

ANALISIS LAJU DEFORMASI PAHAT CARBIDE PADA SIMULASI PEMBUBUTAN BAJA ST41 DENGAN MESIN BUBUT KONVENSIONAL MENGUNAKAN SOFTWARE ANSYS

*Analysis of Carbide Tool Deformation Rate in Simulation of ST41 Steel Turning with
Conventional Lathe using ANSYS Software*

Ulin Nuha¹, Gian Villany Golwa^{1*}

¹ Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana, Warung Buncit, Jakarta Selatan, Indonesia.

* Email Korespondensi : gianvgolva@mercubuana.ac.id

Artikel Info - : Diterima : 19-07-2023; Direvisi : 11-11-2023; Disetujui : 15-11-2023

ABSTRAK

Pada proses pemesinan untuk mencapai hasil yang maksimal antara kualitas dan produktivitas dibutuhkan pengetahuan tentang pahat dan benda kerja. Parameter keausan pahat sangat penting untuk diketahui, karena proses pergantian atau pengasahan pahat dapat diprediksi. Salah satu yang mempengaruhi laju keausan pahat adalah gaya gesek yang terjadi antara pahat dengan benda kerja. Gaya gesek inilah yang akan menghasilkan getaran dan energi panas sehingga membuat butir-butir pahat terkikis sehingga dalam standar tertentu akan mengalami keausan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai keausan tepi pahat jenis karbida pada proses pembubutan material ST41 berdasarkan gaya gesek yang terjadi antara pahat dengan benda kerja. Kemudian dari nilai keausan tersebut dapat disimpulkan besar *cutting speed* yang direkomendasikan. Metode yang digunakan adalah penelitian berbasis simulasi dengan menggunakan *software* ANSYS khususnya ANSYS Mechanical dengan cara memasukkan parameter yang sudah ditentukan meliputi diameter dan putaran *spindel*. Dari hasil simulasi diperoleh deformasi total pada benda kerja dengan \varnothing 25 mm, 35 mm, dan 45 mm secara berturut-turut adalah 0,363 μ m, 0,155 μ m dan 0,152 μ m. Dapat disimpulkan dari hasil simulasi deformasi total terbesar adalah pada \varnothing 25 mm.

Kata Kunci: Pahat Karbida, Baja ST41, Deformasi, ANSYS Workbench

ABSTRACT

In the machining process, knowledge of the tool and workpiece is required to achieve maximum results between quality and productivity. Tool wear parameters are very important to know because the process of changing or sharpening the tool can be predicted. One thing that influences the tool wear rate is the friction force between the tool and the workpiece. This frictional force will produce vibrations and heat energy, causing the chisel grains to erode so that they will experience wear within certain standards. This research aims to analyze the wear value of carbide-type tool edges in the ST41 material turning process based on the friction force that occurs between the tool and the workpiece. Then, from the wear value, the recommended cutting speed is. The method used is simulation-based research using ANSYS software, especially ANSYS Mechanical, by entering predetermined parameters, including diameter and spindle rotation. From the simulation results, the total deformation of workpieces with \varnothing 25 mm, 35 mm and 45 mm is 0.363 μ m, 0.155 μ m and 0.152 μ m, respectively. It can be concluded from the simulation results that the largest total deformation is at a \varnothing 25 mm.

Keywords: Carbide Tool Wear, ST41 Steel, Deformation, ANSYS Workbench

1. Pendahuluan

Pahat merupakan salah satu komponen proses pemesinan bersama dengan mesin bubut dan benda kerja [1]. Pahat (pisau) adalah bagian yang paling kritis pada proses pemesinan. Pahat merupakan bagian produksi yang dapat digunakan dan harganya relatif mahal. Kerusakan pada alat harus dihindari, karena gaya pemotongan yang sangat tinggi dapat merusak pahat, alat mesin, benda kerja dan membahayakan operator, serta merusak toleransi bentuk dan kualitas produksi secara serius [2].

Selama proses permesinan berlangsung terjadi gesekan antara pahat dengan benda kerja. Gesekan tersebut menimbulkan panas, apabila panas yang dihasilkan cukup besar dan permukaan pahat terlalu kecil untuk menangani suhu pahat maka pahat akan mengalami keausan lebih cepat. Keausan pahat ini akan makin membesar sampai batas tertentu sehingga pahat tidak dapat digunakan lagi. Umur pahat merupakan suatu data permesinan yang sangat penting dalam perencanaan permesinan. Umur pahat dapat ditentukan melalui *variable cutting speed* jika menggunakan jenis benda kerja yang sama. Semakin cepat *cutting speed* maka temperatur pahat dan laju keausan juga semakin tinggi [3]. Keausan meningkat seiring dengan meningkatnya putaran *spindle* kecepatan potong dan sudah diketahui ternyata pahat Karbida lebih unggul dibandingkan dengan pahat HSS yang diketahui tingkat keausannya lebih besar daripada pahat Karbida yang tingkat keausannya lebih sedikit.

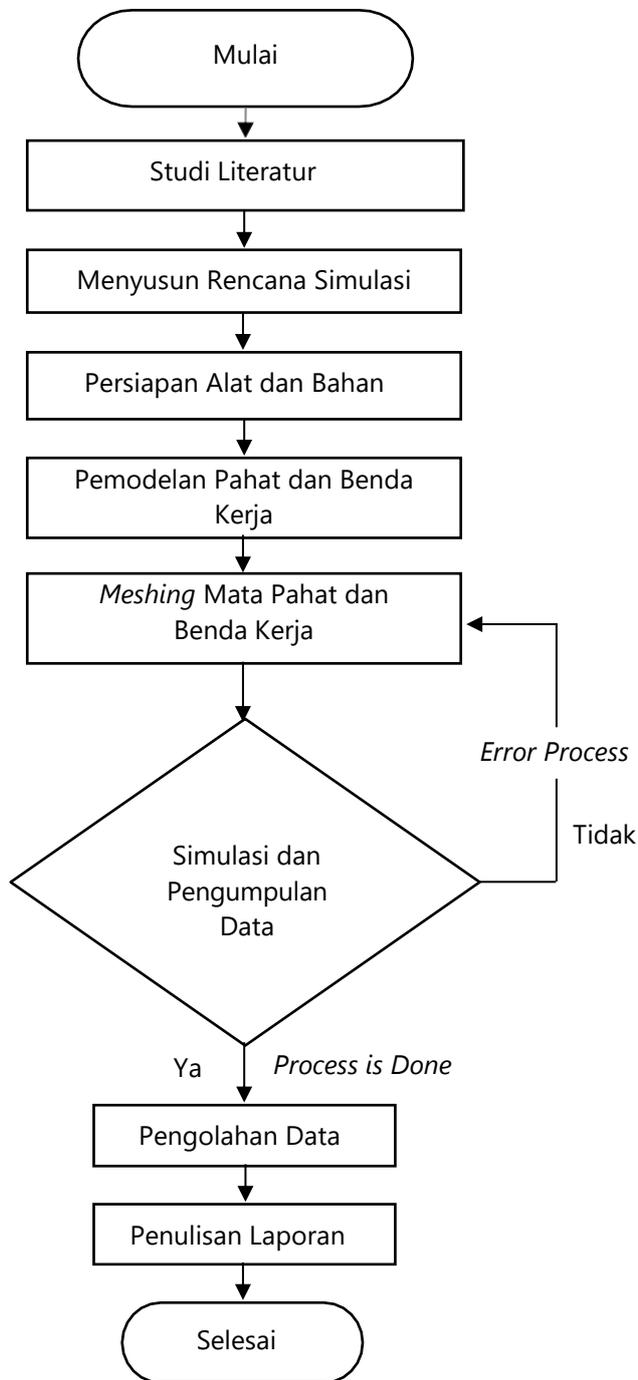
Karbida berlapis pertama kali diperkenalkan oleh KRUPPVIDIA pada tahun 1968, dan sampai saat ini karbida berlapis telah meningkat dan banyak digunakan dalam berbagai proses pemesinan. *Tungsten carbide* (WC + CO) umumnya digunakan sebagai bahan dasar yang dilapisi dengan bahan keramik (keras, tahan panas, karbida non-perekat, nitrida, oksida). Lapisan dengan ketebalan 1 hingga 8 mikrometer ini diperoleh dengan *physical vapor deposition* (PVD) atau *chemical vapor deposition* (CVD). Pelapis CVD menciptakan ikatan yang lebih kuat daripada pelapis PVD. Jenis pelapis permukaan termasuk proses PVD dan CVD [4].

Pada penelitian ini digunakan pahat karbida PVD berlapis, karena tahan terhadap gesekan dan keausan termal. PVD adalah proses pembentukan lapisan pada permukaan bahan alat menurut prinsip pengendapan fisik atau pengendapan atom, ion, atau partikel molekul dalam bahan pelapis. Pemilihan material benda kerja juga mempengaruhi hasil pembubutan terutama kualitas kekasaran permukaan. Beberapa faktor yang dipertimbangkan adalah fungsionalitas, kemampuan bentuk dan kemudahan pencarian di pasar. Berdasarkan hal tersebut maka material yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah ST41 yang merupakan baja karbon rendah (*low carbon steel*) [5].

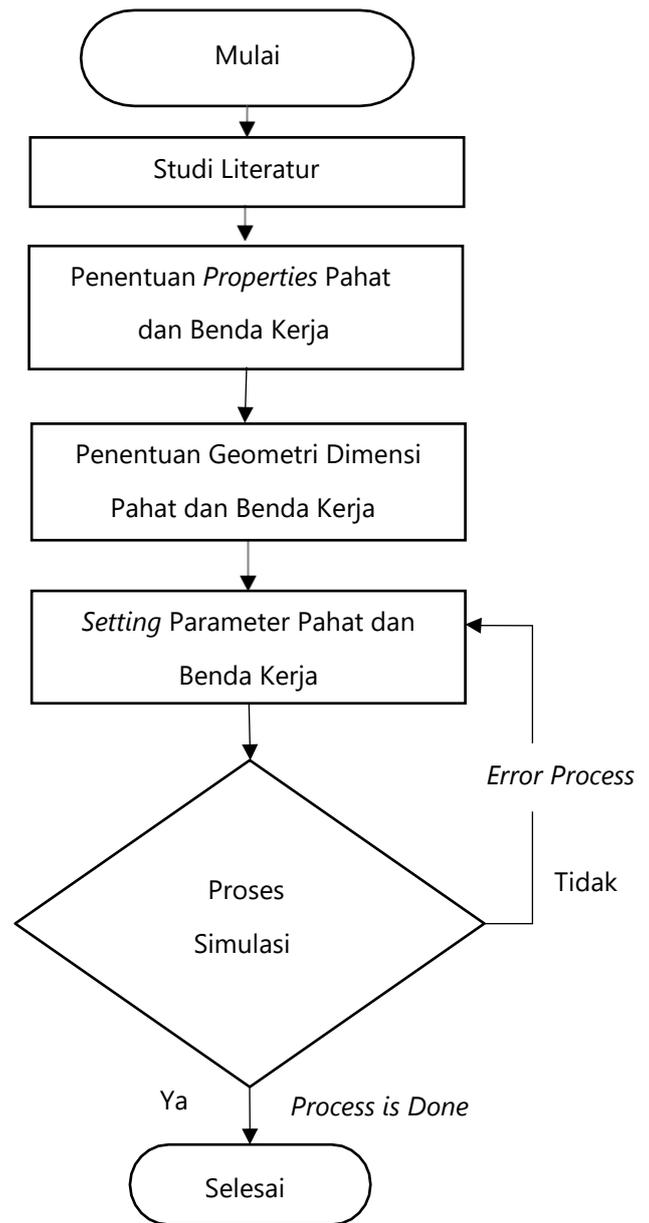
Dalam penelitian ini dijelaskan percobaan menentukan umur dan keausan pahat karbida untuk membubut baja ST41 menggunakan metode elemen hingga melalui aplikasi ANSYS, sehingga dapat secara akurat mengetahui laju keausan kaitannya dengan umur pahat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya laju keausan pahat sehingga dapat menentukan masa pakai (*tool life*) suatu pahat dengan benar [6].

2. Metodologi Penelitian

Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan alur simulasi dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Simulasi

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan dalam waktu empat bulan dimulai dari bulan Februari 2023 sampai dengan bulan Juni 2023. Tempat penelitian di Laboratorium Komputasi (Lab Kom) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Laptop

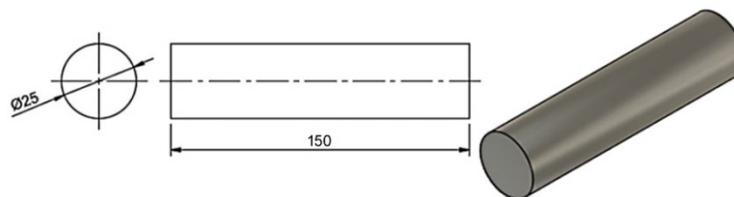
Laptop yang digunakan untuk mensimulasikan penelitian ini menggunakan laptop Asus ZenBook UX462DA, prosesor AMD RYZEN 7 3700U dengan RAM 8 GB dan SSD 512 GB. VGA yang digunakan Radeon Vega Mobile Gfx dan OS Windows 11 Home Single Language.

2.2.2 Perangkat Lunak

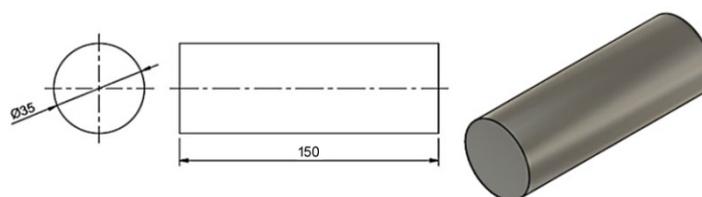
Simulasi dijalankan menggunakan aplikasi ANSYS dengan metode elemen hingga (*finite element methods*). Pemodelan dan simulasi proses bubut dengan pahat karbida dan dengan benda kerja berupa baja ST41 parameter di *setting* berupa ukuran pahat, kecepatan putar, kecepatan makan, dan kedalaman pemakanan. Simulasi pada penelitian ini menggunakan aplikasi ANSYS. Pemodelan dan simulasi ini dapat meminimalisir biaya pengujian, dikarenakan pengujian tidak dilakukan secara fisik yang memerlukan biaya.

2.3 Variasi Desain Spesimen dan Parameter

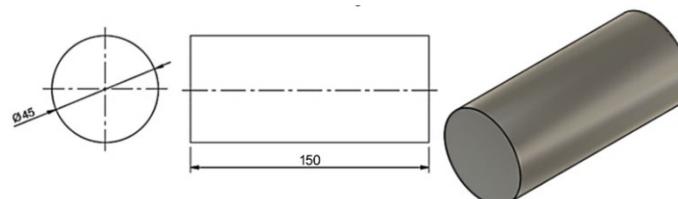
Variasi data yang ditetapkan dalam simulasi adalah diameter sebesar 25 mm, 35 mm, dan 45 mm (lihat Gambar 3-5) dengan putaran mesin sebesar 300 rpm, 450 rpm, 750 rpm. Data *a* (*depth of cut*) dan *f* (kedalaman pemakanan). Hipotesis penelitian menunjukkan semakin cepat putaran mesin akan mengakibatkan gaya gesek dan laju keausan yang semakin besar, hal ini dibuktikan dengan penelitian [7]. Selanjutnya akan dicari berbagai variabel dengan spesimen uji dirancang menggunakan aplikasi *Solidwork* 2018 dengan variasi yang dapat dilihat pada Gambar 3-5 sebagai berikut.



Gambar 3. Benda Kerja $\varnothing 25$ mm \times 150 mm



Gambar 4. Benda Kerja $\varnothing 35$ mm \times 150 mm



Gambar 5. Benda Kerja $\varnothing 45$ mm \times 150 mm

Tabel 1. Paramater Simulasi

No	Ø (mm)	n (rpm)	a (mm)	L (mm)	f (mm/rev)	Vc (m/min)	Vf (mm/min)	tm (min)
1	25	1800	0,5	150	0,5	140	900	0,17
2	35	1300				140	650	0,24
3	45	1000				140	500	0,31

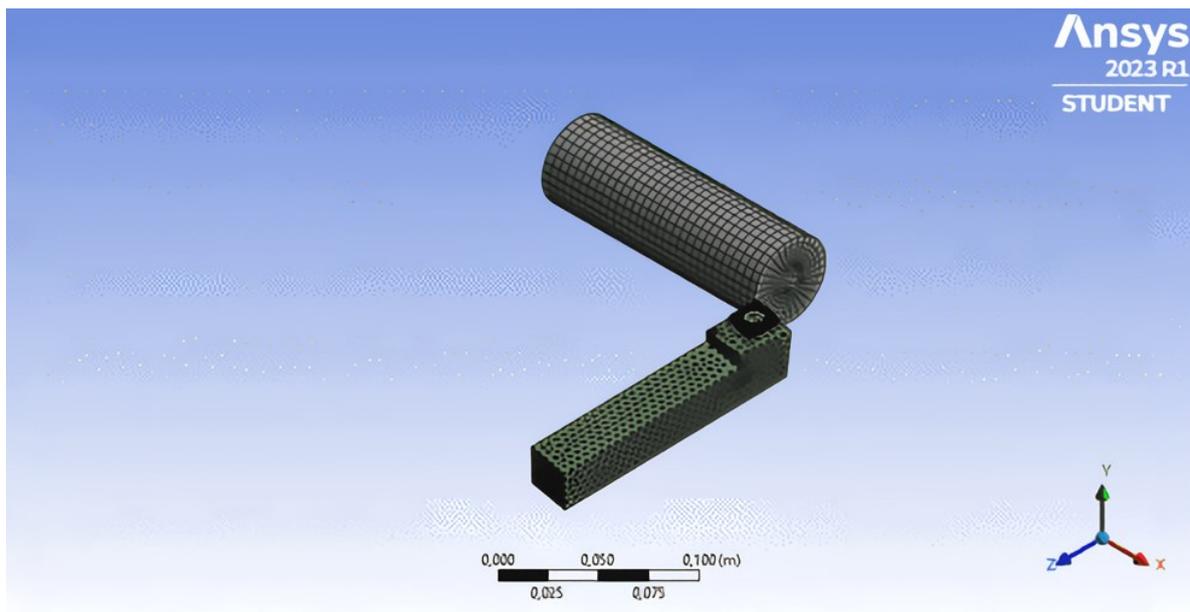
2.4 Rancangan Simulasi

2.4.1 Set Materials Properties

Mengatur material *properties* spesimen menjadi *low steel carbon ST41*, dengan memasukkan beberapa sifat material seperti *young modulus*, *specific heat ratio*, *poisson ratio*, dan nilai kekerasan. kemudian *desain* geometri pahat ditentukan menjadi *carbide*.

2.4.2 Meshing

Setelah geometri selesai dibuat, maka dilanjutkan dengan melakukan *meshing* (lihat Gambar 6). Tahapan *meshing* yang digunakan yaitu *body meshing* pada spesimen uji dan pahat. Metode *meshing* yang digunakan yaitu *hex dominant method*. Selanjutnya, pembagian *mesh* benda kerja menggunakan *relative mesh* dengan *meshing* 20000 serta *size ratio* 20 dan pahat sebesar 20000 elemen, dengan *size ratio* 15.



Gambar 6. Meshing Pahat Karbida dan Benda Kerja ST41

2.4.3 Set Up Condition

Penentuan kondisi simulasi untuk menjadi lebih spesifik, maka perlu dibuat beberapa kondisi simulasi. Kondisi simulasi yang dibuat pada analisis ini berupa:

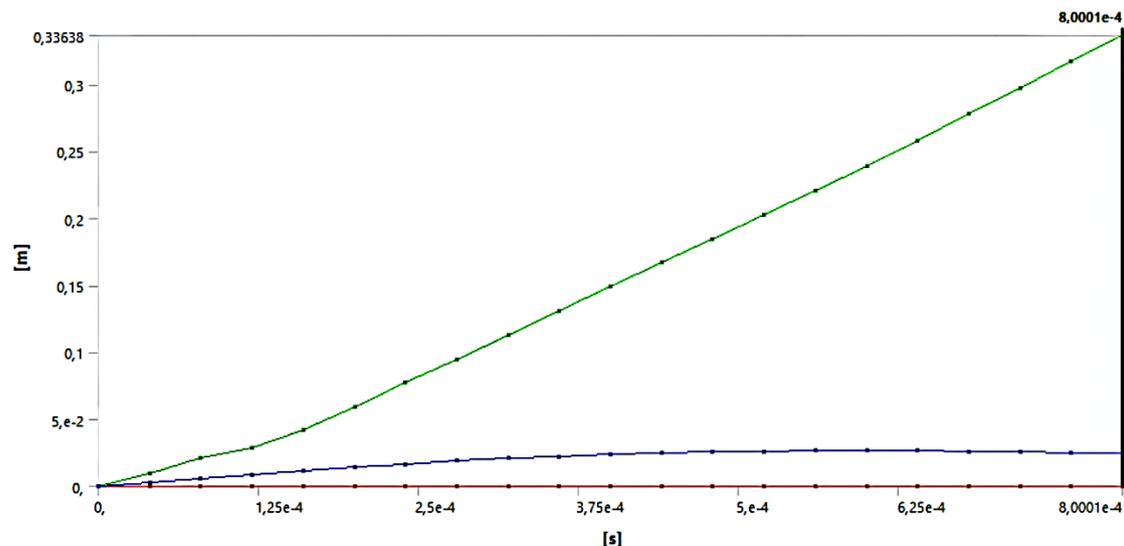
1. Pemodelan dibuat secara simetri terhadap bidang X, Y, dan Z. Pemodelan simetri dapat mempermudah pengerjaan analisis yang dilakukan secara komputasi.
2. Kecepatan putaran *spindle* yang digunakan adalah 10000 rev/min, dan gerak makannya adalah 0,007 mm/rev.
3. Dalam simulasi, benda kerja dilakukan pada semua arah. Pahat bergerak maju di sekitar sumbu Z dan bergerak memakan ke samping sepanjang sumbu -X.

4. Suhu awal dan panas konveksi koefisien transfer lingkungan ditetapkan, masing-masing. Sejauh gesekan antar alat dan *chip* yang bersangkutan, model tegangan geser konstan digunakan dan faktor gesekan ditetapkan sama dengan 0,7.
5. Pada *workpiece setup* ada pilihan tipe untuk benda kerja, pilihan tipe benda kerja menggunakan baja ST41 dengan temperatur 20 °C.
6. Jumlah *step* simulasi yang dilakukan sebanyak 1000 *step* dan langkah penyimpanan *step* sebanyak 25, serta *drill dept* 3 mm dan menggunakan kalkulasi keausan pahat dengan persamaan model.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Total Deformasi

Hasil simulasi Total Deformasi pada benda kerja \varnothing 25 mm ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 7. Deformasi maksimal pada grafik hijau yang terkait pada simulasi Mata pahat karbida dengan parameter *cutting speed* 140 m/min yang membubut bendakerja baja ST41 \varnothing 25 mm sepanjang 150 mm adalah sebesar 0,33638 μ m. Nilai deformasi maksimal ini terjadi ketika pahat mencapai ujung benda kerja. Secara teorih ini sesuai dengan yang terjadi di lapangan, semakin lama pahat digunakan maka semakin besar tingkat deformasi mata pahat tersebut yang artinya akan mendekati keausan. Pada benda kerja \varnothing 25 mm \times 150 mm menggunakan parameter putaran *spindle* paling tinggi diantara dua parameter lainnya yaitu 1800 rpm.



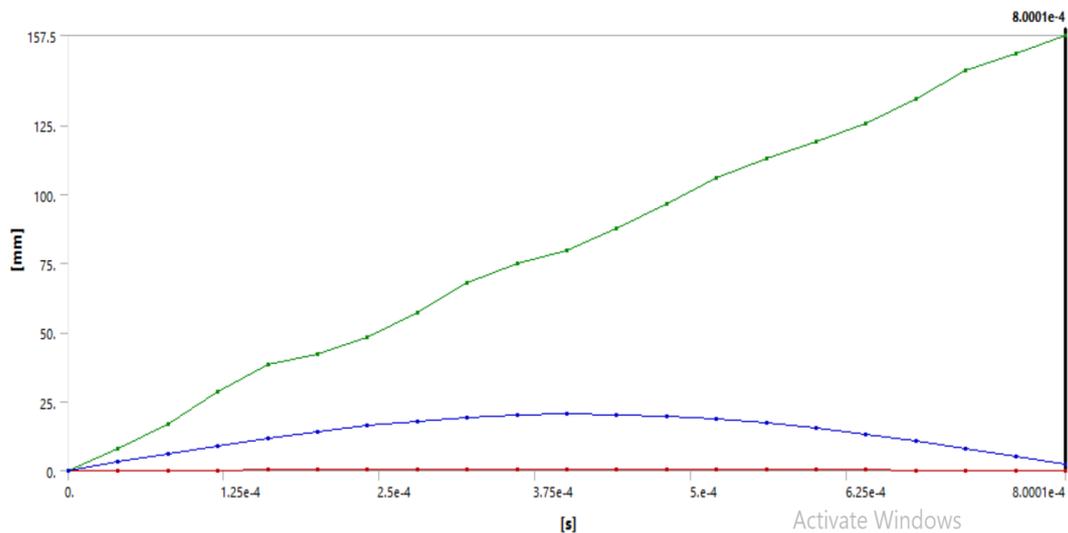
Gambar 7. Grafik Total Deformasi \varnothing 25 mm

Dari data tabular pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai deformasi berfluktuasi pada setiap detik. Pada saat pembubutan berjalan selama 0,00004 detik, pahat mulai mengalami deformasi dengan nilai terkecil yaitu sebesar 0,0000653 μ m dan nilai deformasi paling maksimal terjadi pada akhir simulasi yaitu sebesar 0,33638 μ m. Hasil ini terjadi karena adanya beban *stress* dan panas yang semakin tinggi yang diakibatkan oleh gesekan antara mata pahat dan benda kerja. Sehingga, pada akhir simulasi nilai deformasi naik menjadi 0,33638 μ m.

Tabel 2. Data Tabular Total Deformasi \varnothing 25 mm

No	Time (s)	Min (μ m)	Max (μ m)	Average (μ m)
1	0,00004	0,0000653	0,0094797	0,0030023
2	0,00008	0,0001309	0,021169	0,0060158
3	0,00012	0,0001945	0,028478	0,0089204
4	0,00016	0,0002521	0,041747	0,011714
5	0,0002	0,0003028	0,059206	0,014303
6	0,00024	0,0003457	0,076955	0,016687
7	0,00028	0,0003797	0,094832	0,018847
8	0,00032	0,0004071	0,11278	0,020769
9	0,00036	0,0004227	0,13076	0,022422
10	0,0004	0,0004275	0,14877	0,023784
11	0,00044	0,000422	0,1668	0,02486
12	0,00048	0,0004074	0,18484	0,025663
13	0,00052	0,0003821	0,20288	0,026196
14	0,00056	0,0003468	0,22094	0,026463
15	0,0006	0,0003022	0,23902	0,026491
16	0,00064	0,0002481	0,25849	0,026319
17	0,00068	0,000193	0,27796	0,025997
18	0,00072	0,0001325	0,29744	0,02556
19	0,00076	0,00675	0,31691	0,025025
20	0,0008	0,015	0,33638	0,024421

Hasil simulasi total deformasi pada benda kerja \varnothing 35 mm ditunjukkan pada data Tabel 3 dan Gambar 8 berikut ini.



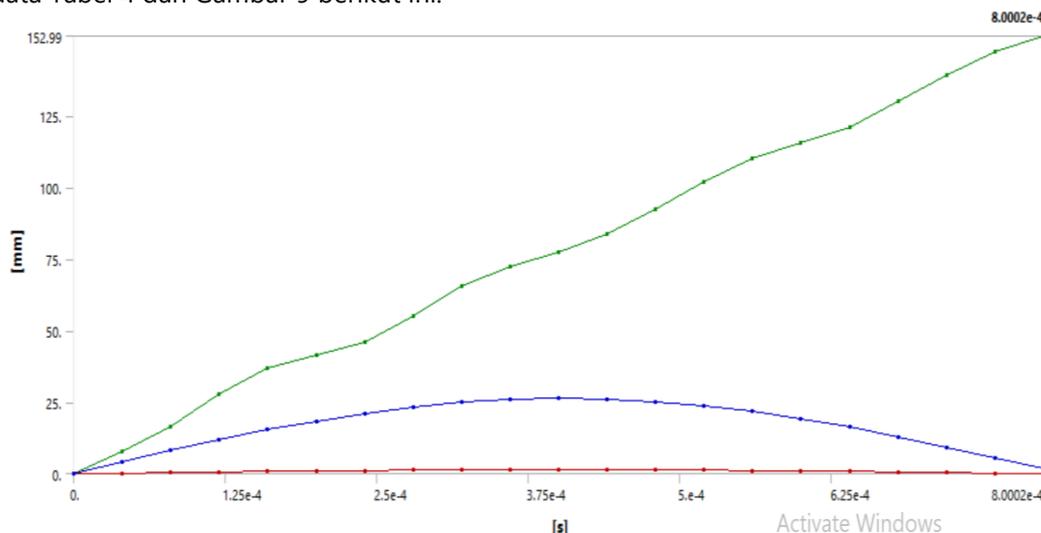
Gambar 8. Grafik Total Deformasi \varnothing 35 mm

Berdasarkan Gambar 8, deformasi maksimal pada grafik hijau yang terkait pada simulasi mata pahat karbida dengan parameter putaran *spindle* 1300 rpm yang membubut benda kerja baja ST41 \varnothing 35 mm sepanjang 150 mm adalah sebesar 0,155 μ m. Nilai deformasi maksimal ini terjadi ketika pahat mencapai ujung benda kerja.

Tabel 3. Data Tabular Total Deformasi \varnothing 35 mm

No	Time (s)	Min (μ m)	Max (μ m)	Average (μ m)
1	0,0004	0,00774	0,007755	0,007751
2	0,0008	0,0155	0,015506	0,015502
3	0,0012	0,02326	0,023268	0,023257
4	0,0016	0,03101	0,031016	0,031008
5	0,002	0,03875	0,038755	0,038752
6	0,0024	0,04651	0,046509	0,046505
7	0,0028	0,05426	0,054263	0,054258
8	0,0032	0,062	0,062007	0,062002
9	0,0036	0,06975	0,069757	0,069751
10	0,004	0,0775	0,077508	0,077503
11	0,0044	0,08525	0,085258	0,085255
12	0,0048	0,09301	0,09301	0,093006
13	0,0052	0,10075	0,10076	0,10075
14	0,0056	0,10851	0,10851	0,10851
15	0,006	0,11626	0,11626	0,11626
16	0,0064	0,124	0,12401	0,124
17	0,0068	0,13175	0,13176	0,13175
18	0,0072	0,1395	0,13952	0,13951
19	0,0076	0,14725	0,14726	0,14725
20	0,008	0,155	0,155	0,155

Dari data tabular pada Tabel 3 di atas dapat diketahui bahwa nilai deformasi berfluktuasi pada setiap detik. Pada saat pembubutan berjalan selama 0,00004 detik, pahat mulai mengalami deformasi dengan nilai terkecil yaitu sebesar 0,007744 μ m dan nilai deformasi paling maksimal terjadi pada akhir simulasi yaitu sebesar 0,155 μ m. Hasil ini terjadi karena adanya beban *stress* dan panas yang semakin tinggi yang diakibatkan oleh gesekan antara mata pahat dan benda kerja. Sehingga, pada akhir simulasi nilai deformasi naik menjadi 0,155 μ m. Hasil simulasi Total Deformasi pada benda kerja \varnothing 45 mm ditunjukkan pada data Tabel 4 dan Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Grafik Total Deformasi \varnothing 45 mm

Dari Gambar 9, deformasi maksimal pada grafik hijau yang terkait pada simulasi Mata pahat karbida dengan parameter *cutting speed* 140 m/min yang membubut benda kerja baja ST41 \varnothing 45 sepanjang 150 mm adalah sebesar 0,15299 μ m. Nilai deformasi maksimal ini terjadi ketika pahat mencapai ujung benda kerja. Secara teori hal ini sesuai dengan yang terjadi di lapangan, semakin lama mata pahat digunakan

maka semakin besar tingkat deformasi mata pahat tersebut yang artinya akan mendekati keausan. Pada benda kerja \varnothing 45 mm \times 150 mm menggunakan parameter putaran *spindle* yang paling rendah yaitu sebesar 1000 rpm, dan didapatkan hasil deformasinya paling kecil diantara dua benda lainnya.

Tabel 4. Data Tabular Total Deformasi \varnothing 45 mm

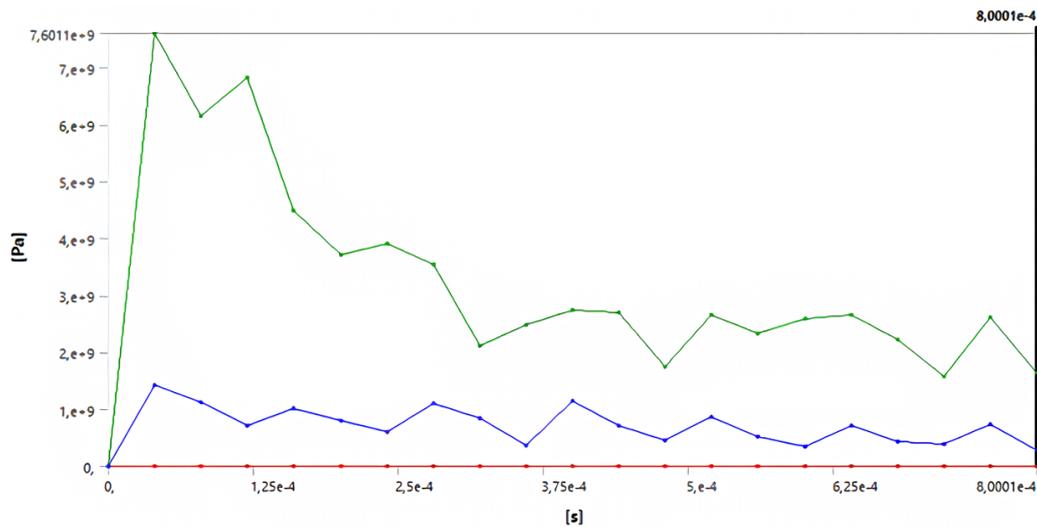
No	Time (s)	Min (μ m)	Max (μ m)	Average (μ m)
1	0,0004	0,000177	0,009602	0,003793
2	0,0008	0,00042	0,020227	0,010525
3	0,00012	0,000463	0,03036	0,013889
4	0,00016	0,000665	0,039912	0,017704
5	0,0002	0,000959	0,048961	0,023223
6	0,00024	0,000916	0,057557	0,025856
7	0,00028	0,00117	0,065496	0,029398
8	0,00032	0,00129	0,072971	0,033035
9	0,00036	0,001273	0,080168	0,034602
10	0,0004	0,001356	0,087086	0,037433
11	0,00044	0,001289	0,093785	0,038575
12	0,00048	0,001236	0,10041	0,039778
13	0,00052	0,001208	0,10871	0,040924
14	0,00056	0,000824	0,11729	0,040336
15	0,0006	0,000959	0,12584	0,040916
16	0,00064	0,000797	0,1344	0,040737
17	0,00068	0,000307	0,14298	0,038975
18	0,00072	0,000419	0,15154	0,039113
19	0,00076	0,000212	0,15188	0,037977
20	0,0008	0,00674	0,15299	0,037348

Dari data tabular pada Tabel 4 di atas dapat diketahui bahwa nilai deformasi berfluktuasi pada setiap detik. Pada saat pembubutan berjalan selama 0,00004 detik, pahat mulai mengalami deformasi dengan nilai terkecil yaitu sebesar 0,000177 μ m dan nilai deformasi paling maksimal terjadi pada akhir simulasi yaitu sebesar 0,15299 μ m. Hasil ini terjadi karena adanya beban *stress* dan panas yang semakin tinggi yang diakibatkan oleh gesekan antara mata pahat dan benda kerja. Sehingga, pada akhir simulasi nilai deformasi naik menjadi 0,15299 μ m.

3.2 Equivalen Stress

Hasil simulasi *equivalen stress* pada benda kerja 25 mm ditunjukkan pada data Tabel 5 dan Gambar 10. Pada Gambar 10 grafik hasil *equivalent stress* terdapat tiga warna garis yaitu hijau, biru dan merah. Garis hijau menunjukkan nilai *equivalent stress* yang terjadi pada benda kerja ST41, untuk garis biru menunjukkan nilai rata-rata *equivalent stress* dan garis merah menunjukkan nilai *equivalent stress* yang terjadi (pada *holder* pahat). Oleh sebab itu pembahasan akan berfokus pada garis pada grafik yang berwarna hijau. Garis hijau pada grafik menunjukkan tingkat *stress* maksimal pada bagian sisi dalam mata pahat sebesar 3720 MPa, hal ini dapat dijelaskan karena area bagian dalam pahat bersinggungan langsung dengan pengunci pahat sehingga menyebabkan *stress* pada pahat.

Pada setiap simulasi nilai *equivalent stress* diawali dengan 0 Pa hal ini menunjukkan saat pahat belum bersinggungan dengan benda kerja. Pada data tabular Tabel 5 menunjukkan benda kerja \varnothing 25 mm dengan panjang 150 mm memiliki tingkat *stress* tertinggi pada awal pahat bersinggungan dengan benda kerja yaitu 3720 MPa. Nilai *equivalent stress* akan naik dengan signifikan saat benda kerja pertama kali bersinggungan dengan pahat. Untuk nilai maksimal *equivalent stress* benda kerja \varnothing 25 mm adalah 3720 MPa pada 0,0002 detik pertama.

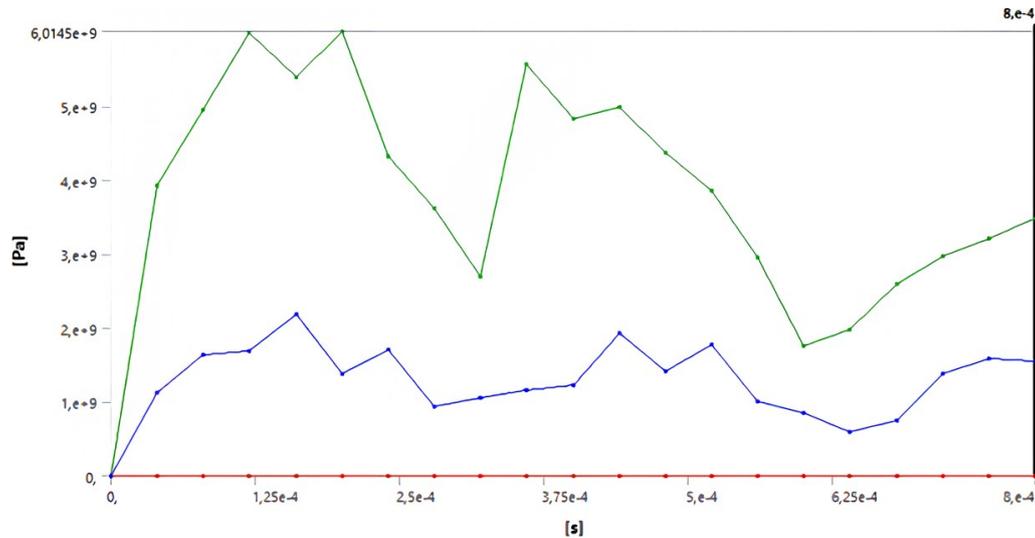


Gambar 10. Grafik *Equivalent Stress* \varnothing 25 mm

Tabel 5. Data Tabular *Equivalent Stress* \varnothing 25 mm

No	Time (s)	Min (μm)	Max (μm)	Average (μm)
1	0,00004	0	1601	1435
2	0,00008	0	2158	1113
3	0,00012	0	2827,5	7088
4	0,00016	0	3493	1020
5	0,0002	0	3720	8075
6	0,00024	0	3619	598
7	0,00028	0	3542	1093
8	0,00032	0	2106	833,5
9	0,00036	0	2475	361
10	0,0004	0	2747	114
11	0,00044	0	2694	702
12	0,00048	0	1740	444
13	0,00052	0	2656	854
14	0,00056	0	2335	525
15	0,0006	0	2585	342
16	0,00064	0	2651	702
17	0,00068	0	2223	433
18	0,00072	0	1570	385
19	0,00076	0	2605	703
20	0,0008	0	1639	281

Hasil simulasi *equivalen stress* pada benda kerja \varnothing 35 mm ditunjukkan pada data Tabel 6 dan Gambar 11. Hasil *Equivalent Stress* pada Gambar 11 terdapat tiga warna garis yaitu hijau, biru dan merah. Garis hijau menunjukkan nilai *equivalent stress* yang terjadi pada benda kerja ST41, untuk garis biru menunjukkan nilai rata-rata *equivalent stress* dan garis merah menunjukkan nilai *equivalent stress* yang terjadi (pada *holder* pahat). Oleh sebab itu pembahasan akan berfokus pada garis pada grafik yang berwarna hijau. Garis hijau pada grafik menunjukkan bahwa tingkat *stress* pada mata pahat berada di area sisi dalam pahat yang bersentuhan dengan *holder* dengan angka maksimal *stress* yaitu 6014 MPa. Nilai *equivalent stress* akan naik dengan signifikan saat benda kerja pertamakali bersinggungan dengan pahat. Untuk nilai maksimal *equivalent stress* benda kerja \varnothing 35 mm adalah 6014 MPa.



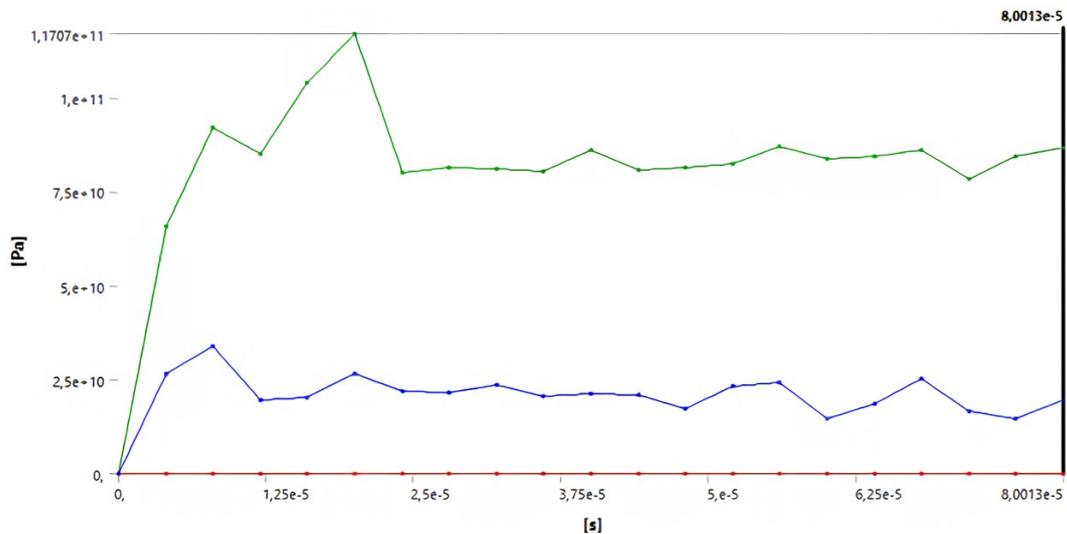
Gambar 11. Grafik *Equivalent Stress* \varnothing 35 mm

Hasil simulasi nilai *equivalent stress* benda kerja \varnothing 35 mm mengalami diagram yang fluktuatif. Grafik diawali dengan 0 Pa hal ini menunjukkan saat pahat belum bersinggungan dengan benda kerja. Nilai *equivalent stress* akan naik dengan signifikan saat benda kerja pertama kali bersinggungan dengan pahat. Untuk nilai maksimal *equivalent stress* benda kerja \varnothing 35 mm adalah 6014 MPa. Pada data tabular Tabel 6 menunjukkan benda kerja \varnothing 35 mm dengan panjang 150 mm memiliki tingkat *stress* tertinggi pada kolom nomor 6 yaitu dengan waktu 0,0002 detik pada minimum *stress* 0 Pa dan maksimum 6014 MPa.

Tabel 6. Data Tabular *Equivalent Stress* \varnothing 35 mm

No	Time (s)	Min (μm)	Max (μm)	Average (μm)
1	0,00004	0	3928	1129
2	0,00008	0	4954	1642
3	0,00012	0	6000	1691
4	0,00016	0	5407	2182
5	0,0002	0	6014	1383
6	0,00024	0	4322	1703
7	0,00028	0	3615	941
8	0,00032	0	2708	1054
9	0,00036	0	5563	1159
10	0,0004	0	4830	1233
11	0,00044	0	4990	1932
12	0,00048	0	4367	1422
13	0,00052	0	3854	1784
14	0,00056	0	2963	1010
15	0,0006	0	1762	858
16	0,00064	0	1976	591
17	0,00068	0	2593	751
18	0,00072	0	2972	1376
19	0,00076	0	3204	1593
20	0,0008	0	3489	1552

Hasil simulasi *Equivalent Stress* pada benda kerja \varnothing 45 mm ditunjukkan pada Data Tabel 7 dan Gambar 12 berikut ini.



Gambar 12. Grafik *Equivalent Stress* \varnothing 45mm

Hasil *Equivalent Stress* pada Gambar 12 terdapat tiga warna garis yaitu hijau, biru dan merah. Garis hijau menunjukkan nilai *equivalent stress* yang terjadi pada benda kerja ST41, untuk garis biru menunjukkan nilai rata-rata *equivalent stress* dan garis merah menunjukkan nilai *equivalent stress* yang terjadi (pada *holder* pahat). Oleh sebab itu pembahasan akan berfokus pada garis pada grafik yang berwarna hijau. Dalam grafik, garis warna hijau dapat dijelaskan bahwa tingkat *stress* pada mata pahat berada di area sisi luar pahat bagian bawah yang bersentuhan dengan *holder* dengan angka maksimal *stress* yaitu 373,53 Pa. Hal ini dapat dijelaskan pahat bersinggungan dengan proses pemakanan benda kerja dan mengakibatkan pahat mendapat tekanan ke *holder* yang membuat sisi luar pahat yang mengenai *holder* menjadi *stress*.

Tabel 7. Data Tabular *Equivalent Stress* \varnothing 45 mm

No	Time (s)	Min (μm)	Max (μm)	Average (μm)
1	0,00004	0	6593	2668
2	0,00008	0	9220	3387
3	0,00012	0	8518	1959
4	0,00016	0	10398	2032
5	0,0002	0	11707	2671
6	0,00024	0	8025	2209
7	0,00028	0	8160	2174
8	0,00032	0	8116	2371
9	0,00036	0	8043	2049
10	0,0004	0	8614	2116
11	0,00044	0	8077	2098
12	0,00048	0	8138	1741
13	0,00052	0	8248	2311
14	0,00056	0	8703	2415
15	0,0006	0	8379	1476
16	0,00064	0	8463	1858
17	0,00068	0	8615	2522
18	0,00072	0	7852	1676
19	0,00076	0	8434	14526
20	0,0008	0	8667	1976

Hasil simulasi nilai *equivalent stress* benda kerja \varnothing 45 mm mengalami diagram yang fluktuatif. Grafik diawali dengan 0 Pa hal ini menunjukkan saat pahat belum bersinggungan dengan benda kerja. Nilai *equivalent stress* akan naik dengan signifikan saat benda kerja pertama kali bersinggungan dengan pahat. Untuk nilai maksimal *equivalent stress* benda kerja \varnothing 45 mm adalah 11.700 MPa. Data tabular pada Tabel 7 menunjukkan benda kerja \varnothing 45 mm dengan panjang 150 mm memiliki tingkat stress tertinggi pada kolom nomer 6 yaitu pada waktu 0,0002 detik pada maksimum stress 11,7 GPa.

4. Kesimpulan

Dari simulasi yang telah dilakukan ini dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai total deformasi yang terjadi pahat pada variasi \varnothing 25, 35, dan 45 secara berturut-turut adalah 0,363, 0,155, dan 0,152 μ m pada setiap akhir simulasi atau ketika proses pembubutan berjalan selama 0,0008 detik. Hal ini menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi pada pahat dipengaruhi oleh besarnya putaran *spindle* dan diameter benda yang dibubut. Apabila putaran *spindle* semakin besar maka pahat akan lebih cepat aus karena temperatur pahat akan naik secara signifikan yang mengakibatkan proses deformasi plastis terjadi semakin cepat.
2. *Equivalent stress* pada pahat untuk ketiga benda kerja berbahan ST41 dapat disimulasikan menggunakan aplikasi ANSYS. Untuk parameter yang diatur untuk bisa menjalankan simulasi adalah sistem koordinat, koneksi pahat dan benda kerja, *meshing*, dan pergerakan komponen. Nilai *equivalent stress* yang terjadi pahat pada variasi \varnothing 25, 35, dan 45 berfluktuasi karena adanya gesekan dan deformasi antara pahat dan benda kerja. Akan tetapi, *equivalent stress* tertingginya secara berturut-turut adalah 3,7 GPa, 6 GPa, dan 11,7 GPa. Dari data yang tersebut dapat disimpulkan bahwa besar *equivalent stress* yang terjadi pada pahat akan semakin naik dan berfluktuasi tinggi apabila putaran *spindle* semakin rendah. Hal ini dapat dijelaskan dengan adanya deformasi yang terjadi pada pahat, ketika pahat mengalami deformasi maka ujung pahat yang terdeformasi tersebut akan kehilangan kontak dengan benda kerja dan mengalami *loss stress* (kehilangan beban tekan) pada sepersekian detik akibat deformasi yang terjadi. Dan dalam sepersekian detik berikutnya pahat akan kembali mengalami kontak dengan benda kerja dan nilai *stress* pada pahat akan melonjak sangat signifikan. Apabila putaran *spindel* semakin rendah maka beban gesek yang seharusnya diterima oleh pahat akan menjadi beban *bending*, inilah yang membuat nilai *stress* semakin besar. Jadi semakin rendah putaran *spindle* maka semakin besar nilai *stress* yang akan diterima oleh pahat.

5. Daftar Pustaka

- [1] B. M. Munson, A. P. Rothmayer, and T. H. Okiishi, "Fundamentals of Fluid Mechanics," 7th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [2] M. Nopiansyah, Z. Zulfitriyanto, and E. Erwanto, "Pengaruh Kecepatan Spindle dan Kedalaman Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan Pemesinan Bubut CNC Baja St41," *Jurnal Health Sains*, vol. 2, no. 7, pp. 1307–1316, 2021.
- [3] A. Z. Sastal, Y. Gunawan, and B. Sudia, "Pengaruh Kecepatan Potong terhadap Perubahan Temperatur Pahat dan Keausan Pahat Bubut pada Proses Pembubutan Baja Karbon Sedang," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2018.
- [4] H. Suryanto and A. Qolik, "Pengaruh Variasi Arus Las SMAW terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar Stainless Steel 304 dan ST 37," *J. Tek. Mesin*, vol. 24, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [5] S. Sopiyan, F. B. Susetyo, and S. Syamsuir, "Pengaruh Arus Terhadap Kenyamanan Welder, Cacat Las dan Kekerasan Hasil Hardfacing Baja Karbon," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 57–107, 2018.
- [6] S. P. Patil and D. M. Tilekar, "Tool Wear Detection of Cutting Tool Using Matlab Software," *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, vol. 2, no. 11, pp. 362–366,

- 2014.
- [7] F. D. A. Verayanti and S. Sumiati, "Desain Eksperimen Pengaruh Variasi Media Pendingin terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Bahan St 41 pada Proses Heat Treatment," *Juminten*, vol. 1, no. 3, pp. 104–115, 2020, doi: 10.33005/juminten.v1i3.125.
- [8] V. Sukaylo, A. Kaldos, H.-J. Pieper, V. Bana, and M. Sobczyk, "Numerical Simulation of Thermally Induced Workpiece Deformation in Turning when using Various Cutting Fluid Applications," *J Mater Process Technol*, vol. 167, no. 2–3, pp. 408–414, 2005, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.05.042.
- [9] P. Li and Z. Chang, "A Hybrid Model for Turning Force Based on Shear and Extrusion Deformation considering Cutting-Edge Radius," *J Manuf Process*, vol. 84, pp. 134–148, 2022, doi: 10.1016/j.jmapro.2022.09.007.
- [10] K. Ju, C. Duan, Y. Sun, J. Shi, J. Kong, and A. Akbarzadeh, "Prediction of Machining Deformation Induced by Turning Residual Stress in Thin Circular Parts using Ritz Method," *J Mater Process Technol*, vol. 307, p. 117664, 2022, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2022.117664.