

ANALISIS MODIFIKASI SUDUT PAHAT GURDI TERHADAP KEAUSAN PAHAT PADA PENGURDAN MATERIAL KOMPOSIT KARBON/EPOXY

Luther Sonda, Abdul Salam¹⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sejauhmana keausan pahat pada penguridan material komposit karbon/epoxy dengan menggunakan pahat gurdi konvensional HSS yang dimodifikasi sudut 2Kr nya menjadi dua tingkat. Selain itu, untuk mendapatkan besarnya putaran mesin, gerak makan, dan bentuk sudut 2Kr yang dimodifikasi agar diperoleh keausan pahat yang paling minimal. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengaruh variabel putaran mesin, gerak makan, dan sudut pahat modifikasi terhadap respon keausan pahat adalah berturut-turut sebagai berikut 10,128%, 8,653%, dan 5,394%. Setting kondisi optimum respon keausan pahat yang memberikan nilai keausan pahat paling minimum sebesar 0,2284 mm adalah berturut-turut sebagai berikut $S = 650$ rpm, $F = 55$ mm/min, dan $2Kr = 74^{\circ}$. Dibandingkan dengan penggunaan pahat gurdi HSS standar untuk range variabel permesinan yang sama, keausan pahat rata-rata adalah 0,3280 mm, dengan demikian penggunaan pahat gurdi HSS yang dimodifikasi dapat mereduksi keausan pahat sekitar 30,5%.

Kata Kunci: Material komposit karbon/epoxy, putaran mesin, gerak makan, modifikasi sudut pahat gurdi, keausan pahat, optimasi variabel proses.

I. PENDAHULUAN

Material komposit telah banyak digunakan pada berbagai struktur, terutama struktur pesawat terbang dan wahana ruang angkasa. Material komposit memiliki beberapa kelebihan dibandingkan material logam, yaitu lebih ringan, lebih kaku, lebih kuat serta ketahanan korosi dan umur fatik yang tinggi.

Penggunaannya yang umum sebagai material berbentuk panel-panel, sering dibuat lubang-lubang dengan ukuran yang bervariasi sebagai tempat-tempat sambungan. Pembuatan lubang-lubang tersebut umumnya menggunakan pahat gurdi khusus dari bahan karbida, namun karena harga pahat tersebut cukup mahal maka sampai saat ini masih sering dilakukan penguridan menggunakan pahat konvensional yang terbuat dari bahan HSS.

Masalah yang sering ditemui di lapangan, pahat gurdi HSS dalam bentuk standar tidak cukup kuat atau terlalu cepat aus bila digunakan melakukan penguridan pada material komposit. Hal ini dikarenakan penguridan lubang-lubang pada material

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

komposit berbeda dengan penggurdian pada material logam. Masalah yang timbul pada umumnya menyangkut keuletan pahat yang harus cukup memadai agar umur pahat relatif panjang karena material komposit cukup keras.

Jain dan Yang (1997), melakukan penelitian pada material komposit karbon/ epoxy dengan menggunakan pahat gurdi HSS standar berdiameter setengah dan satu inchi menyimpulkan bahwa di atas 5 produk lubang, maka kondisi pahat gurdi sudah mengalami kerusakan.

Penelitian yang dilakukan Surja (1999), dengan melakukan modifikasi pada sudut potong pahat gurdi yaitu sudut potong utama dibuat mempunyai dua buah. Sudut potong utama pertama ($K_r 1$) mengikuti pahat gurdi standar, yaitu $1/2 \times (118^\circ)$ sedangkan sudut potong utama kedua ($K_r 2$) dibuat $1/2 \times (70^\circ-80^\circ)$. Penggurdian yang dilakukan pada baja karbon St 60, menunjukkan bahwa modifikasi ini mampu mereduksi gaya aksial sekitar 15%, momen torsi 20%, dan laju keausan pahat lebih rendah sekitar 30% dibandingkan pahat HSS standar.

Pahat modifikasi yang dijelaskan di atas akan diaplikasikan pada penggurdian material komposit dengan menggunakan jenis pahat gurdi konvensional yang terbuat dari bahan HSS, sedangkan material komposit yang digunakan adalah jenis karbon/ epoxy yang biasa digunakan pada panel-panel kabin kapal atau pesawat terbang dengan karakteristik material keras dan getas.

Sampai saat ini belum banyak penelitian yang mengevaluasi pengaruh dari variabel-variabel proses gurdi seperti kecepatan potong, gerak makan, dan sudut-sudut potong utama yang dimodifikasi terhadap keausan pahat. Lebih jauh lagi, belum banyak tinjauan dalam hal pemilihan variabel-variabel proses gurdi tersebut di atas terhadap keausan pahat gurdi, khususnya pada penggurdian material seperti komposit karbon/epoxy dengan menggunakan pahat gurdi dari bahan HSS. Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauhmana dampak keausan pahat gurdi HSS yang dimodifikasi terhadap penggurdian material komposit karbon/epoxy.

Material komposit adalah jenis material yang diperoleh dengan menggabungkan dua atau lebih material yang mempunyai karakteristik yang berbeda dari segi bentuk maupun komposisinya. Material komposit disusun sedemikian rupa untuk mendapatkan sifat atau kualitas yang baik dari unsur-unsur pembentuk komposit tersebut. Keuntungan penggunaan material komposit antara lain: mempunyai kekakuan, kekuatan dan bentuk yang stabil. Selain itu, sifatnya yang keras, ringan, menghambat panas, tidak tembus air dan tahan terhadap korosi.

Material komposit karbon/epoxy adalah komposit yang tersusun dari serat yang berupa karbon dan matrik pengikat epoxy resin yaitu plastik yang tersusun dalam struktur epoxy (IPTN, 1997).

Bahan perkakas potong jenis HSS adalah suatu jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan chrom (Cr) dan tungsten atau wolfram (W) melalui proses penuangan (*molten metallurgy*) kemudian diikuti pengerolan atau penempaan untuk

dibentuk menjadi batang atau silinder pada kondisi lunak (*annealed*) dimana bahan tersebut diproses secara permesinan menjadi bentuk perkakas potong dan perlakuan panas, sehingga kekerasannya menjadi tinggi sampai 3 kali kecepatan potong perkakas CTS (Carbon Tool Steel) atau baja karbon tinggi yang dikenal pada saat itu sekitar 10 m/menit, sehingga dinamakan "Baja Potong Kecepatan Tinggi", HSS (High Speed Steel). Apabila aus, HSS dapat diasah kembali karena sifat keuletannya yang baik. Oleh karenanya sampai saat ini bahan perkakas potong jenis HSS masih tetap digunakan.

Keausan pahat gurdi akan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu penggurdian sampai suatu saat pahat bersangkutan dianggap tidak dapat digunakan lagi karena ada tanda-tanda tertentu yang menunjukkan umur pahat sudah sampai. Batas keausan untuk jenis pahat tertentu dalam memotong benda kerja yang diijinkan diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Batas Keausan Kritis Pahat Potong (Rochim, 1993)

Jenis Pahat	Benda Kerja	VB (mm)	K ⁺
HSS	Baja dan Besi Tuang	s.d 0.8	-
Karbida	Baja	s.d 0.6	0.3
Karbida	Besi Tuang dan Non Ferrous	s.d 0.6	0.3
Keramik	Baja dan Besi Tuang	0.3	-

Elemen-elemen dasar proses penggurdian dapat dituliskan sebagai berikut Kecepatan potong: $V_c = \pi d n / 1000$ (m/menit). Gerak makan per mata potong: $f_z = V_f / (n z)$ (mm/putaran). Putaran spindle mesin: $n = V_c 1000 / (\pi d)$ (put/menit). Waktu pemotongan: $t_c = Lt / V_f$ (menit).

Karena kompleksnya masalah permesinan, pengembangan analisis model matematika berdasarkan solid mekanik merupakan sesuatu yang sulit. Oleh karena itu penelitian secara eksperimental dikembangkan untuk proses-proses analisis.

Analisa gaya-gaya pemotongan akibat pengaruh variabel-variabel proses penggurdian yang menggunakan pahat konvensional dengan metode statistik sudah banyak dilakukan. Williams dan McGilchrist (1974) memberikan model matematika umur pahat dengan menggunakan persamaan Taylor yang menunjukkan korelasi umur pahat, diameter pahat, gerak makan, dan kecepatan potong sebagai berikut: $T = K / (V^m f^n D^p)$ keterangan: K, m, n, p = konstanta. Model persamaan ini selanjutnya dikembangkan dengan memasukkan beberapa variabel bebas lainnya sehingga menjadi: $T = K / \{V^m f^n (2K_r)^\gamma (\alpha)^h\}$ keterangan: V = kecepatan potong, f = gerak makan. $2K_r$ = sudut potong utama. α = sudut relief nominal. Selanjutnya persamaan di atas sebagai model matematika umur pahat, kebutuhan daya, dan variabel permesinan dikembangkan menjadi: $R = C V^m f^n d^p$ keterangan: R = respon permesinan. C, m, n, p = konstanta, V = kecepatan potong, f = gerak makan d = kedalaman potong. Untuk memudahkan dalam mengestimasi parameter C, m, n , dan p maka persamaan di atas ditransformasikan ke dalam model logaritma sebagai

berikut: $\ln R = \ln C + m \ln V + n \ln f + p \ln d$. Model ini bisa dinyatakan dalam bentuk linier yaitu: $\eta = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$ keterangan: η = respon dalam skala log, $X_1 = \ln V$, $X_2 = \ln f$, $X_3 = \ln d$, β_i = parameter-parameter yang diestimasi. Dalam hal ini kesalahan eksperimen (error, ε) ditambahkan, sehingga dapat dituliskan: $Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \varepsilon$ persamaan ini adalah persamaan polinomial derajat satu. Persamaan orde kedua dikembangkan berdasarkan persamaan orde pertama: $Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$. dimana X_1^2 , X_2^2 , dan X_3^2 adalah efek kuadrat logaritma dari ketiga variabel V , f dan d , sedangkan $X_1 X_2$, $X_1 X_3$, dan $X_2 X_3$ adalah efek interaksi.

Metoda permukaan respon (*response surface*) yang digunakan bertujuan untuk menentukan titik optimum dari respon, dalam hal ini untuk mendapatkan keausan yang paling minimum pada proses penggurdian.

Model orde pertama menggunakan rancangan faktorial 2^k ditambah dengan pengamatan di beberapa titik pusat. Penambahan pengamatan di beberapa titik pusat untuk memperoleh taksiran galat percobaan. Persamaan untuk model orde pertama adalah: $\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i$ keterangan: \hat{Y} = taksiran variabel respon, b_0 = konstanta, b_i = taksiran koefisien parameter orde pertama, X_i = variabel bebas.

Setelah didapatkan taksiran untuk model orde pertama, kemudian dilakukan uji lack of fit untuk mengetahui apakah ada kesesuaian model. Apabila terdapat kesenjangan model maka dilakukan rancangan percobaan orde kedua.

Rancangan percobaan orde kedua paling sedikit harus memiliki tiga level untuk masing-masing variabel.

Persamaan model orde kedua adalah:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ij} X_i^2 + \sum_i \sum_j^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Pendugaan model orde kedua dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} X_i^2 + \sum_i \sum_j^k b_{ij} X_i X_j, I < j$$

Untuk percobaan dengan $k=3$, pendugaan model orde kedua adalah:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3$$

Berdasarkan dengan uraian yang telah dijelaskan pada bagian latar belakang di atas, maka tujuan yang akan dicapai dalam kegiatan penelitian ini adalah: 1). Mengetahui variabel-variabel permesinan yang paling berpengaruh terhadap keausan pahat 2). Mengetahui hubungan (korelasi) antara variabel-variabel proses pemesisan 3). Menentukan setting variabel-variabel proses pemesisan yang dapat menghasilkan

keausan pahat yang paling minimal pada proses penggurdian material komposit karbon/epoxy.

Manfaat yang diperoleh dengan adanya penelitian ini adalah: 1). Diperoleh suatu informasi mengenai nilai keausan pahat yang dapat dicapai pada proses penggurdian material komposit karbon/epoxy dengan menggunakan pahat gurdi HSS yang dimodifikasi sudut potongnya 2). Diperoleh bahan rujukan/referensi tentang kondisi setting dari variabel proses pemesinan yang dapat menghasilkan keausan pahat paling minimal pada penggurdian material komposit karbon/epoxy 3). Dapat menghemat penggunaan pahat karbida yang mahal, sehingga proses penggurdian material komposit karbon/epoxy secara keseluruhan menjadi lebih ekonomis.

II. METODE PENELITIAN

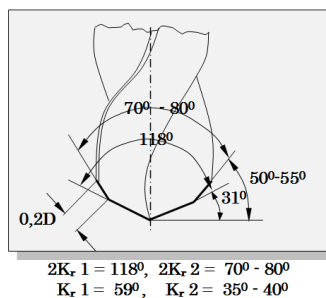
Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan (Maret s.d Agustus 2006) di Lab. CNC Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Mesin gurdi yang digunakan adalah mesin CNC-Emco VMC 200 dengan beberapa alat bantu antara lain: Mesin asah pahat untuk mengasah dan memodifikasi pahat gurdi, Profil Proyektor untuk mengukur keausan tepi dari pahat gurdi.

Untuk setiap data rancangan percobaan dilakukan pengulangan 5 lubang dan diberikan interval waktu antara setiap lubang selama 5 menit dimaksudkan untuk memberikan pendinginan pada pahat. Digunakan pahat twist drill konvensional dari bahan HSS (High Speed Steel) non coating yang dimodifikasi *outer-cornernya*, sehingga sudut potong utama menjadi bertingkat dengan spesifikasi sebagai berikut:

Merk : Nachi (Jepang)
 Diameter pahat : konstan (12mm)
 Sudut potong utama : konstan (118°)
 Sudut potong kedua : bervariasi

Sudut-sudut potong modifikasi *outer-corner* yang digunakan adalah 70° , 75° , dan 80° , sedangkan untuk level bawah dan level atas pada titik sumbu rancangan digunakan sudut potong 65° dan 85° . Gambar berikut memperlihatkan pahat gurdi yang dimodifikasi *outer-cornernya*.



Gambar1. Modifikasi *Outer-Corner* Pahat Gurdi HSS (Surya, 1999)

Material benda kerja yang diamati adalah komposit karbon/epoxy multi layer dengan spesifikasi IPTN: NMS 8-510 Type II Class 2 Grade 3K-70-PW dengan ketebalan 5,4 mm. Material ini digunakan pada pesawat terbang N250 sebagai *composite part*.

Penentuan range level pengujian dalam penelitian ini masing-masing variabel bebas terdapat tiga level ditambah level bawah dan atas untuk pengamatan titik sumbu rancangan ($-\alpha$ dan $+\alpha$). Pemilihan level variabel bebas sesuai dengan kode level rancangan penelitian diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hubungan Kode dan Nilai Level Variabel Permesinan Rancangan Penelitian

Kode Variabel	-1,682	- 1	0	+ 1	+1,682
X1: Putaran Mesin, S (rpm)	280	450	700	950	1120
X2: Gerak Makan, F (mm/min)	10	30	60	90	110
X3: Modifikasi <i>outer-corner</i> pahat ($2K_r, ^0$)	65	70	75	80	85

Orde pertama jumlah seluruh percobaan sebanyak 12 perlakuan yang terdiri dari $2^3 = 8$ level perlakuan untuk kombinasi level perlakuan dan 4 perlakuan untuk pengamatan titik pusatnya. Pada model orde pertama ini dilakukan uji lack of fit. Jika lack of fit tidak nyata maka dapat disimpulkan bahwa fungsi respon adalah merupakan persamaan garis lurus, jika lack of fit nyata secara statistik maka percobaan dilanjutkan untuk pendugaan model orde kedua.

Untuk orde kedua jumlah seluruh percobaan sebanyak 23 perlakuan yang terdiri dari $2^3 = 8$ perlakuan untuk kombinasi level perlakuan, 9 pengamatan pada titik pusat dan $2 \times 3 = 6$ pada titik aksial. Model orde kedua juga dilakukan uji lack of fit. Jika lack of fit nyata secara statistik maka dilakukan transformasi. Jika tidak ada lack of fit maka selanjutnya ditentukan titik stasioner yaitu nilai dari variabel bebas yang memberikan nilai respon yang optimal (Response Surface Method).

Setiap data rancangan eksperimen dibuat lima lubang dengan interval waktu setiap lubang selama lima menit. Data rancangan eksperimen terdiri atas kombinasi beberapa variabel bebas yang diteliti (putaran mesin, gerak makan, dan bentuk sudut pahat potong modifikasi).

Prosedur pelaksanaan percobaan dilaksanakan sebagai berikut:

1. Membuat list program pada panel mesin untuk proses penggurdian yang akan dilakukan. Titik referensi, perpindahan titik target (X,Y,Z), dan perintah G atau M dibuat secara permanen, sedangkan harga dari variabel pemesinan (S dan F) dapat diubah-ubah sesuai data rancangan percobaan. Antara lubang satu dan yang lainnya, pahat gurdi tidak diaktifkan selama lima menit untuk pendinginan.
2. Bagian pencekam dan sekitarnya diberi kain untuk menampung geram hasil penggurdian. Spesimen benda kerja dan kayu pelapis dicekam bersama dengan

mengatur posisi yang tepat agar titik nol dari pahat gurdi sesuai yang telah ditentukan. Kencangkan tuas pengecam sampai pengecaman benar-benar kokoh.

3. Memasang pahat gurdi modifikasi yang sesuai dengan rancangan percobaan pada kolet. Kolet dipasang pada tool-turret dengan baik dan benar.

4. Lakukan percobaan dengan menekan tombol run, setelah selesai melakukan penggurdian satu lubang pahat akan berhenti, tidak diaktifkan selama lima menit, dan dilanjutkan setelah menempuh interval waktu tersebut.

5. Setelah proses penggurdian selesai pada lubang kelima, selanjutnya dilakukan penggurdian untuk data rancangan percobaan berikutnya.

6. Lakukan pengukuran keausan pahat pada profil proyektor untuk semua lubang kelima dari seluruh data rancangan eksperimen (35 data).

Data keausan pahat untuk kombinasi variabel-variabel bebas yang telah ditentukan untuk orde pertama dan orde kedua sebagai berikut:

Tabel 3. Data Pengamatan Orde Pertama

No. Eksp	X1 S (rpm)	X2 F (mm/min)	X3 Mod. pahat ($2K_r, ^0$)	Y Keausan (mm)	No. Ran- dom
1	450	30	118-70	0.222	4
2	950	30	118-70	0.329	3
3	450	90	118-70	0.220	8
4	950	90	118-70	0.250	12
5	450	30	118-80	0.299	6
6	950	30	118-80	0.296	2
7	450	90	118-80	0.243	11
8	950	90	118-80	0.297	10
9	700	60	118-75	0.215	7
10	700	60	118-75	0.270	5
11	700	60	118-75	0.246	1
12	700	60	118-75	0.296	9

Tabel 4. Data Pengamatan Orde Kedua

No. Eksp.	X1 S (rpm)	X2 F (mm/min)	X3 Mod. pahat ($2K_r, ^0$)	Y Keausan (mm)	No. Ran- dom
1	450	30	118-70	0.279	17
2	950	30	118-70	0.302	9
3	450	90	118-70	0.294	11
4	950	90	118-70	0.308	23
5	450	30	118-80	0.284	22
6	950	30	118-80	0.336	13
7	450	90	118-80	0.341	14

8	950	90	118-80	0.387	21
9	280	15	118-75	0.256	10
10	1120	60	118-75	0.322	18
11	700	10	118-75	0.259	4
12	700	110	118-75	0.318	1
13	700	60	118-65	0.270	7
14	700	60	118-85	0.279	20
15	700	60	118-75	0.201	6
16	700	60	118-75	0.231	2
17	700	60	118-75	0.254	12
18	700	60	118-75	0.240	16
19	700	60	118-75	0.243	8
20	700	60	118-75	0.220	5
21	700	60	118-75	0.233	15
22	700	60	118-75	0.237	19
23	700	60	118-75	0.263	3

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang diperoleh dari hasil eksperimen berupa nilai keausan pahat gurdi pada beberapa kombinasi variabel permesinan sesuai rancangan eksperimen, terdiri atas rancangan orde pertama dan orde kedua. Untuk mempermudah analisis data-data tersebut digunakan bantuan software program Minitab dan Statgraf.

Dugaan model orde pertama untuk respon keausan pahat adalah:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$$

Model persamaan orde kedua untuk respon keausan pahat adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 0.235143 + 0.0180128 X_1 + 0.0167115 X_2 + 0.0131902 X_3 + 0.0249235 X_1^2 + 0.0247467 X_2^2 + 0.019797 X_3^2 - 0.001875 X_1 X_2 + 0.007625 X_1 X_3 + 0.010875 X_2 X_3$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan bantuan paket program minitab, diperoleh pengaruh faktor-faktor yang diteliti terhadap respon. Tabel 3.1 menunjukkan persentase kontribusi pengaruh faktor putaran mesin (X_1), gerak makan (X_2), dan sudut modifikasi pahat (X_3), serta sudut modifikasi pahat (X_3) terhadap respon keausan pahat ($X_1 X_3$ dan $X_2 X_3$).

Tabel 5. Persentase pengaruh Faktor terhadap Respon

Faktor	Pengaruh Faktor Terhadap Respon %
X1	10.128
X2	8.653
X3	5.394
X1X2	0.064
X1X3	1.056
X2X3	2.148

X1X1	22.408
X2X2	22.091
X3X3	14.138

Dari tabel di atas secara umum terlihat bahwa masing-masing variabel mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap respon keausan pahat. Variabel yang paling berpengaruh adalah putaran mesin dengan kontribusi sebesar 10,128%. Sedangkan variabel gerak makan memberikan kontribusi sebesar 9,653% sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh putaran mesin dan gerak makan relatif tetap sekitar dua kali lipat dibandingkan sudut modifikasi pahat (5,394%) pada penggurdian material komposit karbon/epoxy untuk range pengujian yang diteliti.

Dalam penelitian ini variabel putaran mesin memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap respon keausan pahat. Sedangkan pengaruh variabel secara kuadratik menunjukkan bahwa variabel putaran mesin dan gerak makan berturut-turut memberikan pengaruh yang signifikan sebesar 22,408% dan 22,091%. Hal ini berarti nilai kedua variabel tersebut memberikan pengaruh yang berarti terhadap respon.

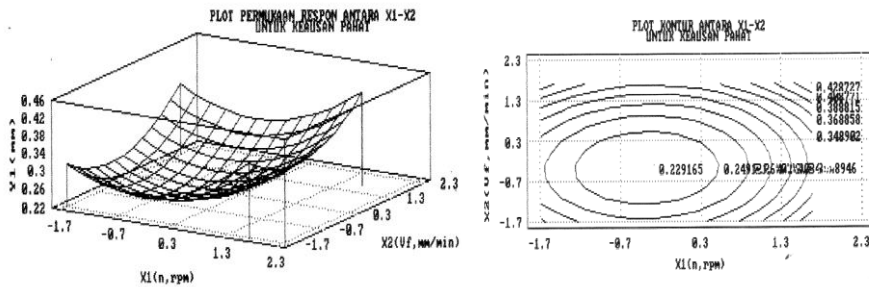
Berdasarkan kontribusi variabel-variabel penggurdian terhadap respon keausan pahat, variabel yang perlu diperhatikan adalah putaran mesin dan gerak makan. Sedangkan untuk variabel sudut modifikasi pahat pengaruhnya tidak terlalu besar. Dengan demikian penentuan besarnya variabel putaran mesin dan gerak makan yang tepat akan dapat meminimumkan keausan pahat.

Untuk memprediksi nilai respon keausan pahat pada berbagai kombinasi variabel rancangan percobaan, dibuat program macro yang memperlihatkan hasil perhitungan program prediksi untuk respon keausan pahat sebagaimana tabel 6, sedangkan plot prediksi untuk permukaan respon keausan pahat diperlihatkan pada gambar 3.1.

Tabel 6 . Hasil perhitungan Program Prediksi respon keausan pahat

No.	S (rpm)	F (mm/min)	2Kr (^o)	Keausan Pahat (mm)
1	200	10.000	65.0	0.4445
2	225	12.500	65.5	0.4278
3	250	15.000	66.0	0.4039
4	275	17.500	66.5	0.3814
5	300	20.000	67.0	0.3603
6	325	22.500	67.5	0.3407
7	350	25.000	68.0	0.3225
8	375	27.500	68.5	0.3066
9	400	30.000	69.0	0.2912
10	425	32.500	69.5	0.2786
11	450	35.000	70.0	0.2674
12	475	37.500	70.5	0.2563
13	500	40.000	71.0	0.2484
14	525	42.500	71.5	0.2419
15	550	45.000	72.0	0.2360

16	575	47.500	72.5	0.2314
17	600	50.000	73.0	0.2291
18	625	52.500	73.5	0.2288
19	650	55.000	74.0	0.2284
20	675	57.500	74.5	0.2310
21	700	60.000	75.0	0.2354
22	725	62.500	75.5	0.2402
23	750	65.000	76.0	0.2475
24	775	67.500	76.5	0.2552
25	800	70.000	77.0	0.2653
26	825	72.500	77.5	0.2767
27	850	75.000	78.0	0.2896
28	875	77.500	78.5	0.3048
29	900	80.000	79.0	0.3205
30	925	82.500	79.5	0.3385
31	950	85.000	80.0	0.3570
32	975	87.500	80.5	0.3780
33	1000	90.000	81.0	0.4026
34	1025	92.500	81.5	0.4240
35	1050	95.000	82.0	0.4493
36	1075	97.500	82.5	0.4762
37	1100	100.000	83.0	0.5046
38	1125	102.500	83.5	0.5345
39	1150	105.000	84.0	0.5660
40	1175	107.500	84.5	0.5990
41	1200	110.000	85.0	0.6335



Gambar 2. Plot Permukaan Respon dan Kontur X_1 - X_2 Keausan Pahat

Untuk membandingkan keausan yang terjadi bila menggunakan pahat standar, dilakukan penggurdian dengan variabel permesinan seperti tabel 7 berikut.

Tabel 7. Data penggurdian pahat HSS standar

No. Eksp	S (rpm)	F (mm/min)	Pahat Standar	Keausan (mm)
1	450	30	118 ⁰	0.257
2	700	60	118 ⁰	0.343
3	950	90	118 ⁰	0.385

Secara rata-rata diperoleh keausan pahat 0.328 mm untuk pengguridian material komposit karbon/epoxy, masing-masing untuk pengguridian lima lubang, setiap interval satu lubang pahat didiamkan lima menit untuk pendinginan. Nilai keausan pahat ini sudah mencapai batas keausan pahat gurdi HSS sebesar 0,3 – 0,8 mm (Rochim, 1993).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan data penelitian dapat disimpulkan:

1. Pengaruh variabel putaran mesin, gerak makan, dan sudut pahat modifikasi terhadap respon keausan pahat adalah sebagai berikut:

Putaran mesin, S (rpm) = 10,128%

Gerak makan, F (mm/min) = 8,653%

Sudut pahat, 2Kr ($^{\circ}$) = 5,394%

2. Model matematik orde kedua respon keausan pahat adalah:

$$\hat{Y} = 0.235143 + 0.0180128 X_1 + 0.0167115 X_2 + 0.0131902 X_3 + 0.0249235 X_1^2 + 0.0247467 X_2^2 + 0.019797 X_3^2 - 0.001875 X_1 X_2 + 0.007625 X_1 X_3 + 0.010875 X_2 X_3$$

3. Setting kondisi optimum respon keausan pahat yang memberikan nilai keausan pahat paling minimum sebesar 0,228 mm adalah:

Putaran mesin, S = 650 rpm

Gerak makan, F = 55 mm/min

Sudut modifikasi pahat, 2Kr = 74°

4. Perbandingan dengan pahat standar (2Kr = 118°), keausan pahat rata-rata sebesar 0,328 mm, dengan demikian penggunaan pahat gurdi HSS yang dimodifikasi dapat mereduksi keausan pahat sekitar 30,5%.

B. Saran

Untuk mendapatkan model yang lebih sempurna dengan tingkat penerimaan statistik yang maksimal, perlu dipelajari adanya variabel-variabel lain yang berpengaruh terhadap proses pengguridian material komposit karbon/epoxy.

Pendinginan pahat perlu diperhatikan, sedapat mungkin kondisinya sama pada interval waktu satu lubang pengguridian. Bila memungkinkan waktu jedah dibuat lebih lama hingga temperatur pahat benar-benar kembali ke temperatur awal.

V. DAFTAR PUSTAKA

Bambang Priambodo. 1994. *Elemen Mesin Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

173 Luther Sonda, Abdul Salam, Analisis Modifikasi Sudut Pahat Gurdi terhadap Keausan Pahat pada Penggurdian Material Komposit Karbon/Epoxy

Boothroyd, Geoffrey. 1985. *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*. International edition. Washington D.C.: Scripta Book Company.

Chanana, Charanjit. 1996. *Production Technology*. First edition. New Delhi: McGraw-Hill Publishing Company Limited.

Emco. 1992. *Teacher's Handbook*. Emco VMC-200 (Indonesia). Austria: Emco Maier.

Govekar, E. Grabec I. 1994. *Self-Organizing Neural Network Application to Drill Wear Classification*. Journal Of Engineering for Industry. Vol. 116, Mei 1994.

IPTN Manual. NMS 8-510. 1997. *Advanced Composites 177⁰C Cure Toughened-Epoxy Preimpregnated Carbon Tapes and Woven Fabrics*. Rev. B. Bandung: IPTN Agustus 1997.

Jain, S. and Yang, D. C. H. 1997. *Effect of Feedrate and Chisel Edge on Delamination in Composites Drilling*. Journal of Engineering for Industry. Vol. 115. November 1994.

Malulu, Serlipping. Boen. 2001. *Perbandingan Keausan Mata Bor HSS Merek Guhring HSS, Merek Kenzo Titanium HSS, dan Merek May @ HSS Pada Pengerjaan Baja St.50 di Mesin Frais VMC-200* Tugas Sarjana S1 Jurusan Teknik Mesin. Makassar: Universitas Negeri Makassar.

Montgomery, Douglas. C. 1991. *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley & Sons.

Rochim, Taufiq. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: FTI – ITB. Higher Education Development Support Project.

Surja, D. H. 1999. *Analisis Modifikasi Outer-Corner Angle Pahat Gurdi Pada Penggurdian Material Besi Tuang*. Tugas Sarjana S1 Jurusan Teknik Mesin. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Williams and McGilchrist. 1974. *An Experimental Study of Drill Life*. International Journal of Production Research. Vol. 10, No. 2, pp. 175 – 191.