

# OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN *END MILL* MATERIAL BAJA KARBON RENDAH MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHOD (RMS)*

Faula Arina<sup>1</sup> Mohammad Adha Ilhami<sup>2</sup> Dian Friana Hidayat<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Banten

[faulaarina@yahoo.com](mailto:faulaarina@yahoo.com)<sup>1</sup>  
[adha@ft-untirta.ac.id](mailto:adha@ft-untirta.ac.id)<sup>2</sup>

## ABSTRAK

Setiap komponen mesin, umumnya dibuat dari logam yang memiliki bentuk beraneka ragam. melalui proses pemesinan sehingga menghasilkan bentuk yang diinginkan. Di dalam proses, pengaturan parameter pemesinan yaitu kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feedrate*) dan kedalaman potong (*depth of cut*) penting untuk dilakukan karena tingkat kekasaran permukaan yang tinggi dapat berpengaruh pada permukaan logam yang tidak bercahaya/buram serta kasar. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah meminimumkan kekasaran permukaan (*surface roughness*) logam baja rendah dengan menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)* pada proses pemotongan oleh mesin CNC milling 3-axis. RSM terdiri dari dua tahap yaitu percobaan orde pertama dan orde dua. Pada orde pertama percobaan dilakukan sebanyak tiga kali yaitu untuk penyaringan faktor (*screening factor*) menggunakan factorial desain, *steepest descent* dan percobaan ketiga untuk menguji kesesuaian model orde satu. Sedangkan pada orde kedua dilakukan percobaan sekali yaitu untuk *central composite design*. Pada penelitian ini factor awal yang diduga berpengaruh yaitu kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feedrate*) dan kedalaman potong (*depth of cut*) dengan masing-masing level faktor yaitu 70 dan 90 m/min, 0,1 dan 0,25 mm/min dan 0,22 dan 0,5 mm. Hasil dari penelitian ini yaitu percobaan dari orde satu diperoleh prediksi persamaan model  $y = 1,1447 - 0,158 x_1 + 0,064 x_2$  dengan faktor yang berpengaruh secara signifikan adalah kecepatan potong dan kecepatan pemakanan dengan respon tingkat kekasaran permukaan. Hasil proses pemotongan CNC milling 3-axis yang optimum diperoleh sebesar 0,9227  $\mu\text{m}$  dengan level factor untuk kecepatan potong dan kecepatan pemakanan adalah 110 m/min dan 0,225 mm/min.

**Kata kunci :** CNC milling 3-axis, *central composite design*, *Response Surface Methodology*, *steepest descent*.

## ABSTRACT

Each engine components, generally made of metal that has a shape diverse, through the machining process so as to produce the desired shape. In the process, setting the machining parameters namely cutting speed (*cutting speed*), speed Ingestion (*feedrate*) and the depth of cut (*depth of cut*) is important to do because of the high surface roughness can affect the metal surface is not shiny / opaque and rough. Therefore, the purpose of this study is to minimize the surface roughness (*surface roughness*) of low steel metal by using *Response Surface Methodology (RSM)* in the process of cutting by machine 3-axis CNC milling. RSM consists of two stages of the experiment the first-order and second order. In the first-order experiment performed three times for the screening of factors (*screening factor*) using a factorial design, the *steepest descent* and the third experiment to test the suitability of the model-order one. Meanwhile, on the order once the trial keduadilakukan for *central composite design*. In this study the initial factor that is thought to affect the cutting speed (*cutting speed*), Ingestion rate (*feedrate*) and depth of cut (*depth of cut*) with each factor level of 70 and 90 m / min, 0.1 and 0.25 mm / min and 0.22 and 0.5 mm. The results of this study is a trial of first-order model equation obtained  $y = 1.1447 - 0.158 x_1 + 0.064 x_2 + \epsilon$  by a factor which significantly affects the cutting speed and the speed of response rate Ingestion with surface roughness. The results of the process of cutting 3-axis CNC milling obtained the optimum level of 0.9227  $\mu\text{m}$  with a factor for cutting speed and the speed Ingestion is 110 m / min and 0.225 mm / min.

**Keywords :** CNC milling 3-axis, *central composite design*, *Response Surface Methodology*, *steepest descent*.

## 1. Pendahuluan

Pada tahun 2011 ini pelaksanaan praktikum di Laboratorium Sistem Produksi (LSiPro) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa tidak menggunakan material kayu, tetapi menggunakan material logam yaitu baja, sesuai dengan visi jurusan Teknik Industri Untirta “Mewujudkan Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa sebagai penyelenggara pendidikan, penelitian, dan pengabdian masyarakat yang berbasis industri baja terbaik se-Indonesia pada tahun 2012”

Proses pemesinan *milling* merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk pembuatan komponen. Proses pemesinan *milling* sering digunakan untuk membuat komponen yang mempunyai fitur berupa suatu *profil* dan juga *trajectory* yang kompleks dengan bentuk produk yang dihasilkan seperti cetakan (*mould*), gear, ragam. Mesin Milling yang dipakai di Laboratorium Sistem Produksi di Teknik Industri UNTIRTA adalah Mesin CNC 3-axis series KND-100M (M4) buatan Beijing, produksi tahun 2009. Dengan penambahan material kerja berupa logam, yaitu baja karbon rendah maka perlu adanya penentuan pengaturan parameter pemesinan seperti kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feedrate*), dan kedalaman potong (*depth of cut*). Penentuan nilai parameter pemesinan yang tidak tepat akan mengakibatkan buruknya hasil pemotongan pada permukaan logam (kekasaran permukaan (*surface roughness*) hasil pemotongan yang tinggi/buruk) dan kemungkinan terburuk yang akan terjadi yaitu patahnya pahat. Oleh karena itu parameter proses pemesinan *end mill* yang optimum perlu diketahui.

Berdasarkan Lou, *et.al* (1998), Yang *et.al* (2001) dan Suteja *et.al* (2008) serta Handoko dan Prayoga (2008) diperoleh parameter permesinan yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan. Parameter proses yang divariasikan pada penelitian ini adalah kecepatan pemotongan, kecepatan pemakanan dan kedalaman potong yang diselidiki pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan.

Pada penelitian ini untuk memperoleh hasil optimum pada kekasaran permukaan hasil proses akhir (*finishing*) menggunakan metode *response surface*. Karena dengan metode tersebut mampu memberikan gambaran kuantitatif pemilihan kombinasi parameter pemesinan yaitu kecepatan pemotongan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman potong untuk mendapatkan kekasaran permukaan hasil pemotongan yang optimum.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan, memperoleh nilai level faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan, mendapatkan model matematis yang dapat menggambarkan hubungan antara kecepatan pemotongan, kecepatan pemakanan dan kedalaman potong dengan kekasaran permukaan hasil pemotongan dan memperoleh nilai respon optimum dengan metode *response surface* agar mencapai tingkat kekasaran yang lebih baik.

## 2. Kajian Literatur

### 2.1 Mesin Milling

Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pisau, dan penyayatannya disebut mesin *milling*. Ada tiga jenis mesin *milling*, mesin *milling* vertikal sesuai dengan namanya memiliki sumbu spindel arah posisi vertikal. Demikian juga mesin *milling* horizontal yang memiliki sumbu spindel horizontal dan untuk mesin *milling* universal, posisi sumbu spindel dapat diubah-ubah secara horizontal maupun vertikal atau pada posisi sudut tertentu. Pengubahan arah spindel dapat dilakukan dengan memutar bagian kepala mesin. Lalu, mesin *milling* terbagi dua berdasarkan kendalinya, ada yang dikendalikan secara konvensional dan ada yang dengan bantuan CNC. Mesin konvensional manual posisi spindelnya ada dua macam yaitu horizontal dan vertikal. Mesin *milling* dengan kendali CNC hampir semuanya adalah mesin *milling* vertikal.

Parameter yang dapat di atur mesin Milling yaitu parameter yang dapat diatur secara langsung oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin. Parameter tersebut yaitu putaran spindel ( $n$ ), kecepatan pemakanan ( $f$ ), dan kedalaman potong ( $a$ ). Putaran spindel ( $n$ ) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pisau dan material benda kerja. Kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik (dalam satuan meter) pada selubung pisau dalam waktu satu menit.

## 2.2 Response Surface Method (RMS)

*Response Surface Methodology* (RSM) merupakan sebuah kumpulan matematik dan teknik statistik yang digunakan untuk modeling dan analisa masalah dimana sebuah respon terpengaruh oleh beberapa variabel dengan tujuan untuk mengoptimisasi sebuah respon (Montgomery, 2001 : 427). RSM merupakan metode *optimasi*, yaitu mengatur nilai variabel bebas atau *faktor* agar diperoleh nilai respon optimum, yaitu tertinggi atau terendah (Myers *et. al*, 2009) Perhitungan respon optimum dilakukan melalui optimasi model atau persamaan matematika yang menyatakan hubungan antara variabel respon dengan variabel predictor/bebas. Hubungan antara respon  $y$  dan variabel bebas  $x$  adalah:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad (2.1)$$

dengan:

$Y$  = variabel respon

$X_i$  = variabel bebas/ faktor ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ )

$\varepsilon$  = error

Adapun langkah-langkah pada *response surface methodology* (RSM) adalah sebagai berikut (Bradley, 2007) :

### 2.2.1 Rancangan Percobaan Orde Pertama

Tahap awal pada metode ini yaitu merancang percobaan orde pertama dengan tujuan untuk menyaring faktor yang berpengaruh dan mencari daerah optimum percobaan. Pada percobaan orde pertama, menemukan hubungan antara respon  $y$  dan faktor  $x$  melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan *first-order model* (model orde I):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i \quad (2.2)$$

Terdapat beberapa metode didalam percobaan orde pertama, yaitu metode faktorial yang digunakan untuk penyaringan faktor dan *steepest descent* untuk pencarian daerah optimum percobaan. Setelah tahapan pada percobaan orde pertama dilalui, selanjutnya yaitu pengujian ketidaksesuaian percobaan orde pertama, jika pada percobaan orde pertama tidak sesuai maka percobaan dilanjutkan ke tahap percobaan orde kedua

Berikut tahapan-tahapan pada percobaan orde pertama :

#### A. Rancangan Faktorial

Merupakan percobaan yang semua level sebuah faktor tertentu dikombinasikan (disilangkan) dengan semua level tiap faktor lainnya yang ada dalam percobaan. Lalu didalam rancangan faktorial terdapat *main effect* dan interaksi antar factor. *Main effect* yaitu perubahan variabel respon yang disebabkan oleh pengaruh dari level faktor, sedangkan pengaruh interaksi antar faktor yaitu perubahan variabel respon yang disebabkan oleh efek dari level faktor satu dengan level faktor yang lain.

#### B. Steepest Descent

Metode *steepest descent* adalah sebuah prosedur rangkaian pergerakan mendekati garis edar tahapan yang minimum, dalam arah pengurangan minimum dalam respon. Setiap faktor yang dilibatkan pada penelitian awal, ketika penelitian berakhir fungsi respon permukaan disesuaikan terhadap hasil dan digunakan untuk menentukan arah percobaan berikutnya. Apabila pendekatan ini digunakan untuk memaksimalkan suatu fungsi maka dinamakan metode *steepest ascent*. Sebagaimana dalam pendekatan satu faktor, nilai minimum ditemukan melalui berbagai seri percobaan dan hasil diperoleh adalah melalui percobaan sebelumnya, ketika suatu percobaan telah selesai selanjutnya yaitu merubah level percobaan ke level lain dari nilai faktor yang memberikan hasil minimum. Perhitungan pergerakan titik level suatu percobaan pada metode *steepest descent* dimulai dari sebuah persamaan linier, dimana persamaan tersebut diperoleh dari rancangan percobaan dengan level dan faktor percobaan awal.

### 2.2.2 Rancangan Percobaan Orde Dua

Model orde kedua adalah persamaan polinomial yang memiliki bentuk kuadrat biasanya terdapat kelengkungan dan digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik. Bentuk umum dari model orde kedua adalah sebagai berikut (Draper *et. al*, 1992)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (2.3)$$

dengan

$y$  = respon

$x_i$  = prediktor/ faktor

$b_i$  = koefisien prediktor

Dengan ditambahkan bentuk kuadrat pada persamaan model maka model orde kedua lebih kompleks. Oleh karena itu, tujuan pada percobaan kedua yaitu untuk mencari titik optimum permukaan respon. Metode yang digunakan pada percobaan orde kedua yaitu *central composite design* (CCD) dimana terdapat kombinasi perlakuan tambahan didalam rancangan percobaan CCD.

*Central composite design* (CCD) yaitu suatu rancangan percobaan dengan faktor yang terdiri dari dua level yang diperbesar titik-titik lebih lanjut yang memberikan pengaruh kuadrat. Biasanya CCD terdiri dari (Montgomery, 2001 : 456) faktorial  $2k$  atau faktorial fraksional resolusi V dengan banyaknya percobaan.

### 2.3 Menentukan Karakteristik Permukaan Respon

Penentuan karakteristik permukaan respon yaitu untuk mengetahui daerah optimum permukaan respon melalui gambar. Gambar yang akan ditunjukkan yaitu plot permukaan (*surface plot*) dan plot kontur (*plot contour*). *Surface plot* yaitu plot dalam bentuk tiga dimensi dan memiliki grafik permukaan yang sesuai dengan fungsi modelnya. Grafiknya dilukiskan dalam ruang berdimensi tiga dengan mengambil absis  $X_1$ , ordinat  $X_2$ , dan sumbu  $Y$  tegak lurus pada bidang  $X_1X_2$ . Hasilnya, suatu permukaan di ruang berdimensi tiga yang sulit digambarkan pada kertas (ruang berdimensi dua).

*Contour plot* adalah plot data dalam bentuk planar hasil interpretasi dari *surface plot* agar memudahkan dalam menganalisa hasilnya. Bila kita ambil permukaan respon  $Y = f(X_1, X_2)$ , respon  $Y$  karena prediktor  $X_1$  dan  $X_2$ . Bayangkan bahwa  $Y = f(X_1, X_2)$  bentuknya telah digambarkan dalam ruang berdimensi tiga. Bentuk ini dipotong oleh bidang datar, sejajar dengan bidang  $X_1X_2$ . Pada bidang potong itu terjadi lengkungan (terbuka, tertutup atau terputus-putus yang tergantung pada bentuk  $Y = f(X_1, X_2)$  asalnya) dan inilah yang disebut kontur.

### 2.4 Prediksi Titik Stasioner (*Stationery Point*)

Titik stasioner adalah sebuah titik level faktor dan respon dalam kondisi optimum. Titik stasioner dapat berupa maksimum, minimum, atau pelana (*saddle point*). Titik stasioner dapat ditentukan dari model orde kedua yang telah sesuai (tidak ada *lack of fit*). Dengan cara mendiferensialkan persamaan dan diperoleh titik stasioner ( $x_s, y_s$ ).

## 3. Metode Penelitian

Metodologi penelitian merupakan kerangka alur berfikir dan prosedur kerja yang sistematis dalam pelaksanaan penelitian. Penyelesaian permasalahan nyata pada penelitian ini membutuhkan aplikasi pemrograman komputer. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dibutuhkan *software* statistik. *Software* statistik, MINITAB akan digunakan untuk mengeksplorasi data dan mengolah data dengan metode *Response Surface* (RMS)

### 3.1 Sumber Data

Penelitian menggunakan mesin CNC 3-axis dengan notasi axis yaitu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Sumbu  $x$  dan  $y$  merupakan axis pergerakan *bed* mesin dan sumbu  $z$  adalah spindel. Mesin CNC milling yang digunakan adalah series KND-100M (M4) buatan Beijing, produksi tahun 2009. Dan benda kerja yang digunakan untuk objek penelitian adalah baja karbon rendah dengan dimensi  $100 \times 100 \times 10$  mm. Pahat yang digunakan adalah *end mill* HSS dengan ukuran diameter 10 mm 4 *flute*.

Faktor dan level yang digunakan pada masing-masing parameter adalah :

- Kecepatan potong (Faktor A) yang digunakan berdasarkan jenis material benda kerja & jenis material pahat pada proses akhir, yaitu 70 dan 90 m/menit.
- Kecepatan pemakanan (Faktor B) yang digunakan berdasarkan jenis pahat, yaitu 0,1 dan 0,25 mm/menit.
- Kedalaman potong (Faktor C) yang digunakan 0,22 mm. Tidak ada aturan pada kedalaman potong, tetapi penulis mengacu kepada hasil penelitian Suteja, *et.al.* (2008) dengan pertimbangan

material benda kerja yang digunakan sama yaitu baja karbon rendah. Dan dicoba meningkatkan kedalaman potong kurang lebih dua kali lipat dari harga yang telah diperoleh pada penelitian sebelumnya menjadi 0,5 mm. Maka, level faktor yang digunakan yaitu 0,22 dan 0,5 mm.

Respon yang diamati adalah tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*) hasil proses pemotongan pada mesin CNC milling 3-Axis.

Langkah-langkah percobaan

1. Siapkan benda kerja dan pahat
2. Letakkan benda kerja pada ragum dan pahat pada Coolant
3. Input parameter pemesinan dalam bentuk program ke dalam mesin
4. Simulasikan program sebelum pahat mengenai benda kerja langsung
5. Lakukan proses pemotongan
6. Lepas benda kerja dari Ragum
7. Bersihkan benda kerja dari oli dan kotoran lainnya hingga benar-benar bersih
8. Lakukan pengukuran terhadap hasil pemotongan menggunakan Roughness Tester
9. Catat nilai Roughness Average hasil pengukuran.

### 3.2 Cara Pengolahan Data

Untuk mencapai tujuan penelitian dilakukan analisis dengan langkah-langkah sebagai berikut : Setelah data diperoleh, selanjutnya yaitu pengolahan data hasil percobaan yang telah dilakukan. Pengolahan data menggunakan perhitungan manual serta dengan bantuan *software* Minitab 14.0.

#### 1. Penyaringan faktor (*screening factor*)

Faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap respon akan dilakukan pengujian agar dapat diketahui bahwa faktor yang diduga tersebut benar berpengaruh signifikan terhadap respon. Pengujian faktor-faktor menggunakan analisa varian (ANOVA) serta *normal probability plot*.

#### 2. Uji asumsi residual pada Anova

Uji asumsi dilakukan untuk mengetahui apakah analisa untuk pengujian hipotesa dapat dilanjutkan atau tidak. Analisa varian dapat dilanjutkan jika pengujian normalitas, uji homogenitas, dan uji independensi terpenuhi.

#### 3. *Steepest descent*

Metode *steepest descent* digunakan karena tujuan pada percobaan ini adalah meminimumkan respon. Level faktor yang digunakan pada percobaan sebelumnya mungkin masih jauh dari nilai optimum. Oleh karena itu, pencarian daerah optimum yang baru perlu dilakukan dengan menggunakan metode *steepest descent*.

#### 4. Uji ketidaksesuaian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan. Jika model percobaan orde pertama yang dihasilkan sesuai maka optimasi dapat dilakukan pada percobaan orde pertama, namun sebaliknya jika model tidak sesuai maka percobaan perlu dikembangkan dengan fungsi kuadratik dipercobaan orde kedua.

#### 5. Penentuan titik stasioner

Titik stasioner merupakan titik level faktor dan respon optimum. Titik tersebut dapat ditentukan dari model orde kedua yang telah sesuai.

### 3.3 Cara Menganalisa

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, selanjutnya yaitu menganalisa hasil percobaan. Sesuai dengan tujuan pada percobaan, yaitu :

A. Menentukan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon. Maka, analisisnya adalah sebagai berikut :

#### 1. Penyaringan faktor (*screening factor*)

Dengan menggunakan analisa varian (ANOVA) dan *normal probability plot*, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon dapat diketahui jika F hitung lebih besar dari F tabel atau p *value* kurang dari 0,05. Faktor-faktor yang berpengaruh signifikan akan kembali digunakan pada percobaan selanjutnya.

2. Uji asumsi residual

Analisa varian dapat dilanjutkan jika pengujian normalitas, uji homogenitas, dan uji independensi terpenuhi.

B. Memperoleh nilai level faktor optimum dengan metode *response surface*. Maka, analisisnya adalah sebagai berikut :

1. *Steepest descent*

Dengan menggunakan metode *steepest descent*, level faktor dan respon optimum baru dapat diperoleh dari hasil percobaan dengan nilai respon yang paling rendah. Dengan respon paling rendah tersebut, maka level faktor sebagai penyebabnya akan digunakan pada percobaan selanjutnya.

2. Uji Ketidaksesuaian

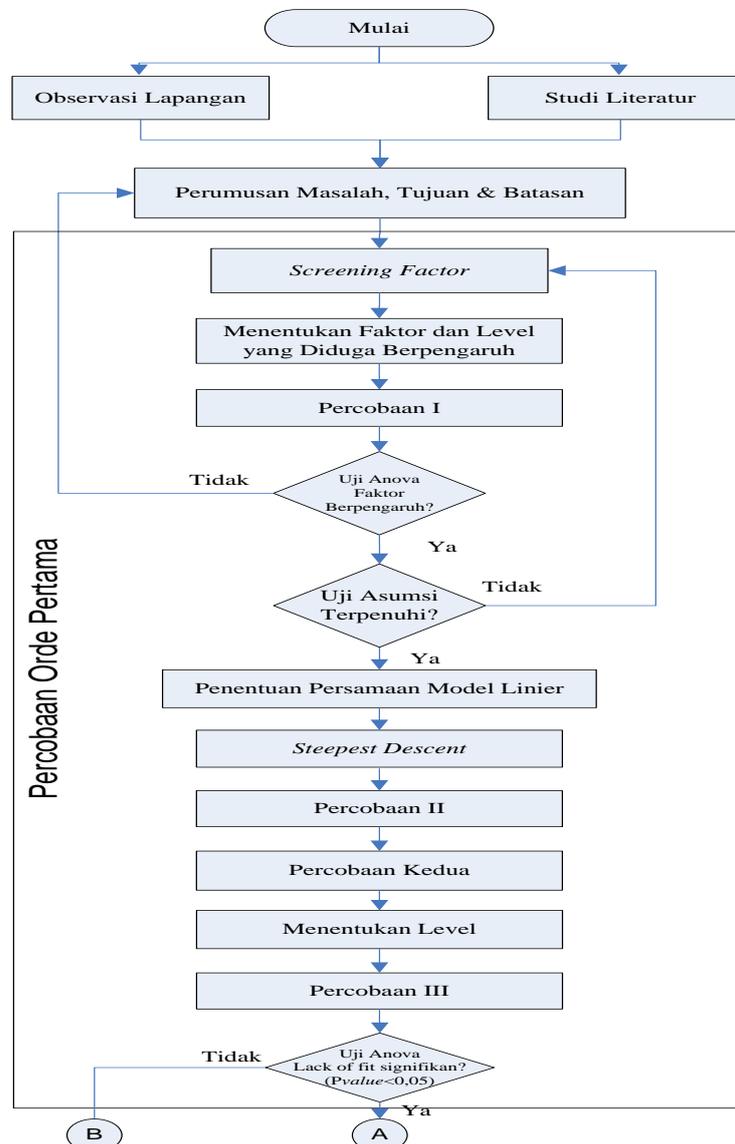
Model orde pertama dapat dikatakan sesuai jika tidak adanya *lack of fit* pada model. Jika model telah sesuai, maka model dapat dioptimasi.

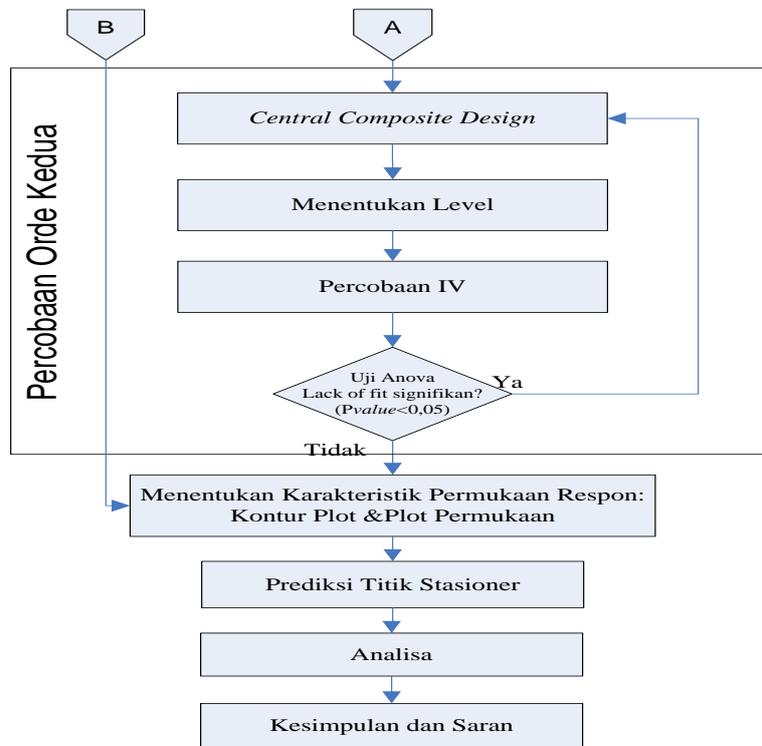
C. Memperoleh nilai respon optimum dengan metode *response surface*. Maka, analisisnya adalah sebagai berikut :

Penentuan titik stasioner

Titik stasioner dapat berupa maksimum, minimum, atau pelana (*saddle point*). Titik stasioner dapat diketahui berdasarkan perhitungan serta grafik plot kontur dan plot permukaan.

Langkah-langkah penelitian dibuat diagram alir sebagai berikut:





#### 4. Hasil dan Pembahasan

Rancangan percobaan pertama dengan RMS sebagai berikut

##### 1. Penyaringan Faktor-Faktor (*Screening Factor*)

Dengan menggunakan Fraksional factorial dilakukan desain percobaan pada Tabel 4.1 dan diperoleh hasil percobaan pada Tabel 4.2

Tabel 4.1 Desain Perancangan Pada *Screening Factor*

Fractional Factorial Design				
Factors:	3	Base Design:	3, 4	Resolution: III
Runs:	12	Replicates:	3	Fraction: 1/2
Blocks:	1	Center pts (total):	0	
Design Generators: C = AB				
Alias Structure				
I + ABC				

Tabel 4.2 Hasil Percobaan

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	respon(um)
3	1	1	1	-1	1	-1	2.808
8	2	1	1	1	1	1	2.005
11	3	1	1	-1	1	-1	3.292
9	4	1	1	-1	-1	1	2.001
12	5	1	1	1	1	1	1.718
2	6	1	1	1	-1	-1	0.829
6	7	1	1	1	-1	-1	1.064
7	8	1	1	-1	1	-1	3.935
10	9	1	1	1	-1	-1	1.203
4	10	1	1	1	1	1	2.006
1	11	1	1	-1	-1	1	2.596
5	12	1	1	-1	-1	1	1.807

Tabel 4.3 Anova Pengaruh Faktor Terhadap Respon

**Factorial Fit: respon(um) versus A, B, C**

Estimated Effects and Coefficients for respon(um) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2.1053	0.1072	19.63	0.000
A	-1.2690	-0.6345	0.1072	-5.92	0.000
B	1.0440	0.5220	0.1072	4.87	0.001
C	-0.1663	-0.0832	0.1072	-0.78	0.460

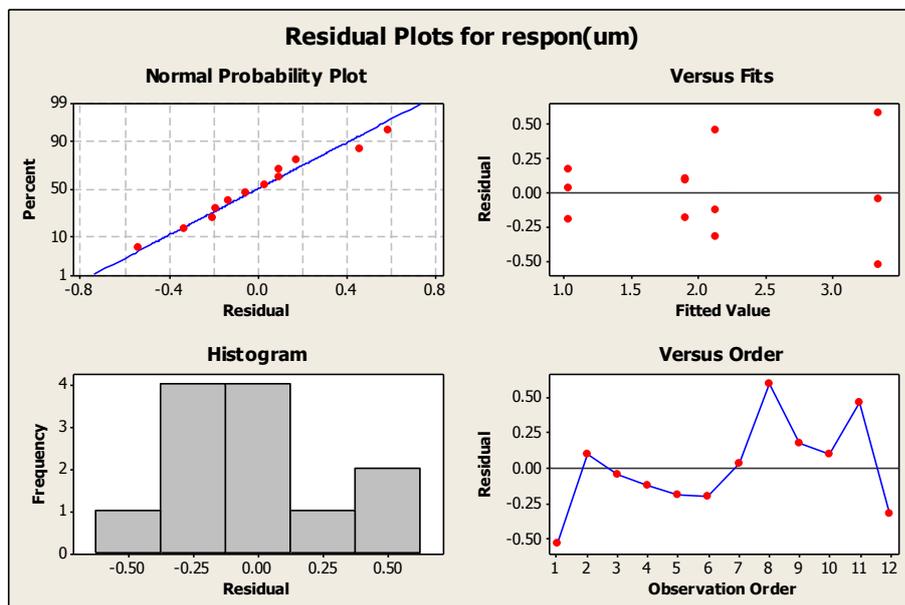
S = 0.371470      PRESS = 2.48381  
R-Sq = 88.11%      R-Sq(pred) = 73.26%      R-Sq(adj) = 83.66%

Analysis of Variance for respon(um) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	8.184	8.184	2.7280	19.77	0.000
Residual Error	8	1.104	1.104	0.1380		
Pure Error	8	1.104	1.104	0.1380		
Total	11	9.288				

H0 : Faktor A,B dan C tidak berpengaruh signifikan  
H1 : Faktor A,B dan C berpengaruh signifikan

Kesimpulan Ho ditolak karena  $p\text{ value} < 0,05$  dapat disimpulkan faktor A (kecepatan potong) dan faktor B (kecepatan pemakanan) berpengaruh signifikan sedangkan faktor C tidak berpengaruh karena  $p\text{ value} > 0,05$  dan uji asumsi anova sudah IIDN (Gambar 4.1)



Gambar 4.1 Uji Asumsi Anova IIDN

## 2. Steepest Descent

Metode *steepest descent* digunakan karena tujuan pada percobaan ini adalah meminimumkan respon. Level faktor yang digunakan pada percobaan sebelumnya mungkin masih jauh dari nilai optimum. Dengan respon paling rendah tersebut, maka level faktor sebagai penyebabnya akan digunakan pada percobaan selanjutnya.

Tabel 4.4 Persamaan Linier dengan Faktor – Faktor yang signifikan

The regression equation is					
$y = 2.11 - 0.634 x_1 + 0.522 x_2$					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	2.1053	0.1048	20.08	0.000	
x1	-0.6345	0.1048	-6.05	0.000	
x2	0.5220	0.1048	4.98	0.001	
S = 0.363153    R-Sq = 87.2%    R-Sq(adj) = 84.4%					

Dari Tabel 4.4 diperoleh persamaannya  $Y = 2,11 - 0,634 A + 0,522 B$ . Selanjutnya menghitung nilai delta dengan menjadikan  $\Delta A$  sebagai titik pergerakan diperoleh  $\Delta A = 1$   $\Delta B = 0,522/0,634 = 0,823$ . Percobaan ke-2 dilakukan untuk mengetahui nilai respon minimum yang dihasilkan dari kombinasi faktor yang berpengaruh signifikan dan menentukan level faktor baru dari respon yang paling kecil. Dari Tabel 4.5 diperoleh minimum respon di titik 100 dan 0.3 sehingga Faktor A (kecepatan potong) berada di level 90 dan 110 m/min sedangkan faktor B (kecepatan pemakanan).di level 0,225 dan 0,375 mm/min.

Tabel 4.5 Kenaikan level dengan *Steepest Descent*

step	coded		Natural		response
	Variabel		Variabel		
origin	A	B	A	B	
origin	0	0	80	0,175	
$\Delta$	1	0,823	10	0,062	
origin + $\Delta$	1	0,823	90	0,237	0,982
origin + 2 $\Delta$	2	1,646	100	0,3	0,898
origin + 3 $\Delta$	3	2,469	110	0,362	0,899
origin + 4 $\Delta$	4	3,292	120	0,424	1,026
origin + 5 $\Delta$	5	4,115	130	0,487	1,318

### 3. Percobaan ke 3 di Orde 1

Merupakan Uji ketidaksesuaian model orde 1 menggunakan faktor dan level *Steepest Descent* (Tabel 4.6) dengan melakukan desain percobaan pada Tabel 4.7 dan hasilnya di Tabel 4.8 .

Tabel 4.6 Faktor dan level dengan *Steepest Descent*

faktor	satuan	level	
		low	high
kecepatan potong	m/min	90	110
kecepatan pemakanan	mm/min	0,225	0,375

Tabel 4.7 Desain Perancangan Pada Percobaan ke-3

<b>Full Factorial Design</b>			
Factors:	2	Base Design:	2, 4
Runs:	4	Replicates:	1
Blocks:	1	Center pts (total):	0

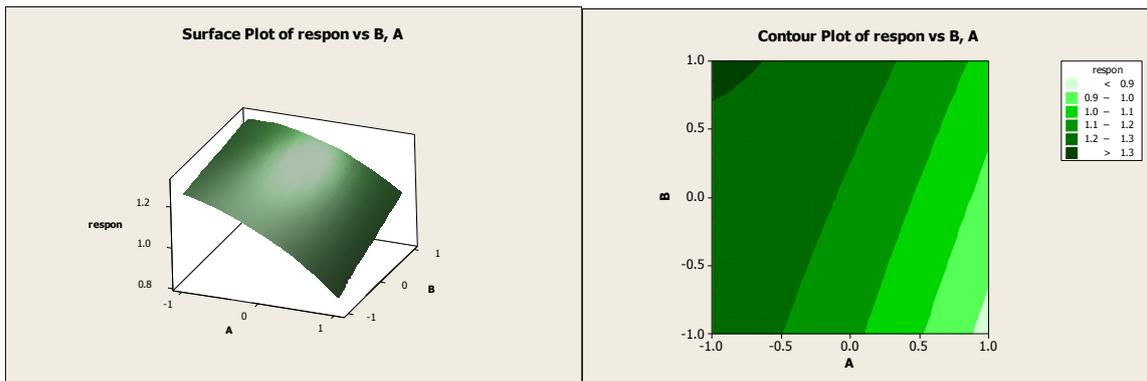
Tabel 4.8 Hasil Percobaan ke-3 pada Orde 1

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	respon
9	1	0	1	0	0	1.176
6	2	0	1	0	0	1.202
7	3	0	1	0	0	1.16
2	4	1	1	1	-1	0.864
5	5	0	1	0	0	1.212
3	6	1	1	-1	1	1.308
1	7	1	1	-1	-1	1.252
8	8	0	1	0	0	1.164
4	9	1	1	1	1	1.064

Tabel 4.9 Anova pada uji *Lack Of Fit*

Response Surface Regression: respon versus A, B						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for respon						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	1.14467	0.01035	114.324	0.000		
A	-0.15800	0.01157	-13.659	0.001		
B	0.06400	0.01157	5.533	0.044		
S = 0.05031      R-Sq = 88.4%    R-Sq(adj) = 84.6%						
Analysis of Variance for respon						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.116240	0.116240	0.058120	22.97	0.002
Linear	2	0.116240	0.116240	0.058120	22.97	0.002
Residual Error	6	0.015184	0.015184	0.002531		
Lack of Fit	2	0.008883	0.008883	0.004442	2.82	0.172
Pure Error	4	0.006301	0.006301	0.001575		
Total	8	0.131780				

Berdasarkan Tabel 4.9 diperoleh *Lack of fit* dengan nilai *p value* 0,172 atau lebih dari 0.05 berarti percobaan ini sudah sesuai modelnya di orde pertama sehingga dapat digunakan menentukan titik optimum tanpa dilanjutkan RSM untuk orde ke-2. Karakteristik permukaan respon dapat diketahui pada Gambar 4.2 daerah optimum berada di level tinggi untuk faktor A (kecepatan potong) dan level rendah untuk Faktor B (kecepatan pemakanan). Dan berdasarkan Tabel 4.9 diperoleh persamaan  $y = 1,1447 - 0,158 x_1 + 0,064 x_2$  Nilai respon optimum yaitu tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*) hasil proses pemotongan pada mesin CNC milling 3-Axis adalah 0,9227  $\mu\text{m}$



Gambar 4.2 Surface Plot dan Contour Plot

## 5. Simpulan

1. Dari ketiga faktor yang diduga berpengaruh adalah kecepatan potong, kecepatan pemakanan dan kedalaman potong, yang berpengaruh signifikan hanya kecepatan potong dan kecepatan pemakanan.
2. Level faktor kecepatan potong dan kecepatan pemakanan yang optimal secara berurutan adalah 110 m/min dan 0,225 mm/min.
3. Nilai respon optimum yaitu tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*) hasil proses pemotongan pada mesin CNC milling 3-Axis adalah  $0,9227 \mu\text{m}$   $y = 1,1447 - 0,158 x_1 + 0,064 x_2 + \varepsilon$

## 6. Daftar Pustaka

- Bradley.N 2007. *The Response Surface Methodology*. Master's Thesis Department of Mathematical Sciences Indiana University of South Bend.
- Draper, Norman dan Smith, 1992. *Analisis Regresi Terapan* Edisi Kedua. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Handoko dan Prayoga. 2008. Studi Parameter Permesinan Optimum Pada Operasi CNC End Milling Surface Finish Bahan Alumunium. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin* Vol 5, hal. 56 -64.
- Lou, Mike S. Chen, Joseph C. dan Li, Caleb M. 1998. Surface Roughness Prediction Technique For CNC End-Milling. *Journal of Industrial Technology*, vol. (15) no. 1, hal 87-97
- Montgomery, D.C. 2001. *Design and Analysis of Experimental*. John Wiley & sons, Inc. New York.
- Myers, Raymond H. dan Montgomery D.C. dan Cook, Christine M., Anderson. 2009. *Response Surface Methodology : Process and Product Optimization Using Designed Experiments – 3rd Edition*. John Wiley & Sons, Inc. USA
- Suteja, T.J, Susila. dan Aquarista. 2008. Optimasi Permesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology. *Jurnal Teknik Mesin* vol. (10) no. 1, 1-7
- Yang, J.L., dan Chen, J.C. 2001. A Systematic Approach for Identifying Optimum surface Roughness Performance in End-Milling Operations. *Journal of Industrial Technology*, vol. (17) no.