

OPTIMASI KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL ALUMINIUM 5052 HASIL PROSES *MILLING* MESIN CNC ACIERA VMC50E MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

Shafly¹, Bukhari^{2*}, Saifuddin²

¹Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

*Penulis Korespondensi: bukhari@pnl.ac.id

Abstrak

Teknologi yang terus berkembang di dunia industri manufaktur dan semakin maju meningkatkan kebutuhan alat yang lebih efisien dan efektif. Peningkatan alat yang canggih akan mendorong pelaku industri dalam membentuk suatu produk yang sesuai dengan perencanaan. Proses produksi pembuatan suatu produk manufaktur yang ada di dunia industri hampir seluruhnya memerlukan proses pemesinan. Kualitas permukaan adalah variabel penting dalam proses pemesinan *milling*. Oleh karena itu, memilih parameter pemesinan terbaik sangat penting agar kualitas permukaan terbaik dapat diperoleh. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan parameter pemesinan dengan menggunakan kekasaran permukaan sebagai variabel indikator kinerja. Penelitian ini dilakukan dengan membuat 9 spesimen uji kekasaran permukaan melalui proses *facing* pada mesin CNC *Milling* Aciera VMC50E. Variasi parameter pemesinan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Spindle Speed*, *Feedrate*, dan *Depth of cut*. Nilai kekasaran permukaan yang diperoleh dari 9 spesimen uji di analisis menggunakan Metode Taguchi dan *Analysis of Varians* (ANOVA). Metode Taguchi digunakan untuk memprediksi konfigurasi parameter pemesinan terbaik. Hasil analisis *signal to noise ratio* menunjukkan bahwa kualitas permukaan dipengaruhi oleh Tiga Parameter tersebut. Hasil pengukuran pada 9 spesimen uji menunjukkan nilai kualitas kekasaran permukaan terbaik adalah 0,264 μm pada proses *milling* material aluminium 5052 yaitu pada kondisi kecepatan putaran *Spindle* 1900 rpm, *Feedrate* 170 mm/menit dan *Depth of cut* 0.20 mm. ANOVA menunjukkan bahwa kecepatan putaran spindle memberikan kontribusi sebesar 68.86%, kecepatan potong 8.94% dan kedalaman potong 3.98% terhadap nilai kekasaran permukaan. Berdasarkan prediksi Metode Taguchi putaran *Spindle* 1900 rpm, *feedrate* 150 mm/menit dan *depth of cut* 0.15 mm menghasilkan kualitas kekasaran permukaan 0,060 μm .

Keywords:

Taguchi orthogonal array, signal to noise ratio, milling proses, machining parameters, surface roughness

1 Pendahuluan

Teknologi yang terus berkembang dan semakin maju di dunia industri manufaktur sehingga menyebabkan meningkatnya kebutuhan alat yang lebih efektif dan efisien, peningkatan alat yang canggih akan mendorong pelaku industri dalam membentuk suatu produk yang sesuai dengan perencanaan [1]. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia yang sangat beragam, industri manufaktur di Indonesia juga semakin berkembang, salah satunya adalah industri proses pemesinan. Proses pemesinan adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan sekelompok proses yang terdiri dari menghilangkan material dan memodifikasi permukaan spesimen dengan berbagai metode pemrosesan.

Proses produksi pembuatan suatu produk manufaktur yang ada di dunia industri hampir seluruhnya memerlukan proses pemesinan, salah satunya pada proses pemesinan menggunakan Mesin *Milling*, Mesin *Milling* ini merupakan salah satu jenis mesin yang sangat

umum digunakan dengan kemampuannya dalam melakukan berbagai jenis pekerjaan dengan menggunakan satu mesin [2]. Mesin *milling* adalah mesin yang mampu melakukan pengerjaan terhadap benda kerja dengan permukaan datar, miring, sisi tegak dan alur roda gigi. Selain itu, mesin ini juga dapat mempermudah proses pembuatan komponen-komponen mesin dengan presisi dan efisien yang tinggi [3].

Setiap proses pemesinan *milling* memiliki karakteristik tertentu pada permukaan benda kerja yang dihasilkan, salah satunya adalah kekasaran permukaan. Hal ini terjadi karena dalam proses pemesinan sering terjadi penyimpangan akibat kondisi pemotongan [4]. Kekasaran permukaan yang terjadi dipengaruhi dari beberapa parameter. Ada beberapa parameter pemotongan yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan selama proses pemesinan termasuk *spindle speed*, *depth of cuts*, *feed rate*, *cutting speed* dan *cutting tools* [5]. Dari proses pemotongan terdapat pengaruh

besar terhadap usia mata pisau *milling* dengan kekasaran permukaan, sehingga pemilihan mata pisau juga harus dipertimbangkan dengan khusus [6].

Saat ini, mesin *Computer Numerical Control* (CNC) adalah mesin yang banyak digunakan dalam industri manufaktur. Mesin CNC adalah mesin yang biasanya digunakan untuk berbagai keperluan dalam memproduksi suatu produk. Adapun keunggulan dari mesin CNC sendiri adalah kemudahan dalam pengoperasian dan pemrograman sesuai dengan kebutuhan. Detail dan rumit spesimen dapat dengan mudah dilakukan pada mesin CNC hanya dengan menggunakan fasilitas pemrograman (*Numerical Control*) NC yang terdapat pada semua mesin CNC, mesin CNC juga dapat digunakan untuk menghasilkan produk massal dengan dengan kualitas yang sama dan dapat dilakukan secara efisien [7].

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, munculnya ide untuk mengoptimasi parameter untuk meningkatkan produktivitas CNC Milling berdasarkan nilai kekasaran permukaan pada proses pemesinan dengan menggunakan metode Taguchi.

2 Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian selama 16 minggu, penelitian dilakukan di 2 (dua) tempat, yaitu:

1. Laboratorium CAD/CAM/CNC Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.
2. Laboratorium Metrologi dan Kontrol Kualitas Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

2.2 Alat Penelitian

Berikut ini adalah Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Mesin CNC *Milling* Aciera VMC 50E (Gambar 2.1).
2. *Cutting Tool* Diameter 50 mm (Gambar 2.2).
3. Kompresor.
4. Mesin Gergaji.
5. Palu Karet.
6. Jangka Sorong.
7. *Surface Roughness Test* Mitutoyo SJ-310 (Gambar 2.3).
8. Software Minitab.



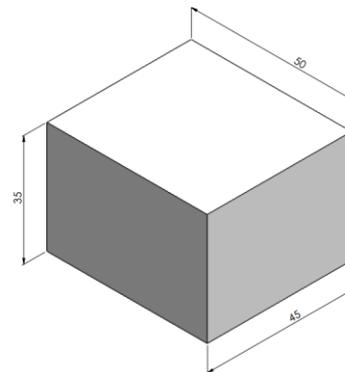
Gambar 2.1 CNC Milling Aciera VMC50E



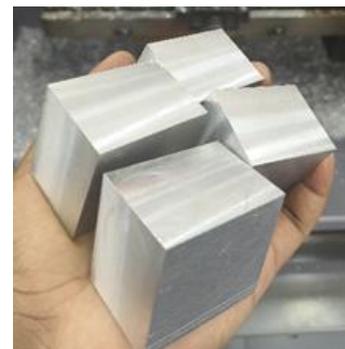
Gambar 2.2 Pahat Carbide Diameter 50 mm

2.3 Bahan Penelitian

Bahan (Gambar 2.2) yang digunakan pada proses penelitian adalah Material aluminium 5052 dengan dimensi 45x50x35mm (Gambar 2.2).



Gambar 2.3 Dimensi Spesimen



Gambar 2.4 Spesimen Penelitian

2.4 Menentukan Parameter pemesinan

Langkah penelitian diawali dengan menentukan parameter pemesinan. Maka parameter yang harus ditentukan adalah putaran spindle (n), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a). Parameter Pemesinan terdiri dari 3 Faktor dan 3 Level (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Machining Parameter Level

Machining Parameter	Parameter Level		
	1	2	3
spindle speed(rpm)	1900	1600	1200
feedrate(mm/min)	150	160	170
depth of cut(mm)	0.10	0.15	0.20

Proses pemesinan CNC Milling terhadap spesimen akan dilakukan sebanyak sembilan kali pengujian spesimen, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.5. Tabel 2.2 kecepatan potong (*Velocity cutting*) sebagai dasar pemilihan kecepatan Putaran spindle.

Berdasarkan Tabel 2.2 diketahui *cutting speed* dari material aluminium adalah 300-600 m/min, dan diameter *tool cutting* adalah 50 mm dan dilakukan perhitungan untuk mentukan variasi putaran spindle, dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

$$n = \frac{Vc \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \text{Rpm}$$

$$n = \frac{300 \cdot 1000}{3.14 \cdot 50} = 1.910 \text{ Rpm}$$

Dimana : n = Putaran Spindel

Vc = *Velocity Cutting*

d = Diameter Pahat

π = Kostanta

Tabel 2.2 Tabel *Velocity Cutting*

Material	High-Speed Steel Cutter		Carbide Cutter	
	ft/min	m/min	ft/min	m/min
Alloy steel	40-70	12-20	150-250	45-75
Aluminum	500-1000	150-300	1000-2000	300-600
Bronze	65-120	20-35	200-400	60-120
Cast iron	50-80	15-25	125-200	40-60
Free machining steel	100-150	30-45	400-600	120-180
Machine steel	70-100	21-30	150-250	45-75
Stainless steel	30-80	10-25	100-300	30-90
Tool steel	60-70	18-20	125-200	40-60

Sumber : (Krar, Gill. Smid, 2011:470)

Dari hasil perhitungan tersebut maka dilakukanlah variasi putaran dari yang semulanya 1910 rpm diturunkan ke 1900 rpm sebagai level putaran tertinggi, kemudian untuk level menengah divariasikan menjadi 1600 rpm dan level terendahnya menjadi 1200 rpm.

Berdasarkan Tabel 2.3 dan perhitungan tentang kecepatan pemakanan pemesinan material aluminium, didapatkan hasil untuk *feedrate* 152 maka diturunkan ke 150 sebagai variasi pada penelitian ini, diambillah variasi untuk *feedrate* nya 150 sebagai *feedrate* terendah, 160 untuk *feedrate* menengah dan 170 sebagai *feedrate* tertinggi dalam penelitian ini.

Berikut perhitungannya:

$$F = n \times f \times N \text{ mm/menit}$$

$$F = 1900 \times 0.02 \times 4 = 152 \text{ mm/menit}$$

Dimana : F = Kecepatan Pemakanan

f = *Feet per tooth*

n = putaran spindle

N = Jumlah *fluttes* pada pahat

Tabel 2.3 Tabel *feed per tooth*

Material	Roughing Cut (IPR)	Finishing Cut (IPR)
Mild steel	.005 - .020	.002 - .004
Tool steel	.005 - .020	.002 - .004
Cast Iron	.005 - .020	.002 - .004
Brass	.005 - .020	.002 - .004
Aluminium	.005 - .020	.002 - .004

Sumber : LamNgeun Virasak, manufacturing processes 4-5

Kemudian untuk *Depth of cut*, Fokus yang ingin dilakukan adalah pada proses *Finishing* material, maka dilakukan variasi berdasarkan pilihan Peneliti, tentunya dengan dasar proses pemesinan yang telah dilakukan sebelumnya berdasarkan pengalaman dan dipilihlah 0.10 mm sebagai kedalaman terendah, 0.15 mm sebagai kedalaman sedang dan 0.20 mm sebagai kedalaman tertinggi.

Setelah dilakukan perhitungan dan variasi parameter (berdasarkan Rumus, Studi Literatur, jenis Mata Pahat dan jenis Material yang digunakan) guna mencari parameter pemesinan yang paling optimal, maka didapat hasil perhitungan setelah divariasikan (Tabel 3.5) untuk dilakukan proses pemesinan dengan susunan parameter tersebut yang mengacu pada desain standar eksperimen Taguchi (L9 *Orthogonal Array*) sebagai berikut:

Tabel 2.4 Parameter proses pengujian

Spesimen Pengujian Penelitian	Spindle Speed (rpm)	Feed Rate(mm/min)	Depth Of Cut (mm)
Run 1	1900	150	0.10
Run 2	1900	160	0.15
Run 3	1900	170	0.20
Run 4	1600	150	0.15
Run 5	1600	160	0.20
Run 6	1600	170	0.10
Run 7	1200	150	0.20
Run 8	1200	160	0.10
Run 9	1200	170	0.15

Karakteristik kualitas respons yang digunakan dalam percobaan ini adalah semakin kecil semakin baik (*smaller is better*) untuk respon kekasaran permukaan. Perhitungan nilai *signal-to-noise rasio* untuk respon kekasaran permukaan respon kekasaran permukaan dilakukan dengan menggunakan alat bantu komputasi statistik (*software* minitab). *Signal-to-noise rasio* untuk karakteristik ini dihitung menggunakan rumus pada Persamaan berikut.

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

where:

η = signal to noise ratio

n = number of sample

y_i = observed data

Perhitungan rasio sinyal terhadap *noise* dilakukan untuk menganalisis pengaruh parameter pemesinan agar lebih akurat. Hasil eksperimen dianalisis secara analitis dan secara grafis. Analisis Varians (ANOVA) kemudian dilakukan untuk mengetahui persentase kontribusi semua parameter pada setiap respon. Kedua metode analisis di atas sangat penting untuk menentukan parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat kekasaran permukaan.

2.5 Pengujian Spesimen

Langkah-langkah yang dilakukan pada pelaksanaan pengukuran kekasaran permukaan menggunakan *Surface Roughness Mitutoyo Sj-310* (Gambar 2.5) sebagai berikut :

1. Menghidupkan alat *surface roughness test* dan mengkalibrasinya.



Gambar 2.5 Mitutoyo SJ-310

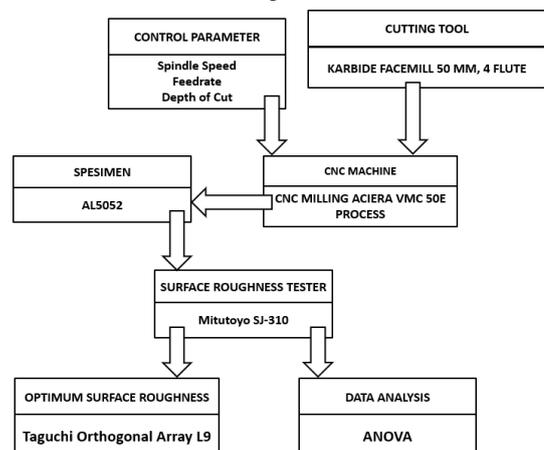
2. Membuat titik teliti pada permukaan benda kerja untuk acuan jalannya jarum sensor, titik teliti dibuat sebanyak 3 titik untuk dicari nilai rata-rata.
3. Benda kerja diletakkan di atas meja mesin dengan posisi sejajar sehingga tidak goyang dan miring.
4. Kemudian sensor yang berupa jarum diatur hingga menyentuh benda kerja.
5. Kemudian tekan tombol *start*, untuk memulai menghitung kekasaran permukaan. Lihat angka kekasaran pada monitor kemudian tekan tombol *print* untuk mencetak hasil perhitungan kekasaran permukaan.
6. Kemudian angkat jarum sensor lalu pindahkan benda kerja pada titik berikutnya dan seterusnya. Setelah semua benda kerja sudah di uji kekasarnya, kemudian ambil benda kerja dan struk nilai kekasaran hasil pengujian.
7. Kemudian matikan alat uji kekasaran dan bersihkan alat kerjanya, selesai.

2.6 Tahapan Penelitian

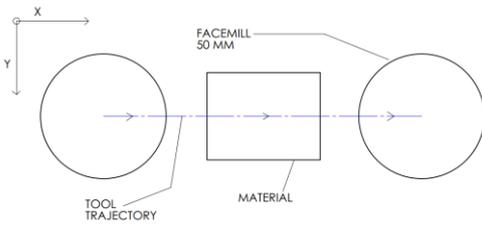
Berikut ini adalah Tahapan Pengambilan Data Penelitian.

1. Membuat program G-Code dan M-Code.
2. Memotong benda kerja sesuai dengan dimensi yang diperlukan.
3. Menyiapkan benda kerja yang akan di milling.
4. Pemeriksaan kondisi mesin.
5. Menyiapkan peralatan yang diperlukan selama proses *milling*.
6. Melakukan pengecaman dan penyenteran benda kerja pada meja *milling*.
7. Menyiapkan pahat *FaceMill* yang akan digunakan untuk melakukan proses *milling*.
8. Pemasangan pahat ke tools station 1.
9. Memasukkan program ke mesin CNC *Milling*.
10. Mencari *reference*/titik nol benda kerja.
11. Titik referensi yang dipilih adalah *reference* 4 sisi.
12. Melakukan "*program test*" untuk memastikan bahwa program tidak ada yang *error*.
13. Melakukan pemakanan/penyayatan benda kerja (Gambar 2.7).
14. Setelah proses pemesinan selesai matikan mesin dan lepaskan spesimen dari ragum, kemudian pembersihan pada mesin dan alat-alat dilakukan sebagai bentuk perawatan.
15. Pengelompokan eksperimen.
16. Pengukuran kekasaran dengan *surface roughness test*. Maka proses pengambilan data telah selesai dilakukan.
17. Selanjutnya Analisa Data dilakukan dengan Software Minitab (*Taguchi Method*) untuk pengoptimasian hasil dari proses pemesinan, Selesai.

Berikut ini adalah alur penelitian ini.



Gambar 2.6 Research Flow



Gambar 2.7 Cutting Tool Trajectory

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Eksperimen

Pemesinan spesimen uji (Gambar 3.1) kekasaran permukaan dilakukan dilakukan dengan menggunakan mesin *milling* CNC Aciera VMC50E dengan parameter pemesinan yang mengacu pada desain penelitian sesuai dengan Tabel 2.4.



Gambar 3.1 Spesimen Pengukuran

Nilai kekasaran permukaan masing-masing spesimen uji ditunjukkan pada Tabel 3.1 merupakan nilai kekasaran permukaan rata-rata dari tiga pengukuran untuk setiap spesimen uji. Tabel 3.1 Hasil Pengukuran

Specimen Run	Spindle (rpm)	Feed rate(mm /min)	Depth of Cut (mm)	Rata-rata Ra(μm)
Run 1	1900	150	0.10	0,567
Run 2	1900	160	0.15	0,684
Run 3	1900	170	0.20	0,268
Run 4	1600	150	0.15	0,337
Run 5	1600	160	0.20	1,607
Run 6	1600	170	0.10	1,569
Run 7	1200	150	0.20	1,783
Run 8	1200	160	0.10	1,722
Run 9	1200	170	0.15	1,938

Ra=Surface Roughness

Berikut ini adalah Grafik tingkat kekasaran permukaan hasil pengukuran ke sembilan spesimen.



Gambar 3.2 Grafik Hasil Pengukuran

Grafik tingkat kekasaran permukaan menunjukkan bahwa dari semua spesimen pengujian hasil terbaik berada pada spesimen ketiga yaitu 0.268 μm, hasil terendahnya berada pada spesimen kesembilan yaitu 1.938 μm dan hasil kekasaran rata-rata pada penelitian ini yaitu 1164 μm.

3.2 Optimasi Metode Taguchi

Tabel 3.2 menunjukkan bagaimana *Signal-to-Noise Rasio* (S/N) berubah ketika parameter pemesinan seperti kecepatan spindle, laju pemakanan, dan kedalaman potong diubah. Misalnya, dengan mengubah kecepatan spindle, kita dapat melihat dampaknya terhadap kekasaran permukaan. Tabel ini membantu kita memilih kombinasi parameter yang optimal untuk mencapai hasil yang diinginkan. Semakin tinggi *rasio* S/N, semakin baik kinerja sistem, karena ini menunjukkan bahwa sinyal (nilai rata-rata) lebih dominan dibandingkan *noise* (deviasi standar).

Analisis rasio S/N dilakukan menggunakan metode Taguchi dan perangkat lunak Minitab. Grafik respon S/N rasio, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2, memperlihatkan dampak dari setiap parameter pemesinan dengan lebih jelas. Nilai delta, yang merupakan selisih antara nilai sinyal tertinggi dan terendah terhadap *noise*, ditampilkan pada Tabel 3.3. Data ini ditransformasikan ke dalam bentuk rasio S/N untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap varians kualitas, dengan karakteristik “semakin kecil semakin baik” untuk kekasaran permukaan.

Tabel 3.2 Perhitungan S/N Rasio

Specimen	Ra(μm) Rata-rata	SNRA1
Run 1	0,567	4,928
Run 2	0,684	3,298
Run 3	0,268	11,437
Run 4	0,337	9,447
Run 5	1,607	-4,120
Run 6	1,569	-3,912
Run 7	1,783	-5,023
Run 8	1,722	-4,720
Run 9	1,938	-5,747

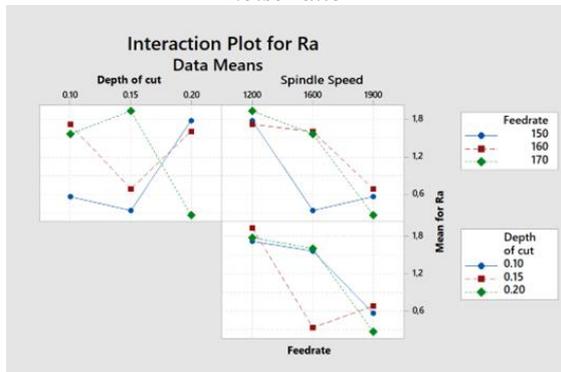
Tabel 3.3 Signal to noise ratio response: *Smaller is better*

Level	Spindle Speed (rpm)	Feed Rate (mm/min)	Depth of Cut (mm)
1	6,5548	3,1176	-1,2349
2	0,4715	-1,8474	2,3331
3	-5,1636	0,5926	0,7647
Delta	11,7184	4,9649	3,5680
Rank	1	2	3

Grafik pengaruh utama pada *signal to noise ratio* (Gambar 3.3) secara jelas menunjukkan kecenderungan respon masing-masing parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan dengan karakteristik semakin kecil semakin baik. Sedangkan Gambar 3.4 menunjukkan interaksi antar ke tiga parameter terhadap kekasaran permukaan.



Gambar 3.3 Graph of the main effects for signal to noise ratio



Gambar 3.4 Graph of interaction machining parameter for surface roughness

3.3 Analysis of Varians (ANOVA) dua arah

Analisis varian (ANOVA) dua arah adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk menentukan seberapa besar kontribusi setiap parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan material aluminium 5052 yang dihasilkan dari proses *milling*. Dalam penelitian ini, ANOVA digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor mana yang secara signifikan mempengaruhi hasil akhir, yaitu kekasaran permukaan. Dengan menggunakan perangkat lunak minitab, analisis ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang akurat dan efisien.

Dalam melakukan ANOVA, tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95%, yang berarti kita yakin 95% bahwa hasil yang diperoleh adalah benar dan tidak terjadi secara kebetulan. Tingkat signifikansi yang digunakan adalah 0,05, yang merupakan standar umum dalam penelitian ilmiah. Ini berarti bahwa jika nilai p (probabilitas) lebih kecil dari 0,05, kita

dapat menyimpulkan bahwa parameter tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan.

Hasil analisis ANOVA yang ditunjukkan pada Tabel 3.4 memberikan gambaran jelas mengenai seberapa besar setiap parameter pemesinan mempengaruhi kekasaran permukaan Aluminium 5052. Parameter-parameter ini bisa berupa kecepatan putaran spindle, kecepatan pemakanan, kedalaman potong, dan lain sebagainya. Dengan mengetahui parameter mana yang paling berpengaruh, kita bisa melakukan optimasi pada proses pemesinan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dengan lebih efisien.

Pembahasan ini menunjukkan pentingnya penggunaan analisis statistik seperti ANOVA dalam penelitian pemesinan. Dengan menggunakan ANOVA, kita bisa memahami lebih dalam tentang proses yang sedang kita teliti dan membuat keputusan yang lebih baik untuk meningkatkan kualitas produk. Penggunaan perangkat lunak seperti Minitab juga memudahkan proses analisis, memungkinkan kita untuk fokus pada interpretasi hasil dan penerapan praktis dari temuan penelitian kita. Hasil analisis ANOVA terhadap kekasaran permukaan ditunjukkan pada Tabel 3.4. Dalam analisis ANOVA (*Analysis of Varians*) untuk kekasaran permukaan, terdapat beberapa istilah yang sering muncul di Tabel ANOVA.

Tabel 3.4 ANOVA Table for the surface roughness

Source	D	F	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spindle Speed (rpm)	2	2,5665	68.86%	2,566	1,283	3,78	0,209	
Feed Rate (mm/min)	2	0,3332	8.94%	0,333	0,166	0,49	0,671	
Depth of Cut (mm)	2	0,1485	3.98%	0,148	0,074	0,22	0,821	
Residual Error	2	0,6792	18.22%	0,679	0,339			
Total	8	3,7274	100%					

Pada Tabel 3.5 kita melihat analisis varians (ANOVA) untuk model regresi *linear*, regresi *linear* digunakan untuk memahami hubungan antara parameter pemesinan, koefisien konstanta (1,27) adalah nilai kekasaran permukaan ketika semua faktor lainnya adalah nol. Namun, karena nilai P-Value (0,695) lebih besar dari 0,05, konstanta ini tidak signifikan secara statistik, artinya tidak ada bukti kuat bahwa konstanta ini berbeda dari nol.

Koefisien untuk kecepatan *spindle* adalah -0,00186, menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit dalam kecepatan *spindle* dikaitkan dengan penurunan kekasaran permukaan sebesar 0,00186. Nilai *P-Value* (0,015) kurang dari 0,05, sehingga koefisien ini signifikan secara statistik. Ini berarti kecepatan *spindle* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan. *VIF* (*Variance Inflation Factor*) yang kecil (1,00) menunjukkan bahwa tidak ada masalah multikolinearitas untuk faktor ini.

Koefisien untuk *feedrate* adalah 0,0181, yang menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit dalam *feedrate* dihubungkan dengan peningkatan kekasaran permukaan sebesar 0,0181. Namun, *P-Value* (0,361) lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa *feedrate* tidak signifikan secara statistik dalam mempengaruhi kekasaran permukaan dalam model ini. *VIF* yang kecil (1,00) juga menunjukkan tidak ada masalah multikolinearitas dengan *feedrate*.

Koefisien untuk kedalaman potong adalah -0,0067, menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit dalam kedalaman potong terkait dengan penurunan kekasaran permukaan sebesar 0,0067. *P-Value* (0,861) lebih besar dari 0,05, yang menunjukkan bahwa kedalaman potong tidak signifikan secara statistik dalam mempengaruhi kekasaran permukaan. *VIF* (1,00) menunjukkan tidak ada masalah multikolinearitas dengan kedalaman potong.

Dari ketiga faktor yang diuji, hanya kecepatan *spindle* yang menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. *Feedrate* dan kedalaman potong tidak menunjukkan pengaruh signifikan dalam model ini. Tidak ada masalah multikolinearitas yang signifikan di antara faktor-faktor tersebut. Untuk model matematika untuk *Ra* menggunakan regresi linier berganda dan analisis korelasi ditunjukkan pada Persamaan 3.1.

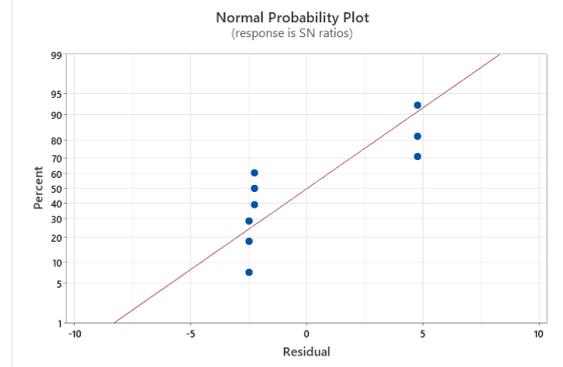
Tabel 3.5 ANOVA table for linear regression

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,27	3,05	0,42	0,695	
Spindle speed	-0,00186	0,000514	-3,61	0,015	1,00
Feedrate	0,0181	0,0181	1,00	0,361	1,00
Depth of cut	-0,0067	0,0361	-0,18	0,861	1,00

$$Ra = 1.27 - 0.00186 \text{ Spindle speed} + 0.0181 \text{ Feedrate} - 0.0067 \text{ Depth of cut} \dots \dots 3.1$$

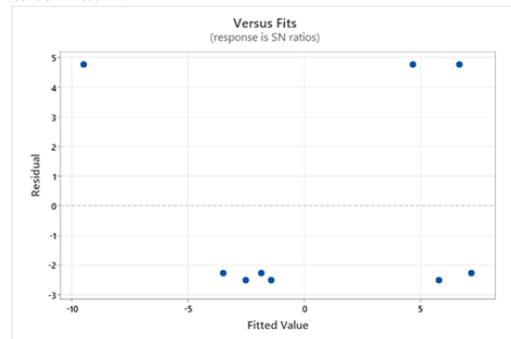
Gambar 3.5 menunjukkan selisih antara nilai residual dan nilai percent yang diestimasi oleh model kita. Grafik ini memberikan info tentang seberapa baik model kita memahami variasi data. Jika *residual* kita acak dan berpusat

di sekitar nol, kita berada pada pola yang benar. Namun, ada pola tertentu pada grafik tersebut (misalnya, *residual* yang terkumpul di satu sisi), berarti kita harus mempertimbangkan penyesuaian model.



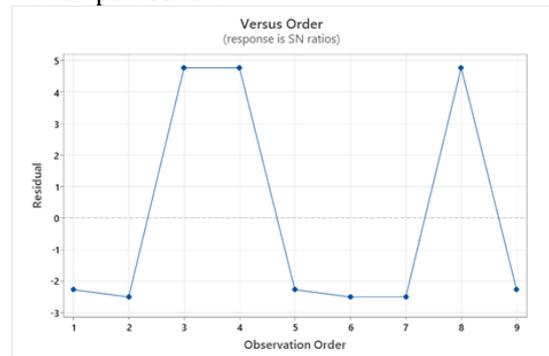
Gambar 3.5 Graph of residual vs Percent

Grafik *residual* terhadap nilai *fitted value* (Gambar 3.6). Jika grafik ini menunjukkan pola acak, kita dapat mengasumsikan bahwa asumsi (*varians residual* konstan) terpenuhi. Namun, jika ada pola tertentu (misalnya, bentuk corong), kita harus mempertimbangkan model alternatif.



Gambar 3.6 Graph of residual vs fitted value

Grafik *residual vs observation order* menunjukkan *residual* untuk menjalankan urutan percobaan. Dalam grafik ini residu harus acak dan tidak menunjukkan pola apa pun pada urutan percobaan.



Gambar 3.7 Graph of residual vs observation order

4 Kesimpulan

Ada beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Tingkatan parameter pemesinan yang sesuai berdasarkan perhitungan dan studi literatur yaitu *spindle speed* 1900 rpm, 1600 rpm dan 1200 rpm. *Feedrate* 150 mm/min, 160 mm/min dan 170 mm/min. dan *depth of cut* 0,10 mm, 0,15 mm dan 0,20 mm.
2. Parameter pemesinan yang menghasilkan kualitas permukaan terbaik pada proses *milling* material aluminium 5052 hasil pengukuran yaitu pada kondisi kecepatan *Spindle* 1900 rpm, *Feedrate* 170 mm/menit dan *Depth of cut* 0.20 mm. artinya semakin tinggi *spindle speed*, semakin tinggi *feedrate* dan semakin dalam *depth of cut* maka kualitas kekasaran permukaan semakin bagus.
3. Kualitas kekasaran permukaan terbaik material aluminium 5052 hasil proses pemesinan mesin CNC Aciera VMC 50E yaitu 0,264 μm termasuk kedalam *range* N4, kualitas kekasaran terendah 1,938 μm termasuk kedalam *range* N7 dan kualitas kekasaran Rata-rata yaitu 1,164 μm .
4. ANOVA menunjukkan bahwa parameter kecepatan spindel memberikan kontribusi sebesar 68.86%. kecepatan pemakanan 8.94% dan kedalaman potong 3.98%.
5. Berdasarkan prediksi taguchi, kombinasi optimal dari parameter pemesinan yang menghasilkan kualitas permukaan terbaik yaitu pada kondisi kecepatan spindel 1900 rpm (level 1), kecepatan pemakanan 150 mm/menit (level 1) dan kedalaman potong 0.15 mm (level 2) yang menghasilkan kekasaran permukaan 0,060 μm .

- [3] R. Putra. E. Indrawan. H. Nurdin. and B. Syahri. "Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Ems 45 Pada Proses Finishing Mesin Bubut Konvensional." *J. Vokasi Mek.* vol. 4. no. 2. pp. 11–17. 2022. doi: 10.24036/vomek.v4i1.338.
- [4] F. Gayuh. U. Dewi. and F. Gapsari. "Optimasi Parameter Pembubutan Terhadap Kekasaran Permukaan Produk." vol. 4. no. 3. pp. 177–181. 2013. H. M. Alfatih. "Studi Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Up Dan Down Milling Dengan Pendekatan Vertical Milling." *J. Tek. Mesin.* vol. 11. no. 1. pp. 37–42. 2010.
- [5] A. R. Syam. Y. A. A. Aziz. B. Syahri. and R. R. Aliafi. "Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Proses Frais Bahan Aluminium 6061 Menggunakan Endmill Dan Fly Cutter Dengan Variasi Spindle Speed Pada Proses Finishing." *J. Vokasi Mek.* vol. 3. no. 4. pp. 31–38. 2021. doi: 10.24036/vomek.v3i4.249.
- [6] S. Syach. A. S. Nurrohkayati. and S. H. Pranoto. "Optimasi parameter untuk kekasaran permukaan pada proses pembubutan baja ST 37 dengan menggunakan metode taguchi Parameter optimization for surface roughness in ST 37 steel turning process using taguchi method." *TEKNOSAINS J. Sains. Teknol. dan Inform.* vol. 9. pp. 113–120. 2022.

Daftar Pustaka

- [1] R. Aria Irmawan *et al.*. "Optimasi Parameter Untuk Meningkatkan Produktivitas Milling Berdasarkan Nilai Kekasaran Permukaan Dengan Menggunakan Metode Taguchi." *J. Technol. Urgency Breakthr. Eng.* vol. 1. no.2.p2023.2023.[Online].Available:http://ejournal.umm.ac.id/index.php/turbine.
- [2] B Kasim. A Yunus. I Yusuf. Mawardi. Darmein "Optimization of CNC machining parameters to improve Using surface roughness quality of the AL6061 material using the Taguchi Method," *Polimesin*, vol. 21, no. 4, pp. 1–6, 2023. Available:http://ejournal.pnl.ac.id/polimesin.