

PENGUNAAN PAHAT BALL END MILL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA MATERIAL BAJA ST 37

Noce Novi Tetelepta^{*)}

Abstrac

The process of metal cutting with a milling machine is one of widely used machining process for manufacturing components that have the features of a profile and complex trajectory. In other hand the needs of surface quality is also required, the surface quality of milling process depend on several factors likes the use of ball mill tool, tool movement, depth of cut and surface roughness (Ra). Based on the result of testing performance of the material of ST 37 80x120x50 with CNC milling Microcut machine for cut spirical type with depth cut (a=0.1mm) and tool movement (Ap=0.1mm), so it obtained of the minimum roughness is (Ra=0.082797 μm), and For the cut one way type, with the same of depth cut and tool movement, the minimum roughness is (Ra=0.602909). Whereas maximum roughness for the cut spirical type with depth of cut (a=0.25mm) and tool movement (Ap=0.5mm), the maximum is (Ra=3.081814 μm), and for the cut one way type with depth of cut (a=0.3mm) and tool movement (Ap=0.3mm), the maximum roughness is (Ra=4.794638 μm). The best regression model for sprical type is (Ra = $2.3715 + 0.3241\chi_1 + 0.7\chi_2 - 0.0235\chi_1^2 - 0.38625\chi_2^2 - 0.0104532\chi_1\chi_2$) and for one way cut is (Ra = $2.93 + 0.702\chi_1 + 0.78\chi_2 - 0.05596\chi_1^2 - 0.0492\chi_2^2 - 0.0104532\chi_1\chi_2$). from the both of cutting type, which requires a very smooth roughness level, the type of spirical cutting can be used.

Keywords : surface roughness, tool movement, depth of cut.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pemotongan logam telah dikenal orang sejak zaman dulu dengan menggunakan peralatan yang sederhana, dibandingkan dengan sekarang perkembangan proses pemotongan logam semakin pesat dan kompleks dan yang paling sering di gunakan adalah proses bubut dan miling (frais). *Milling* merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk pembuatan komponen. Mesin *milling* sering digunakan untuk membuat komponen yang mempunyai fitur berupa suatu *profil* dan juga *trajectory* yang kompleks. Sebagai contoh, proses pemesinan *milling* sering digunakan dalam pembuatan cetakan (*mould*) untuk membuat produk-produk dari plastik. Dengan perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat dan semakin tingginya kompetisi antara produsen produk-produk manufaktur, kebutuhan akan kualitas produk yang tinggi (*high quality product*) yang dihasilkan dengan kecepatan produksi yang tinggi (*high speed manufacturing*) dengan mengefisiensi biaya produksi (*low cost production*) menjadi suatu keharusan. Namun hal ini sulit untuk di peroleh diakibatkan banyak factor-faktor yang mempengaruhi kualitas suatu proses pemotongan

berupa parameter-parameter pemesinan, tool dan material yang digunakan.

Dari penelitian sebelumnya banyaknya parameter dan hubungan antar parameter terkait proses *milling* yang telah diteliti. Diantaranya

1. Analisa kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan tiga macam strategi pemesinan *milling* yang berbeda yaitu tipe *radial*, *raster* dan *3D offset* untuk komponen yang mengandung geometri kompleks seperti bentuk cembung dan cekung oleh A.M. Ramos, *et.al*. Dari penelitian yang dilakukan, Ramos menyimpulkan bahwa ketiga strategi pemesinan menghasilkan kekasaran permukaan yang berbeda dan type *3D offset* adalah yang paling cocok untuk pemesinan komponen yang mengandung geometri kompleks.
2. Sedangkan, menggunakan *Genetic Programming* untuk memprediksi pengaruh dari beberapa parameter pemesinan seperti kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman pemotongan dengan menggunakan strategi pemesinan type *zigzag* terhadap kekasaran permukaan oleh Göloğlu C., *et.al*. Dimana Göloğlu C., *et.al*. menyatakan bahwa selain parameter pemesinan di atas, pergeseran pahat juga

^{*)}Noce Novi Tetelepta: Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ambon

mempengaruhi kekasaran permukaan dari pemessinan *milling*.

3. Pengaruh geometri pahat (*radial rake angle* dan *nose radius*) dan kondisi pemotongan (kecepatan potong dan kecepatan makan) terhadap kekasaran permukaan pada *cutting end milling* dari baja karbon medium dan kemudian mengolah data tersebut untuk mendapatkan kekasaran permukaan paling rendah dan laju pemakanan material paling besar menggunakan *Response Surface Methodology* dan *Genetic Algorithms* oleh Reddy N.S.K., *et.al.* [3]. Dari hasil penelitian di dapatkan kekasaran permukaan yang paling kecil, kecepatan pemakanan 202,17 mm/menit, *rake angle* sebesar 4,40°, *nose radius* sebesar 0,43 mm dan laju pemakanan material sebesar 67,58 mm³/detik.
4. Jaya Suteja Dari hasil optimasi diperoleh bahwa pergeseran pahat dan kedalaman potong yang memberikan respon *MRR* dan *Ra* yang optimal berturut-turut adalah 6,7582 mm dan 0,22 mm. Dengan menggunakan parameter proses tersebut, nilai *MRR* dan *Ra* yang didapatkan untuk *zig-zag cut type* adalah 9,619 mm³/detik dan 1,5124 μm sedang untuk *spiral cut type* adalah 8,981 mm³/detik dan 1,3824μm.

Berdasarkan hasil studi literatur yang sudah dilakukan, peneliti mencoba untuk menyelidiki beberapa parameter proses penting yang mempengaruhi kekasaran permukaan diantaranya penggunaan *tool Ball End Mill*. Parameter proses yang divariasikan pada penelitian ini adalah pergeseran pahat, dan strategi pemessinan (*cut type*). Selain itu, kedalaman pemotongan juga digunakan sebagai salah satu parameter yang diselidiki pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan dan tool yang digunakan.

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian pada Latar belakang di atas maka tujuan penelitian yang akan didapatkan adalah sebagai berikut :

1. Seberapa tingkat kekasaran permukaan bila menggunakan tool ball end mill dalam proses pekerjaan mold dan pergeseran pahat untuk masing-masing *cut type*.
2. Mencari kombinasi pengaturan kedalaman pemotongan dan pergeseran pahat untuk

masing-masing *cut type* yang dapat memperkecil kekasaran permukaan.

II. LANDASAN TEORI.

2.1. Teori pemessinan CNC Miling

Computer Nomerical Control merupakan pengembangan daripada NC numerical control yang bekerja berdasarkan huruf dan angka. Dalam aplikasinya mesin CNC telah di pergunakan dalam berbagai proses baik untuk bubut, grinda, frais/ milling dan lain-lain sebagainya.

Khusus dalam mesin CNC Miling proses kerja dilakukan berdasarkan tiga aksis yaitu X aksis, Y aksis dan Z aksis yang digerakan oleh motor dengan dikendalikan oleh suatu program berupa kode-kode yang didalamnya huruf dan angka.CNC merupakan perangkat lunak yang berbasis CAM yang sering digunakan pengerjaan manufaktur yang memungkinkan penggunaannya untuk melakukan berbagai bentuk simulasi proses pemessinan berbasis CNC. (Randelovic, 2007)

2.2. Gemoteri pahat potong

Seringkali menjadi tidak realistis ketika menyimpulkan sesuatu hanya berdasarkan satu faktor penyebab. Dalam situasi tersebut, peneliti harus dengan cermat mengidentifikasi faktor – faktor lain dan melibatkannya secara eksplisit kedalam sebuah persamaan misalnya model *Response Surface Methodology (RSM)*. Pada aplikasinya untuk operasi pemessinan dengan tiga faktor penyebab (*spindle speed*, *feedrate* dan *depth of cut*) maka persamaan interaksi ketiga faktor tersebut adalah :

$$Ra = \alpha_i + \beta_{1ni} + \beta_{2fi} + \beta_{3ti} \quad (2.1)$$

dengan: *Ra* = kekasaran permukaan (μm)

ni = perpindahan pahat (mm)

fi = depth of cut (mm)

2.3 Kecepatan Putaran Sumbu Utama (Spindel Speed)

Besarnya kecepatan putar sumbu utama tergantung pada kecepatan potong yang diijinkan dan diameter alat potong (*Cutter*). Pengaruh pemilihan kecepatan potong ini sangat esensial dalam mendukung keberhasilan penyayatan

dengan teknologi CNC. Jika kecepatan potong yang dipilih terlalu besar, maka gigi alat potong tersebut akan aus. Akan tetapi jika kecepatan potong yang dipilih terlalu kecil, maka kapasitas penyayatan menjadi rendah sehingga waktu yang diperlukan untuk proses penyayatan menjadi besar. Jumlah putaran tiap menit dari alat potong mesin frais, dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} \text{ mm/menit} \quad \dots (2.2)$$

V_c = kecepatan potong (m/menit)
 D = diameter alat potong (mm)
 n = jumlah putaran tiap menit (rpm)

2.4 Kecepatan Asutan (Feedrate)

Untuk operasi pengefraisan kecepatan asutan diekspresikan sebagai laju pemakanan dalam milimeter per menit. Nilai adalah sama dengan jarak yang ditempuh dalam milimeter oleh meja dan benda kerja dalam satu menit.

$$F_m = f \cdot N \text{ mm.min}^{-1} \quad (2.3)$$

dimana,

F_m = feed dalam mm/min.
 f = feed dalam mm/rev.
 N = kecepatan spindle dalam RPM

2.5. Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*)

Dalam pemilihan putaran mesin sudah dijelaskan bahwa, dipengaruhi oleh kecepatan potong, diameter pahat. Sedangkan dalam pemilihan kecepatan pemotongan (*feeding*) ditentukan oleh jenis bahan yang dipotong dan bahan alat potong yang digunakan. Kedalaman pemakanan akan mempengaruhi kecepatan pemotongan. Kecepatan pemotongan dapat stabil jika mengoperasikan mesin secara otomatis (Saffar, 2009)

2.6. Parameter kekasaran permukaan

Untuk mereproduksi profil suatu permukaan, sensor/peraba (stylus) alat ukur harus digerakan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan

terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut panjang pengukuran (traversing length; l/n). Bagian panjang pengukuran di mana dilakukan analisis profil permukaan disebut panjang sampel (sampling length;). Beberapa istilah profil yang penting yaitu:

- Profil geometrik ideal (*geometrically ideal profile*)
- Profil terukur (measured profile)
- Profil referensi/ acuan puncak (*reference profile*)
- Profil akar alas (*roof profile*)
- Profil tengah (*centre profile*)

Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu:

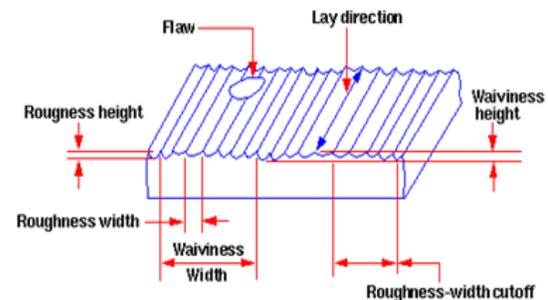
- Kekasaran total (peak to valley height total height); R_t (μm). Adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran perataan (depth of surface smoothness / peak to mean line),

$$R_p (\mu\text{m}).$$

$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l y_t dx \quad (2.4)$$

Berdasarkan rumus diatas, R_p akan sama dengan jarak antara profil referensi dengan profil tengah.

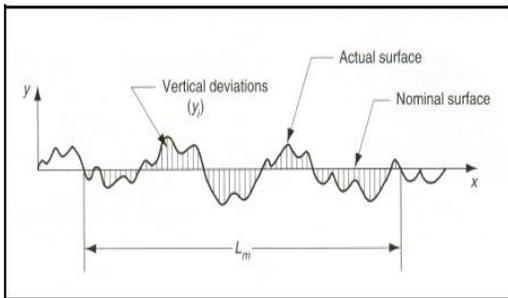
- Kekasaran rata-rata aritmatik (mean roughness index / center line average, CLA), R_a (μm). Adalah harga rata-rata aritmatik bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.



Gambar 1: Terminologi tekstur permukaan

Kekasaran permukaan pada benda merupakan suatu bentuk tingkat kekasaran hasil dari proses pemesinan akhir. Kekasaran ideal dapat diukur secara rata-rata permukaan atau dapat ditulis R_a . Gambar 2.7 menunjukkan rerata luasan dari potongan kurva kekasaran. Hal ini bagian diperkenalkan di suatu grafik yang dengan sumbu X yang membentang di dalam arah sama

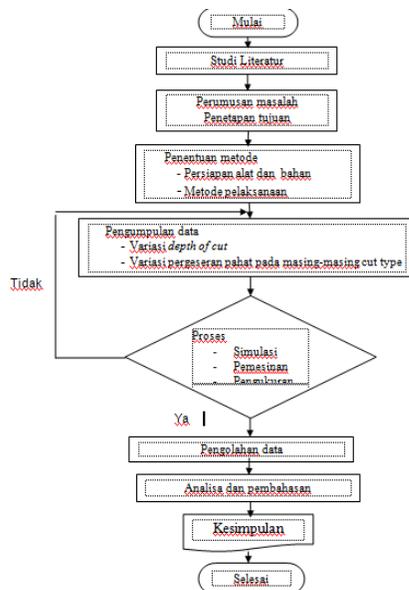
seperti (ketika garis rerata dan perwakilan sumbu Y yang besar). R_a ini juga dikenal sebagai nilai rata-rata arithmatik dari kekasaran permukaan, atau rata-rata arithmatik atau rata-rata garis tengah. Secara universal R_a dikenal sebagai simbol kekasaran yang paling umum dengan satuan μm atau μinch . Pada gambar berikut menunjukkan parameter yang disebutkan. Referensi garis horizontal, yang biasanya disebut garis tengah, terletak di mana jumlah area di atas adalah sama dengan jumlah area di bawahnya.



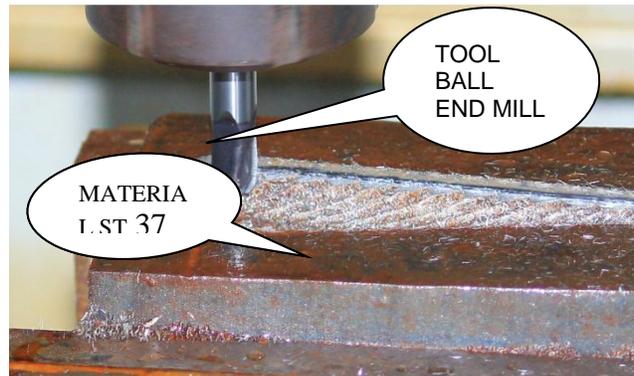
Gambar 2.7. Profil kekasaran permukaan

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan alur seperti ditunjukkan dibawah ini:



Dari proses pemesinan yang didasarkan pada putaran mesin (s) konstan, Kecepatan potong (vc) konstan Kedalaman pemakanan (a) yang bervariasi, pergeseran pahat (Ap) yang bervariasi dengan penggunaan *Type Cut spiral* dan *one way cut* pada material St 37 dengan kekerasan 220 HBn Tegangan tarik: 37 kg/mm^2 atau 370 N/mm^2 ($g = 10 \text{ m/det}$). Dengan ukuran $80\text{mm} \times 50\text{mm} \times 120\text{mm}$ maka data yang di peroleh terlihat pada table 5.1 dan 5.2



Gambar 5.1. Proses Pemesinan pada Mesin CNC



Gambar 5.2. Hasil Pemesinan

Alat yang digunakan:

1. Mesin CNC Microcut challenger 2418



2. Jangka sorong



3. Micro Meter



4. Surface Tester



5. Tool Ball End Mill Ø10 Hanita List 7150



V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pengolahan data

Kekasaran Permukaan (*Surface roughness*/Ra) Pengukuran kekasaran permukaan (Ra) dilaksanakan setelah proses pemotongan, untuk masing-masing benda uji pada setiap parameter pemotongan. Untuk mendapatkan nilai rata-rata kekasaran permukaan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Untuk contoh perhitungan digunakan data no.9 pada tabel 5.1, dimana

$$X_1 = 0.73 \mu\text{m}; X_2 = 0.78 \mu\text{m}; X_3 = 0.72 \mu\text{m}$$

Maka

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 0.73 + X_2 0.78 + X_3 0.72}{3} \\ &= \frac{7,74}{3} = 0.743 \mu\text{m} \end{aligned}$$

Tabel 5.1 Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Rata-rata (Ra) untuk *cut type spiral*

No.	Putaran Mesin S(mm/mt)	Kecepatan potong Vc (m/mt)	Kedalaman Pemakanan a (mm)	Pergeseran Pahat Ap(mm)	Type Cut	Kekasaran permukaan (Ra)(μm)			
						1	2	3	Rata-rata
1	6500	250	0.15	0.2	spiral	0.45	0.55	0.60	0.53
2	6500	250	0.25	0.2	spiral	0.59	0.69	0.76	0.68
3	6500	250	0.15	0.4	spiral	0.73	0.83	0.70	0.75
4	6500	250	0.25	0.4	spiral	0.75	0.98	0.77	0.83
5	6500	250	0.2	0.1	spiral	0.45	0.23	0.49	0.39
6	6500	250	0.3	0.3	spiral	0.70	0.85	0.62	0.72
7	6500	250	0.1	0.2	spiral	0.31	0.19	0.58	0.36
8	6500	250	0.2	0.5	spiral	0.76	1.26	0.97	0.98
9	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.73	0.78	0.72	0.74
10	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.59	0.97	1.06	0.87
11	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.67	0.98	0.75	0.80
12	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.70	0.86	0.76	0.77
13	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.54	0.99	0.64	0.72

Tabel 5.2 Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Rata-rata (Ra) untuk *cut type one way*

No.	Putaran Mesin S(mm/mt)	Kecepatan potong Vc (m/mt)	Kedalaman Pemakanan a (mm)	Pergeseran Pahat Ap(mm)	Type Cut	Kekasaran permukaan (Ra)(μm)			
						1	2	3	Rata-rata
1	6500	250	0.15	0.2	One way	0.56	0.62	0.66	0.62
2	6500	250	0.25	0.2	One way	0.59	0.72	0.76	0.69
3	6500	250	0.15	0.4	One way	0.64	0.8	0.7	0.71
4	6500	250	0.25	0.4	One way	0.76	0.98	0.93	0.89
5	6500	250	0.2	0.1	One way	0.37	0.2	0.46	0.35
6	6500	250	0.3	0.3	One way	0.75	0.96	0.77	0.83
7	6500	250	0.1	0.2	One way	0.34	0.24	0.6	0.39
8	6500	250	0.2	0.5	One way	0.75	1.07	0.91	0.91
9	6500	250	0.2	0.3	One way	0.78	0.82	0.86	0.85
10	6500	250	0.2	0.3	One way	0.59	1.12	1.03	0.91
11	6500	250	0.2	0.3	One way	0.72	1	0.97	0.9
12	6500	250	0.2	0.3	One way	0.7	0.93	0.78	0.8
13	6500	250	0.2	0.3	One way	0.82	0.86	0.93	0.87

5. 2. Menentukan Kekasaran Permukaan Menggunakan Response Surface Methodology (RSM)

Penggunaan RSM sebagai upaya mencari fungsi yang tepat untuk menentukan nilai variabel bebas yang akhirnya dapat mengoptimalkan variabel terikatnya. Data akan dianalisis menggunakan metode *Central Composite Design*, seperti ditunjukkan pada tabel 5.3.

5.3.1. Persamaan Kekasaran Permukaan Pada Proses Pemesinan untuk Spiral Type Cut

Tabel 5.3 Data Kedalaman Pemakanan dan Pergeseran pahat Pada Type Cut Spiral dan one way untuk rancangan penelitian *Secont Order*

No	Code Variabel		Putaran Mesin S(mm/mt)	Kecepatan potong Vc (m/mt)	Kedalaman Pemakanan a (mm)	Pergeseran Pahat Ap(mm)	Type Cut	Kekasaran permukaan (Ra)(µm)
								Rata-rata
1	-1	-1	6500	250	0.15	0.2	spiral	0.53
2	1	-1	6500	250	0.25	0.2	spiral	0.68
3	-1	1	6500	250	0.15	0.4	spiral	0.75
4	1	1	6500	250	0.25	0.4	spiral	0.83
5	-1.414	0	6500	250	0.2	0.1	spiral	0.39
6	1.414	0	6500	250	0.3	0.3	spiral	0.72
7	0	-1.414	6500	250	0.1	0.2	spiral	0.36
8	0	1.414	6500	250	0.2	0.5	spiral	0.98
9	0	0	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.74
10	0	0	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.87
11	0	0	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.8
12	0	0	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.77
13	0	0	6500	250	0.2	0.3	spiral	0.72

No	Code Variabel		Putaran Mesin S(mm/mt)	Kecepatan potong Vc (m/mt)	Kedalaman Pemakanan a (mm)	Pergeseran Pahat Ap(mm)	Type Cut	Kekasaran permukaan (Ra)(µm)
								Rata-rata
1	-1	-1	6500	250	0.15	0.2	One way	0,64
2	1	-1	6500	250	0.25	0.2	One way	0,79
3	-1	1	6500	250	0.15	0.4	One way	0,86
4	1	1	6500	250	0.25	0.4	One way	0,93
5	-1.414	0	6500	250	0.2	0.1	One way	0,41
6	1.414	0	6500	250	0.3	0.3	One way	0,83
7	0	-1.414	6500	250	0.1	0.2	One way	0,47
8	0	1.414	6500	250	0.2	0.5	One way	1,09
9	0	0	6500	250	0.2	0.3	One way	0,85
10	0	0	6500	250	0.2	0.3	One way	0,98
11	0	0	6500	250	0.2	0.3	One way	0,9
12	0	0	6500	250	0.2	0.3	One way	0,86
13	0	0	6500	250	0.2	0.3	One way	0,83

Setelah ada data kemudian dianalisa menggunakan Minitab software 16 yang dilengkapi desain untuk *response surface*. Hasil yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk tabel-tabel, dimana terdiri dari beberapa bagian, yaitu hasil taksiran parameter model, dan tabel ANOVA yang digunakan untuk menguji kecocokan model dengan data.

Tabel 5.4 Koefisien regresi kekasaran terhadap kedalaman dan pergeseran pahat

Variabel	Koefisien	t _{hitung}	Sig t	Keterangan
Konstanta	-0.766890			
Pergeseran	3.10714	2.455	0.044	Seknifikan
Kedalaman	7.81629	3.943	0.006	seknifikan
Pergeseran* Pergeseran	-2.34849	-1.943	0.093	Non seknifikan
Kedalaman* Kedalaman	-15.4509	-2.842	0.025	seknifikan
Pergeseran* Kedalaman	-2.09064	-0.396	0.704	Non seknifikan
R-Sq(adj) = 89.52%				
t _{tabel} = 1.782 ; level signifikansi (α) = 5%				

Tabel 5.4 menunjukkan koefisien regresi kekasaran permukaan (Ra) terhadap Kedalaman Pemakanan Dan Pergeseran Pahat. Analisis dilakukan dengan menggunakan *uncoded units*, berikut hasil *response surface* dengan variabel respon kekasaran permukaan.

Tabel 5.5 Analisis varian untuk kekasaran permukaan (Ra)

Sumber/Variasi	Derajat Kebebasan	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F _{hitung}	Sig F
Regression	5	0.361350	0.361350	0.072270	21.50	0,000
Linier	2	0.314239	0.061650	0.030825	9.17	0.011
Square	2	0.046585	0.034835	0.017417	5.18	0,042
Interaction	1	0.000527	0.000527	0.000527	0,16	0,704
Residual Error	7	0.023526	0.023526	0.003361		
Lack-of Fit	3	0.009726	0.009726	0.003242	0,94	0.500
Pure Error	4	0.013800	0.013800	0.003450		
Total	12	0.384877				
F _{tabel} = 3,26; level signifikansi (α) = 5%						

Maksud dari tabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. pengaruh antara Pergeseran pahat dan Kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 21.50 dan nilai Sig F sebesar 0,000. Karena nilai F_{hitung} > F_{tabel} (21,50 > 3,26) dan Sig F < α (0,000 < 0,05), maka dapat disimpulkan terdapat pengaruh simultan antara Pergeseran Pahat dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan.
2. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut

H_0 : Tidak ada *lack of fit*

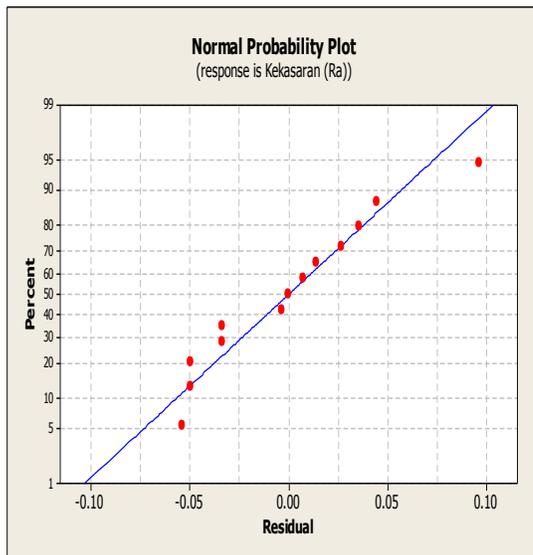
H_1 : Ada *lack of fit*

Hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit* berarti model yang dibuat telah sesuai dengan data, sedangkan hipotesa alternatif berarti model yang telah dibuat belum mewakili data.

Hipotesa awal (H_0) akan ditolak bila p-value kurang dari α . Sebaliknya, hipotesa awal akan diterima apabila p-value melebihi α

Pada tabel 5.5, menunjukkan p-value hasil uji lack of fit bernilai 0,5 menggunakan level signifikansi 5% maka keputusannya akan menerima hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit*. Dengan demikian model yang dibuat sesuai dengan data. Untuk memeriksa kecukupan model kekasaran permukaan tidak hanya melihat *lack of fit*, tetapi juga melakukan analisa residual. Ada 3 hal yang harus dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot antara residual dengan hasil taksiran respon, dan membuat plot antara residual dengan order (x_j).

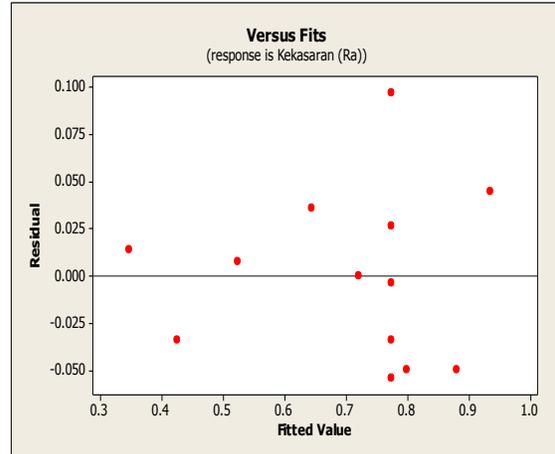
Berikut gambar 5.3, 5.4, merupakan gambar analisis residual yang tersebut di atas. Suatu plot kenormalan residual apabila titik residual yang di hasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan berdasarkan data (residual) maka residual dapat dikatakan telah memenuhi atau mengikuti distribusi normal. Dengan demikian terlihat pada gambar 5.3



Gambar 5.3 Kurva Normal Probability dari residual untuk kekasaran permukaan

Gambar ini menunjukkan hampir semua titik-titik hasil terletak pada garis diagonal. Hanya satu titik di

akhir kurva sedikit menyimpang dari pola garis normal. Sebagai validasi konfigurasi, bahwa kurva dengan angka-angka percobaan mengikuti distribusi probabilitas normal.



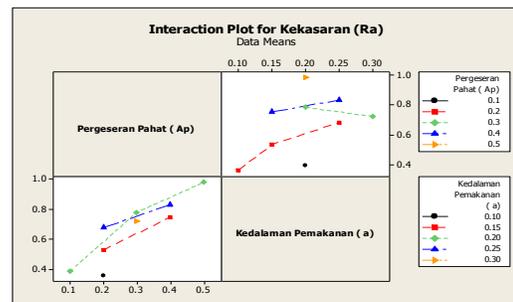
Gambar 5.4. Residual terhadap data pengamatan

Dari gambar 5.4 terlihat bahwa titik-titik menunjukkan pola acak sehingga hampir merata di bawah dan di atas garis tengah sehingga model regresi yang telah dibuat cukup tepat dengan data percobaan

Estimasi koefisien regresi untuk kekasaran permukaan (tabel 5.4), menunjukkan hasil uji parameter model dengan menggunakan statistik uji t yang dikonversikan ke dalam p-value. Berdasarkan hasil analisis, modelnya

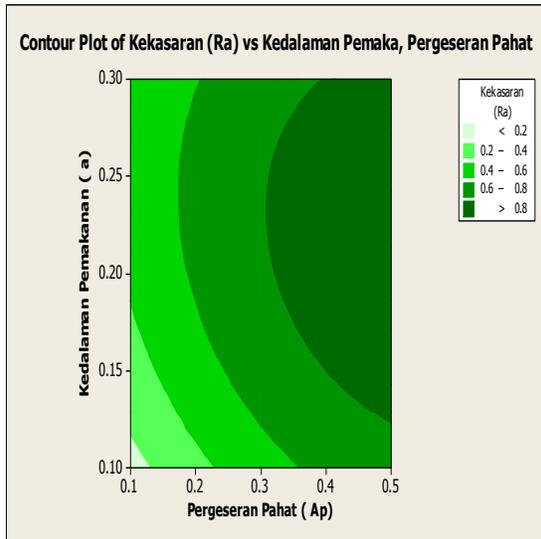
$$\hat{Y} = -0.766890 + 3.10714 (Ap) + 7.81629 (a) - 2.34849(Ap)^2 - 15.4509(Ap)^2 - 209064(Ap*a)$$

Gambar 5.6 menunjukkan kurva interaksi antar Pergeseran Pahat dan kedalaman pemotongan. Dari plot ini dapat dinyatakan bahwa terjadi interaksi antar kedua parameter terhadap kekasaran permukaan namun tidak signifikan. Hal ini juga terlihat pada analisis regresi tersebut di atas.



Gambar 5.6 Plot Interaksi untuk Kekasaran Permukaan

Gambar 5.7 merupakan plot kontur antara Pergeseran Pahat (Ap) dan Kedalaman Pemakanan (a). Dari gambar tersebut terlihat bahwa Area kekasaran permukaan berbentuk lingkaran-lingkaran yang berwarna semakin besar lingkarannya semakin halus dan semakin kecil lingkarannya semakin kasar.



Gambar 5.7: Kontur Untuk Kekasaran Permukaan pada Type Cut Spiral

5.3.2. Persamaan Kekasaran Permukaan Pada Proses Pemesinan untuk One Way Type Cut

Tabel 5.6 menunjukkan koefisien regresi kekasaran permukaan (Ra) terhadap Kedalaman Pemakanan Dan Pergeseran Pahat. Analisis dilakukan dengan menggunakan *uncoded units*, berikut hasil *response surface* dengan variabel respon kekasaran permukaan

Tabel 5.6. Estimasi Koefisien Regresi untuk kekasaran permukaan (Ra) untuk One Way Type Cut

Variabel	Koefisien	t _{hitung}	Sig t	Keterangan
Konstanta	-0.786764			
Kedalaman	3.66064	2.909	0.023	Seknifikan
Pergeseran	7.71433	3.915	0.006	seknifikan
Kedalaman* Kedalaman	-5.95572	-4.956	0.002	seknifikan
Pergeseran* Pergeseran	-19.6810	-3.642	0.008	seknifikan
Kedalaman* Pergeseran	5.44140	1.037	0.334	Non seknifikan
R-Sq(adj) = 90.91%				
t _{tabel} = 1.796 ; level signifikansi (α) = 5%				

t_{tabel} didapat dari derajat bebas (df) pada analisa sebesar n – 2 = 13 – 2 = 11 pada statistik t untuk level toleransi 0.05 maka didapatkan t_{tabel} = 1,796 (lampiran A2)

Dari Tabel estimasi Koefisien Regresi untuk kekasaran maka didapatkan model statistic t yang di konversikan kedalam p-value berdasarkan hasil analisis didapatkan model sebagai berikut $\hat{Y} = -0.786764 + 3.66064(a) + 7.71433(Ap) - 5.95572(a)^2 - 19.6810(Ap)^2 + 209064(a*Ap)$

Dari uji parameter model menunjukkan bahwa variable kedalaman pemotongan pergeseran pahat, kuadrat kedalaman pemakanan dan kuadrat pergeseran memiliki pengaruh penting terhadap kekasaran permukaan. Hal ini di karenakan p-value pada variable-variabel cukup kecil.

Maksud dari tabel 5.6 di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. pengaruh Pergeseran Pahat dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan sebesar 90.91%. Artinya sebesar 90.91% kekasaran permukaan dikarenakan oleh adanya Pergeseran Pahat (Ap) dan Kedalaman pemotongan (a).
2. Nilai t_{hitung} untuk Pergeseran Pahat sebesar 2.455 dan nilai Sig t sebesar 0,044, karena nilai t_{hitung} > t_{tabel} (3,915 > 1,796) dan nilai Sig t < α (0,006 < 0,05), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan.
3. Nilai t_{hitung} untuk Kedalaman Pemotongan sebesar 2.909 dan nilai Sig t sebesar 0,023, karena nilai t_{hitung} > t_{tabel} (2.909 > 1,796) dan nilai Sig t < α (0,023 < 0,05), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan.
4. Nilai t_{hitung} untuk interaksi antara Kedalaman Pemotongan dan Pergeseran Pahat sebesar 1.037 dan nilai Sig t sebesar 0,334, karena nilai t_{hitung} < t_{tabel} (1,037 < 1,729) dan nilai Sig t > α (0,334 > 0,05), maka dapat disimpulkan bahwa tidak berpengaruh interaksi antara Pergeseran pahat dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan

Lack of Fit dapat digunakan untuk menguji kecukupan model. Untuk melihat hasil uji tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 5.7

Tabel 5.7 Analisis varian untuk kekasaran permukaan (Ra)

Sumber/Variasi	Derajat Kebebasan	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F _{hitung}
Regression	5	0.414982	0.414982	0.082996	24,9
Linier	2	0.304536	0.066145	0.033072	9.96
Square	2	0.106878	0.109403	0.054701	16,4
Interaction	1	0.003568	0.003568	0.003568	1.07
Residual Error	7	0.023249	0.023249	0.003321	
Lack-of Fit	3	0.015529	0.015529	0.005176	2.68
Pure Error	4	0.07720	0.07720	0.001930	
Total	12	0.438231			

F_{tabel} = 3,26; level signifikansi (α) = 5%

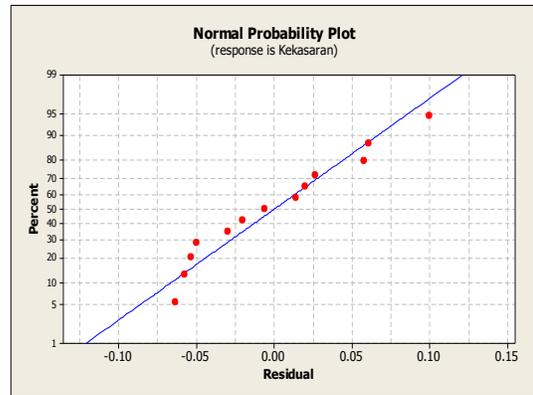
Maksud dari tabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pengujian secara simultan pengaruh antara Pergeseran pahat dan Kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 24.99 dan nilai Sig F sebesar 0,000. Karena nilai F_{hitung} > F_{tabel} (24,99 > 3,26) dan Sig F < α (0,000 < 0,05), maka dapat disimpulkan terdapat pengaruh simultan antara Pergeseran Pahat dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan.
2. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :
 H₀ : Tidak ada *lack of fit*
 H₁ : Ada *lack of fit*

Hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit* berarti model yang dibuat telah sesuai dengan data, sedangkan hipotesa alternatif berarti model yang telah dibuat belum mewakili data. Hipotesa awal (H₀) akan ditolak bila p-value kurang dari α. Sebaliknya, hipotesa' awal akan diterima apabila p-value melebihi α. Pada tabel 5.7, menunjukkan p-value hasil uji *lack of fit* bernilai 0,5 menggunakan level signifikansi 5% maka keputusannya akan menerima hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit*. Dengan demikian model yang dibuat sesuai dengan data.

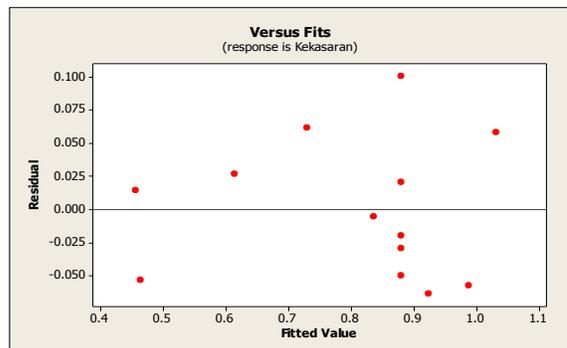
Untuk memeriksa kecukupan model kekasaran permukaan tidak hanya melihat *lack of fit*, tetapi juga melakukan analisa residual. Ada 3 hal yang harus dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot antara residual dengan hasil taksiran respon, dan membuat plot antara residual dengan order (x_j).

Gambar 5.8 Kurva Normal Probability dari residual untuk Kekasaran permukaan

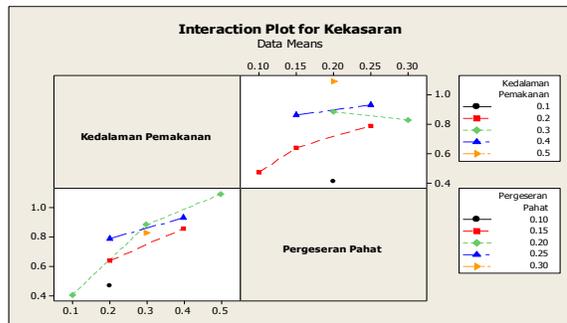


Gambar 5.8 Kurva Normal Probability residual untuk Kekasaran permukaan type one way

Dari gambar 5.9 dapat dijelaskan bahwa titik-titik menunjukkan pola acak sehingga hampir merata di bawah dan di atas garis tengah sehingga model regresi yang telah dibuat cukup tepat dengan data.percobaan

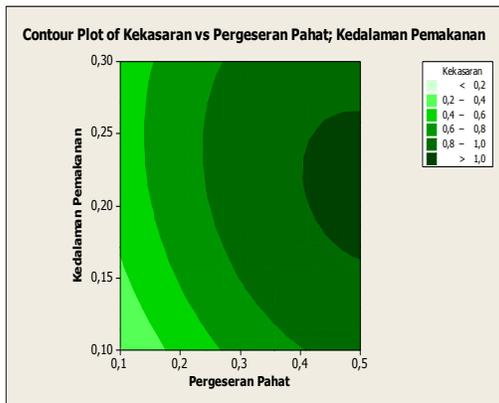


Gambar 5.9. Residual terhadap data pengamatan



Gambar 5.11 Plot Interaksi untuk Kekasaran permukaan

Gambar 5.11 menunjukkan kurva interaksi antar Pergeseran Pahat dan kedalaman pemotongan . Dari plot ini dapat dinyatakan bahwa terjadi interaksi antar kedua parameter terhadap kekasaran permukaan namun tidak signifikan. Hal ini juga terlihat pada analisis regresi tersebut di atas



Gambar 5.12: Kontur Untuk Kekasaran Permukaan pada Type Cut One Way

Dari gambar tersebut terlihat bahwa Area kekasaran permukaan berbentuk lingkaran-lingkaran yang berwarna semakin besar lingkarannya semakin halus dan semakin kecil lingkarannya semakin kasar.

Dari persamaan 5.2 didapatkan model statistic t yang di konversikan kedalam p -value berdasarkan hasil analisis untuk *type cut spiral* didapatkan model sebagai berikut

$$\hat{y} = -0.766 + 3.11(0.1x_1 + 0.3) + 7.82(0.05x_2 + 0.2) - 2.35(0.1x_1 + 0.3)^2 - 15.45(0.05x_2 + 0.2)^2 - 2.09064 [(0.1x_1 + 0.3)(0.05x_2 + 0.2)]$$

Jadi model regresi untuk kekasaran permukaan (R_a) pada *type cut spiral* adalah :

$$R_a = 2.3715 + 0.3241x_1 + 0.7x_2 - 0.0235x_1^2 - 0.38625x_2^2 - 0.0104532x_1x_2$$

Dengan kekasaran Min= 0.082797 μ m pada kedalaman pemakanan (a) 0,1mm dan pergeseran pahat 0,1mm sedangkannya Max = 3.081814 μ m pada a= 0,25mm dan Ap=0,5mm

Sedangkan untuk *type cut one way* didapatkan model statistic t yang di konversikan kedalam p -value berdasarkan hasil analisis I sebagai berikut

$$\hat{y} = -0.787 + 3.66(0.1x_1 + 0.3) + 7.714(0.05x_2 + 0.2) - 5.956(0.1x_1 + 0.3)^2 - 19.681(0.05x_2 + 0.2)^2 - 2.09064 [(0.1x_1 + 0.3)(0.05x_2 + 0.2)]$$

Jadi model regresi untuk kekasaran permukaan (R_a) pada *type cut one way* adalah :

$$R_a = 2.93 + 0.702x_1 + 0.78x_2 - 0.05596x_1^2 - 0.0492x_2^2 - 0.0104532x_1x_2$$

Dengan kekasaran Min= 0.602909 μ m pada kedalaman pemakanan (a) 0,1mm dan pergeseran pahat 0,1mm sedangkannya Max = 4.794638 μ m pada a= 0,3 mm dan Ap=0,5mm

Kesimpulan

Dari data yang di dapatkan setelah di olah dengan *softwear anova* maka di dapatkan kesimpulan bahwa:

1. Antara pergeseran pahat dan kedalaman pemakanan sangat berpengaruh cukup signifikan terhadap kekasaran permukaan
2. Dari kedua *Type Cut spiral* dan *one way* dapat disimpulkan bahwa *type spiral* memiliki kekasaran permukaan lebih halus dari pada *type one way* dikarenakan nilai Ra pada spiral lebih kecil dari *one way*

SARAN

1. Perlu adanya penelitian lanjut dengan menggunakan *type cut* lainnya
2. Dalam proses pemesinan menggunakan pahat ball end mill harus memperhatikan pergeseran pahat maksimum yang di izinkan sehingga menghasilkan hasil yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Benardos P.G., Vosniakos G.C, **“Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi’s design of experiments”**, Robotics and Computer Integrate
2. Chang C.K., Lu H.S, **“Study on the prediction model of surface roughness for side milling operations”**, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, Vol. 29, No. 9-10, 2006, pp. 867-878
3. Choudhury S.K., Appa Rao, I.V.K., **“Optimization of cutting parameters for maximizing tool life”**, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 39, No. 2, 1999, pp. 343-353
4. Göloğlu C., Arslan Y., **Zigzag Machining Surface Roughness Modelling Using Evolutionary Approach**, IMS’2006: 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems,
5. Marsudi, **Memprogram Mesin CNC dengan Mastercam**, informatika bandung 2009
6. Nur Irawan, Ph.D, Septin Puji Astuti, S.SI, MT. **Mengelolah Data Statistik dengan menggunakan Minitab 14**, Andi Yogyakarta 2006.
7. Oktem H., Erzurumlu T., Kurtaran H., **“Application of response surface methodology in the optimization of cutting conditions for surface roughness”**, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 170, No. 1-2, 2005, pp. 11-16.
8. Ramos A.M., Relvas C., Simoes J.A., **“The influence of finishing milling strategies on texture, roughness, and dimensional deviations on the machining of complex surfaces”**, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 136, No.1-3, 2003, pp. 209-216.
9. Reddy N.S.K., Rao P.V., **“Selection of optimum tool geometry and cutting conditions using a surface roughness prediction model for end milling”**, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, Vol. 26, No.11- 12, 2005, pp. 1202-1210.
10. Ryu S.H., Choi D.K., Chu C.N., **“Roughness and texture generation on end milled surfaces”**, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, No. 3-4, 2006, pp. 404-412.