



Analisa Pengaruh Sudut Potong Terhadap Temperatur dan Keausan Pahat Pada Proses Pembubutan Material ST 41

M.Wahyu Ardiansyah¹, Mochamad Mas'ud²

^{1,2}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan

¹wahyuardian125i@gmail.com ²maksud.teknik@yudharta.ac.id

Abstract

Turning is one of the most widely used machining processes in manufacturing industries, where tool geometry, particularly the cutting angle, significantly influences cutting temperature and tool life. This study was conducted through simulation and experimental turning of ST 41 steel using HSS cutting tools with cutting angle variations of 10°, 12°, and 15°, while other parameters such as cutting speed, depth of cut, and feed rate were kept constant. Cutting temperature was measured using a thermocouple and an infrared thermometer, while tool wear was analyzed using an optical microscope following ISO 3685 standards. The data were analyzed descriptively and statistically to determine the effect of cutting angle variations on cutting temperature and tool wear. The results showed that a larger cutting angle (15°) produced the highest average cutting temperature of 477.77 °C and the most severe tool wear. A smaller cutting angle (10°) resulted in the lowest initial temperature of 355.8 °C but exhibited a sharp increase, reaching an average of 420.47 °C, along with relatively high wear. The most favorable condition was obtained at a cutting angle of 12°, which produced the lowest average temperature of 419.33 °C and the most stable and minimal tool wear. Variation in cutting angle significantly affects cutting temperature and tool wear, with a cutting angle of 12° proven to be the most optimal in maintaining thermal stability and extending tool life during the turning process of ST 41 steel.

Keywords: cutting angle, cutting temperature, tool wear, turning, ST 41.

Abstrak

Proses pembubutan merupakan salah satu metode pemesinan yang banyak digunakan dalam industri manufaktur, di mana geometri pahat, khususnya sudut potong, sangat memengaruhi temperatur pemotongan dan umur pahat. Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi dan eksperimen pembubutan baja ST 41 menggunakan pahat HSS dengan variasi sudut potong 10°, 12°, dan 15°, sedangkan parameter lain seperti kecepatan potong, kedalaman potong, dan pemakanan dijaga konstan. Temperatur pemotongan diukur menggunakan termokopel dan infrared thermometer, sedangkan keausan pahat dianalisis dengan mikroskop optik digital mengacu pada standar ISO 3685. Data dianalisis secara deskriptif dan statistik untuk mengetahui pengaruh variasi sudut potong terhadap temperatur dan keausan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut potong besar (15°) menghasilkan temperatur tertinggi dengan rata-rata 477,77 °C serta tingkat keausan paling besar. Sudut potong kecil (10°) menghasilkan temperatur awal rendah (355,8 °C) tetapi kenaikannya tajam hingga rata-rata 420,47 °C dengan keausan relatif tinggi. Kondisi terbaik diperoleh pada sudut potong 12° dengan rata-rata temperatur terendah 419,33 °C dan keausan paling rendah serta stabil. Variasi sudut potong berpengaruh signifikan terhadap temperatur pemotongan dan keausan pahat, dengan sudut potong 12° terbukti paling optimal dalam menjaga kestabilan temperatur sekaligus memperpanjang umur pahat pada proses pembubutan baja ST 41.

Kata kunci: sudut potong, temperatur pemotongan, keausan pahat, pembubutan, ST 41.

1. Pendahuluan

Proses pemotongan logam merupakan komponen vital dalam dunia manufaktur modern. Dalam proses ini, geometri pahat, khususnya sudut potong, memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi pemotongan, umur pahat, serta kualitas permukaan hasil pengerjaan. Penelitian menunjukkan bahwa

variasi sudut pahat seperti side rake angle, cutting edge angle, dan nose radius memiliki pengaruh signifikan terhadap keausan pahat dan kualitas permukaan, di mana sudut rake yang lebih besar cenderung memperpanjang umur pahat dan mengurangi kekasaran permukaan [1]. Salah satu

tantangan utama dalam proses ini adalah akumulasi panas di zona potong, yang dapat mempercepat keausan pahat dan menurunkan ketepatan dimensi produk akhir. Penggunaan metode pendinginan dan pemilihan geometri pahat yang tepat menjadi penting untuk mengurangi dampak negatif dari panas berlebih selama proses pemesian [2]. Kualitas hasil pemotongan tidak hanya dipengaruhi oleh parameter pemotongan, tetapi juga oleh bentuk dan sudut pahat yang digunakan [3].

Material ST 41 (*low carbon steel*) banyak digunakan sebagai benda kerja dalam proses pembubutan karena memiliki kekuatan tarik yang memadai dan kemudahan dalam pemesinannya. Di sisi lain, pahat berbahan *High Speed Steel* (HSS) seperti Bohler dikenal memiliki ketahanan aus dan tahan panas yang tinggi, sehingga menjadi pilihan umum dalam proses pemotongan logam. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut potong berpengaruh signifikan terhadap performa pahat, terutama dalam hal peningkatan temperatur dan keausan selama proses pembubutan [4] [5]. Untuk memahami fenomena ini secara lebih mendalam, pendekatan eksperimen banyak dipadukan dengan simulasi menggunakan metode elemen hingga (FEM) guna memprediksi distribusi temperatur dan pola keausan pada pahat [6] [7]. Dalam penelitian metode *Finite Element Method* (FEM) digunakan untuk menganalisis distribusi temperatur pada proses pembubutan baja ST 41 dengan pahat HSS, khususnya pada variasi sudut potong 10°, 12°, dan 15°. Simulasi FEM dipilih karena mampu menggambarkan fenomena termal dan mekanis yang kompleks pada zona potong, sekaligus melengkapi data eksperimen yang sulit diperoleh hanya dengan pengukuran langsung. Fokus pada sudut potong tertentu ini relevan karena geometri pahat sangat memengaruhi gaya potong, aliran geram, dan akumulasi panas, sementara penggunaan pahat HSS dipilih sesuai praktik industri kecil-menengah meski memiliki keterbatasan konduktivitas termal. Dalam pengujian juga untuk mengoptimalkan geometri pahat agar untuk menekan akumulasi panas dan memperpanjang umur pahat pada distribusi temperatur terhadap keausan pahat [8].

1.1 Tinjauan Literatur

Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa sudut potong pahat memiliki pengaruh signifikan terhadap temperatur dan keausan pahat selama proses pembubutan logam [9]. menemukan bahwa peningkatan sudut potong pahat dapat memperpanjang umur pahat dengan mengurangi gaya gesek.

selain itu, [10] menunjukkan bahwa parameter pemotongan seperti kecepatan potong dan kedalaman potong juga memengaruhi temperatur pahat secara langsung. Metode Elemen Hingga (FEM) telah terbukti efektif dalam memodelkan distribusi

temperatur dan prediksi keausan selama proses pemesian logam.

Keausan tepi dapat diukur dengan menggunakan mikroskop, dimana bidang mata potong diatur sehingga tegak lurus sumbu optik. Panjang keausan tepi dapat diketahui dengan mengukur panjang VB (mm), yaitu jarak antara mata potong sebelum terjadi keausan hingga garis rata-rata keausan pada bidang utama. Sementara itu, keausan kawah hanya dapat diukur dengan menggunakan alat ukur kekasaran permukaan. Dalam hal ini sensor digeserkan pada bidang geram dengan sumbu pergeseran diatur sehingga sejajar dengan sumbu bidang geram. Dari hasil ukur didapat kedalaman maksimum itulah kedalaman keausan kawah.

Keausan tepi menurut ISO 3685 terdapat 3 daerah penting, antara lain: Daerah N merupakan kedalaman potong dibagi empat. Daerah C: merupakan daerah nose radius. Daerah B: merupakan kedalaman potong dikurangi daerah C dan daerah N. Penyebab keausan dapat merupakan satu faktor ataupun gabungan dari beberapa faktor. Faktor-faktor penyebab keausan antara lain proses, abrasive, kimiawi, adhesi, difusi, oksidasi, deformasi plastik, keretakan, dan kelelahan [11].

Penelitian pada pemesian CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Plastic*) menunjukkan bahwa volume keausan pahat sangat dipengaruhi oleh sudut potong relatif terhadap arah serat. Dengan mengoptimalkan arah pemakanan untuk menjaga sudut potong dalam rentang tertentu, umur pahat dapat diperpanjang secara signifikan [12]. Keterkaitan temperatur pemotongan dan umur pahat Studi eksperimental dan pemodelan menunjukkan bahwa temperatur tinggi di zona potong mempercepat difusi dan memperburuk keausan pahat, sehingga pengendalian temperatur menjadi kunci untuk memperpanjang umur pahat [13]. Kombinasi sudut potong, temperatur, dan keausan dengan metode Taguchi dan fuzzy inference model, ditemukan bahwa sudut potong dan kedalaman pemotongan sangat mempengaruhi keausan flank (VB), sedangkan sudut potong dan kecepatan potong dominan terhadap temperatur. Model fuzzy mampu memprediksi keausan dan temperatur dengan akurasi tinggi (90–97%) [14]. Pengukuran in-situ temperatur potong melalui pyrometer serat optik dua warna, penelitian ini membuktikan bahwa kenaikan temperatur pada ujung potong berhubungan langsung dengan percepatan keausan pahat, terutama pada kondisi pemotongan intermiten dengan variasi kecepatan dan kedalaman potong [15].

1.2 Alasan Peneletian

Proses pemesian logam, khususnya pembubutan material ST 41 dengan pahat HSS, sangat dipengaruhi oleh temperatur dan keausan pahat. Sudut potong yang tidak optimal dapat mempercepat keausan, menurunkan kualitas hasil pemesian, dan

meningkatkan biaya produksi. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut potong (10° , 12° , dan 15°) terhadap temperatur dan keausan pahat menggunakan simulasi metode elemen hingga (FEM), demi optimalisasi efisiensi dan umur pakai alat potong.

1.3 Tujuan Penelitian

(1)Menganalisis pengaruh variasi sudut potong terhadap keausan pahat selama proses pembubutan material ST 41.(2) Mengevaluasi perubahan distribusi temperatur pada pahat akibat variasi sudut potong menggunakan metode elemen hingga.(3) Memberikan rekomendasi pada sudut potong optimal untuk meningkatkan efisiensi proses pemessinan dan memperpanjang umur pahat.

Pada Jenis besi ST 41 merupakan material struktural yang banyak digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi karena sifat mekaniknya yang baik serta kemudahan dalam proses fabrikasi. Baja ini memiliki kekuatan tarik antara 410 hingga 550 mpa dan kekuatan luluh minimal 240 mpa, menjadikannya cocok untuk aplikasi struktural seperti poros, rangka, dan komponen mesin.

Tabel 1. Komposisi kimia rata-rata ST 41

Chemical composition (%)					TS (N/mm ²)	HARDNESS	
C	Si	Mn	P	S		HRB	HB
0.06	0.09	0.30	0.02	0.01	600	0	150
0.06	0.10	0.27	0.02	0.02	600	0	140
0.05	0.12	0.26	0.01	0.02	560	0	158

Pada Tabel 1. Menunjukkan pada komposisi kimia, sifat mekanik utama pada material ST 41 yang relevan terhadap proses pemessinan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel.2 Sifat Mekanik Baja ST 41

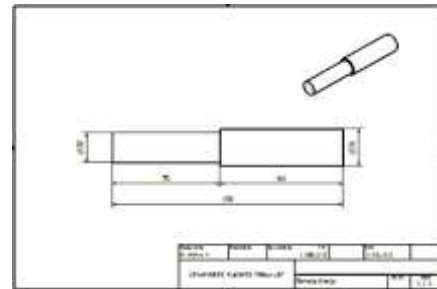
Sifat Mekanik	Nilai Rata-rata
Kekuatan tarik (MPa)	Max. 410-500
Kekerasan (HB)	137
Modulus elastisitas (GPa)	220

Pada Tabel 2 menunjukkan sifat mekanik pada baja ST 41. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari mesin bubut konvensional Richon CZ 1440G 1. Pahat potong yang digunakan berbahan High Speed Steel (HSS) dengan variasi sudut potong (rake angle), 10° , 12° , dan 15° , sementara parameter geometri lainnya dibuat tetap sesuai standar ISO agar variabel penelitian hanya terfokus pada sudut potong. pengukuran temperatur dilakukan menggunakan simulasi pada metode elemen hingga. Untuk mengukur keausan pahat digunakan mikroskop optik digital atau mikroskop toolmaker guna menentukan lebar keausan pahat (flank wear, VB), dengan mengacu pada standar ISO 3685 mengenai pengujian umur pahat tunggal dalam proses pembubutan.

2. Metode Penelitian

Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah ST 41 berbentuk batang silinder dengan diameter awal 25mm, diameter akhir 20 dengan penyayatan panajang 70 dan panjang benda kerja 150mm. Baja ST 41 dipilih karena banyak diaplikasikan dalam konstruksi dan manufaktur, serta memiliki sifat mampu-mesin (machinability) yang baik.

Pada specimen menggunakan besi baja ST 41 dengan:



Gambar 1. Benda Kerja

2.1 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah sudut potong pahat (rake angle) dengan variasi 10° , 12° , dan 15° . variasi ini dipilih karena sudut potong merupakan salah satu parameter geometri pahat yang sangat memengaruhi mekanisme pemotongan, mulai dari arah aliran geram, besarnya gaya potong, hingga distribusi panas pada zona pemotongan. variabel terikat pada penelitian ini terdiri dari temperature pemotongan dan keausan pahat. Temperatur pemotongan diukur dengan menggunakan metode elemen hingga, sehingga dapat memperoleh data temperatur secara analisa pada distribusi pada spesifikasi pahat. Sementara itu, keausan pahat diamati melalui mikroskop optik digital untuk mengukur lebar keausan sisi pahat (flank wear, VB), dengan acuan standar ISO 3685 yang menetapkan batas keausan pahat.

Agar hasil pengujian valid dan tidak dipengaruhi oleh faktor lain, maka sejumlah variabel dikendalikan selama eksperimen. Variabel-variabel yang dijaga tetap tersebut meliputi material benda kerja yaitu baja ST 41 dengan spesifikasi sama pada setiap percobaan, jenis pahat yang digunakan (HSS Bohler S500) dengan perbedaan hanya pada sudut potong, serta penggunaan mesin bubut dengan kondisi operasi yang sama. Selain itu, parameter pemotongan seperti kecepatan spindle, kedalaman potong, dan kecepatan pemakanan ditetapkan pada nilai konstan, kecepatan spindle 460 m/min, kedalaman potong 1,5mm, dan kecepatan pemakanan 0,2 mm/rev.

2.2 Prosedur eksperimen

Prosedur eksperimen diawali persiapan benda kerja berupa material baja ST 41 berbentuk silinder dengan dimensi 25mm × 150mm yang dipasang pada chuck

mesin bubut, kemudian dilakukan proses pembubutan menggunakan pahat HSS Bohler S500 dengan variasi sudut potong 10°, 12°, dan 15°, sementara parameter lain seperti kecepatan spindle, kedalaman potong, dan pemakanan konstan. Proses ini dilakukan tanpa pendingin, dengan durasi pemotongan yang sama pada tiap percobaan. selama pemotongan, temperatur diukur menggunakan infrared thermometer dan dimasukkan pada metode elemen hingga, sedangkan keausan pahat diamati melalui mikroskop optik digital berdasarkan standar iso 3685. Setiap variasi sudut potong diulang tiga kali untuk memastikan konsistensi data, kemudian hasil pengukuran temperatur dan keausan direkap serta dianalisis secara statistik guna mengetahui pengaruh sudut potong terhadap performa pemotongan.

3. Hasil

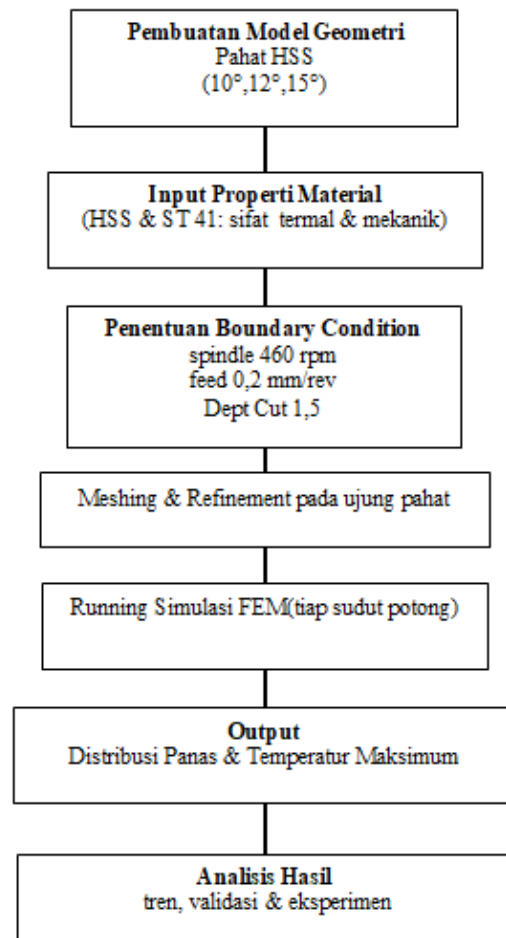
Langkah awal simulasi dalam penelitian ini, proses simulasi distribusi temperatur dengan metode Finite Element Method pada perangkat lunak Autodesk Inventor diawali dengan pembuatan model geometri pahat HSS dengan variasi sudut potong tertentu, kemudian dilakukan input sifat material pahat HSS dan benda kerja ST 41 yang meliputi sifat mekanik dan termal.

Selanjutnya ditentukan boundary condition berupa putaran spindle, feed, kedalaman potong, serta kondisi pemotongan kering, sementara kontak gesek dan beban panas didefinisikan sebagai sumber utama akumulasi energi panas pada zona potong. Geometri yang telah lengkap kemudian didiskritisasi melalui proses meshing dengan refinement pada ujung pahat untuk menangkap gradien temperatur yang tinggi, sebelum simulasi dijalankan untuk setiap variasi sudut potong.

Output yang dihasilkan berupa nilai temperatur maksimum dan distribusi temperatur pada pahat, yang selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi tren hubungan antara variasi sudut potong dengan kenaikan temperatur. Tahap terakhir adalah validasi hasil simulasi dengan data eksperimen, sehingga diperoleh gambaran menyeluruh mengenai pengaruh sudut potong terhadap performa termal pahat HSS pada proses pembubutan baja ST 41

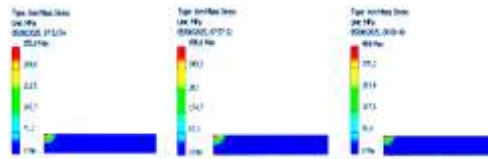
Setelah itu simulasi dijalankan untuk tiap variasi sudut potong guna menghitung distribusi panas dan temperatur maksimum, dengan output berupa peta distribusi temperatur serta nilai temperatur puncak pada masing-masing sudut potong. Tahap akhir adalah analisis hasil dengan membandingkan tren kenaikan temperatur antar variasi sudut potong, menghubungkannya dengan data eksperimen keausan pahat, dan menarik kesimpulan bahwa sudut 12° memberikan kondisi termal paling stabil serta keausan yang lebih lambat dibandingkan variasi lainnya.

langkah untuk proses, berikut visualisasi model flowchart simulasi Metode Elemen Hingga pada versi kotak panah:

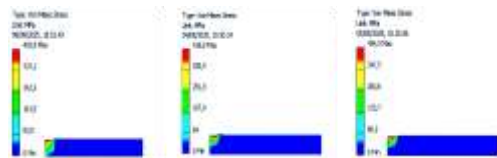


Proses penelitian ini dilakukan melalui pendekatan eksperimen dan simulasi numerik berbasis metode elemen hingga. Tahap awal dimulai dengan pembuatan model geometri pahat HSS menggunakan variasi sudut potong 10°, 12°, dan 15°, kemudian dilakukan input sifat material pahat (HSS) dan benda kerja (ST 41) yang mencakup data mekanik dan termal. Selanjutnya ditentukan boundary condition berupa kecepatan spindle 460 rpm, feed rate 0,2 mm/rev, dan depth of cut 1,5 mm dalam kondisi pemotongan kering. Pada simulasi FEM, dilakukan meshing dengan refinement pada ujung pahat untuk meningkatkan akurasi perhitungan, kemudian simulasi dijalankan untuk setiap variasi sudut potong hingga menghasilkan output berupa temperatur maksimum dan distribusi temperatur. Sementara itu, eksperimen nyata pada mesin bubut dilakukan untuk mengukur temperatur menggunakan thermocouple dan infrared thermometer, serta mengamati keausan pahat dengan mikroskop optik sesuai standar ISO 3685. Data simulasi kemudian divalidasi dengan hasil eksperimen, sehingga diperoleh analisis komprehensif yang menunjukkan bahwa sudut potong 12° mampu

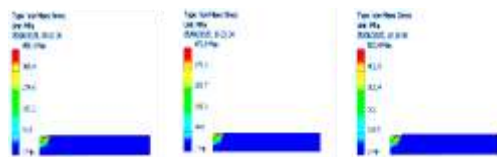
memberikan kestabilan termal lebih baik sekaligus memperlambat laju keausan pahat dibandingkan variasi lainnya.



Gambar 2. Simulasi Temperatur pada Sudut Potong 10°



Gambar 3. Simulasi Temperatur pada Sudut Potong 12°



Gambar 4. Simulasi Temperatur pada Sudut Potong 15°

Hasil simulasi pada Gambar 2, 3, dan 4 menunjukkan bahwa variasi sudut potong berpengaruh terhadap temperatur maksimum pada proses pembubutan ST 41. Sudut potong 10° menghasilkan temperatur awal terendah (~370 °c), namun kenaikannya cukup tajam hingga mendekati 460 °c pada simulasi ketiga. pada sudut potong 12°, temperatur awal lebih tinggi, tetapi peningkatannya lebih landai sehingga temperatur maksimum berada pada kisaran menengah (~440 °c) dan relatif stabil. Sebaliknya, sudut potong 15° selalu menghasilkan temperatur tertinggi, mulai dari >420 °c hingga hampir 500 °c, yang berpotensi mempercepat keausan pahat. Dengan demikian, sudut potong 12° dapat dikatakan lebih optimal karena memberikan kestabilan temperatur yang lebih baik dibandingkan sudut 10° maupun 15°.

Tabel 3. Hasil Pengujian Hubungan Sudut potong Terhadap Temperatur Pahat

Sudut Potong (°)	Simulasi Ke-	Temperatur Max (°C)
10°	1	355,8
10°	2	436,6
10°	3	469
12°	1	403,9
12°	2	419,8
12°	3	434,3
15°	1	458,1
15°	2	472,8
15°	3	502,4



Gambar 5. grafik perbandingan temperatur dan keausan pahat pada setiap sudut potong

Gambar 5 menunjukkan bahwa variasi sudut potong berpengaruh terhadap temperatur maksimum pada proses pembubutan ST 41. Sudut potong 10° menghasilkan temperatur awal terendah (~370 °c), namun kenaikannya cukup tajam hingga mendekati 460 °c pada simulasi ketiga. Pada sudut potong 12°, temperatur awal lebih tinggi, tetapi peningkatannya lebih landai sehingga temperatur maksimum berada pada kisaran menengah (~440 °c) dan relatif stabil. Sebaliknya, sudut potong 15° selalu menghasilkan temperatur tertinggi, mulai dari 420 °c hingga hampir 500 °c, yang berpotensi mempercepat keausan pahat. Dengan demikian, sudut potong 12° dapat dikatakan lebih optimal karena memberikan kestabilan temperatur yang lebih baik dibandingkan sudut 10° maupun 15°.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut potong berpengaruh nyata terhadap temperatur pemotongan dan tingkat keausan pahat. Sudut potong 15° menghasilkan temperatur tertinggi, dengan rata-rata 477,77 °C, serta tingkat keausan yang paling besar. Hal ini terjadi karena sudut potong yang besar memperluas bidang kontak antara pahat dan benda kerja, sehingga meningkatkan gesekan dan pembangkitan panas. Temperatur yang tinggi ini mempercepat mekanisme keausan pahat, baik melalui oksidasi, difusi unsur paduan dari pahat ke benda kerja, maupun deformasi plastis pada ujung potong. Sebaliknya, sudut potong 10° menghasilkan temperatur awal terendah (355,8 °C), tetapi kenaikannya cukup tajam hingga 469 °C, yang berdampak pada keausan relatif tinggi akibat gaya potong yang besar dan aliran geram yang tidak stabil. Kondisi terbaik diperoleh pada sudut potong 12°, dengan rata-rata temperatur 419,33 °C serta tingkat keausan paling rendah dan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sudut potong menengah mampu menyeimbangkan aliran geram, distribusi panas, dan gesekan pada zona potong, sehingga menghasilkan laju keausan yang lebih lambat.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memperkuat teori yang ada, tetapi juga menegaskan bahwa pemilihan sudut potong optimum sangat penting untuk memperpanjang umur pahat. Dalam konteks pembubutan baja ST 41, sudut potong 12° dapat direkomendasikan sebagai kondisi paling efisien karena mampu menjaga kestabilan temperatur sekaligus menekan laju keausan pahat.

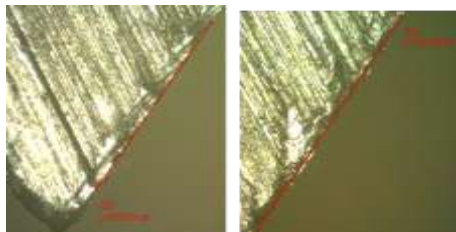
Tabel 4. Rata-rata Temperatur Maksimum

Sudut Potong	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Rata-rata
10°	355,8	436,6	469,0	420,47
12°	403,9	419,8	434,3	419,33
15°	458,1	472,8	502,4	477,77

Dapat dilihat pada Tabel 4, bahwa rata-rata temperatur maksimum dipengaruhi oleh variasi sudut potong pada proses pembubutan. Sudut potong 10° menghasilkan temperatur awal terendah yaitu 355,8 °C, namun kenaikannya cukup tajam pada simulasi berikutnya sehingga rata-ratanya mencapai 420,47 °C. Pada sudut potong 12°, temperatur awal lebih tinggi yaitu 403,9 °C, tetapi peningkatannya lebih stabil sehingga menghasilkan rata-rata temperatur terendah yakni 419,33 °C. Sementara itu, sudut potong 15° menghasilkan temperatur tertinggi pada setiap simulasi dengan nilai rata-rata 477,77 °C. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut potong 12° lebih optimal karena mampu memberikan kestabilan temperatur dengan rata-rata terendah dibandingkan variasi sudut potong lainnya, sedangkan sudut 15° cenderung meningkatkan temperatur pemotongan yang berpotensi mempercepat keausan pahat.

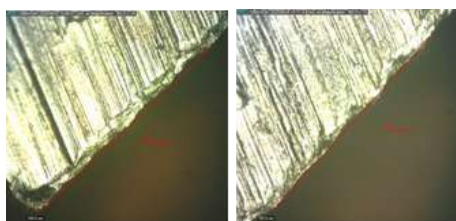
3.2 Keausan Pahat

Keausan pahat (*tool wear*) berdasarkan masing-masing variasi sudut potong menggunakan metode elemen hingga dan menggunakan uji mikro pada masing- Masing Spesimen dengan sudut yang berbeda sudut potong 10°, 12°, dan 15° berikut hasil dari uji mikro keausan:



Gambar 6. Pengujian Mikro pada sudut 10° specimen 2 pada pembesaran (189)
 1= DL0= 1402.46 um dan 2= DL0= 1019.011 um

Dimana pada Gambar 6 menunjukkan keausan pada hasil mikro spesimen 2 dari pembesaran 189 menunjukkan DL0(1)1402.46 um dan (2) 1019.011 um.



Gambar 7. Pengujian Mikro pada sudut 10° specimen 3 pada pembesaran (363)
 (1= DL0= 1274.672 um dan 2= DL0= 1334.830 um)

Pada Gambar 7 menunjukkan keausan pada hasil mikro spesimen 2 dari pembesaran 189 menunjukkan DL0(1)1402.46 dan (2)1019.011um DL0(1)1274.672 um dan 2= DL0= 1334.830 um.

Sudut potong 10°

$$\text{Rata-rata Spesimen 2} = (1402.46 + 1019.011 + 1076.056 + 1133.100) / 4 = 1157.16 \mu\text{m}$$

$$\text{Rata-rata Spesimen 3} = (1274.672 + 1334.830) / 2 = 1304.75 \mu\text{m}$$

$$\text{Maka dari hasil Rata-rata keseluruhan pada specimen 2 dan 3} = (1157.16 + 1304.75) / 2 = 1230.96 \mu\text{m}$$

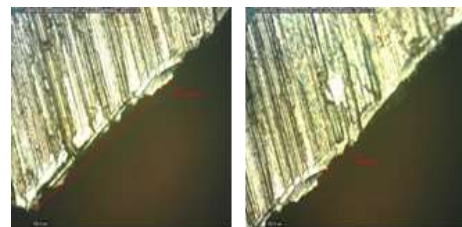


Gambar 8. Pengujian Mikro pada sudut 12° specimen 2 pada pembesaran (189)
 (1= DL0= 622.994 um dan 2= DL0= 1666.836 um)
 Sumber: Hasil uji lab mikroskop keausan

Pada Gambar 8 menunjukkan keausan pada hasil mikro spesimen 2 dari pembesaran 189 menunjukkan DL0(1) 622.994 um dan DL0(2) 1666.836 um.

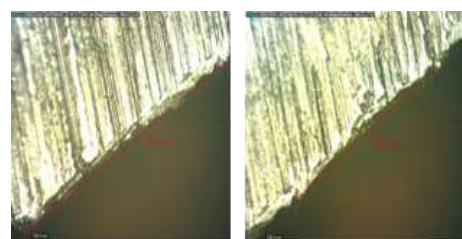
Sudut potong 12°

$$\text{Rata-rata Spesimen 2} = (622.994 + 1666.836 + 1069.555 + 637.464) / 4 = 999.21 \mu\text{m}$$



Gambar 9. Pengujian Mikro pada sudut 15° specimen 2 pada pembesaran (363)
 (1= DL0= 1025.567 um dan 2= DL0= 269.483 um)
 Sumber: Hasil uji lab mikroskop keausan

Pada Gambar 9 menunjukkan keausan pada hasil mikro spesimen 2 dari pembesaran 189 menunjukkan DL0(1) 1025.567 um dan DL0(2) 269.483 um.



Gambar 10. Pengujian Mikro pada sudut 15° specimen 3 pada pembesaran (363)
 (1= DL0= 1050.015 um dan 2= DL0= 1476.817 um)

Pada Gambar 9 menunjukkan keausan pada hasil mikro spesimen 2 dari pembesaran 189 menunjukkan DL0(1) 1050.015 μm dan DL0(2) 1476.817 μm .

Sudut potong 15°

Rata-rata Spesimen 2 = $(1025.567 + 269.483) / 2$
 = 647.53 μm

Rata-rata Spesimen 3 = $(1050.015 + 1476.817) / 2$
 = 1263.42 μm

Rata-rata keseluruhan = $(647.53 + 1263.42) / 2$
 = 955.48 μm

Tabel 5. Tabel Pengujian Hubungan sudut potong terhadap Keausan pahat

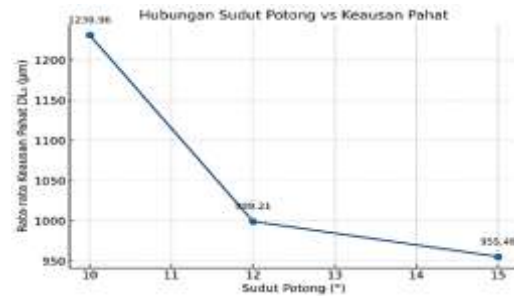
No	Sudut potong	μm 189	363
1	10°	1378.1	1133.5
2	10°	1402.4	1076
3	10°	2359.2	1274.6
4	12°	1133.5	1197.5
5	12°	622.99	1069.5
6	12°	1171.7	741.3
7	15°	1304.4	1154.4
8	15°	2426.9	1025.5
9	15°	2257.4	1050

Terlihat pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pada variasi sudut potong memberikan pengaruh terhadap tingkat keausan pahat. Pada sudut potong 10° keausan yang terjadi relatif tinggi dengan nilai mencapai 2359,2 perbesaran 189 μm , meskipun pada beberapa kondisi hasilnya sedikit lebih rendah dibandingkan sudut lainnya. Pada sudut potong 15° keausan yang dihasilkan cenderung paling besar dan konsisten tinggi, bahkan mencapai 2426,9 perbesaran 189 μm , yang menunjukkan bahwa sudut potong terlalu besar menyebabkan peningkatan temperatur dan gesekan sehingga pahat lebih cepat aus. Sebaliknya, sudut potong 12° menunjukkan hasil keausan yang lebih rendah dan stabil dibandingkan kedua variasi lainnya, dengan nilai terendah 622,99 pada perbesaran 189 μm . Hal ini mengindikasikan bahwa sudut potong 12° merupakan kondisi paling optimal dalam meminimalkan keausan pahat, sementara sudut 10° dan terutama 15° mempercepat kerusakan pahat selama proses pembubutan.

Tabel 6. Rata-rata pada hasil pengujian keausan

Sudut Potong	Rata-rata DL ₀ (μm)
10°	1230.96
12°	999.21
15°	955.48

Pada Tabel 5 dimana hasil dari rata – rata pengujian pada sudut potong terhadap keausan dari masing – masing sudut yang berbeda pada pahat HSS yang digunakan.



Gambar 11. Grafik hubungan sudut potong terhadap rata-rata keausan pahat (DL₀)

Grafik pada Gambar 11 dimana hubungan sudut potong terhadap keausan pahat (DL₀) menunjukkan tren penurunan nilai keausan seiring dengan bertambahnya sudut potong.

(1) Pada sudut potong 10°, rata-rata keausan pahat mencapai 1230,96 μm , yang merupakan nilai tertinggi diantara ketiga variasi sudut. Nilai ini mengindikasikan bahwa pada sudut potong kecil, gaya potong yang lebih besar dan konsentrasi panas pada ujung pahat cenderung mempercepat keausan.

(2) Pada sudut potong 12°, keausan menurun menjadi 999,21 μm . Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan sudut potong dapat mengurangi gaya gesek dan distribusi panas menjadi lebih merata, sehingga memperlambat laju keausan. (3) Pada sudut potong 15°, keausan kembali menurun menjadi 955,48 μm . Meskipun penurunan dari 12° ke 15° tidak sebesar dari 10° ke 12°, tren ini tetap menunjukkan pengaruh positif dari peningkatan sudut potong terhadap umur pahat.

3.3 Hubungan Temperatur dan Keausan

Data menunjukkan bahwa temperatur tertinggi tidak selalu menghasilkan keausan tertinggi. Sudut 15° memiliki temperatur rata-rata tertinggi (477,77°C) namun keausan terendah kedua (955,48 μm). Hal ini disebabkan geometri pahat yang lebih tajam mengurangi gaya geser, sehingga beban mekanis berkurang walaupun panas meningkat.

Sebaliknya, sudut 10° menghasilkan temperatur moderat (420,47°C) tetapi keausan tertinggi (1230,96 μm). Hal ini akibat area kontak gesek yang lebih besar, menyebabkan akumulasi panas lokal dan keausan mekanis lebih tinggi.

Sudut 12° menjadi titik kompromi dengan temperatur relatif rendah (419,33°C) dan keausan rendah (999,21 μm), menunjukkan efisiensi pemotongan optimal.

3.4 Distribusi Panas

Pola distribusi temperatur berkorelasi dengan arah aliran geram dan geometri pahat: Sudut kecil (10°) Panas terlokalisasi di ujung pahat, meningkatkan risiko keausan termal. Sudut menengah (12°) Panas menyebar lebih merata, perpindahan panas ke geram lebih efektif. Sudut besar (15°) panas tinggi namun sebagian besar terbawa geram, mengurangi dampak

langsung pada pahat. Menunjukkan bahwa peningkatan sudut potong mengurangi gaya potong dan gesekan, sehingga memperlambat laju keausan.

4. Pembahasan

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa variasi sudut potong memberikan pengaruh signifikan terhadap temperatur pemotongan dan keausan pahat. Sudut potong besar (15°) menghasilkan temperatur tertinggi dengan rata-rata $477,77^\circ\text{C}$ serta keausan paling cepat akibat gesekan dan panas berlebih, sedangkan sudut potong kecil (10°) memberikan temperatur awal rendah ($355,8^\circ\text{C}$) namun kenaikannya tajam sehingga tetap menimbulkan keausan tinggi akibat gaya potong yang besar. Kondisi paling optimal diperoleh pada sudut potong 12° dengan rata-rata temperatur $419,33^\circ\text{C}$ serta keausan pahat lebih rendah dan stabil karena mampu menyeimbangkan aliran geram, distribusi panas, dan gesekan pada zona potong. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa sudut potong berperan penting terhadap distribusi panas dan temperatur pemotongan[16], serta dapat memengaruhi kenaikan temperatur bersama dengan parameter pemotongan lain seperti kecepatan dan feed rate[17]. Selain itu, variasi sudut potong juga berdampak pada mekanisme keausan pahat, di mana sudut potong besar mempercepat keausan akibat gesekan dan panas berlebih[18], sedangkan variasi sudut rake dan sudut potong memengaruhi pola crater wear pada material keras[19]. Penelitian eksperimental lain juga menegaskan bahwa sudut potong menentukan pola keausan flank maupun crater karena memengaruhi arah aliran chip dan distribusi tegangan pada pahat[20]. Dengan demikian, sudut potong 12° dapat direkomendasikan sebagai sudut optimum untuk memperpanjang umur pahat pada proses pembubutan baja ST 41.

Variasi sudut potong (rake angle, γ) berperan penting dalam mengatur gaya potong dan kondisi gesekan pada muka pahat. Sudut potong positif umumnya menurunkan gaya potong serta mengurangi akumulasi panas pada zona geser sekunder, sehingga menurunkan temperatur puncak di pahat. Sebaliknya, sudut netral atau negatif meningkatkan gaya potong dan friksi, yang berimplikasi pada kenaikan temperatur di area kontak dan mempercepat flank wear maupun crater wear [21].

Temperatur tinggi mendorong oksidasi dan difusi sehingga mempercepat crater wear, sementara gesekan tinggi memperkuat adhesi dan abrasi yang berujung pada flank wear. Berbagai penelitian terbaru menegaskan bahwa temperatur pemotongan memiliki peran penting dalam mekanisme keausan pahat. Temperatur tinggi terbukti meningkatkan difusi dan oksidasi pada muka pahat, yang mempercepat terjadinya crater wear [22].

Secara umum, terdapat keterkaitan erat antara temperatur dan mekanisme keausan pahat. Temperatur tinggi mendorong terjadinya oksidasi dan difusi sehingga mempercepat crater wear, sementara gesekan yang tinggi memperkuat mekanisme adhesi dan abrasi pada sisi pahat yang berujung pada flank wear. Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sudut potong yang tepat dengan parameter pemotongan yang optimal mampu mengendalikan temperatur, mengurangi gaya potong, dan memperpanjang umur pahat [23].

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan bahwa variasi sudut potong memberikan pengaruh yang nyata terhadap temperatur pemotongan dan tingkat keausan pahat pada proses pembubutan baja ST 41. Semakin besar sudut potong yang digunakan, temperatur pemotongan cenderung meningkat sehingga mempercepat laju keausan pahat, seperti terlihat pada sudut 15° yang menghasilkan temperatur tertinggi rata-rata $477,77^\circ\text{C}$ dan keausan paling besar. Sebaliknya, sudut potong 10° menghasilkan temperatur awal yang rendah namun kurang stabil karena mengalami kenaikan tajam, sehingga tetap menimbulkan keausan relatif tinggi. Kondisi terbaik diperoleh pada sudut potong 12° , dengan rata-rata temperatur terendah yaitu $419,33^\circ\text{C}$ dan tingkat keausan pahat yang lebih rendah serta stabil, sehingga dapat dikatakan sebagai sudut potong paling optimal untuk memperpanjang umur pahat sekaligus menjaga kestabilan temperatur selama proses pembubutan ST 41. Temuan ini memberikan rekomendasi praktis bahwa pemilihan sudut potong menengah lebih sesuai diterapkan pada industri manufaktur untuk meningkatkan efisiensi pemesinan dan mengurangi biaya akibat pergantian pahat yang terlalu cepat

Ucapan Terimakasih

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Pengaruh Sudut Potong Terhadap Temperatur dan Keausan Pahat Pada Proses Pembubutan Material ST 41” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, saya M. Wahyu Ardiansyah selaku mahasiswa Universitas Yudharta Pasuruan menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Bapak Mohamad Mas'ud, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah dengan memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini berlangsung.

Bapak Wisma Soedarmadji, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan, motivasi, fasilitas, serta kesempatan bagi

penulis untuk melaksanakan penelitian ini dengan baik.

Daftar Rujukan

- [1] Hanafi, N. D., Tafsir, M., Sitindaon, S. H., Sadeli, A., Simanungkalit, K., 2022. Pengaruh Penggunaan Bungkil Inti Sawit Taraf 40% dalam Ransum terhadap Bobot Potong, Karkas, Potongan Komersil Karkas dan Kualitas Daging Ayam SenSi-1 Agrinak. *J. Agripet*, 22 (1), pp.62–71.
- [2] Aldio, R. Z., Saputra, M. W., Dedikarni., 2023. Chip Formation Analysis of the Turning of ST41 Steel. *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind*, 16 (3), pp.129–134.
- [3] Utami, A. P., 2015. Pengaruh Kualitas Pelayanan dan Kualitas Produk Terhadap Kepuasan Konsumen :Studi Kasus Kunang-Kunang Café dan Resto Ciater SPA Resort Subang, Jan. 2015, [Online]. Available: <https://consensus.app/papers/pengaruh-kualitas-pelayanan-dan-kualitas-produk-terhadap-utami/38a117b95e305bd2ba2f9a4d26a09c33/>
- [4] J. Weng *et al.*, 2021. An analytical method for continuously predicting mechanics and residual stress in fillet surface turning. *J. Manuf. Process*, 68, pp.1860–1879.
- [5] Singh, G., Kumar, H., Kansal, H. K., 2020. Investigations into internal roundness of Inconel 625 tubes with chemically assisted magnetic abrasive finishing. *Mater. Today Proc*, 33, pp.1579–1585.
- [6] Cicconetti, C., Conti, M., Passarella, A. 2020. Architecture and performance evaluation of distributed computation offloading in edge computing. *Simul. Model. Pract. Theory*, 101, pp.102007.
- [7] Abou-El-Hossein, K., Kops, N., 2017. Investigation on the use of cutting temperature and tool wear in the turning of mild steel bars. *J. Mech. Eng. Sci*, 11, pp. 3038–3045.
- [8] Pervaiz, S., Deiab, I., Wahba, E. M., Rashid, A., Nicolescu, M., 2014. A Coupled FE and CFD Approach to Predict the Cutting Tool Temperature Profile in Machining. *Procedia CIRP*, 17, pp.750–754.
- [9] Pratowo, B., Kunarto., Afrian, G. A., 2023. Analisa Pengaruh Penggunaan Pahat Jenis HSS dan Variasi Putaran Pada Proses Pembubutan Baja S45C Terhadap Keefektifan Pahat. *G-Tech J. Teknol. Terap*, 7 (1), pp.1–13.
- [10] Aden, N. A. B., Nurrohkayati, A. S., 2022. Analisis Perubahan Temperatur Mata Pahat Karbida Pada Proses Pembubutan Baja Aisi 1045 Dengan FEM-Simulation di PT. X. *TEKNOSAINS J. Sains Teknol. Dan Inform*, 9 (2), pp.65–73.
- [11] Nugroho, S. Karakterisasi Pahat Bubut High Speed Steel (Hss) Bohler Tipe Molibdenum (M2) Dan Tipe Cold Work Tool Steel (A8).
- [12] Kim, G., Jo, H., Shin, J. S., Min, B. K., 2023. Tool Wear Reduction Using Directional Milling Considering Cutting Angle in Carbon fiber Reinforced Plastic Machining. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 24 (11), pp.1989–2008.
- [13] Nyatte, J. N., Epee, F. A., Kikmo, W. C., Batambock, S., Abbe, C. V. N., Nzengwa, R., 2023. Prediction of Wearing of Cutting Tools Using Real Time Machining Parameters and Temperature Using Rayleigh-Ham Method. *Mod. Mech. Eng*, 13 (02), pp.35–54.
- [14] Kuntoğlu, M., Sağlam, H., 2021. Anova And Fuzzy Rule Based Evaluation And Estimation Of Flank Wear, Temperature And Acoustic Emission In Turning. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol*, 35, pp.589–603.
- [15] Abdulkadir, L. N., Abou-El-Hossein, K., 2019. Diamond tool wear mode, path and tip temperature distribution considering effect of varying rake angle and duncut/Redge ratio. *Surf. Topogr. Metrol. Prop*, 7 (2).
- [16] Q. Peng *et al.*, 2022. Development mechanism and performance of Al2O3-PF composite coating on epoxy resin matrix composite surface by supersonic plasma spraying. *Surf. Coat. Technol*, 446.
- [17] Kuntoğlu, M., Sağlam, H., 2021. ANOVA and fuzzy rule based evaluation and estimation of flank wear, temperature and acoustic emission in turning. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol*, 35, pp.589–603.
- [18] Kim, G., Jo, H., Shin, J. S., Min, B.K., 2023. Tool Wear Reduction Using Directional Milling Considering Cutting Angle in Carbon fiber Reinforced Plastic Machining. *Int. J. Precis. Eng. Manuf*, 24 (11), pp. 1989–2008.
- [19] Abdulkadir, L. N., Abou-El-Hossein, K., 2019. Diamond tool wear mode, path and tip temperature distribution considering effect of varying rake angle and duncut/Redge ratio. *Surf. Topogr. Metrol. Prop*, 7 (2).
- [20] Nyatte, J. N., Epee, F. A., Kikmo, W. C., Batambock, S., Abbe, C. V. N., Nzengwa, R., 2023. Prediction of Wearing of Cutting Tools Using Real Time Machining Parameters and Temperature Using Rayleigh-Ham Method. *Mod. Mech. Eng*, 13 (02), pp.35–54.
- [21] Hsu, C.-C., Chiu, H.-Y., Liao, C.-C., Fuh, Y.-K., 2020. An investigation on deformation mechanism of non-standard gear teeth forming in the hot impression forging of multicore cable cutter. *J. Manuf. Process*, 54, pp.158–168.
- [22] De Castilho, B. C. N. M., *et al.*, 2021. Short-time exposure oxidation studies on multi-component coatings and their influence on tribological behavior. *Wear*, 477.
- [23] Azaath, L. M., Mohan, E., Natarajan, U., 2021. Effect of rake angle and tool geometry during machining process of AISI 4340 steel in finite element approach. *Mater. Today Proc*, 37, pp.3731–3736.