



Analisa Pengaruh Variasi Parameter Pemotongan Dan Pendingin Terhadap Tingkat Keausan Pahat *End Mill* HSS Hasil Pemesinan CNC Router Milling Pada Aluminium Sheet 1100

(Effect of cutting and cooling parameters against the wear of HSS End Mill Chisel Machined by CNC router milling on aluminum sheet 1100)

Muhammad Rahmat¹, Bambang Dwi Haripriadi²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis

Email: ¹Muhammadrahmat120397@gmail.com, ²bambang@polbeng.ac.id

Abstrak

Pada proses pemesinan, salah satu hal yang tidak bisa terlepas adalah timbulnya keausan pahat setelah dilakukan proses pemotongan. Untuk mengurangi laju keausan pahat biasanya dengan penentuan parameter pemotongan yang baik dan diberikan media pendingin yang berfungsi untuk mengontrol temperatur pada saat pelumasan pemotongan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi parameter pemotongan dan pendinginan terhadap keausan pahat *end mill* HSS. Material benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium *sheet* 1100 dan pahat *end mill* HSS berdiameter 6 mm dengan di variasikan parameter pemotongan yaitu gerak makan (30 mm/min, 40 mm/min, 50 mm/min), kedalaman potong (0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm), media pendingin yang digunakan yaitu *coolant*, udara, oli. Pengambilan data keausan pahat dilakukan menggunakan mikroskop USB dengan cara mengukur panjang keausan tepi (VB). Berdasarkan *Analisis for signal to noise ratios* keausan pahat yang terkecil adalah pada parameter gerak makan 30 mm/min, kedalaman potong 0,5 mm, dan pendingin oli. Berdasarkan *analisis of varian* (ANOVA) parameter kedalaman potong dan media pendingin menghasilkan nilai $P < 0,050$, hal ini menunjukkan bahwa parameter tersebut merupakan faktor yang signifikan dalam mempengaruhi keausan pahat.

Kata Kunci : keausan pahat, parameter pemotongan, media pendingin, *end mill* HSS, *analisis for signal to noise ratios*, *analisis of varian* (ANOVA).

Abstract

In the machining process, one of the things that cannot be released is the appearance of tool wear after the cutting process is done. To reduce tool wear rates usually by determining the cutting parameters that are good and given a cooling medium that serves to control the temperature during cutting lubrication. The purpose of this study was to determine the effect of variations in cutting and cooling parameters on HSS end mill tool wear. The workpiece material used in this study is aluminium sheet 1100 and HSS end mill chisels with a diameter of 6 mm with varying cutting parameters namely feeding motion (30 mm / min, 40 mm / min, 50 mm / min), cutting depth (0, 5 mm, 1 mm, 1.5 mm), the cooling media used is coolant, air, oil. Data retrieval of tool wear was carried out using a USB microscope by measuring the length of edge wear (VB). Based on analysis for signal to noise ratios the smallest tool wear is on the feed motion parameters 30 mm / min, the cut depth is 0.5 mm, and the oil cooler. Based on the analysis of variance (ANOVA) the depth and cut depth parameters produced a P value < 0.050 , this indicates that these parameters are a significant factor in influencing tool wear.

Keywords: tool wear, cutting parameters, coolant, HSS end mill, *analisis for signal to noise ratios*, *analisis of variance* (ANOVA).

1. Pendahuluan

Proses pemotongan logam dengan menggunakan mesin-mesin perkakas konvensional masih terus berlanjut hingga saat ini. Perkembangan *cutting tool* pada mesin CNC *milling* seperti pahat jenis carbide, CBN, keramik, dan inserts tool sudah semakin maju. Meskipun demikian, jenis pahat HSS (*high speed steel*)

masih tetap digunakan terutama di bengkel produksi yang bersekala kecil sampai menengah [1]. Hal ini dimungkinkan karena pahat jenis HSS bersifat liat, harga lebih rendah, mudah didapat serta memungkinkan aplikasi pengerjaan dengan pemotongan (*speed and feed*) yang lebih rendah.

Pada lingkungan industri umur pakai pahat yang rendah merupakan faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan biaya produksi. Analisa mengenai umur pakai dikaitkan dengan biaya produksi sudah pernah dilakukan [2]. Sementara dalam industri diinginkan umur pakai pahat yang lebih panjang. ISO telah menetapkan standar pengujian *tool life* suatu pahat dimana pahat dikatakan rusak setelah mengalami keausan tepi (VB) rata-rata mencapai 0.3 mm dan keausan tepi maksimum 0.6 mm, untuk berbagai material yang berbeda baik dalam proses pemotongan maupun finishing [3].

Keausan pahat dapat didefinisikan sebagai peristiwa terlepasnya material atau atom dari permukaan material akibat deformasi plastis dan gaya mekanik. Keausan pada pahat potong akan menyebabkan perubahan bentuk benda kerja sehingga akan mengakibatkan geometri dan kualitas permukaan material akan mengalami penurunan. Selama proses pembentukan geram berlangsung [4].

Pada proses pemesinan aluminium, aluminium memiliki karakteristik pemotongan yang baik yaitu kekuatan potong spesifik yang rendah, potongan geram yang pendek, keausan pahat yang relatif rendah dan kualitas permukaan yang tinggi. Namun aluminium merupakan logam mudah terbakar terutama pada saat kecepatan potong dan kecepatan pemakanan tinggi. Gesekan yang terjadi antara benda kerja dan permukaan pahat potong dapat mengakibatkan terjadinya panas selama proses pemotongan adapun faktor-faktor yang dapat meningkatkan suhu pemotongan yaitu kecepatan potong dan gerak makan [5]. Maka usaha untuk mengurangi meningkatnya suhu yang terjadi untuk menjaga agar laju keausan pahat lebih tahan pada saat pemotongan adalah dengan pemberian fluida pendingin pada pahat *milling*. Analisa Laju keausan sisi pahat karbida berlapis TiAlN/TiN pada pembubutan paduan aluminium 6601 akibat laju pemesinan tinggi, sudah pernah dilakukan dalam studi sebelumnya [6].

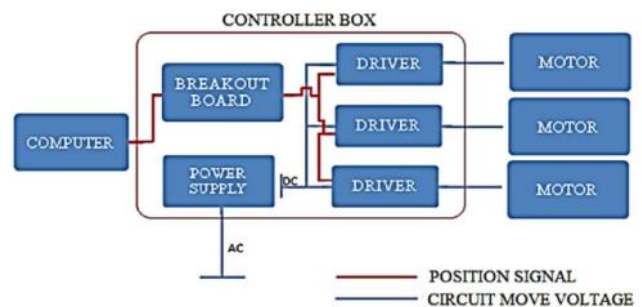
Penggunaan fluida pendingin sangat penting untuk memperbaiki kualitas produk dan memperpanjang umur pahat. Pendingin berfungsi menurunkan temperatur selama proses pemesinan dan juga sebagai pelumas. Namun penggunaan fluida pendingin memerlukan perhatian khusus karena dampak yang dapat ditimbulkan akibat dari penggunaannya yaitu dapat terjadi pencemaran lingkungan serta resiko penyakit yang dapat timbul pada operator yang terpapar fluida [7].

Penelitian ini adalah menganalisis parameter pemotongan untuk memperoleh keausan pahat minimum dengan Metode Respon Permukaan sehingga diperoleh model matematikanya. Metode untuk mengetahui nilai optimum dari parameter pemesinan salah satunya yaitu dengan Metode Permukaan Respon.

2. Landasan Teori

2.1. Mesin CNC Router Milling

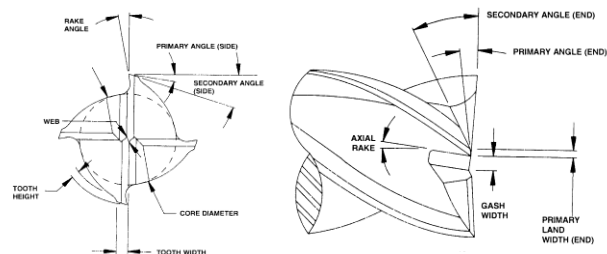
Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan dengan menggunakan huruf dan angka). Kegunaan mesin CNC ini sama seperti pada mesin frais konvensional pada umumnya tetapi gerakan mesin dapat dikendalikan melalui suatu program komputer. Mesin CNC *router milling* adalah salah satu jenis mesin CNC *milling 3 axis* yang berarti mempunyai 3 motor *stepper*. Dalam satu langkah (step) sebuah motor *stepper* mampu bergerak sejauh 0,0138 mm atau berputar 5^0 untuk satu step. Untuk bergerak sejauh 1 mm, maka diperlukan 72 step dari motor *stepper*.



Gambar 1. Blok Diagram Controller Mesin CNC Router Milling

2.2. Keausan Pahat

Mata pahat atau alat potong mesin CNC *milling* terdiri dari beberapa bentuk dan berbagai ukuran yang memiliki pelapis, dan jumlah sisi potong yang banyak. Pisau jari (*end mill*) merupakan salah satu jenis *cutter* mesin CNC *milling* yang banyak digunakan.

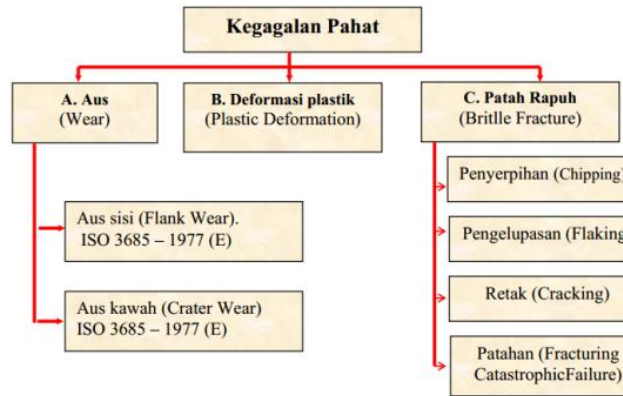


Gambar 2. Geometri Sisi Potong Pahat *End Mill*

Gesekan yang dialami pahat dengan benda kerja mengakibatkan pahat mengalami keausan. Keausan pahat ini semakin membesar sampai batas tertentu pahat tidak dapat dipergunakan lagi atau mengalami kerusakan karena temperatur yang tinggi, maka permukaan aktif dari pahat akan mengalami keausan. Keausan tergantung juga pada jenis material

pahat, benda kerja yang dipilih, geometri pahat dan fluida yang digunakan sebagai pendingin [8].

Pengamatan kegagalan pahat digambarkan pada mekanisme aus pahat atau kegagalan pahat, mode kegagalan, dan cacat yang terlihat. Gambar 3. menggambarkan kegagalan pahat yang lebih rinci yakni dibagai atas aus, deformasi plastik dan patah rapuh [9].



Gambar 3. Diagram Spektrum Kegagalan Pahat

2.3 Material Pahat *High Speed Steel (HSS)* dan Paduannya

Pahat HSS merupakan salah satu perkakas penting yang dipergunakan dalam proses pemesinan. Untuk menjamin proses ini, diperlukan material pahat yang lebih unggul daripada material benda kerja. Beberapa unsur paduan W, Cr, V, Mo dan Co meningkatkan sifat keras dan kuat pada temperatur kerja yang tinggi (*hot hardness*). Pengaruh unsur-unsur tersebut dengan unsur dasarnya besi (Fe) dan karbon (C) [9].

2.4 Cairan Pendingin Pada Proses Pemesinan

Didalam proses pemesinan, fungsi dari cairan pendingin adalah untuk menambah atau memperpanjang umur pahat. Fungsi utama dari cairan pendingin adalah sebagai berikut: melumasi proses pemotongan (pada kecepatan potong rendah), mendinginkan benda kerja (pada kecepatan potong tinggi), membuang geram (sisa pemotongan) dari daerah pemotongan. Adapun fungsi kedua dari cairan pendingin adalah sebagai berikut: melindungi permukaan yang dipotong dari korosi, memudahkan pengambilan benda kerja karena bagian panas telah didinginkan. Penggunaan cairan pendingin pada proses pemesinan juga memberikan efek pada pahat dan benda kerja yang sedang dikerjakan, pengaruh cairan pendingin terhadap pahat dan benda kerja adalah untuk memperpanjang umur pahat, mengurangi deformasi benda kerja karena keausan pahat, permukaan benda kerja menjadi lebih halus, dan membantu membuang/membersihkan geram.

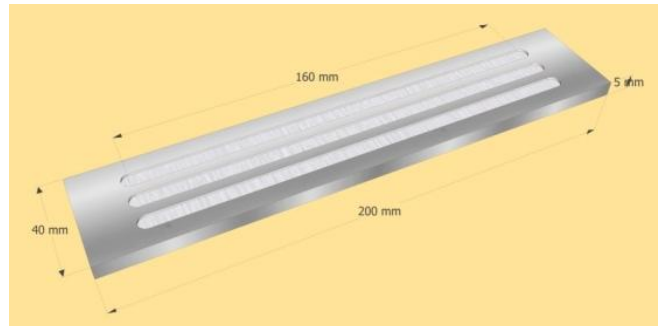
3 Metodologi Penelitian

3.1 Bahan yang digunakan

Penelitian ini menggunakan plat aluminium *sheet* 1100 (ukuran 200 mm x 40 mm). Lembaran aluminium 1100 adalah sejenis aluminium tulen industri, kandungan aluminium (pecahan jisim) sebanyak 99,00%. Ketahanan korosi pada aluminium berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,00% atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam waktu bertahun-tahun.

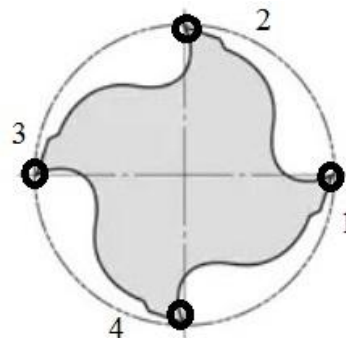
3.2 Langkah Penyayatan dan Metode Pengukuran

Tahap awal sebelum melakukan pemesinan yaitu mengukur mata potong pahat *end mill* menggunakan *microscope* USB, setelah selesai pengukuran data awal, lalu lanjut proses pemesinan. Langkah penyayatan dilakukan dengan satu arah gerak pemakanan yaitu dari sisi kiri ke sisi kanan, dan dilakukan 3 sayatan. Dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Langkah Penyayatan

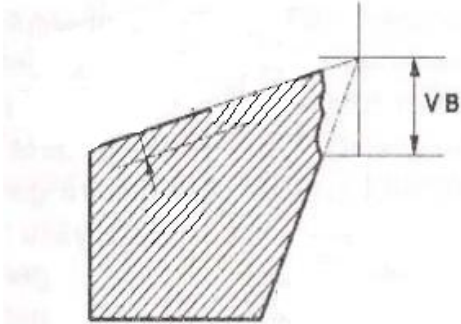
Pahat *end mill* yang digunakan mempunyai 4 mata potong atau alur (*flute*), keausan mata pahat diukur disetiap besarnya keausan tepi pada *flute* pahat *end mill*, jadi pengukuran keausan mata pahat diukur 4 titik pengukuran. Dapat dilihat pada gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Pengukuran Disetiap *Flute*

Pengukuran nilai keausan mata pahat *end mill* yaitu menggunakan *microscope* USB dilakukan dengan

cara melihat dan mengukur besarnya keausan yang terjadi pada keausan tepi pahat *end mill*, pengukuran keausan mata pahat *end mill* dilakukan dengan cara mengukur panjang keausan yang terjadi, yaitu dengan cara mata potong sebelum terjadi keausan dijadikan titik acuan untuk memulai mengukur kemudian ditarik garis lurus sampai pada garis rata-rata bekas keausan pada bidang utama yaitu mengukur panjang VB (mm). Nilai keausan yang didapatkan di setiap mata potong dirata-ratakan. Keausan rata-rata itu dijadikan sebagai nilai keausan mata pahat *end mill*. Cara pengukuran keausan pahat dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Pengukuran Keausan Tepi

3.3 Rancangan Eksperimen Dengan Metode Taguchi

Rancangan eksperimen ini diawali dengan pemilihan matriks ortogonal yang tergantung dari banyaknya variabel kontrol dan level dari masing-masing variabel tersebut. Tabel 1 menunjukkan jenis variabel bebas, jumlah level dan nilai dari variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Variabel Bebas dan Penentuan Level

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
Gerak makan	30	40	50
	mm/min	mm/min	mm/min
Kedalaman potong	0,5 mm	1 mm	1,5 mm
Pendingin	Udara	Coolant	Oli

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 1 didapatkan pemilihan *orthogonal array design* untuk rancangan eksperimen ini, sehingga matrik ortogonal yang digunakan adalah L9 (3³). Matrik ortogonal jenis L9 (3³) memiliki 3 kolom dan 9 baris yang mampu digunakan untuk tiga buah variabel bebas yang masing-masing memiliki 3 level. Rancangan eksperimen untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Matrik Ortogonal L₉ (3³)

No	Parameter		
	(f), mm/min	(a), mm	Pendingin
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

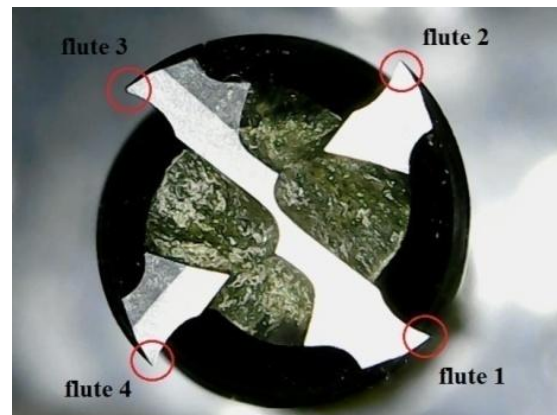
Tabel 3. Tabel Data Dari Matrik Ortogonal L₉ (3³)

No	Parameter			VB (mm)
	(f), mm/min	(a), mm	Pendingin	
1	30	0,5	Udara	
2	30	1	Coolant	
3	30	1,5	Oli	
4	40	0,5	Coolant	
5	40	1	Oli	
6	40	1,5	Udara	
7	50	0,5	Oli	
8	50	1	Udara	
9	50	1,5	Coolant	

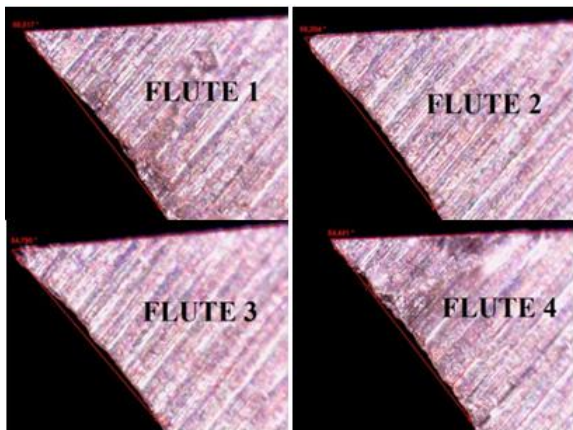
4 Hasil Dan Pembahasan

4.1 Mengukur keausan pahat

Mengukur keausan disetiap *flute* (mata potong). Diukur di bagian tepi mata pahat. Dapat dilihat pada gambar 7 sebagai berikut.



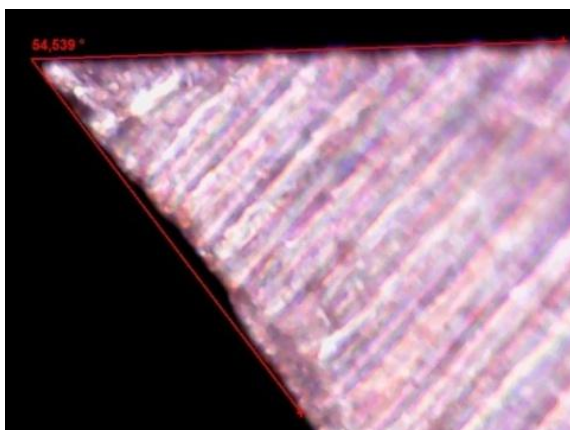
(A)



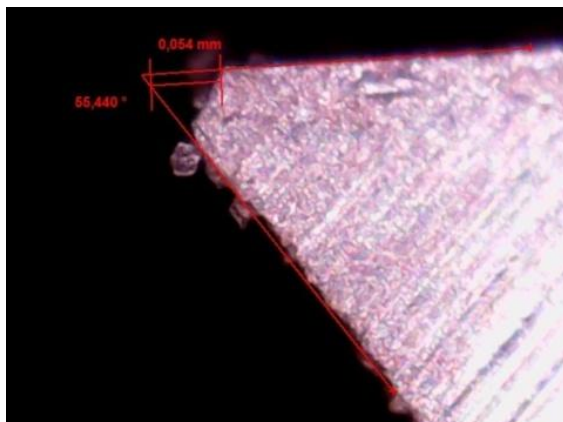
(B)

Gambar 7. Flute (Mata Potong) Yang Di Ukur

Nilai panjang VB diukur dari ujung sudut pahat sebelum pemesinan dan di tarik ke batas keausan yang terjadi sesudah melakukan pemesinan, dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 sebagai berikut.



Gambar 8. Sebelum Melakukan Pemesinan



Gambar 9. Sesudah Melakukan Pemesinan

Sebelum melakukan pemesinan mata pahat *end mill* di ukur terlebih dahulu. Setelah itu dibandingkan dengan nilai sesudah pemesinan. Nilai keausan yang

didapatkan di setiap mata potong dirata-ratakan. Keausan rata-rata itu dijadikan sebagai nilai keausan mata pahat *end mill*. Dapat di lihat pada Tabel 4

Tabel 4. Tabel Data Dari Matrik *Orthogonal* L9 (3³)

No	Parameter			VB (mm)
	(f), mm/min	(a), mm	Pendingin	
1	30	0,5	Udara	0,020
2	30	1	Coolant	0,016
3	30	1,5	Oli	0,024
4	40	0,5	Coolant	0,013
5	40	1	Oli	0,017
6	40	1,5	Udara	0,044
7	50	0,5	Oli	0,016
8	50	1	Udara	0,050
9	50	1,5	Coolant	0,039

4.2 Analisis *Taguchi* Dsign

Dibawah ini merupakan analisa kuantitatif menggunakan program minitab 17 analisis desain *taguchi*. Untuk mengetahui faktor apa yang paling berpengaruh dan signifikan terhadap keausan pahat *end mill* HHS dalam proses pemotongan bahan aluminium *sheet* 1100. Didalam analisis tersebut akan ditampilkan data hasil analisis *taguchi* berdasarkan keausan pahat *end mill* HSS di setiap tahap percobaan. Dari perhitungan minitab 17 didapat kan hasil S/N Rasio dapat di lihat pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Tabel Data Hasil S/N Ratios

No	Parameter			VB (mm)	S/N Ratios
	(f), mm/min	(a), mm	Pendingin		
1	30	0,5	Udara	0,020	33,9794
2	30	1	Coolant	0,016	35,9176
3	30	1,5	Oli	0,024	32,3958
4	40	0,5	Coolant	0,013	37,7211
5	40	1	Oli	0,017	35,3910
6	40	1,5	Udara	0,044	27,1309
7	50	0,5	Oli	0,016	35,9176
8	50	1	Udara	0,050	26,0206
9	50	1,5	Coolant	0,039	28,1787

Perhitungan nilai S/N Ratios tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari respon. Respon keausan pahat memiliki karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik. Contoh perhitungan S/N Ratios dari keausan pahat untuk kombinasi setting faktor pertamadengan karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik adalah sebagai berikut:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right]$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{1} (0,020^2) \right]$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log [0,0004]$$

$$\frac{S}{N} = 33,9794$$

Dimana:

N = jumlah replikasi data keausan pahat yang diambil.

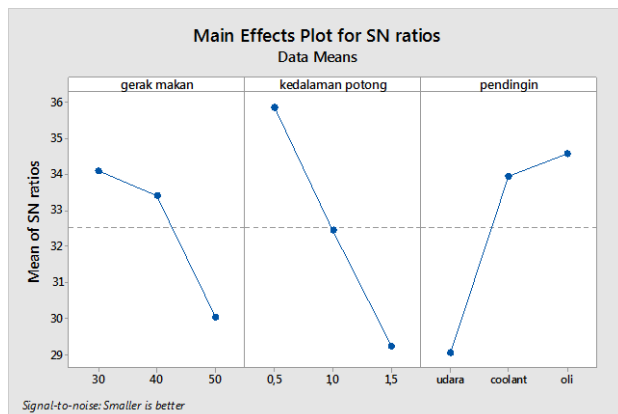
Y = nilai keausan pahat yang didapatkan.

Respon *Signal To Noise Ratios Smaller Is Better* untuk faktor kontrol dalam mengindikasikan pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata yang digunakan saat pemotongan dilakukan. Pengolahan data respon yang diperoleh langsung dari setiap tahap percobaan pemotongan. Untuk respon keausan mata pahat, pengaruh level terlihat pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Tabel Data *Signal To Noise Ratios Smaller Is Better*

Level	Gerak makan	Kedalaman potong	Pendingin
1	34,10	35,87	29,04
2	33,41	32,44	33,94
3	30,04	29,24	34,57
Delta	4,06	6,64	5,52
Rank	3	1	2

Berdasarkan data hasil rata-rata *S/N Ratios* pada Tabel 6 didapat Gambar grafik respon *S/N Ratios* dapat dilihat pada Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik Respon *S/N Ratios*

Dari hasil percobaan dan analisa data yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa antara ketiga jenis media pendingin yang digunakan dalam percobaan ini yaitu jenis udara, *coolant* dan oli ketiganya memiliki kemampuan untuk menghambat keausan pahat *end mill* yang berbeda. Dalam hal ini media pendingin jenis

coolant dan oli jauh lebih bagus dibandingkan dengan media pendingin jenis udara. Hal ini dikarenakan terjadi kontak langsung antara media pendingin dengan pahat *end mill* yang cukup besar. Sedangkan untuk jenis media pendingin udara sendiri tidak demikian, dan cenderung seolah-olah tidak dilakukan pendinginan sama sekali, sehingga menyebabkan pahat lebih mudah aus.

Akan tetapi kondisi optimum yang didapat dengan menggunakan analisis *signal to noise ratio (S/N Ratios)* "small is better" terhadap rancangan percobaan metode taguchi L-9 menunjukkan kondisi yang berbeda. Untuk rentang gerak makan (f) sampai dengan 50 mm/min, kedalaman potong (a) sampai dengan 1,5 mm, penggunaan cairan pendingin hasil oli mampu memberikan nilai keausan pahat yang rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 hasil ini didapat dengan mengkombinasikan gerak makan 30 mm/min, kedalaman potong 0,5 mm. kondisi pemotongan ini adalah kondisi pemotongan yang baik diantara rentang kombinasi parameter pemotongan yang diamati.

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 10 terlihat bahwa ada indikasi terjadinya pergeseran fungsi media pendingin dalam proses pemotongan material aluminium *sheet* 1100 dengan penggunaan media pendingin hasil oli. Dari yang awalnya berfungsi sebagai pelumas, pendingin, dan pelindung bergeser menjadi pelumas yang memiliki kemampuan pelumasan yang baik. Oli mampu mempertahankan kemampuan pelumasan yang lebih baik pada temperatur yang tinggi dibandingkan jenis media pendingin *coolant* dan udara.

Berdasarkan paparan diatas dapat diketahui bahwa kemampuan pelumasan yang baik akan bermanfaat untuk mengurangi gesekan pada permukaan bidang kontak antara pahat dan geram, dan begitu pula dengan gerak makan dan kedalaman potong yang rendah juga memiliki pengaruh yang baik bagi keausan pahat.

Berdasarkan analisa pada Tabel 6 dan Gambar 10 parameter yang mempengaruhi respon keausan pahat terkecil adalah dapat dilihat pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Respon Parameter Terbaik

Faktor	Level	Nilai level
gerak makan	Level 1	30 mm/min
kedalaman potong	Level 1	0,5 mm
pendingin	Level 3	Oli

Berdasarkan analisa tabel respon pada tabel 7 yang mempengaruhi keausan pahat yang terkecil adalah pada gerak makan 30 mm/min, kedalaman potong 0,5 mm, dan pendingin oli.

4.3 Analysis Of Varian (ANOVA)

Analysis of Varian (ANOVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki pengaruh secara signifikan. Dengan menggunakan *software* minitab 17 hasil ANOVA respon keausan pahat dengan factor gerak makan, kedalaman potong dan pendingin. Maka dihasilkan data yang tampak pada Tabel 8 ANOVA sebagai berikut.

Tabel 8. Analisis Of Varian (ANOVA)

No	Source	Df	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
1	gerak makan (<i>f</i>)	2	0,000354	0,000177	13,15	0,071
2	Kedalaman potong (<i>a</i>)	2	0,000566	0,000283	21,06	0,045
3	Pendingin	2	0,000610	0,000305	22,67	0,042
4	Error	2	0,000027	0,000013		
5	Total	8	0,001556			

Pada Tabel 8 dimana hasil pengolahan data menggunakan program minitab 17, pada kolom terakhir muncul huruf P. Itu merupakan satuan atau simbol dari nilai probabilitas (P-value), itu adalah peluang munculnya suatu kejadian. Besarnya peluang melakukan kesalahan disebut taraf signifikansi yang artinya meyakinkan atau berarti. Dalam penelitian ini mengandung arti bahwa hipotesis yang telah terbukti pada sampel dapat diperlakukan pada populasi. Tingkat signifikansi 5% atau 0,050 artinya kita mengambil resiko kesalahan dalam mengambil keputusan untuk menolak hipotesis yang benar sebanyak-banyaknya 5% dan dalam mengambil keputusan sedikitnya 95% (tingkat kepercayaan).

Dalam penelitian ini nilai P untuk gerak makan adalah 0,071, nilai P untuk kedalaman potong (*a*) adalah 0,045 dan nilai P untuk pendingin adalah 0,042. Dari data tersebut menyatakan bahwa parameter kedalaman potong dan pendingin menghasilkan nilai $P < 0,050$, hal ini menunjukkan bahwa parameter kedalaman potong dan pendingin merupakan faktor yang signifikan dalam mempengaruhi keausan pahat, parameter pendingin memberikan kontribusi yang lebih besar dibandingkan parameter kedalaman potong dalam keausan pahat, hal tersebut bisa dilihat dari nilai P yang dihasilkan oleh pendingin lebih kecil atau nilai F yang dihasilkan lebih besar dari parameter kedalaman potong. Sedangkan gerak makan bukan faktor signifikan.

4.4 Uji Distribusi Normal

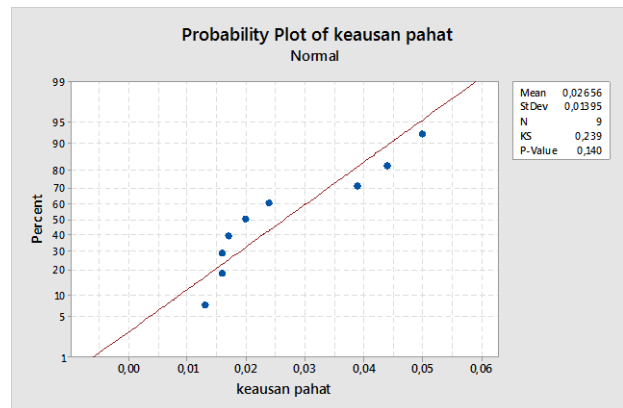
Uji distribusi normal dilakukan untuk mengamati penyimpangan model. Sudah dikatakan telah mengikuti distribusi normal jika pada kurva kenormalan residual,

apabila titik residual yang dihasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan. Gambar 11 menunjukkan hasil statistik *Kolmogorov-Smirnov* (KS) untuk uji distribusi normal dengan derajat signifikansi $\alpha = 0,05$. Hipotesis:

H0 : residual model regresi berdistribusi normal

H1 : residual model regresi tidak berdistribusi normal.

Berdasarkan tabel statistik *Kolmogorov-Smirnov* untuk $\alpha = 0,05$ dan jumlah pengamatan sebanyak 9 pengamatan adalah 0,43001. Nilai ini akan dijadikan patokan untuk mengambil kesimpulan berdasarkan hasil uji kenormalan data yang telah dilakukan. Nilai statistik *Kolmogorov-Smirnov* adalah 0,239. Nilai *Kolmogorov-Smirnov* yang diperoleh dari pengamatan kurang dari nilai tabel statistik *Kolmogorov-Smirnov* yaitu $0,239 < 0,43001$. Oleh karena itu, kesimpulan hasil uji kenormalan residual adalah residual model regresi linear yang dibuat telah mengikuti distribusi normal. Jadi asumsi asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi linear, sehingga model regresi yang telah dibuat bisa digunakan. Dapat dilihat pada Gambar 11 sebagai berikut.



Gambar 11. Grafik Uji Kenormalan Keausan Pahat

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan, maka penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Parameter Pemotongan Dan Pendingin Terhadap Tingkat Keausan Pahat *End Mill* HSS Hasil Pemesinan CNC Router Milling Pada Aluminium Sheet 1100” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semua keausan mata pahat terjadi pada sisi tepinya, mekanisme ini mengindikasikan bahwa terjadinya keausan tepi (*flank wear*). Penyebab keausan ini terjadi karena adanya gesekan antara permukaan benda kerja dengan pahat, dimana pada bagian sisi tepi mata pahat merupakan permukaan utama saat melakukan pemakanan.
2. Dari analisis metode *taguchi Signal To Noise Ratios Smaller Is Better*, dapat disimpulkan bahwa penggunaan gerak makan yang rendah, kedalaman

- potong yang kecil akan mengurangi tingkat keausan pahat, begitu pula sebaliknya. berdasarkan analisa respon table dan grafik *Signal To Noise Ratios Smaller Is Better*, respon tingkat keausan pahat terkecil adalah gerak makan pada level 1 yaitu 30 mm/min, kedalaman potong pada level 1 yaitu 0,5 mm, pendingin pada level 3 yaitu oli. Dan respon tingkat keausan pahat terbesar adalah gerak makan pada level 3 yaitu 50 mm/min, kedalaman potong pada level 3 yaitu 1,5 mm, pendingin pada level 1 yaitu udara.
3. Dari hasil *analisis of Varian* (ANOVA) menyatakan bahwa parameter yang signifikan atau berpengaruh dalam keausan pahat adalah pendingin dan kedalaman potong, parameter kedalaman potong dan pendingin menghasilkan nilai $P < 0,050$. hal ini menunjukkan bahwa parameter tersebut merupakan faktor yang signifikan dalam mempengaruhi keausan pahat, parameter pendingin memberikan kontribusi yang lebih besar dengan nilai $0,042 < 0,050$ dibandingkan parameter kedalaman potong dengan nilai $0,045 < 0,050$ dalam keausan pahat, hal tersebut bisa dilihat dari nilai P yang dihasilkan oleh parameter pendingin lebih kecil.
 4. Dari hasil distribusi normal nilai statistik *Kolmogorov-Smirnov* yang diperoleh adalah 0,239, sementara nilai tabel dari statistik *Kolmogorov-Smirnov* untuk $\alpha = 0,05$ dan jumlah pengamatan sebanyak 9 pengamatan adalah 0,43001. Karena Nilai *Kolmogorov-Smirnov* yang diperoleh dari pengamatan kurang dari nilai tabel statistik *Kolmogorov-Smirnov* yaitu $0,239 < 0,43001$. Oleh karena itu, kesimpulan hasil uji kenormalan residual adalah residual model regresi linear yang dibuat telah mengikuti distribusi normal.
- [7] S. Sunarto dan S. Mawarni, "Pengaruh Pemesinan Laju Tinggi Keadaan Kering Terhadap Pertumbuhan Aus Sisi (VB) Pahat Karbida Berlapis (TiAlN/TiN) pada Pembubutan Paduan Aluminium 6061", *J. Polimesin*, Vol. 16, No. 2, pp. 51-56, 2018.
- [8] Kalpakjian, *Manufacturing Process for Engineering and Technology*". 3rd Edition, Addison Wesley Publishing Company, 1995.
- [9] T. Rochim, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan, Laboratorium Teknik Produksi*. Jurusan Mesin, FTI-ITB, Bandung, 1999.

Daftar Pustaka

- [1] T. Rochim, *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*, Higher Education Development Support Project, 1993.
- [2] Azwinur dan Taufiq, "Analisis Umur Pahat dan Biaya Produksi pada Proses Drilling terhadap material S40C," *J. Polimesin*, Vol. 15, No. 1, 2017.
- [3] B. L. Juneja, G. Sekhon, and N. Seth, *Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools*, New-Delhi, New Age International, 2003.
- [4] T. Rochim, *Perkakas & Sistem Perkakas*", Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2007.
- [5] S. Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology*, 6th edition, New York, Pearson, 2009
- [6] A. Ginting, "Karakteristik Pemotongan Ortogonal Kering Paduan Titanium Ti6Al4V Menggunakan Pahat Karbida", *Jurnal Tenik Mesin*, 2006