



OPTIMASI DESAIN PARAMETER UNTUK MENGHILANGKAN CACAT OVALITY PADA PROSES PEMESINAN PEMBUATAN PRODUK WELLHEAD

*Optimization of Design Parameter to Avoid Ovality Defect in Machining Process
to Produce Wellhead Products*

Rafiansyah Putra^{1*} dan Mahfudz Al Huda²

¹Universitas Batam, Jl. Uniba No. 5 Batam, Indonesia

²Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jl. Borobudur No. 7 Jakarta, Indonesia

Informasi artikel

Diterima: 07/04/2020

Direvisi : 21/06/2020

Disetujui: 24/06/2020

Abstrak

Produk *Wellhead* digunakan sebagai penutup kepala sumur setelah pengeboran minyak selesai dilakukan. Produk ini dibuat dengan proses *turning* dan *milling*. Permasalahan yang dihadapi adalah masih ditemukan cacat dimensi *ovality* proses pemesinan. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan *setting* parameter optimum dari proses pemesinan *turning* dan *milling* dengan model persamaan regresi yang optimal. Parameter yang ditentukan adalah Kecepatan Potong (V_c), Kecepatan Pemakanan (f), dan Kedalaman Potong (A_p). Dengan metode *experimental* yang dilakukan dengan mengambil 20 sampel produk dengan *setting* parameter yang berbeda-beda. Hasil percobaan yang dilakukan, pada proses *turning* parameter yang paling berpengaruh terhadap *ovality* adalah kedalaman potong (A_p), dan pada proses *milling* adalah Kecepatan Potong (F). Selanjutnya dilakukan analisa dengan metode *Surface Response* untuk mendapatkan persamaan regresi optimal untuk *ovality*.

Kata Kunci: *wellhead, ovality, turning, milling, surface response.*

Abstract

Wellhead products used as a head covering wells after drilling is completed. These products are made from raw material with main process is machining, turning and milling. Problem faced at the moment is still found defective ovality dimension, i.e. the diameter of the product is elliptical (oval) after the machining process. This study was conducted to determine the optimum parameter settings from turning and milling machining process with the optimal regression model. Specified parameter is Cut Speed (V_c), Ingestion Speed (f), and the depth of cut (A_p). With experiments method, carried out by taking 20 samples with machining by setting different parameters. Result of the experiment shows influencer parameter for turning Process is depth of cut (A_p) and for milling process is ingestion speed (f). Further analysis by Response Surface method to obtain the optimal regression equation for ovality.

Keywords: *wellhead, ovality, turning, milling, surface response.*

*Penulis Korespondensi. Tel: 0778 3553 953 Handphone: 0812 7003 832
email : rafiansyah.putra@yahoo.com

Penelitian ini menghususkan produk *Wellhead* (lihat Gambar 2) sebagai obyek penelitian, karena produk ini sangat berperan penting dalam sistem penyelesaian akhir proses pengeboran minyak. Sementara untuk *Christmas Tree* sendiri, posisinya diletakkan setelah instalasi *Wellhead* selesai. Sehingga tidak terlalu berpengaruh secara sistem keseluruhan.

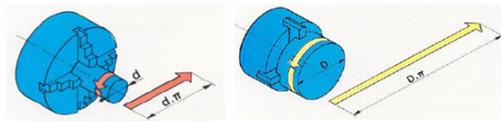
Parameter Proses Pemesinan

Ada tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar *spindel* (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*) Nowag dan Brinksmeier, 2007). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada mesin bubut.

Kecepatan Putar, *n* (*speed*) selalu dihubungkan dengan spindel (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute*, rpm), hal ini menggambarkan kecepatan putarannya. Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*Cutting speed* atau *V*) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja. Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar (Rochim,1993) :

$$V = \frac{\pi d n}{1000} \tag{1}$$

Dimana *V* = kecepatan potong (mm/menit), *d* = diameter benda kerja (mm), *n* = putaran benda kerja (putaran/menit = rpm)

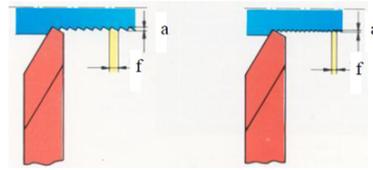


Gambar 3 Panjang Muka Benda Kerja yang dilalui Pahat Per Putaran (Myers et al., 2016)

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja. Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan nilai kecepatan potong (lihat gambar 3). Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan

potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat.

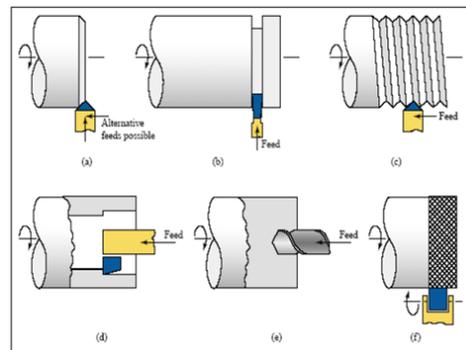
Gerak Makan, *f* (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali, sehingga satuan *f* adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasar kan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong *a*. Gerak makan tersebut berharga sekitar 1/3 sampai 1/20 *a*, atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang diinginkan (lihat gambar 4) (Myers et al., 2016).



Gambar 4 Gerak makan (*f*) dan kedalaman potong (*a*) (Myers et al., 2016)

Kedalaman Potong, *a* (*depth of cut*), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong. Ketika pahat memotong sedalam *a*, maka diameter benda kerja akan berkurang *2a*, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar.

Gamabr 5 memperlihatkan berbagai jenis proses yang dapat dilakukan pada mesin bubut.

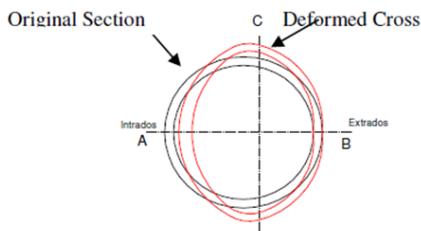


Gambar 5 Proses Pemesinan Pada Mesin Bubut; (A) Pembubutan *Champer* (*Chamfering*); (B) Pembubutan Alur (*Parting-Off*); (C) Pembubutan Ulir (*Threading*); (D) Pembubutan Lubang (*Boring*); (E) Pembuatan Lubang (*Drilling*); (F) Pembuatan Kartel (*Knurling*) (Myers et al., 2016).

Cacat Ovality

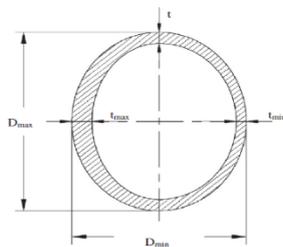
Beberapa cacat (defect) dari hasil proses pemesinan turning adalah: dimensi hasil pengukuran diluar spesifikasi, *hardness* yang tidak sesuai, kekasaran permukaan, *Linear Indication*, dan *ovality* (lonjong/oval) pada bagian dalam diameter. Ovality didefinisikan sebagai deviasi dari hasil pengukuran dari lingkaran yang biasanya ditunjukkan oleh perbedaan ukuran pada salah satu sisi yang diukur dari spesifikasi minimum dan maksimum, umumnya diukur dari posisi 90°, dari titik vertikal dan horizontal.

Kale dan Thorat (Kale dan Thorat, 2014) mengilustrasikan terjadinya *ovality* akibat terjadinya perbedaan dia meter seperti ilustrasi pada gambar 6.



Gambar 6 Terjadinya Deviasi dari Diameter Produk (Kale dan Thorat, 2014)

Tingkat dari ovality ditentukan oleh perbedaan diameter dalam minimum dan maksimum dibagi dengan nilai diameter yang sebenarnya (lihat gambar 7).



Gambar 7 Ilustrasi Persentasi terjadinya Ovality (Kale dan Thorat, 2014)

Sehingga persentase dari ovality dapat dihitung dengan persamaan berikut ini (Kale dan Thorat, 2014):

$$C_0 = \frac{D_{Max} - D_{Min}}{D} \times 100 \quad (2)$$

dimana C_0 = *Percent ovality*, D = Diameter, $D = (D_{Max} + D_{Min}) / 2$, D_{Max} = Deviasi diameter maksimal, D_{Min} = Deviasi diameter minimal.

$$C_{th} = (t_{Max} - t) / t \times 100 \quad (3)$$

dimana, C_{th} = *Thickness percent ovality*, t = *thickness*

Dari studi literatur yang dilakukan, pre-dominant faktor yang mempunyai pengaruh sangat dominan dalam kesalahan dimensi pada proses pemesinan adalah (Kumar dan Kumar, 2016):

- a. Kecepatan Potong / Cutting Speed (V_c)
- b. Jarak Potong / Feed Rate (F)
- c. Kedalaman Potong / Depth of Cut (A_p)

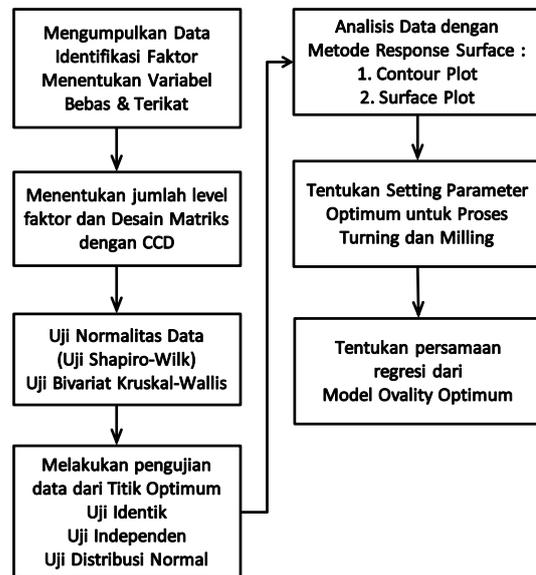
Sehingga persamaan untuk besarnya ovality dapat diekpresikan melalui persamaan berikut (Ghetiya, 2014):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{i^2} \cdot X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \epsilon \quad (4)$$

Dimana Y = Ovality, X_i = Faktor-faktor, β = Konstanta koefesien, ϵ = Random Error.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode optimasi desain eksperimen, dengan bantuan software Minitab17, yaitu Central Composite Design (CCD). Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

Metode dan langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini secara umum adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur untuk membandingkan hasil analisa secara teoritis dengan aplikasi dilapangan.
2. Melakukan survei lapangan untuk mendapatkan informasi proses, karakteristik mesin, dan variabel-variabel yang berpengaruh.
3. Menentukan jumlah dan range level setiap variabel.

4. Melakukan eksperimen untuk pengam bilan data.
5. Melakukan analisa data hasil eksperimen.
6. Menentukan variable-variable yang optimum berdasarkan metode yang telah ditentukan..
7. Melakukan analisa berdasarkan hasil yang diperoleh.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Metode *Surface Response* (RSM) dengan bantuan *software* Minitab17 (Zhen et al., 2013; Ranganath dan Vipin, 2014; Subramanian et al., 2013). Adapun langkah-langkah pengolahan data yang dilakukan adalah:

1. **Perhitungan dan pengolahan data secara statistik.**Perhitungan dan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab17.
2. **Melakukan Uji Normalitas.** Uji Normalitas data pengukuran menggunakan metode Uji Shapiro-Wilk karena percobaan dilakukan sebanyak 20 kali (data sedikit < 80) dan confidence interval yang digunakan 95%. Dasar pengambilan keputusan dalam Uji Normalitas Shapiro-Wilk :
 - a. Jika nilai Sig. Value > 0.05, maka data berdistribusi normal
 - b. Jika nilai Sig. Value < 0.05, maka data tidak berdistribusi normal
3. **Melakukan Uji Bivariat Kruskal-Wallis.** Uji Bivariat Kruskal-Wallis bertujuan untuk mendapatkan titik pengukuran yang paling berpengaruh terhadap ovality pada proses *turning* dan *milling*. *Software* yang digunakan adalah SPSS-17.
4. **Menentukan titik pengukuran paling berpengaruh terhadap Ovality.** Selanjutnya ditentukan titik pengukuran yang paling berpengaruh pada proses *turning* dan *milling*.
5. **Melakukan analisa *Surface Response* untuk proses *turning*.** Analisa *Surface Response* dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab17 untuk mendapatkan model *ovality* optimum, yaitu persamaan regresi optimal untuk proses *turning*.
6. **Melakukan analisa *Surface Response* untuk proses *milling*.** Selanjutnya metode yang sama digunakan dengan langkah 5 untuk mendapatkan model *ovality* optimum, yaitu persamaan regresi optimal untuk proses *milling*.

7. **Menentukan model *ovality* optimum** melalui sebuah persamaan regresi optimal dari proses *turning* dan *milling*.

Setting parameter pada penelitian ini menggunakan 3 level kemampuan mesin, yaitu minimum (-1), tengah (0), dan maksimum (+1). Dari ketiga parameter yang akan diukur, nilai yang ditetapkan berdasarkan pengalaman setting mesin untuk produk yang dibuat dan kemampuan mesin berdasarkan data yang diperoleh selama proses produksi berlangsung yang telah lalu.

Dari hasil diskusi dan pengolahan data produksi, maka ditentukan *setting* parameter untuk percobaan ini adalah seperti pada tabel 2, 3, 4 dan 5 tabel berikut ini:

Tabel 2 Setting Parameter untuk Proses Turning

No.	Parameter	Unit	Levels		
			[-1]	[0]	[+1]
1	Kecepatan Potong (Vc)	m/min	79	105	132
2	Kecepatan Pemakanan (F)	mm/rev	0.127	0.254	0.508
3	Kedalaman Potong (Ap)	mm	0.762	1.270	1.778
		rpm	60	80	100

Tabel 3 Desain Matriks untuk Proses Turning

Percobaan	Vc	F	Ap	PO#
1	[+1]	[-1]	[-1]	329079
2	[-1]	[-1]	[+1]	329080
3	[0]	[0]	[0]	329081
4	[+1]	[-1]	[+1]	329082
5	[+1]	[+1]	[+1]	329083
6	[0]	[0]	[+1]	329084
7	[0]	[0]	[0]	329085
8	[+1]	[0]	[0]	329086
9	[0]	[0]	[0]	329087
10	[+1]	[+1]	[-1]	329088
11	[-1]	[0]	[0]	329503
12	[0]	[+1]	[0]	329504
13	[0]	[0]	[0]	329505
14	[0]	[0]	[-1]	329506
15	[0]	[0]	[0]	329507
16	[0]	[0]	[0]	329508
17	[-1]	[-1]	[-1]	329509
18	[-1]	[+1]	[-1]	329510
19	[-1]	[+1]	[+1]	329511
20	[0]	[-1]	[0]	329512

Tabel 4 Setting parameter untuk proses Milling

No.	Parameter	Unit	Levels		
			[-1]	[0]	[+1]
1	Kecepatan Potong (Vc)	m/min	140	180	220
2	Kecepatan Pemakanan (F)	mm/rev	0.510	1.016	1.524
3	Kedalaman Potong (Ap)	mm	0.254	0.762	1.524
		rpm	279	358	438

titik 10 (18.56%), dan titik 13 (24.17%), maka ketiga titik tersebut yang digunakan sebagai analisis selanjutnya, karena pada titik inilah dilakukan proses *milling* dengan jumlah pemakanan terbesar dan diduga berdampak terhadap *ovality*.

Selanjutnya dari ketiga parameter yang berpengaruh tersebut, akan dilakukan Uji Normalitas (dengan metode Shapiro-Wilk, karena perlakuan dilakukan sebanyak 20 kali (data sedikit <80) dan confidence interval yang digunakan 95%, maka diperoleh nilai P-value <0.05.), dan Uji Kruskal Wallis untuk mengetahui titik paling berpengaruh. Sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 7 dan 8.

Tabel 7 Uji Bivariabel Kruskal Wallis pada Kedalaman Potong Mesin 1 (*Turning*)

Ranks		
DP1kat	N	Mean Rank
O2	0.030	5
	0.050	10
	0.070	5
	Total	20
O7	0.030	5
	0.050	10
	0.070	5
	Total	20
O14	0.030	5
	0.050	10
	0.070	5
	Total	20

Test Statistics ^{a,b}			
	O2	O7	O14
Chi-square	1.163	.591	7.981
df	2	2	2
Asymp. Sig.	.559	.744	0.018

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: DP1kat

Uji Kruskal Wallis pada titik pengukuran 2,7, dan 14 menunjukkan nilai P-value = 0.559, 0.744 dan 0.018. Pada titik pengukuran ke 14 nilai P-value < 0,05 (lihat tabel 7)

Kesimpulannya Terdapat hubungan yang signifikan antara kedalaman potong terhadap *ovality* dengan nilai P-value = 0.018 pada titik pengukuran 14.

Uji Kruskal Wallis pada titik pengukuran 8, 10, dan 13 menunjukkan nilai P-value = 0.022, 0.431 dan 0.105. Pada titik pengukuran ke 8 nilai P-value < 0,05 (lihat tabel 8).

Kesimpulannya Terdapat hubungan yang signifikan antara kecepatan pemakanan dengan *ovality* pada titik pengukuran 8 (P-value=0.022)

Tabel 8 Uji Bivariabel Kruskal Wallis pada Kecepatan Pemakanan Mesin 2 (*Milling*)

Ranks			
VM2kat	N	Mean Rank	
O8	0.02	5	14.10
	0.04	10	7.00
	0.06	5	13.90
	Total	20	
O10	0.02	5	9.70
	0.04	10	9.45
	0.06	5	13.40
	Total	20	
O13	0.02	5	11.40
	0.04	10	8.00
	0.06	5	14.60
	Total	20	

Test Statistics ^{a,b}			
	O8	O10	O13
Chi-square	7.628	1.681	4.506
df	2	2	2
Asymp. Sig.	0.022	.431	.105

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: VM2kat

Analisa Metode *Surface Response*

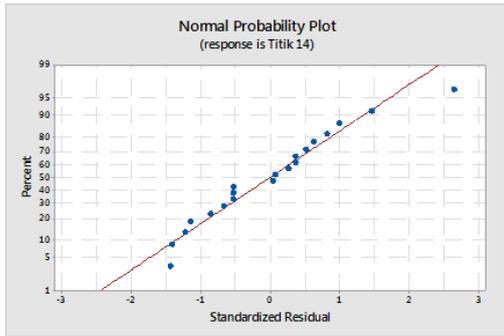
Hasil analisa dengan metoda bivariat Kruskal Wallis, didapatkan bahwa titik pengukuran yang berpengaruh pada Mesin 1 (proses *Turning*) adalah titik 14 dan pada Mesin 2 (proses *Milling*) adalah titik 8. Selanjutnya analisa *Surface Response* dan pemodelan *Ovality* akan ditentukan dari kedua titik pengukuran tersebut. Analisa hasil pengukuran menggunakan standar Normal is the Best. Semakin hasil pengukuran berada di titik tengah spesifikasi, maka hasil pengukuran semakin bagus.

1. Analisa *Surface Response* pada proses *Turning*

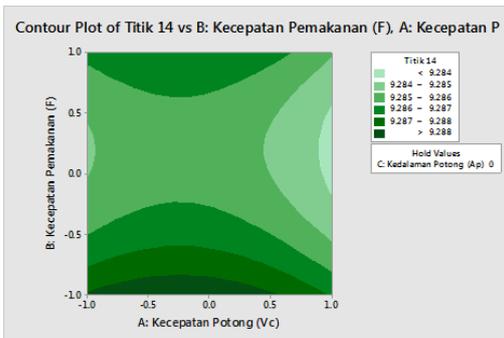
Dari data analisa bivariat dengan metode Kruskal Wallis, didapatkan titik pengukuran yang paling berpengaruh terhadap *Ovality* adalah pada titik pengukuran 14. Suatu model persamaan full quadratic yang paling fleksibel digunakan adalah sebagai berikut (Subramanian et al., 2013):

$$E(\text{Response}) = \beta_0 + \beta_A \text{FactorA} + \beta_B \text{FactorB} + \beta_{A^2} \text{FactorA}^2 + \beta_{B^2} \text{FactorB}^2 + \beta_{AB} \text{FactorA} * \text{FactorB} \tag{5}$$

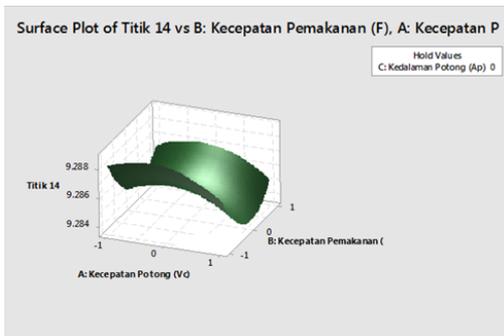
Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan uji didtribusi data pada titik perpengaruh yang telah ditentukan dengan melakukan Uni Independen, Uji Identik, dan Uji Distribusi Normal (lihat gambar 10).



Gambar 10 Normal Probability Plot Turning



(a)



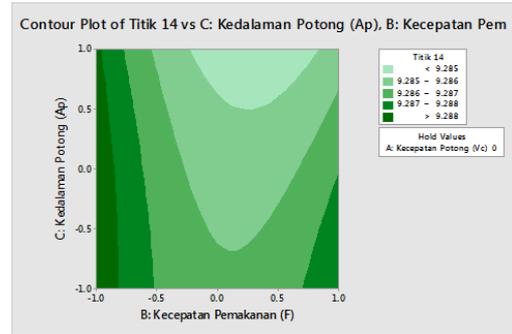
(b)

Gambar 11 Grafik Kecepatan Potong (Vc) vs Kecepatan Makan (f) Turning; (a) Contour Plot; (b) Surface Plot

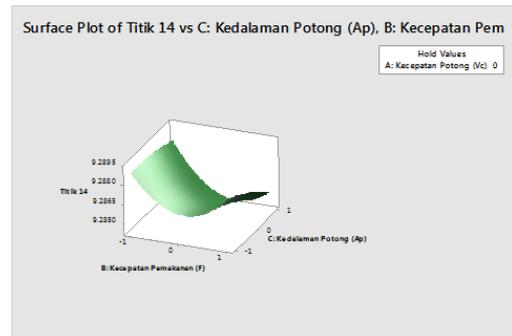
Gambar 11.a dan 11.b, memperlihatkan grafik plot *surfaces* menampilkan plot *contour* dalam tiga dimensi. Sama halnya dengan plot kontur, terlihat pada grafik diatas bahwa *ovality* akan semakin normal apabila kecepatan makan berada pada level 0 sampai ke level -1 (79-105 m/min) sedang kan kecepatan makan berada antara level -1 (0.127 mm/rev).

Gambar 12.a dan 12.b, memperlihatkan grafik plot *surface* dan plot kontur dalam tiga dimensi. Sama halnya dengan plot kontur, terlihat pada grafik diatas bahwa *ovality* akan semakin normal apabila kecepatan makan berada pada level -1 (0.127 mm/rev)

sedang kan kedalaman potong berada antara level -1 (0.762 mm).

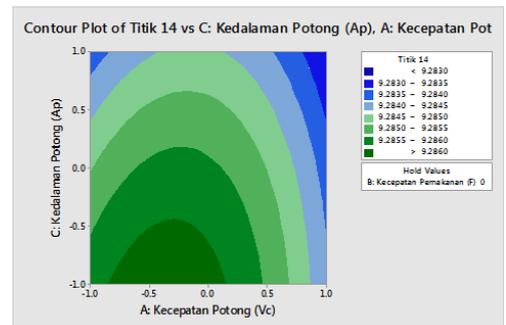


(a)

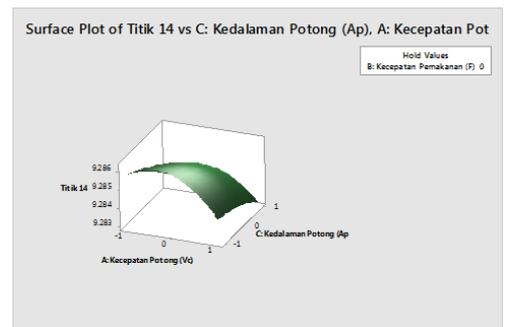


(b)

Gambar 12 Grafik Kecepatan Makan (f) vs Kedalaman Potong (ap) Turning; (a) Contour Plot; (b) Surface Plot



(a)



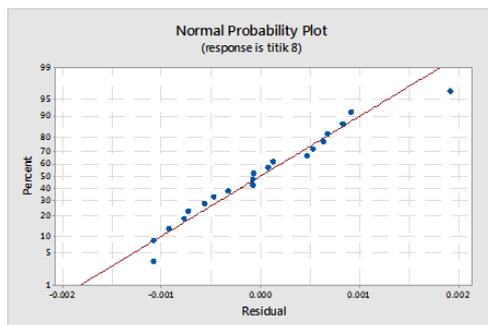
(b)

Gambar 13 Kecepatan Potong (Vc) vs Kedalaman Potong (ap) Turning; (a) Contour Plot; (b) Surface Plot

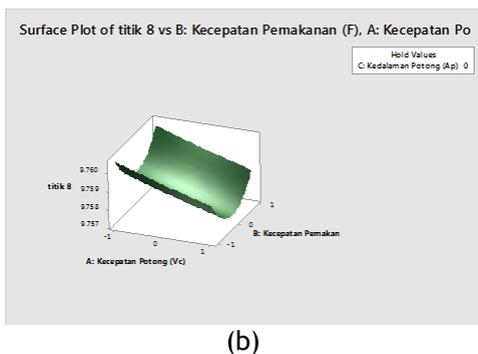
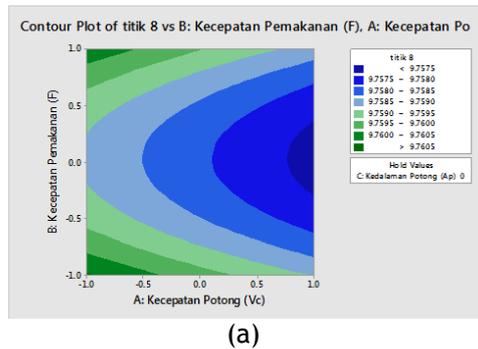
Grafik plot surface dalam gambar 13.a dan 13.b, menampilkan plot *contour* dalam tiga dimensi. Sama halnya dengan plot kontur, terlihat pada gambar diatas bahwa *ovality* akan semakin normal apabila kecepatan potong berada pada level --1 (79 m/min) sedangkan kedalaman potong berada pada level -1 (0.762 mm).

2. Analisa Surface Response pada proses Milling

Sama seperti langkah proses pada mesin *turning*, maka untuk mesin Milling juga dilakukan Uji Independen, Uji Identik, dan Uji Distribusi Normal pada hasil pengukuran titik 8.

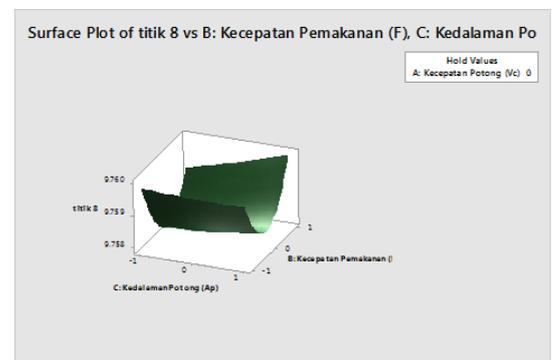
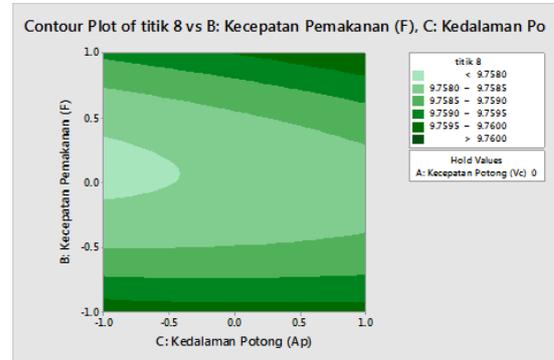


Gambar 14 Normal Probability Plot Milling



Gambar 15 Grafik Kecepatan Potong (Vc) vs Kecepatan Makan (f) Milling; (a) Contour Plot; (b) Surface Plot

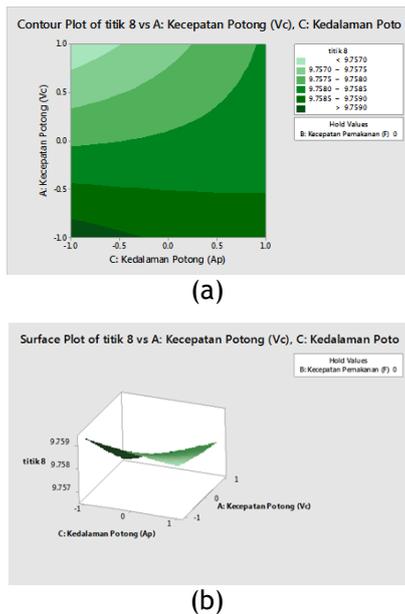
Grafik plot *surface* dalam gambar 15.a dan 15.b, menampilkan plot *contour* dalam tiga dimensi. Sama halnya dengan plot kontur, terlihat pada gambar diatas bahwa *ovality* akan semakin normal apabila kecepatan potong berada pada level -1 (140 m/min) sedangkan kecepatan makan berada antara level -1 (0.510 mm/rev).



Gambar 16 Grafik Kecepatan Makan (f) vs Kedalaman Potong (ap) Milling; (a) Contour Plot; (b) Surface Plot

Grafik plot surface pada gambar 16.a dan 16.b, menampilkan plot *contour* dalam tiga dimensi. Sama halnya dengan plot *contour*, terlihat pada gambar diatas bahwa *ovality* akan semakin normal apabila kecepatan makan berada pada level +1 (1.524 mm/rev) sedangkan kecepatan potong berada antara level +1 (1.524 mm).

Grafik plot surface dalam gambar 17.a dan 17.b, menampilkan plot kontur dalam tiga dimensi. Sama halnya dengan plot kontur, terlihat pada gambar diatas bahwa *ovality* akan semakin normal apabila kecepatan potong berada pada level -1 (140 m/min) sedangkan kedalaman potong berada antara level -1 (0.254 mm).



Gambar 17 Kecepatan Potong (Vc) vs Kedalaman Potong (ap) Milling; (a) *Contour Plot*; (b) *Surface Plot*

Dengan menggunakan analisa Surface Response, maka didapatkan setting parameter optimum sebagai berikut :

$$\text{Ovality Titik 14} = 9.28595 + 0.00140 (Vc) + 0.00110 (F) - 0.00280 (Ap) - 0.00214 (Vc)^2 + 0.00136 (F)^2 - 0.00114 (Ap)^2 - 0.00250 (Vc) (F) + 0.00275 (Vc) (Ap) + 0.00200 (F) (Ap)$$

$$\text{Ovality Titik 8} = 9.75808 - 0.000800 (Vc) - 0.000100 (F) + 0.000200 (Ap) + 0.000045 (Vc)^2 + 0.001545 (F)^2 + 0.000045 (Ap)^2 + 0.0 (Vc) (F) + 0.000500 (Vc) (Ap) + 0.000250 (F) (Ap)$$

4. SIMPULAN

Dari percobaan dan pengolahan data yang telah dilakukan dengan setting parameter yang telah ditentukan untuk proses *turning* dan *milling*, maka dapat ditarik kesimpulan, bahwa Hasil Uji Bivariat untuk proses *Turning*, parameter yang paling berpengaruh terhadap *ovality* adalah Kedalaman Potong (ap) dengan *significancy value* sebesar 0.018. Sedangkan hasil uji Bivariat untuk proses *milling*, parameter yang paling berpengaruh terhadap *ovality* adalah Kecepatan Pemakanan (f) dengan *significancy value* sebesar 0.022. Untuk proses pemesinan *turning*, titik pengukuran yang paling berpengaruh terhadap *ovality* adalah pada titik pengukuran 14. Dan pada proses *milling*, titik pengukuran yang paling berpengaruh adalah pada titik 8.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Aker Solutions yang telah memberikan informasi dan fasilitas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ghetiya, N.D., 2014. Some Studies on Reduction of Ovality in Turned Component-Case study. *Nirma University Journal of Engineering and Technology (NUJET)*, 3(1), pp.39-46.
- Kale, A.V. and Thorat, H.T., 2014. Control of ovality in pipe bending: A new approach. no. Aimtdr, pp.1-5.
- Kumar, P., Dhingra, A.K. and Kumar, P., 2016. Optimization of Process Parameters for Machining of Mild Steel EN18 by Response Surface Methodology. *Advances in Engineering: An International Journal-1*, pp.1-12.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C. and Anderson-Cook, C.M., 2016. *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons.
- Nowag, L., Sölter, J. and Brinksmeier, E., 2007. Influence of turning parameters on distortion of bearing rings. *Production Engineering*, 1(2), pp.135-139.
- Ranganath, M.S. and Vipin, H., 2014. Optimization of process parameters in turning operation using response surface methodology: a review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(10), pp.351-360.
- Rochim, T., 1993. Teori dan teknologi proses pemesinan. *Jakarta: Higher Education Development Support Project*.
- Subramanian, M., Sakthivel, M., Sooryaprakash, K. and Sudhakaran, R., 2013. Optimization of cutting parameters for cutting force in shoulder milling of Al7075-T6 using response surface methodology and genetic algorithm. *Procedia Engineering*, 64, pp.690-700.
- Zhen, H.E., Xu-Tao, Z. and Gui-Qing, X., 2013, May. Product quality improvement through response surface methodology: A case study. In *Diversity, Technology, and Innovation for Operational Competitiveness, Proceedings of the 2013 International Conference on Technology Innovation and Industrial Management, Phuket, Thailand* (pp. 29-31).