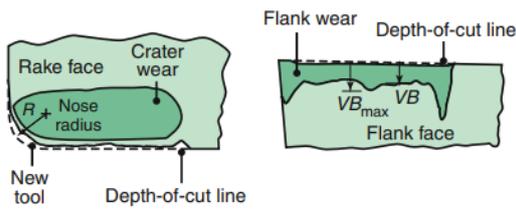
Pada proses pemotongan logam, keausan pahat dapat terjadi pada bidang utama pahat atau yang kemudian disebut keausan tepi (*flank wear*) dan keausan yang terjadi pada bidang geram atau yang kemudian disebut *creator wear*.

Keausan tepi (*flank wear*) yang disimbolkan dengan  $VB$  terjadi karena adanya gesekan antara permukaan benda kerja dan bidang kontak pada alat potong. Keausan tepi (*flank wear*) selalu digunakan sebagai kriteria umur karena mudah untuk ditentukan secara kuantitatif.

Besaran keausan tepi sering dijadikan kriteria karena keausan tepi yang mempengaruhi kekasaran dan akurasi permukaan material kerja, Childs T. (2000).

Keausan pahat dapat menimbulkan efek samping seperti kenaikan gaya potong, getaran (*chatter*), penurunan kehalusan permukaan hasil permesinan, perubahan dimensi/ geometri produk, meningkatkan suhu, menurunkan efisiensi produksi, dan meningkatkan biaya produksi. Dalam praktiknya, kecepatan potong menjadi perhatian

utama dalam pertimbangan keausan pahat, Astakhov (2008).



Gambar 2. Keausan pada pahat, Kalpakjian (2010)

## Material

*Alloy steel* AISI 4340 (VCN 150) adalah produk baja paduan rendah yang memiliki ketangguhan kekuatan tinggi (*High strength low Alloy- HSLA steel*). Baja ini memiliki sifat yang baik dalam hal ketahanan impact dan sifat tahan abrasinya. Secara umum material ini diperoleh dalam kondisi *annealing* atau *pre-hardened*. Dapat juga diberikan perlakuan *hardening* dan *tempering* apabila diinginkan kekerasan yang tinggi, Beny B. (2016).

## II. METODE

### *Design of Experiment (DoE)*

Secara umum, *Design of Experiment* dapat digunakan untuk mempelajari pengaruh berbagai faktor pada produk atau perilaku proses, memahami hubungan antara variabel input dan karakteristik kualitas output, mempersingkat waktu pengembangan produk atau proses, mengidentifikasi pengaturan optimal dari suatu proses yang memaksimalkan atau meminimalkan respons, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keandalan produk, mengurangi variabilitas dalam kinerja fungsional produk.

### Metode Taguchi

Dalam metode Taguchi, hasil percobaan dianalisis untuk mencapai satu atau lebih dari tiga tujuan, yaitu untuk menetapkan kondisi terbaik atau optimal untuk suatu produk atau proses, untuk memperkirakan kontribusi dari masing-masing faktor, untuk memperkirakan respons di bawah kondisi optimal.

Dalam metode Taguchi, *the signal to noise (S/N)* rasio digunakan sebagai karakteristik kinerja untuk mengukur ketahanan proses dan untuk mengevaluasi penyimpangan dari nilai yang diinginkan. S/N Rasio, sebuah fungsi logaritmik, dihitung dengan menilai proporsi sinyal (rata-rata) terhadap noise (standar deviasi). Ada tiga jenis S/N rasio, yaitu, *higher-the-better*, *nominal-the-best* and

*smaller-the-better*, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut, Antony J. (2000).

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{HTB} = -10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{NTB} = 10 \times \log_{10} \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{STB} = -10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

Metode Taguchi menggunakan ortogonal *array* (OA) untuk mengurangi varian dan mengoptimalkan parameter proses.

Kolom dalam OA menunjukkan faktor dan level yang terkait, dan setiap baris dalam OA merupakan percobaan yang dilakukan pada pengaturan faktor yang diberikan, Taguchi, G. (2005).

### *Analysis of Variance (ANOVA)*

ANOVA adalah suatu metode statistik yang digunakan untuk menginterpretasikan data eksperimen dan membuat keputusan berdasarkan data eksperimen yang digunakan untuk memeriksa apakah faktor-faktor dalam penelitian mempengaruhi nilai respon secara signifikan. ANOVA menggunakan teknik matematika untuk memecahkan variasi total menjadi komponen-komponen yang tepat.

Uji dalam ANOVA menggunakan uji F dan uji P untuk menentukan status hipotesa. Hipotesa  $H_0$  atau  $H_1$  yang diterima atau tidak, berdasarkan pada ketentuan sebagai berikut, Pagano R.R (2010):

- Jika nilai *P-value* faktor  $> \alpha$  (0.05, tingkat kepercayaan 95%), maka  $H_0$  diterima atau  $H_1$  ditolak.
- Jika nilai *P-value* faktor  $\leq \alpha$  (0.05, tingkat kepercayaan 95%), maka  $H_0$  ditolak atau  $H_1$  diterima.
- Jika *F-value* hitung faktor  $> F-value$  tabel maka  $H_0$  ditolak atau  $H_1$  diterima.
- Jika *F-value* hitung faktor  $< F-value$  tabel maka  $H_0$  diterima atau  $H_1$  ditolak.

### *Grey Relational Analysis (GRA)*

Dalam hal dua atau lebih respon, dengan karakteristik kualitas yang berbeda, optimisasi multi respon menggunakan GRA adalah metode yang paling banyak digunakan. Analisis *grey relational* dapat diadaptasi secara efektif dan menjadi alat yang ampuh untuk masalah pengoptimalan respon ganda yang kompleks dapat disederhanakan menjadi pengoptimalan *grey relational grade* respon tunggal Rao D. (2011).

Tahapan dalam menggunakan GRA yaitu [18].

- Mendapatkan data respon percobaan.

2. Normalisasi data percobaan.

$$x_i^*(k) = \frac{\max y_i(k) - y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)}$$

3. Perhitungan *deviation sequence*.

$$\Delta_{oi}(k) = |x_0^*(k) - x_i^*(k)|$$

4. Perhitungan *grey relational coefficients*.

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{max}}$$

5. Perhitungan *grey relational grade*.

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

## Pelaksanaan Percobaan

### Desain eksperimen

Faktor yang diambil dalam percobaan berdasarkan pada faktor yang mempengaruhi nilai respon kekasaran permukaan (Ra) dan keausan pahat (VB). Pada persamaan nilai kekasaran permukaan (Ra), faktor yang mempengaruhi nilai tersebut adalah *feed rate* (f) dan *tool nose radius* (r<sub>n</sub>). Sedangkan pada persamaan umur pahat, faktor yang sangat mempengaruhi terhadap umur pahat adalah kecepatan potong (Vc).

### Identifikasi Nilai Variabel Proses

Tujuan penelitian adalah untuk mencapai kondisi yang optimal, maka dibutuhkan faktor dengan lebih dari dua level. Hal tersebut akan memberikan informasi yang lebih baik dalam memilih level mana yang terbaik sehingga digunakan faktor dengan 3 level, Martyn E. (2010). Pemilihan nilai level faktor berdasarkan pada rekomendasi alat potong, Sandvik (2020), sehingga didapatkan nilai level pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter faktor beserta levelnya

Faktor	Unit	Simbol	Level		
			1	2	3
Cutting speed	m/min	Vc	70	95	150
Feed rate	mm/r	f	0.1	0.15	0.2
Nose radius	mm	r <sub>n</sub>	0.4	0.8	1.2

### Persiapan Eksperimen

Dilakukan uji spektro material menggunakan mesin Spektrometer Emisi Optik merek *Applied Research Laboratories (ARL)*

Tabel 2. Komposisi material VCN 150

Unsur	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
%	0.34	0.30	0.62	1.45	1.70	0.22

Proses pemilihan alat potong dan holder berdasarkan pada rekomendasi katalog *sandvik* (2020).

Dan uji kekerasan material menggunakan mesin *Rockwell type hardness tester* merek *Future Tech*.

Tabel 3. Kekerasan material VCN 150

Pengujian ke-	Rockwell HRB
1	109.4
2	109.6
3	109.7
4	109.7
5	110.2
Rata-rata	109.72
HRB → HB	350

Proses pembubutan menggunakan *insert carbide* CNMG 12 04 04-PM, CNMG 12 04 08-PM, dan CNMG 12 04 12-PM dengan *grade* 4335 yaitu dengan lapisan *chemical vapor deposition (CVD)* dan *holder* dengan tipe DCLNR 1616H 12. *Insert* dan *holder* yang digunakan yaitu produk merk *Sandvik*.

### Pelaksanaan Eksperimen

Penelitian menggunakan mesin bubut *Schaublin 150* yang berlokasi di laboratorium teknik mesin, Polman Bandung. Parameter konstan adalah kedalaman potong sebesar 0,8 mm, panjang material 105 mm, dan panjang pemakanan 70 mm sebanyak 1 kali proses. Proses pembubutan *dry cutting* karena material alat potong (*insert*) yaitu *carbide* dapat digunakan dalam operasi pembubutan kering dan juga adanya lapisan CVD pada alat potong yang mampu meredam panas dengan baik, Klocke (1997). Untuk nilai Vc 70 m/min digunakan kecepatan putar 557 rpm, Vc 95 m/min digunakan kecepatan putar 756 rpm, dan Vc 150 m/min digunakan kecepatan potong 1193 rpm.

### Pengambilan data eksperimen

Pengukuran kekasaran permukaan (Ra) menggunakan alat ukur *surface roughness tester* merk *Mitutoyo SJ-400*.

Pengukuran dilakukan sebanyak 5 (lima) kali per sampel, dan nilai rata-rata pengukuran tersebut digunakan untuk analisis data. Bagian sisi pemotongan atau bagian *tool nose radius* adalah daerah yang diukur keausannya karena bagian ini langsung bersentuhan dengan benda kerja untuk proses pemotongan.

Tabel 4. Ortogonal array percobaan

urutan percobaan	faktor		
	$V_c$	$f$	$r\epsilon$
1	70	0.1	0.4
2	70	0.15	0.8
3	70	0.2	1.2
4	95	0.1	0.8
5	95	0.15	1.2
6	95	0.2	0.4
7	150	0.1	1.2
8	150	0.15	0.4
9	150	0.2	0.8

### Pengolahan Data

Langkah awal pengolahan data yaitu menghitung rata-rata hasil pengukuran, menghitung nilai *S/N ratio* dengan karakteristik *smaller the better*. Kemudian perhitungan GRA dan dilanjutkan dengan ANOVA.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Realisasi Nilai Faktor Kecepatan Putar

Dalam perencanaan penelitian, putaran mesin yang dihitung adalah 557; 756; dan 1193 rpm. Tetapi dalam pelaksanaannya, terdapat penyesuaian putaran mesin bubut dikarenakan mesin yang digunakan adalah mesin konvensional sehingga jumlah putaran yang digunakan adalah 587; 729; dan 1175 rpm.

#### Data Hasil Percobaan

Pada penelitian ini, dari 9 buah benda kerja yang diproses, 8 buah benda kerja dalam kondisi ideal dan 1 buah benda kerja mengalami masalah yaitu adanya *chatter*.

Tabel 5. Hasil kekasaran permukaan (Ra)

Urutan percobaan	Faktor			Ra ( $\mu\text{m}$ )
	$V_c$	$f$	$r\epsilon$	
1	73.73	0.1	0.4	0.992
2	73.73	0.15	0.8	0.798
3	73.73	0.2	1.2	1.312
4	91.56	0.1	0.8	0.49
5	91.56	0.15	1.2	0.904
6	91.56	0.2	0.4	3.166
7	147.58	0.1	1.2	0.226*
8	147.58	0.15	0.4	1.452
9	147.58	0.2	0.8	1.594

*Chatter* adalah getaran berlebih yang terjadi pada benda kerja dan alat potong yang memiliki efek negatif yaitu menyebabkan kualitas permukaan yang buruk.

Masalah tersebut terjadi pada urutan benda kerja nomor 7 yaitu dengan kecepatan potong ( $V_c$ ) level 3 = 147.58 m/min, *feed rate* ( $f$ ) level 1 = 0.1 mm/r, dan *nose radius* ( $r\epsilon$ ) level 3 = 1.2 mm.

Panjang *chatter* yang terjadi pada permukaan benda kerja adalah 25 mm dengan kekasaran permukaan ( $R_a$ ) = 3.31  $\mu\text{m}$ . Akan tetapi, setelah panjang pemakanan 25 mm menghasilkan permukaan benda kerja paling baik dengan nilai kekasaran permukaan ( $R_a$ ) minimal yaitu 0.226  $\mu\text{m}$ .

Tabel 6. Hasil percobaan keausan pahat (VB)

Urutan percobaan	Faktor			VB (mm)
	$V_c$	$f$	$r\epsilon$	
1	73.73	0.1	0.4	0.022
2	73.73	0.15	0.8	0.027
3	73.73	0.2	1.2	0.032
4	91.56	0.1	0.8	0.035
5	91.56	0.15	1.2	0.037
6	91.56	0.2	0.4	0.035
7	147.58	0.1	1.2	0.039
8	147.58	0.15	0.4	0.037
9	147.58	0.2	0.8	0.041

#### Perhitungan *S/N Ratio*

Nilai *S/N ratio* yang besar menunjukkan level pada faktor tersebut sangat optimal untuk respon yang diharapkan. Run percobaan ke-7 memiliki nilai maksimum *S/N ratio* = 12.918 dengan pengertian bahwa urutan percobaan tersebut sangat baik untuk nilai minimum kekasaran permukaan ( $R_a$ ).

Tabel 7. Nilai *S/N ratio* pada respon.

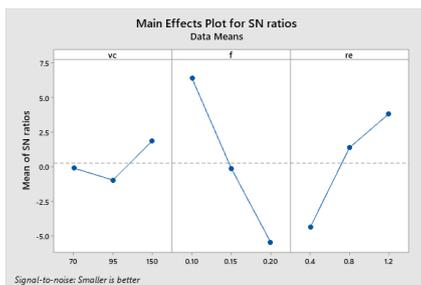
Urutan ke-	Respon			
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	S/N ratio Ra	VB (mm)	S/N ratio VB
1	0.992	0.07	0.022	33.152
2	0.798	1.96	0.027	31.373
3	1.312	-2.359	0.032	29.897
4	0.49	6.196	0.035	29.119
5	0.904	0.877	0.037	28.636
6	3.166	-10.01	0.035	29.119
7	0.226	12.918	0.039	28.179
8	1.452	-3.239	0.037	28.636
9	1.594	-4.05	0.041	27.744

Pada grafik *main effect S/N ratio* kekasaran permukaan (Ra), terlihat bahwa grafik dengan perubahan satu arah yang signifikan setiap levelnya terjadi pada faktor *feed rate* (f) dan *nose radius* (re), sedangkan untuk faktor kecepatan potong (Vc) tidak menunjukkan perubahan garis yang signifikan.

Tabel 8. *Main effect* respon Ra  
Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	vc	f	re
1	-0.1097	6.3946	-4.3933
2	-0.9792	-0.1343	1.3688
3	1.8762	-5.4729	3.8119
Delta	2.8554	11.8674	8.2052
Rank	3	1	2



Gambar 3. Grafik *main effect S/N ratio* kekasaran permukaan (Ra)

Pada faktor kecepatan potong (Vc), nilai *main effect S/N ratio* terbaik yaitu pada level 3. Pada faktor *feed rate* (f), nilai *main effect S/N ratio* terbaik yaitu pada level 1. Sedangkan pada faktor *nose radius* (re), nilai *main effect S/N ratio* terbaik yaitu pada level 3.

Tabel 9. *Main effect* respon VB  
Response Table for Signal to Noise Ratios

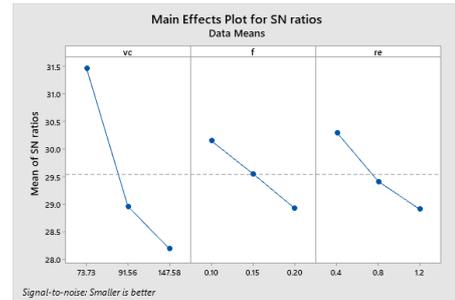
Smaller is better

Level	vc	f	re
1	31.47	30.15	30.30
2	28.96	29.55	29.41
3	28.19	28.92	28.90
Delta	3.29	1.23	1.40
Rank	1	3	2

Nilai *S/N ratio* yang besar menunjukkan level pada faktor tersebut sangat optimal untuk respon yang diharapkan. Run percobaan ke-1 memiliki nilai maksimum *S/N ratio* = 33.152 dengan pengertian bahwa urutan percobaan tersebut sangat baik untuk nilai minimum keausan pahat (VB).

Pada grafik *main effect S/N ratio* keausan pahat (VB), terlihat bahwa grafik dengan perubahan satu arah yang signifikan setiap levelnya terjadi pada setiap faktor yaitu kecepatan potong (Vc), *feed rate* (f), dan *nose radius* (re). Pada faktor kecepatan potong (Vc), nilai *main effect S/N ratio* terbaik yaitu pada level 1. Pada faktor *feed rate* (f), nilai *main effect S/N ratio* terbaik yaitu pada level 1.

Sedangkan pada faktor *nose radius* (re), nilai *main effect S/N ratio* terbaik yaitu pada level 1.



Gambar 4. Grafik *main effect S/N ratio* keausan pahat (VB)

Untuk respon keausan pahat (VB) minimum, level kecepatan potong (Vc) sesuai dengan rumus teoritis umur pahat yaitu persamaan Taylor yang dimana untuk menghasilkan semakin tinggi nilai kecepatan potong (Vc), maka umur pahat akan semakin singkat yang ditandai dengan pertumbuhan keausan tepi (*flank wear*) yang besar.

Tabel 10. Nilai normalisasi S/N ratio ( $\xi_i^*(k)$ ) respon

Urutan ke-	S/N ratio respon		Normalisasi S/N ratio ( $\xi_i^*(k)$ )	
	Ra	VB	Ra	VB
1	0.070	33.152	0.560	0.000
2	1.960	31.373	0.478	0.329
3	-2.359	29.897	0.666	0.602
4	6.196	29.119	0.293	0.746
5	0.877	28.636	0.525	0.835
6	-10.010	29.119	1.000	0.746
7	12.918	28.179	0.000	0.920
8	-3.239	28.636	0.705	0.835
9	-4.050	27.744	0.740	1.000

Tabel 11. Nilai *deviation sequence* ( $\Delta_{0i}(k)$ ) dan *grey relational coefficient* ( $\xi_i(k)$ ) respon

Urutan ke-	<i>deviation sequence</i> ( $\Delta_{0i}(k)$ )		<i>grey relational coefficient</i> ( $\xi_i(k)$ )	
	Ra	VB	Ra	VB
1	0.440	1.000	0.532	0.333
2	0.522	0.671	0.489	0.427
3	0.334	0.398	0.600	0.557
4	0.707	0.254	0.414	0.663
5	0.475	0.165	0.513	0.752
6	0.000	0.254	1.000	0.663
7	1.000	0.080	0.333	0.862
8	0.295	0.165	0.629	0.752
9	0.260	0.000	0.658	1.000

**Teknik Grey Relational Analysis (GRA)**

Nilai *grey relational grade* ( $\gamma_i$ ) yang lebih kecil menyatakan bahwa hasil percobaan yang sesuai lebih dekat dengan nilai normalisasi ideal seperti yang terlihat pada Tabel 10.

Tabel 12. Nilai *grey relational grade* ( $\gamma_i$ ) pada respon

Urutan ke-	<i>grey relational grade</i> ( $\gamma_i$ )	Rank
1	0.433	9
2	0.458	8
3	0.578	6
4	0.539	7
5	0.632	4
6	0.831	1
7	0.597	5
8	0.690	3
9	0.829	2

Percobaan ke-1 memiliki kombinasi faktor terbaik di antara sembilan percobaan karena memiliki nilai *grey relational grade*( $\gamma_i$ ) terkecil.

Tabel 13. Tabel *main effect* GRA  
**Response Table for Means**

Level	vc	f	re
1	0.4897	0.5229	0.6515
2	0.6675	0.5936	0.6086
3	0.7056	0.7462	0.6027
Delta	0.2159	0.2233	0.0488
Rank	2	1	3

Dari tabel 13 terlihat nilai pada masing-masing tingkatan level faktor. Nilai minimum pada setiap tingkatan level faktor, merupakan parameter terbaik untuk mendapatkan nilai respon yang diharapkan.

Dari perhitungan *grey relational analysis* di atas, didapatkan parameter optimal untuk mencapai nilai minimum respon kekasaran permukaan dan keausan pahat sebagai berikut:

Tabel 14. Parameter optimal percobaan

Faktor	Level	Nilai level
Vc	1	73.73
f	1	0.1
re	3	1.2

Dilakukan juga perbandingan nilai perhitungan parameter optimal GRA dengan *response optimization* pada *software* analisa Minitab 2019.

Nilai GRG hasil perhitungan dijadikan nilai yang digunakan untuk menganalisa data. Dari analisa *software*, didapatkan parameter optimum untuk mendapatkan multi respon terbaik adalah sbb:

Tabel 15. Parameter optimal percobaan versi Minitab  
**Multiple Response Prediction**

Variable Setting				
vc	73.73			
f	0.1			
re	1.2			
Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
grg	0.3735	0.0246	(0.2677, 0.4792)	(0.2136, 0.5333)

**Analysis of Variance (ANOVA)**

ANOVA digunakan untuk mengetahui parameter mana yang secara signifikan mempengaruhi karakteristik kualitas respon. Dengan menggunakan nilai *grey relational grade*, ANOVA diindikasikan untuk meng-identifikasi faktor-faktor yang signifikan. Yang ditampilkan pada perhitungan ANOVA adalah derajat kebebasan (DoF), rata-rata kuadrat (MS), jumlah kuadrat (SS), nilai F dan kontribusi (C) yang terkait dengan masing-masing faktor disajikan.

Berdasarkan perhitungan ANOVA pada tabel 16, analisa percobaan menggunakan nilai *P-value*, *F-value*, dan nilai persentase kontribusi setiap faktornya. Dari nilai-nilai tersebut dapat ditarik kesimpulan percobaan untuk multi respon yaitu kekasaran permukaan (Ra) dan keausan pahat (VB). Nilai *P-value* < 0.05 menjadi faktor yang signifikan terhadap respon atau menolak H0 dan menerima H1, dan nilai *F-value* yang besar adalah indikasi signifikan terhadap karakteristik kinerja.

Hipotesis yang digunakan adalah hipotesis null dan hipotesis alternative, dengan pernyataan sebagai berikut.

H0 : Faktor tidak mempengaruhi multi respon secara signifikan.

H1 : Faktor mempengaruhi multi respon secara signifikan.

Nilai *F-value* hitung dibandingkan dengan nilai *F-value* tabel, jika *F-value* hitung > *F-value* tabel maka faktor tersebut mempengaruhi secara signifikan. Uji F ini akan menggambarkan faktor signifikan jika nilai *P-value* masuk dalam kategori lebih kecil dari 0.05, yaitu menolak H0 atau menerima H1.

Faktor kecepatan potong (Vc) merupakan faktor yang signifikan pada respon kekasaran permukaan (Ra) karena nilai *P-value* < 0.05 yaitu 0.019. Nilai *F-value* = 51.31 yang dimana nilai tersebut lebih besar dari nilai f tabel, 51.31 > 5.41 yang

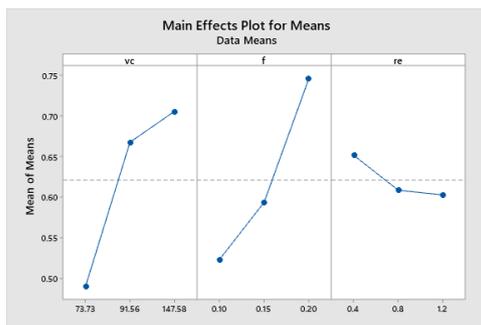
menyatakan faktor tersebut mempengaruhi secara signifikan. Dan nilai persentase kontribusi = 48.7%. Dari grafik *main effect* menunjukkan bahwa nilai multi respon (Ra dan VB) akan semakin meningkat dengan peningkatan nilai kecepatan potong (Vc), dengan selisih nilai maksimum dan minimum adalah 0.2159.

Tabel 16. Perhitungan ANOVA dengan aplikasi *Minitab*

19

**Analysis of Variance**

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
vc	2	0.079695	48.70%	0.079695	0.039847	51.31	0.019
f	2	0.078139	47.75%	0.078139	0.039069	50.30	0.019
re	2	0.004262	2.60%	0.004262	0.002131	2.74	0.267
Error	2	0.001553	0.95%	0.001553	0.000777		
Total	8	0.163649	100.00%				



Gambar 5. Grafik *main effect* GRG

Tabel 17. Tabel *main effect* GRG

**Response Table for Means**

Level	vc	f	re
1	0.4897	0.5229	0.6515
2	0.6675	0.5936	0.6086
3	0.7056	0.7462	0.6027
Delta	0.2159	0.2233	0.0488
Rank	2	1	3

Untuk faktor *feed rate* (f) dengan nilai *P-value* < 0.05 yaitu 0.019 sama dengan faktor kecepatan potong (Vc), akan tetapi nilai kontribusi 47.75 % dan nilai *F-value* = 50.30 yang menunjukkan faktor tersebut menjadi faktor signifikan kedua setelah kecepatan potong (Vc). Nilai f hitung > f tabel yaitu 50.30 > 5.41 sehingga faktor *feed rate* (f) berpengaruh secara signifikan.

Sedangkan, faktor *nose radius* (re) mempunyai nilai *P-value* > 0.05 sehingga menjadi faktor yang tidak mempengaruhi multi respon secara signifikan. Faktor *nose radius* (re) menunjukkan peran yang kecil dengan nilai kontribusinya sebesar 2.60 %.

$$R_a = \frac{f^2}{32 \times r_e} \quad (3)$$

Peningkatan kekasaran permukaan (Ra) berbanding lurus dengan peningkatan *feed rate* (f) dan *nose radius* (re). Secara proses dan teori, *feed*

*rate* (f) dengan nilai kecil akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan (Ra) yang kecil juga. Karena satuan dari *feed rate* (f) adalah mm/r, sehingga apabila nilai *feed rate* (f) semakin besar maka perpindahan eretan per 1 putaran benda kerja akan semakin cepat yang akan mengakibatkan hasil permukaan semakin kasar. Peningkatan *feed rate* (f) akan meningkatkan gaya dorong (*thrust force*) pada alat potong dan menghasilkan getaran, sehingga kekasaran permukaan benda kerja meningkat.

Dan nilai kekasaran permukaan (Ra) juga akan semakin kecil, jika nilai *nose radius* (re) semakin besar. Nilai kekasaran permukaan (Ra) berbanding lurus dengan nilai *feed rate* (f). Semakin besar nilai *feed rate* (f), maka nilai kekasaran permukaan (Ra) akan semakin besar. Nilai kekasaran permukaan (Ra) berbanding terbalik dengan nilai *nose radius* (re). Semakin besar nilai *nose radius* (re), maka nilai kekasaran permukaan (Ra) akan semakin kecil. Sehingga untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan (Ra) minimum, nilai *feed rate* (f) kecil dan *nose radius* (re) besar. *Nose radius* (re) yang kecil memungkinkan untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang besar.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kekasaran permukaan (Ra) yang optimal dihasilkan oleh *feed rate* (f) yang kecil dan *nose radius* (re) yang besar. Seperti pada persamaan kekasaran permukaan (Ra), yang mempengaruhi nilai kekasaran adalah *feed rate* (f) dan *nose radius* (re).

Hasil minimum kekasaran permukaan (Ra) dalam percobaan ini adalah 0.226 μm atau masuk dalam tingkat kekasaran ISO N4. Kondisi ini terjadi pada percobaan adalah alat potong (*insert carbide*) yang baru dan proses pemakanan hanya 1 kali dengan panjang pemakanan 70 mm, sehingga hasil kekasaran permukaan (Ra) yang akan dihasilkan dengan panjang pemakanan berbeda atau lebih dari 1 kali proses berpotensi menghasilkan kekasaran permukaan (Ra) yang berbeda pula.

Secara proses, dapat dijelaskan bahwa sebenarnya kekuatan dan ketahanan abrasi pahat akan mengalami penurunan pada temperatur yang tinggi. Kecepatan potong yang tinggi akan meningkatkan temperatur sehingga keausan pahat akan meningkat. Hal ini dikarenakan kecepatan potong yang tinggi akan menghasilkan frekuensi gesekan antara pahat dan benda kerja yang tinggi pula, sehingga temperatur yang dihasilkan juga lebih tinggi.

Peningkatan kecepatan potong (Vc) akan meningkatkan suhu pemotongan pada daerah pemotongan yang menyebabkan reduksi pada kekuatan luluh (*yield strength*) material. Fenomena

umur pahat yang terjadi pada penelitian ini sesuai dengan fenomena yang telah ada maupun dengan penelitian-penelitian sebelumnya, seperti observasi yang telah dilakukan oleh Taylor. Hal ini sesuai dengan temuan Sahoo dan Suresh et al. (2012).

Efek ini disebabkan oleh peningkatan gesekan pada antarmuka chip alat yang menyebabkan tekanan dan suhu tinggi terlokalisasi di daerah *nose radius* ( $r_n$ ) pahat dan mengakibatkan dampak termal. Karena suhu pemotongan yang tinggi, kekuatan luluh material benda kerja berkurang yang menyebabkan gaya pemotongan lebih rendah dan akibatnya keausan pahat lebih rendah yaitu  $< 0,3$  mm.

Faktor yang paling signifikan terhadap pertumbuhan keausan pahat (VB) pada parameter permesinan adalah kecepatan potong ( $V_c$ ). Sebagaimana hubungan faktor kecepatan potong ( $V_c$ ) dan umur pahat.

#### IV. PENUTUP

##### Kesimpulan

Diperoleh nilai faktor yang optimal untuk kekasaran permukaan dan nilai kombinasi faktor sebagai berikut:

Faktor yang signifikan untuk meminimumkan multi respon kekasaran permukaan ( $R_a$ ) dan keausan pahat (VB) adalah

- Faktor kecepatan potong ( $V_c$ ) dengan P-value = 0.019 dan kontribusi sebesar 48.70%.
- Faktor gerak makan ( $f$ ) dengan P-value = 0.019 dan kontribusi sebesar 47.75%.

Kombinasi level faktor untuk menghasilkan multi respon optimum adalah

- Faktor kecepatan potong ( $V_c$ ), level 1 yaitu 73.73 m/min.
- Faktor gerak makan ( $f$ ) dengan level 1 yaitu 0.1 mm/r.
- Faktor nose radius ( $r_n$ ) dengan level 3 yaitu 1.2 mm.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

Dureja, J. S., Singh, R., & Bhatti, M. S. (2014). *Optimizing Flank Wear and Surface Roughness during Hard Turning of AISI D3 Steel by Taguchi and RSM Methods*. An Open Access Journal Vol. 2 No.1, 767-783.

Rochim, T. (2007). *Proses Pemesinan Buku 1: Klasifikasi Proses, Gaya, dan Daya Pemesinan*. Bandung: ITB

Sandvik. (2009). *Technical Guide Catalog*. Sweden: Sandvik Coromant.

Chou, Y. K., & Song, H. (2004). *Tool Nose Radius Effects on Finish Hard Turning*. Journal of Materials Processing Technology, 259-268.

Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes, and Systems 7th edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Kalpajian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing Engineering and Technology sixth edition*. United States of America: Pearson Education.

Astakhov, V. P., & Davim, J. P. (2008). *Tools (Geometry and Material) and Tool Wear*. London: Springer

Bandanadjaja, B., Ruskandi, C., & Pramudia, I. (2016). *Perlakuan Panas Material AISI 4340 Untuk Menghasilkan Dual Phase Steel Ferrit-Bainit*. STEMAN (pp. 16-19). Bandung: Polman Bandung.

Antony, J., & Kaye, M. (2000). *Experimental Quality : A Strategic Approach To Achieve and Improve Quality*. New York: Springer Science+Business Media.

Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Pagano, R. R. (2010). *Understanding Statistics In The Behavioral Sciences, Tenth Edition*. United States of America: Wadsworth.

Rao, D. V. (2011). *Advanced Modeling and Optimization of Manufacturing Processes*. Springer.

Liu, S., Yang, Y., & Forrest, J. (2017). *Grey Data Analysis : Methods, Models, and Application*. Singapore: Springer.