

APLIKASI *CENTRAL COMPOSITE DESIGN* UNTUK OPTIMASI DAYA PROSES PEMBUBUTAN S45C

THE APPLICATION OF CENTRAL COMPOSITE DESIGN FOR S45C TURNING PROCESS POWER OPTIMIZATION

Deni Mulyana¹, Muhamad Fadilah²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung
deni.m99i@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan yang pesat dalam industri manufaktur menyebabkan kebutuhan akan konsumsi energi listrik semakin tinggi. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengatasi masalah-masalah yang diakibatkan proses pemenuhan kebutuhan energi listrik dalam kehidupan. Perkembangan ini juga berdampak secara umum kepada lingkungan seperti dalam pengembangan proses pemesinan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan permodelan matematika agar dicapai kondisi optimum daya listrik yang digunakan pada proses pembubutan S45C. Masing-masing nilai variabel yang digunakan dalam permesinan kecepatan potong (V_c) adalah 70 mm/min, 80 mm/min, dan 90 mm/min. Kecepatan pemakanan (f) adalah 0.1 mm/rev, 0.15 mm/rev, 0.20 mm/rev dengan kedalaman pemakanan (a) adalah 1mm, 1.5mm, dan 2mm. Nilai variabel tersebut dikombinasikan dengan menggunakan metode permukaan respons *central composite design* dengan melakukan 20 kali percobaan dibantu dengan perangkat lunak design expert 10. Dari percobaan ini, dihasilkan daya listrik mulai dari 2.37kw sampai 2.89kw. Permodelan matematika untuk mencari daya listrik yang dihasilkan dalam proses pembubutan S45C adalah $= 1443 - (1 \times 10^{-0.02} * A) + (2240 * B) + (191.4 * C) + 67.16$. Nilai optimal daya listrik yang dihasilkan untuk variabel proses pembubutan S45C menggunakan kecepatan potong (V_c) 70 mm/min kecepatan pemakanan (f) 0.176 mm/rev dan kedalaman pemakanan (a) 1.84 mm.

Kata kunci: permesinan bubut, kebutuhan daya, *response surface methodology*, *central composite design*, *software design expert*

ABSTRACT

*The rapid development in the manufacturing industry has caused the need for higher electricity consumption. Various ways have been done to overcome the problems caused by the process of fulfilling electrical energy needs in life that also has a general impact on the environment such as in the development of the machining process. The purpose of this study is to find mathematical modeling in order to achieve optimum electrical power conditions used in the S45C turning process. Each variable value used in cutting speed machining (V_c) was 70 mm / min, 80 mm / min, and 90 mm / min. Feeding speed (f) was 0.1 mm / rev, 0.15 mm / rev, 0.20 mm / rev and feed depth (a) was 1mm, 1.5mm and 2mm. The variable value was combined using the central composite design response method by conducting 20 times of experiments assisted with expert design software 10 that produced electric power ranging from 2.37kw to 2.89kw. Mathematical modeling to find the electrical power produced in the S45C turning process is $= 1443 - (1 \times 10^{-0.02} * A) + (2240 * B) + (191.4 * C) + 67.16$. The optimal value of electrical power produced for the S45C turning process variable is using cutting speed (V_c) 70 mm / min, feed speed (f) 0.176 mm/ rev, and feed depth (a) 1.84 mm.*

Keywords: turning machining, power need, *response surface methodology*, *central composite design*, *design expert software*

PENDAHULUAN

Teknologi dalam industri manufaktur secara tidak langsung dapat berkembang dan bersaing secara global. Industri manufaktur menuntut produk dari industri manufaktur yang berkualitas serta target produksi dan biaya yang ekonomis (Surrianinggih, 2017). Dalam industri manufaktur ini, terdapat proses pemesinan yang menjadi inti dan berperan membantu manusia dalam sebuah proses produksi di antaranya mesin bubut, skrap, freis, mesin bor, dan mesin perkakas yang lebih canggih seperti EDM atau CNC. Proses manufaktur merupakan proses pengolahan bahan baku menjadi sesuatu agar dapat digunakan. Salah satu bahan baku yang sering digunakan di industri pembuat sukucadang mesin yaitu material berbahan S45C. Penggunaan S45C di bidang pembuatan komponen mesin seperti *gear*, *shaft*, *pulley*, dan komponen lainnya sangatlah diperlukan mengingat harga dan karakteristiknya sangat cocok untuk dibuat (Surrianinggih, 2017).

Tingginya angka produksi dalam proses manufaktur di industri menimbulkan masalah dalam penggunaan mesin. Hal ini memberikan dampak yang kurang baik di bidang industri manufaktur. Selain itu, perkembangan teknologi yang pesat memaksa industri untuk mengefisienkan produksinya. Efisiensi dapat dilakukan dengan optimasi energi listrik yang dapat dimodelkan secara matematik.

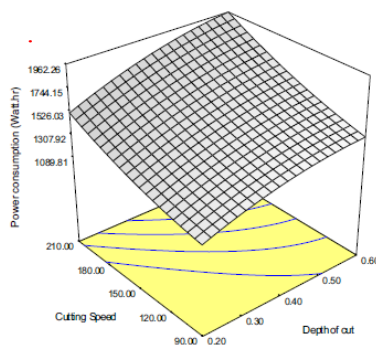
Dampak dari penggunaan mesin di antaranya penggunaan daya listrik yang berlebihan. Untuk itu, diperlukan optimasi untuk meminimalkan atau mengatur daya listrik yang digunakan sehingga tidak terjadi pemborosan listrik pada saat proses produksi (Surrianinggih, 2017). Metode yang digunakan untuk mengoptimasi daya listrik adalah metode permukaan respons (*Response Surface Methodology*) yang berjenis *Central Composite Design* (CCD) dengan memerhatikan beberapa variabel dalam proses pemesinan. Contohnya proses di mesin bubut, seperti gerakan pemakanan (*feeding*), kecepatan potong (*Cutting Speed*), dan kedalaman pemotongan (*Depth of Cut*). Hasil yang akan diukur adalah daya listrik yang dikeluarkan. Hasil dari analisis tersebut akan menghasilkan model matematika (Bhushan, 2013).

Beberapa penelitian untuk mengoptimasi parameter pemesinan sudah dilakukan, di antaranya pada material ST 60 dengan kesimpulan bahwa parameter yang menghasilkan daya paling kecil adalah pada kecepatan putaran 580 rpm, laju pemakanan 0,125 mm/rev, dan kedalaman potong 0.25 mm yang dikondisikan pada tekanan pendingin 5 bar (Su-Marna dan Rusnaldy, 2014).

OPTIMASI PENGGUNAAN RSM

Response Surface Methodology dapat menentukan titik maksimum, minimum, optimal, serta parameter yang berpengaruh

terhadap umur pahat dan kebutuhan daya dengan menggunakan variasi proses parameter sebanyak tiga level. Kecepatan pemotongan (V_c), kecepatan pemakanan (f), kedalaman pemakanan (a), dan radius pahat (r) merupakan proses parameternya. Salah satu hasil yang diperoleh dengan menggunakan material baja paduan Al dan SiC adalah kecepatan pemotongan (V_c) yang banyak berpengaruh atas proses optimasi dan meminimalkan konsumsi daya hingga 77,4%, kedalaman pemakanan (a) sebesar 13,2%. Kecepatan pemakanan (f) memiliki efek yang tidak signifikan terhadap optimasi konsumsi daya (Bhushan, 2013).



Gambar 1. Grafik konsumsi daya yang dipengaruhi oleh dua variabel bebas

Optimasi adalah disiplin ilmu matematika yang memfokuskan pada nilai minimum atau maksimum secara sistematis dari suatu fungsi dan peluang maupun pencarian nilai lainnya dalam berbagai kasus. (Myers, dkk., 2009).

Perancangan Eksperimen

Perancangan eksperimen (*Design of Experiment*) merupakan teknik proses

penelitian yang baru atau penambahan dalam pengetahuan yang pernah ada dengan menambahkan proses optimasi untuk performa yang lebih baik. Penggunaan DOE sudah dilakukan pada pertengahan 1990-an. Para manajer dan insinyur saat ini kurang berminat untuk menggunakan perancangan eksperimen karena teknik-teknik yang digunakan berbentuk statistikal. Meskipun perancangan eksperimen banyak ilmu statistikalnya, metode ini sangat baik untuk mencari titik optimal dari suatu penelitian (Montgomery, 1984). Pada dasarnya, perancangan eksperimen dibagi empat bagian secara metodologi; di antaranya perencanaan, perancangan, eksperimen, dan penganalisisan.

Response Surface Methodology

Metode permukaan respons adalah koleksi teknik statistikal dan matematikal yang dapat dikembangkan, proses dioptimalkan dan ditingkatkan. Respons permukaan di dunia industri ini berpotensi sebagai performa produksi atau kualitas produksi yang dihasilkan. Pengukuran performa produk disebut dengan respons. Hubungan respons y terhadap variabel kontrol $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ adalah sebagai berikut.

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) + \varepsilon \dots\dots\dots (1)$$

Bentuk respons fungsi f tidak diketahui dan rumit. ε merupakan istilah yang menggambarkan sumber lain dan variabilitas yang tidak diperhitungkan ke dalam f . ε

sebagai statistik *error* atau dianggap nol. Apabila ε nol, maka

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) \dots\dots\dots(2)$$

Variabel $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)$ pada persamaan 2.9 disebut dengan variabel natural. Variabel natural dinyatakan unit natural dalam pengukuran seperti derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$) dan pon per inci kuadrat (psi). RSM bekerja pada variabel yang tidak mempunyai satuan. Apabila variabel kontrol tidak mempunyai satuan, persamaan menjadi

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \dots\dots\dots(3)$$

Respons f tidak diketahui, maka f harus ditelaah kembali. Orde rendah dari suku banyak (polinomial) sudah cukup; 2 variabel kontrol dan model orde satu, berikut persamaannya.

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots\dots\dots(4)$$

Respons permukaan tiga dimensi dan plot kontur dua dimensi, dari persamaan $\eta = 50 + 8x_1 + 3x_2$, merupakan sebuah bidang melayang x_1 dan x_2 . Plot kontur model orde satu sebagai garis yang sejajar dari respons konstan pada bidang x_1 dan x_2 .

Orde satu dan orde dua adalah nilai dari f dari perhitungan matriks. Berikut merupakan perhitungan matriks.

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

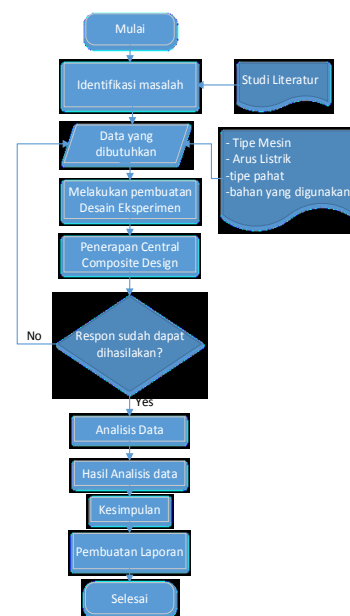
$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

$$\beta = (X'X)^{-1}X'y = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

Hasil perkalian matriks yang telah disubstitusikan akan memperoleh nilai β dalam persamaan model orde satu dan orde dua.

METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 2 berikut.

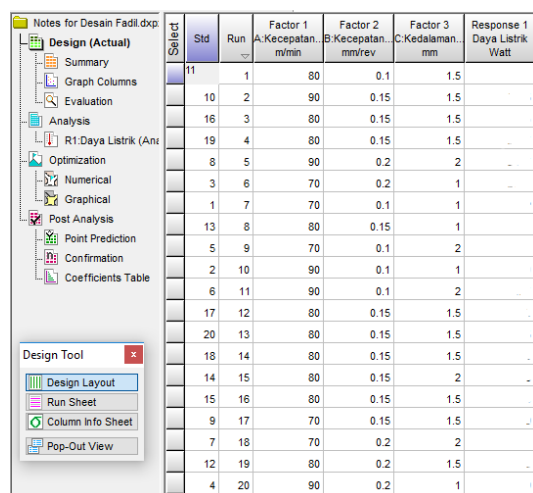


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan survey lapangan di CV Cahaya Abadi Teknik untuk mendapatkan data serta parameter-parameter yang digunakan dalam mencari daya listrik proses pembubutan. Daya listrik dalam penelitian ini didapatkan dengan menggunakan alat tang ampere untuk

mengetahui arus listriknya terlebih dahulu dan analisis dilakukan dengan *software* “Design-Expert 10”.

Melalui kegiatan ini, akan dilakukan Analisis optimasi daya listrik pada proses pembubutan material S45C dan pahat *insert carbide* dengan parameter kecepatan pemotongan (V_c) = 70 m/min, 80 m/min, dan 90 m/min. kecepatan pemakanan (f) = 0.1 mm/rev, 0.15 mm/rev, dan 0.2 mm/rev, kedalaman pemakanan (a) = 1 mm, 1.5 mm, dan 2 mm. Mesin yang digunakan dalam penelitian adalah mesin bubut konvensional yang ada di CV Cahaya Abadi Teknik dan menggunakan material S45C sebanyak 3 buah masing-masing berukuran Ø50x150mm. Ketiga material tersebut digunakan sebagai parameter pada saat pembubutan dengan acuan kedalaman pemakanan dapat dilihat pada tabel 1.



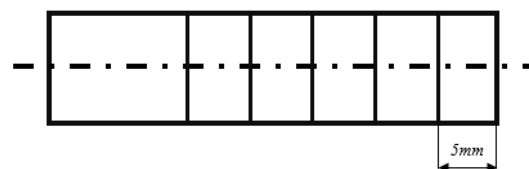
Std	Run	Factor 1 A:Kecepatan Potong m/min	Factor 2 B:Kecepatan Pemakanan mm/rev	Factor 3 C:Kedalaman Pemakanan mm	Response 1 Daya Listrik Watt
11	1	80	0.1	1.5	
10	2	90	0.15	1.5	
16	3	80	0.15	1.5	
19	4	80	0.15	1.5	
8	5	90	0.2	2	
3	6	70	0.2	1	
1	7	70	0.1	1	
13	8	80	0.15	1	
5	9	70	0.1	2	
2	10	90	0.1	1	
6	11	90	0.1	2	
17	12	80	0.15	1.5	
20	13	80	0.15	1.5	
18	14	80	0.15	1.5	
14	15	80	0.15	2	
15	16	80	0.15	1.5	
9	17	70	0.15	1.5	
7	18	70	0.2	2	
12	19	80	0.2	1.5	
4	20	90	0.2	1	

Gambar 3. Tabel Parameter Pembubutan menggunakan *software* Design-Expert 10.

Tabel 1. Parameter Pembubutan

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Response 1
Run	A:Kecepatan Potong	B:Kecepatan Pemakanan	C:Kedalaman Pemakanan	Daya Listrik
	m/min	mm/rev	mm	Watt
Pembubutan benda kerja pertama				
7	70	0.1	1	
10	90	0.1	1	
8	80	0.15	1	
20	90	0.2	1	
6	70	0.2	1	
Pembubutan benda kerja kedua				
1	80	0.1	1.5	
2	90	0.15	1.5	
3	80	0.15	1.5	
4	80	0.15	1.5	
12	80	0.15	1.5	
13	80	0.15	1.5	
14	80	0.15	1.5	
16	80	0.15	1.5	
17	70	0.15	1.5	
19	80	0.2	1.5	
Pembubutan benda kerja ketiga				
11	90	0.1	2	
9	70	0.1	2	
15	80	0.15	2	
18	70	0.2	2	
5	90	0.2	2	

Pengukuran arus listrik dilihat pada saat pembubutan dilakukan sepanjang 5mm setiap parameter yang diuji (ilustrasi pembubutan dapat dilihat di gambar 3). Setelah itu, angka yang keluar dari tang amperem merupakan hasil dari keluaran tang amperem.



Gambar 4. Ilustrasi Proses Pembubutan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Nilai Ampere

Nilai ampere dari suatu proses pembubutan dapat diketahui dengan

menggunakan alat yang bernama tang ampere. Gambar 5 merupakan proses pengambilan nilai arus listrik yang dikeluarkan, yang nantinya dimasukan ke dalam rumus daya listrik. Pengukuran arus listrik dilakukan sebanyak 20 kali *run* atau percobaan sesuai dengan urutan tabel yang sudah ditentukan oleh *software* Design-Expert 10 (Gambar 5).



Gambar 5. Pengukuran arus listrik menggunakan tang ampere

Nilai arus listrik yang sudah diukur atau didapatkan dimasukkan ke dalam rumus daya listrik ($= V \times I \times \cos \alpha \times \sqrt{3}$) dengan arus listrik dilambangkan I. Setelah dilakukan perhitungan, hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel yang ada di *software* Design-Expert 10 (Gambar 6).

Std	Run	Factor 1 A-Kecepatan mm/men	Factor 2 B-Kecepatan mm/men	Factor 3 C-Kedalaman mm	Response 1 Daya Listrik Watt
11	1	80	0.1	1.5	1972
10	2	90	0.15	1.5	2025
16	3	80	0.15	1.5	2025
19	4	80	0.15	1.5	2025
8	5	90	0.2	2	2345
3	6	70	0.2	1	2079
1	7	70	0.1	1	1919
13	8	80	0.15	1	1919
5	9	70	0.1	2	2025
2	10	90	0.1	1	1919
6	11	90	0.1	2	2025
17	12	80	0.15	1.5	2025
20	13	80	0.15	1.5	2025
18	14	80	0.15	1.5	2079
14	15	80	0.15	2	2185
15	16	80	0.15	1.5	2079
9	17	70	0.15	1.5	2079
7	18	70	0.2	2	2292
12	19	80	0.2	1.5	2185
4	20	90	0.2	1	2079

Gambar 6. Hasil perhitungan daya listrik dimasukan kedalam tabel software Design-Expert 10.

Hasil Anova dan Model Matematika

Hasil regresi dapat digunakan dan diperlukan model secara signifikan berupa pengaruh terhadap respons. Model matematika terbentuk dari faktor kecepatan pemotongan, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan dengan bentuk secara signifikan.

Tabel 2. Hasil anova.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	2.170E+005	3	72341.67	43.71	< 0.0001	significant
A-Kecepatan Potong	0.100	1	0.100	6.042E-005	0.9939	
B-Kecepatan Pemakanan	1.254E+005	1	1.254E+005	75.80	< 0.0001	
C-Kedalaman Pemakanan	91584.90	1	91584.90	55.34	< 0.0001	

Nilai Prob > F apabila kurang dari 0.05 yang mengindikasikan model yang terbentuk dari faktor A, B, dan C berpengaruh secara signifikan. Nilai B dan nilai C yaitu nilai kurang dari 0.05 karena faktor kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan

berpengaruh terhadap nilai hasil arus listrik dan daya listrik. Nilai A, yang merupakan kecepatan potong, tidak memiliki dampak signifikan terhadap nilai daya listrik karena mesin bubut yang digunakan memiliki kecepatan perputaran *spindle* yang tetap dan tidak bisa disesuaikan dengan hasil perhitungan yang menggunakan rumus.

$$\begin{aligned} \text{Daya Listrik} = & 1443 - (1 \times 10^{-0.02} * A) \\ & + (2240 * B) \\ & + (191.4 * C) + \varepsilon \end{aligned}$$

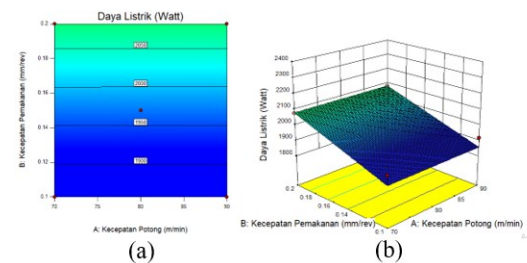
Model matematika merupakan nilai faktor aktual dan dapat digunakan untuk prediksi terhadap respons. Bentuk dari orde satu *response surface methodology* yaitu bentuk model matematika dari analisis pada Tabel 2 dengan A merupakan kecepatan pemotongan, B merupakan kecepatan pemakanan, dan C merupakan kedalaman pemotongan. Model matematika tersebut belum dapat dijadikan prediksi karena harus mencari nilai ε dan nilai tersebut diperoleh setelah melakukan praktik ulang.

Hasil dari *Response Surface Methodology* adalah *contour plot* dan *surface plot*. Tiga level parameter dihasilkan dua jenis *contour plot* dan *surface plot*. Pembacaan grafik daya listrik tersebut seperti membaca grafik kartesius yaitu terdapat dua buah sumbu, nilai factor, dan nilai respons secara teoritis. *Surface plot* adalah bentuk grafik tiga dimensi yang berbeda dengan *contour plot* yang merupakan grafik bentuk dua dimensi.

Grafik Hasil Perhitungan Daya Listrik

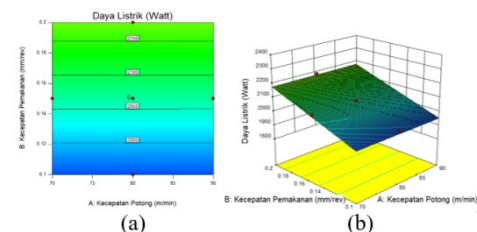
Software Design-Expert 10 ini menyajikan grafik berupa *contour plot* dan *surface plot* dari hasil perhitungan daya listrik yang didapatkan pada penelitian. Masing-masing grafik disajikan dalam beberapa variabel bebas yang telah ditentukan mulai kecepatan pemotongan (V_c) = 70 m/min, 80 m/min, dan 90 m/min. kecepatan pemakanan (f) = 0.1 mm/rev, 0.15 mm/rev, dan 0.2 mm/rev, dan kedalaman pemakanan (a) = 1 mm, 1.5 mm, dan 2 mm.

Kedalaman Pemakanan



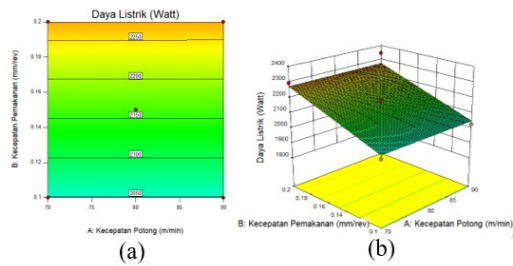
Gambar 8 kedalaman pemakanan 1 mm Contour Plot (a), Surface Plot (b).

Daya listrik yang dihasilkan dari variabel kedalaman pemakanan 1 mm, 1.900 watt hingga 2.050 watt dalam bentuk grafik di gambar 7.



Gambar 9. Kedalaman pemakanan 1.5 mm Contour Plot (a), Surface Plot (b)

Daya listrik yang dihasilkan dari variabel kedalaman pemakanan 1.5 mm berkisar 2.000 watt hingga 2.150 watt, bentuk grafik di gambar 9.



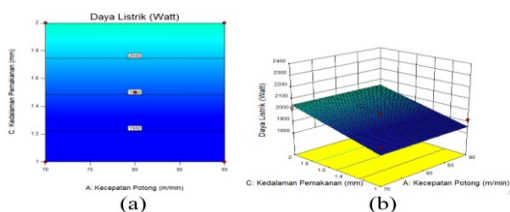
Gambar 10. Kedalaman pemakanan 2 mm
Contour Plot (a), Surface Plot (b).

Daya listrik yang dihasilkan dari variabel kedalaman pemakanan 1.5 mm berkisar antara 2.050 watt hingga 2.250 watt, bentuk grafik di gambar 10.

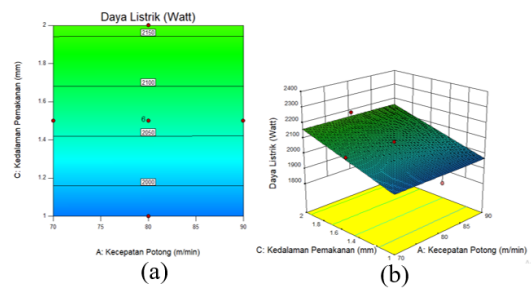
Hasil grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai kedalaman pemakanan, hasil daya listrik pun semakin besar. Dari tiga level, nilai daya listrik lebih kecil yang dihasilkan apabila kedalaman pemakanan dan pada proses pembubutan pada level pertama sebesar 1 mm.

Kecepatan Pemakanan

Daya listrik yang dihasilkan dari variabel kecepatan pemakanan 0.1 mm/rev adalah 1.900 watt hingga 2.000 watt (bentuk grafik di gambar 11).

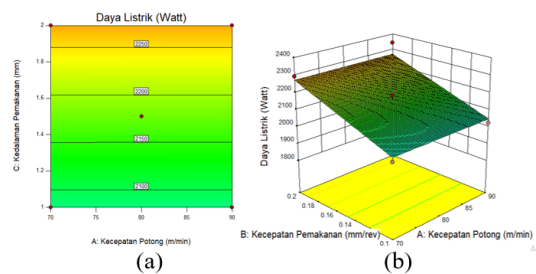


Gambar 11. Kecepatan pemakanan 0.1 mm
Contour Plot (a), Surface Plot (b).



Gambar 12. Kecepatan pemakanan 0.15 mm
Contour Plot (a), Surface Plot (b).

Daya listrik yang dihasilkan dari variabel kecepatan pemakanan 0.1 mm/rev adalah 2.000 watt hingga 2.150 watt (grafik di gambar 12).



Gambar 13. Kecepatan pemakanan 0.2 mm
Contour Plot (a), Surface Plot (b).

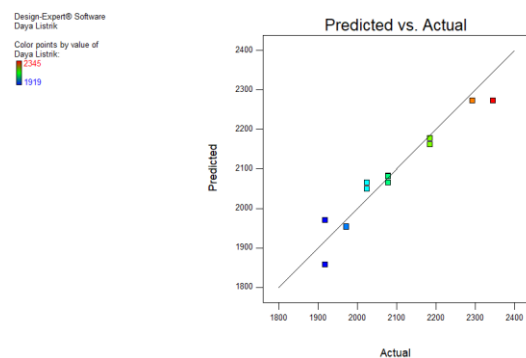
Daya listrik yang dihasilkan dari variabel kecepatan pemakanan 0.1 mm/rev sebesar 2.100 watt hingga 2.250 watt dengan bentuk grafik di gambar 13.

Grafik-grafik di atas menunjukkan semakin tinggi level kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan, nilai daya listrik akan semakin tinggi. Nilai dari V_c tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai model matematika. Jarak V_c 70 m/min hingga 90 m/min, kontribusi perubahan terhadap nilai daya listrik pun tidak terlalu jauh, variasi

kecepatan pemotongan tidak memengaruhi nilai akhir daya listrik. Nilai daya listrik sebesar 1.900-2.200 watt. Kecepatan perputaran *spindle* memiliki kontribusi besar terhadap hasil.

Nilai Prediksi dan Aktual

Nilai prediksi dengan aktual adalah gambaran model matematika yang terbentuk dan memberikan gambaran secara aktual terhadap hasil. Model matematika dijadikan sebagai persamaan untuk memprediksi daya listrik yang tidak menggunakan grafik. Grafik prediksi dengan aktual memberikan gambaran beberapa *run* yang memenuhi ekspektasi dari penggunaan model matematika.



Gambar 14. Grafik Prediksi vs Aktual

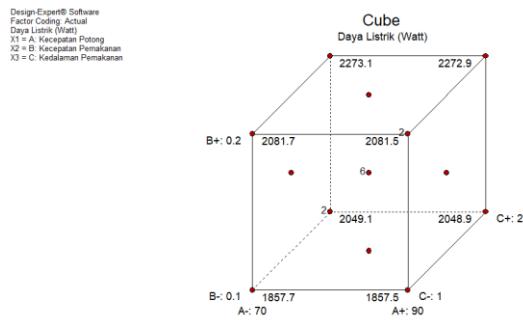
Grafik prediksi dengan aktual pada Gambar 14 menunjukkan bahwa percobaan yang dilakukan sebanyak 20x *run*, tidak memenuhi ekspektasi dari model matematika. Keadaan ini disebabkan penggunaan mesin bubut secara manual dan dampak dari *human error*

Optimasi *Central Composite Design*

Waktu proses pembubutan berkorelasi kuat dengan konsumsi daya. Semakin lama proses pembubutan, konsumsi biaya yang dikeluarkan akan semakin besar. Maka dari itu, diperlukan optimasi proses pembubutan sehingga didapatkan daya listrik yang rendah dan efektif.

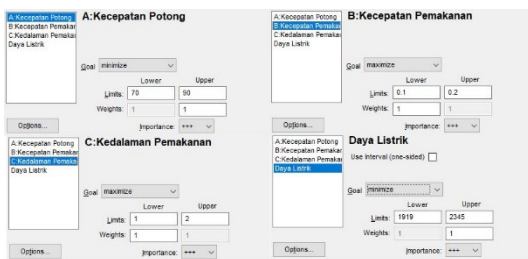
Central Composite Design merupakan bentuk optimasi yang tersedia dalam *surface response methodology*. CCD berbentuk kubus dengan titik-titik pada setiap sudut kubus sebagai titik minimum dan maksimum. Kubus yang terbentuk pada proses CCD sama seperti diagram kartesius dengan tiga sumbu, x, y, dan z. CCD ini untuk mencari nilai minimum, maksimum, dan optimal yang terletak dari suatu kubus dalam suatu titik.

Central Composite Design digunakan untuk menentukan titik sembarang dari koordinat x, y, dan z, atau A, B, dan C pada Gambar 15. A kecepatan pemotongan, B kecepatan pemakanan, dan C kedalaman pemakanan. Titik-titik yang terletak di setiap bidang dan satu titik yang berada di tengah kubus menjadi titik nilai respons minimum, maksimum, dan optimal.



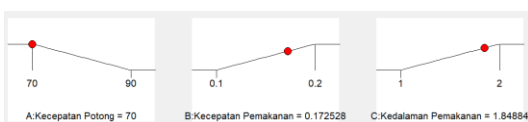
Gambar 15. Penerapan Central Composite Design

Setelah melakukan analisis terhadap respons daya listrik, langkah selanjutnya adalah mencari nilai optimasi dengan menentukan kriteria yang dipilih dengan tujuan yang diinginkan. Setiap kriteria yang diinginkan dapat dilihat pada gambar 16.



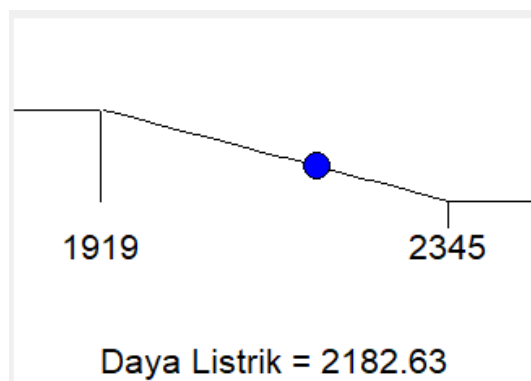
Gambar 16. Pemilihan nilai optimasi yang diinginkan

Kedalaman pemakanan memiliki pengaruh yang besar terhadap konsumsi listrik. Oleh sebab itu, pada gambar 16 ditentukan nilai yang diperlukan parameter dengan kecepatan pemakanan minimum, kecepatan pemotongan maksimum, kedalaman pemotongan maksimum, nilai arus listrik yang minimum.



Gambar 17. Hasil optimasi CCD (1)

Hasil optimasi menggunakan *central composite design* yaitu parameter yang tepat untuk menghasilkan arus listrik minimum dengan menentukan kecepatan pemakanan maksimum, kecepatan pemotongan maksimum, dan kedalaman pemotongan minimum yang dapat dilihat pada gambar 17. Kecepatan potong 70 m/min, kecepatan pemakanan 0.17 mm/rev, kedalaman pemakanan: 1.84 mm dengan nilai parameter tersebut, dihasilkan nilai daya listrik sebesar 2.182.63 watt.



Gambar 18 Hasil optimasi arus listrik CCD (2)

Percobaan Hasil Optimasi

Setelah variabel untuk menentukan nilai optimasi diketahui, nilai prediksi optimasi daya listrik juga dapat diketahui, Langkah selanjutnya adalah mengukur nilai aktual daya listrik dengan melakukan percobaan ulang berdasarkan variabel yang sudah ditentukan.



Gambar 19. Hasil pengukuran aktual (1)

Telah diketahui bahwa *responsse surface methodology*, selisih nilai dari ε yang harus dicari dalam proses optimasi oleh *software*. Maka, nilai ε pada model matematika terbentuk berubah menjadi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Daya Listrik} &= 1443 - (1 \times 10^{-0.02} * A) \\ &\quad + (2240 * B) \\ &\quad + (191.4 * C) + 156.76 \end{aligned}$$

Model matematika yang dihasilkan selanjutnya diuji ulang dengan cara memasukkan angka variabel $A = 80$ m/min, $B = 0.15$ mm/rev, dan $C = 2$ mm sehingga model matematika yang dihasilkan adalah

$$\begin{aligned} \text{Daya Listrik} &= 1443 - (1 \times 10^{-0.02} * 80) \\ &\quad + (2240 * 0.15) \\ &\quad + (191.4 * 2) + 156.76 \\ &= 2252.16 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Sementara, hasil pengukuran yang dilakukan langsung di lapangan dengan nilai variabel yang sama memiliki nilai 4.1 A atau 2.185 watt. Angka tersebut lebih kecil dari angka yang diperhitungkan pada model matematika. Solusi yang dilakukan adalah dengan melakukan perbandingan hasil dari angka pengukuran langsung dengan pengukuran model matematika.

Hasil dari model matematika dan pengukuran aktual memiliki selisih sebesar 67.16.



Gambar 20 Hasil pengukuran aktual (2)

$$\begin{aligned} \text{Daya Listrik} &= 1443 - (1 \times 10^{-0.02} * 90) \\ &\quad + (2240 * 0.13) \\ &\quad + (191.4 * 1.6) + 67.16 \\ &= 2021 \text{ Watt} \end{aligned}$$



Gambar 21. Hasil pengukuran aktual (3)

Hasil selisih tersebut dinyatakan nilai sebagai *error* karena hasil prediksi dan aktual dari model matematika tidak terlalu jauh. Nilai ε pada model matematika yang terbentuk berubah menjadi sebagai berikut. Model matematika dapat digunakan untuk memprediksi daya listrik yang dihasilkan apabila menggunakan mesin bubut, pahat, dan material yang sudah ditentukan.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa nilai optimum yang dihasilkan dengan target waktu pembubutan yang cepat dan konsumsi daya yang minimum yaitu V_c sebesar 70 m/min, f sebesar 0.17 mm/rev, dan A sebesar 1.84

mm. Daya yang didapatkan menggunakan alat bahan dan dilakukan secara berturut-turut yang menghasilkan daya minimum dan maksimum yaitu 1.919 watt dan 2.345 watt. Model matematika yang terbentuk dalam pengujian untuk mencari daya yang diinginkan yaitu $Daya Listrik = 1443 - (1 \times 10^{-0.02} * A) + (2240 * B) + (191.4 * C) + 67.16$. Dengan parameter yang telah dioptimasi nilai daya listrik secara aktual terhadap nilai daya listrik secara prediksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhushan, Rejesh Kumar. 2013. "*Optimization of Cutting Parameters for Minizing Power Consumption and Maximizing Tool life during Machining of Al Alloy SiC Particle Composites*." *Jurnal of Cleaner Production*, vol 39, Elsevier Ltd, 2013, pp. 242-54, doi:10.1016/j.jclepro.2012.08.008.
- Montgomery, D. 1984. *Design and Analysis of Experiment 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, Inc.
- Myers, Ramymond H. dkk. 2009. "*Responsse Surface Methodology*". Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Su-Marna, G. dan Rusnaldy. 2014. "*Optimasi Parameter Proses Bubut Baja St 60 dengan Media Pendingin Cooled Air Jet Cooling*", *Jurnal Teknik Mesin S-I*, Semarang: Universitas Diponegoro.
- Surrianinggih, Rabiah. 2017. "*Aplikasi Central Composite Design dalam Optimasi Permesinan Magnesium Az31*". Vol 31. Lampung: Universitas Lampung.