

## Analisis Tegangan dan Temperature pada Pemotongan Ortogonal Terhadap Material AISI 4340 Menggunakan Metode Elemen Hingga

Muh Farid Hidayat\*, Mahlina Ekawati

Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Email: [faridhidayat006@gmail.com](mailto:faridhidayat006@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini dilatar belakangi oleh perkembangan industri manufaktur dan dunia penelitian tentang permesinan. Selain itu, telah banyak yang melakukan studi tentang permesinan untuk mengetahui tegangan dan temperature secara eksperimen. Namun, masih sedikit yang membahas tentang analisis tegangan dan temperature menggunakan metode elemen hingga secara simulasi. Tujuan dari penelitian ini ialah Memodelkan dan menganalisis proses pemotongan orthogonal terhadap material AISI 4340 menggunakan pahat sisi pada perangkat lunak ABAQUS dimana output yang diketahui ialah nilai tegangan dan temperatur saat pemotongan. Adapun variabel permesinan dari penelitian ini ialah kedalaman pemakanan pada proses pemotongan (0.025 inch, 0.050 inch, 0.075 inch, dan 0.10 inch). Material sampel uji yang akan digunakan ialah AISI 4340 dan material pahat sisi yang digunakan ialah DNMG 120404 Carbide. Dari hasil analisis diperoleh nilai tegangan maksimum pada kedalaman pemotongan 0.10 inch sebesar 682,605 N dan tegangan maksimum terendah ialah kedalaman pemotongan 0.025 inch sebesar 197,503 N. Adapun nilai temperatur hasil pemotongan tergantung pada kondisi chips saat pemotongan.

**Kata kunci:** Pemotongan Orthogonal, Baja AISI 4340, Metode Elemen Hingga, Abaqus CAE

### ABSTRACT

*This research is motivated by the development of the manufacturing industry and the world of research on machinery. In addition, there have been many studies on machinery to determine stress and temperature experimentally. However, little has been discussed about stress and temperature analysis using the finite element method in simulation. The purpose of this research is to model and analyze the process of orthogonal cutting of AISI 4340 material using a side cutting-tool on the ABAQUS software where the known outputs are the stress and temperature values when cutting. The machining variables of this study are the depth of ingestion in the cutting process (0.025 inches, 0.050 inches, 0.075 inches and 0.10 inches). The test sample material to be used is AISI 4340 and the side cutting-tool material used is DNMG 120404 Carbide. From the analysis results, it is obtained that the maximum stress value at a cutting depth of 0.10 inches is 682.605 N and the lowest maximum stress is a cutting depth of 0.025 inches at 197.503 N. The temperature value of the cutting result depends on the condition of the chips when cutting.*

**Keywords:** Orthogonal Cutting, AISI 4340 Steel, Finite Element Method, Abaqus CAE

## PENDAHULUAN

Industri manufaktur di bidang proses permesinan selalu berupaya untuk meningkatkan kualitas dan hasil produksi. Tindakan tersebut dilakukan karena permintaan konsumen yang terus berkembang. Sejalan dengan dengan berkembangnya zaman, permintaan pasar terhadap kuantitas produk dan kualitas barang menjadi fokus perhatian industri manufaktur saat ini. Dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti proses permesinan, jenis material, metode, dan parameter permesinan.

Untuk meningkatkan hasil produksi dan menerapkan produksi massal dalam industri manufaktur bidang pemesinan ialah dengan mengaplikasikan mesin CNC (*computer numerical controlled*). Penelitian yang dilakukan oleh Ranganath dkk. Tentang hasil kekasaran permukaan pada pemotongan menggunakan Mesin CNC turning dengan variasi *cutting speed*, kedalaman pemakanan dan *feed rate* (Ranganath et al. 2016). Studi tentang gaya pemotongan dan kekasaran permukaan pada proses permesinan CNC turning dengan memvariasikan parameter permesinan (Gökkaya 2010). Penelitian tentang pengaruh parameter pemotongan dengan tool potong yang berbeda untuk mengetahui hasil *chips* dan kekasaran permukaan hasil pemotongan pada mesin CNC turning (Alam, Priyadarshani, and Alam 2017).

Salah satu jenis proses permesinan yang sering ditemukan baik mesin konvensional dan non konvensional ialah pemotongan orthogonal. Penelitian pemotongan orthogonal dengan memperhatikan keausan tool pada *tool rake angle*  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ , dan  $5^\circ$  (Ipilakyaa et al. 2014). Pengaruh ketebalan pemakanan dan

*cutting speed* pada gaya pemotongan orthogonal juga telah dilakukan untuk mengetahui optimal pemotongan pada permesinan *CNC lathe* (Daniel 2018). Eksperimen pemotongan orthogonal dengan mengoptimasikan parameter permesinan CNC turning dimana metode Taguchi dan analisis regresi telah dilakukan (Syed Irfan, Vijay Kumar, and Rudresha 2019). Zhi-heng Zhou dkk. Juga telah mempelajari pemodelan gaya pemotongan orthogonal pada CNC lathe dengan membandingkan nilai prediksi dan nilai eksperimen (Zhou et al. 2014).

Baja AISI 4340 saat ini sering di jumpai di dunia permesinan dikarenakan pemanfaatannya yang banyak dijadikan sebagai komponen kendaraan dan tool mesin-mesin produksi (Bag et al. 2020). Studi yang dilakukan oleh Shalina Sheik Muhammad dkk ialah pengaruh gaya pemotongan permesinan end milling pada material baja AISI 4340 dimana kondisi pendinginan kering dan *cryogenic* (Muhamad et al. 2019). Selain itu AISI 4340 juga diteliti tentang kemampuan mesin dalam pemotongan dengan memperhatikan jenis insert *coated carbide* (Das, Das, and Mandal 2017). Pada umumnya, material baja AISI 4340 sering dibahas proses pemotongan dengan memvariasikan parameter pemotongan permesinan pada CNC untuk mengetahui hasil pemotongan yang optimal (Lubis et al. 2019).

Analisis elemen hingga (*Finite element analysis*) merupakan metode modelling simulation untuk sebagai pendekatan pengujian eksperimen dalam permesinan. Martin Necpal dkk meneliti tentang gaya potong pada permesinan turning dengan melihat hasil tegangan, temperature, dan prediksi gaya potong pada tool yang digunakan (Necpal,

Pokorný, and Kuruc 2017). Analisis elemen hingga juga diterapkan oleh Nikolaos I Galanis dkk dengan menguji material AISI 316L Stainless Steel untuk memperhatikan gaya potong pada komponen femoral heads (Galanis and Manolacos 2014). Proses pemotongan orthogonal dengan menggunakan carbide tip tool dengan menerapkan metode elemen hingga untuk melihat nilai analitik pada simulasi gaya potong ( et al. 2018).

Dari penelitian-penelitian sebelumnya, maka dianggap perlu diketahui Analisis Tegangan dan Temperatur Pada Pemotongan Ortogonal Terhadap Material AISI 4340 Menggunakan Metode Elemen Hingga. Adapun tujuan dari penelitian ini ialah memodelkan proses pemotongan orthogonal terhadap material AISI 4340 menggunakan pahat sisi pada perangkat lunak ABAQUS dan menganalisis distribusi tegangan dan temperatur proses pemotongan orthogonal pada perangkat lunak ABAQUS.

## METODOLOGI

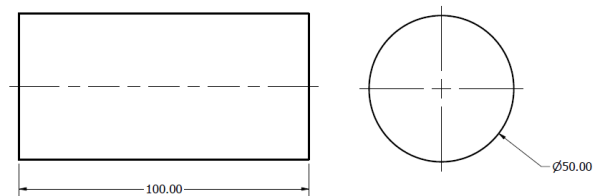
Penelitian analisis tegangan dan temperatur pada pemotongan orthogonal terhadap material aisi 4340 menggunakan metode elemen hingga akan dilakukan di Laboratorium Desain Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng.

Metode yang digunakan dalam studi ini ialah analisis dengan menggunakan pemodelan elemen hingga (*Finite element analysis*). Adapun variasi penelitian yang dilakukan adalah kedalaman pemakanan 0.025 inch, 0.050 inch, 0.075 inch, dan 0.1 inch. Dari variasi tersebut akan diketahui pengaruh kedalaman pemakanan terhadap material baja AISI 4340 melalui metode *finite element*. Adapun kategori pendinginan mengaplikasikan *dry cooling*.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ialah Komputer (PC) yang dilengkapi dengan software CAE yaitu ABAQUS/EXPLICIT. Selain itu, sebagai tahapan persiapan analisis, diperlukan tool insert carbide dengan tujuan untuk mengetahui mechanical properties tool yang akan digunakan untuk penelitian lanjutan. Begitu juga dengan pemegang pahat (*tool holder*) yang mana bertujuan untuk memegang dan mengunci insert sebagai pemotong material

## Bahan Sampel

Bahan sampel yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah baja AISI 4340. Ukuran sampel yang dirancang ialah diameter 70 mm dan Panjang 300 mm. Pembuatan rancangan gambar menggunakan software ABAQUS dengan planar 2 dimensi.



**Gambar 1.** Dimensi sampel AISI 4340

Adapun spesifikasi dari sampel baja AISI 4340 terlihat pada tabel 1 dan tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 1.** Sifat mekanis sampel baja AISI 4340 (Christian 2018)

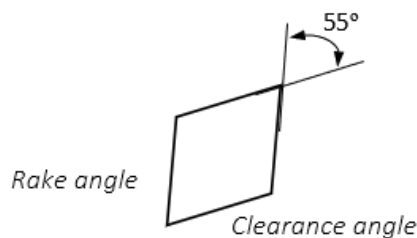
Sifat Mekanis	Besaran
Kekuatan Tarik	935 (N/mm <sup>2</sup> )
Batas elastis	795 (N/mm <sup>2</sup> )
Elongation	16 (%)
Reduction	55(%)
Kekerasan	45-50 (HRC)

**Tabel 2.** Komposisi kimia sampel baja AISI 4340 (Christian 2018)

Nama komposisi	Jumlah (%)
Carbon	0,410
Mangan	0,650
Silikon	0,220
Phosphorus	0,015
Sulfur	0,006
Cromium	0,790
Nikel	1,790
Molybdenum	0,220
Cuprum	0,050
Vanadium	0,020
Aluminium	0,021

### Tool Insert Carbide

Jenis pahat yang digunakan ialah pahat sisipan (*insert*) dimana jenis materialnya ialah carbide. Kode pahat yang dipilih pada penelitian ini ialah DNMG 120404. Adapun geometri tool saat pemotongan ialah *clearence angle* yang digunakan  $17.5^\circ$  dan *rake angle*  $17.5^\circ$ . selain itu, velocity pada tool ialah 100 m/min. parameter mekanik material tool terlihat pada tabel 3 dan parameter termal terlihat pada tabel 4.



**Gambar 2.** Geometri tool

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Pemotongan orthogonal secara simulasi pada variasi kedalaman pemotongan telah dilakukan. Adapun variasi kedalaman yang dilakukan ialah 0.025 inch, 0.050 inch, 0.075 inch, dan 0.10 inch. Tujuan dari penelitian

pemotongan orthogonal ini ialah untuk melihat pengaruh tegangan dan temperature yang didapatkan dari hasil simulasi. Dari hasil penelitian akan didapatkan beberapa data yaitu nilai tegangan dan temperature maksimum dari setiap kedalaman pemotongan.

Persiapan spesimen dimulai dengan pembuatan benda kerja dan *cutting tool* pada software abaqus. Ukuran setiap komponen disesuaikan pada Gambar 3 dan 4. Adapun material yang digunakan pada benda kerja ialah baja AISI 4340 dimana sifat mekanik terlihat pada Tabel 1 sedangkan untuk material yang digunakan pada *cutting tool* ialah carbide dimana *mechanical properties* ditampilkan pada Tabel 3 dan 4.

Dari hasil simulasi terlihat visual pemotongan orthogonal pada Gambar 3 berdasarkan pada gambar tersebut, bentuk chips yang dihasilkan berbeda tergantung dari kedalaman pemotongan benda kerja. Pemotongan kedalaman 0.025 inch memiliki bentuk chips yang tidak terputus dari awal pemotongan. Sedangkan pada kedalaman pemotongan 0.050, 0.075, dan 0.10 inch menghasilkan kondisi chips yang terpotong. Perbedaan mendasar ialah ukuran chips yang berbeda. Kedalaman pemotongan 0.050 inch memiliki chips yang cukup panjang dibanding kedalaman pemotongan 0.075 inch dan 0.10 inch. Sedangkan pada kedalaman pemotongan 0.075 dan 0.10 inch menghasilkan chip yang putus.

### Pembahasan

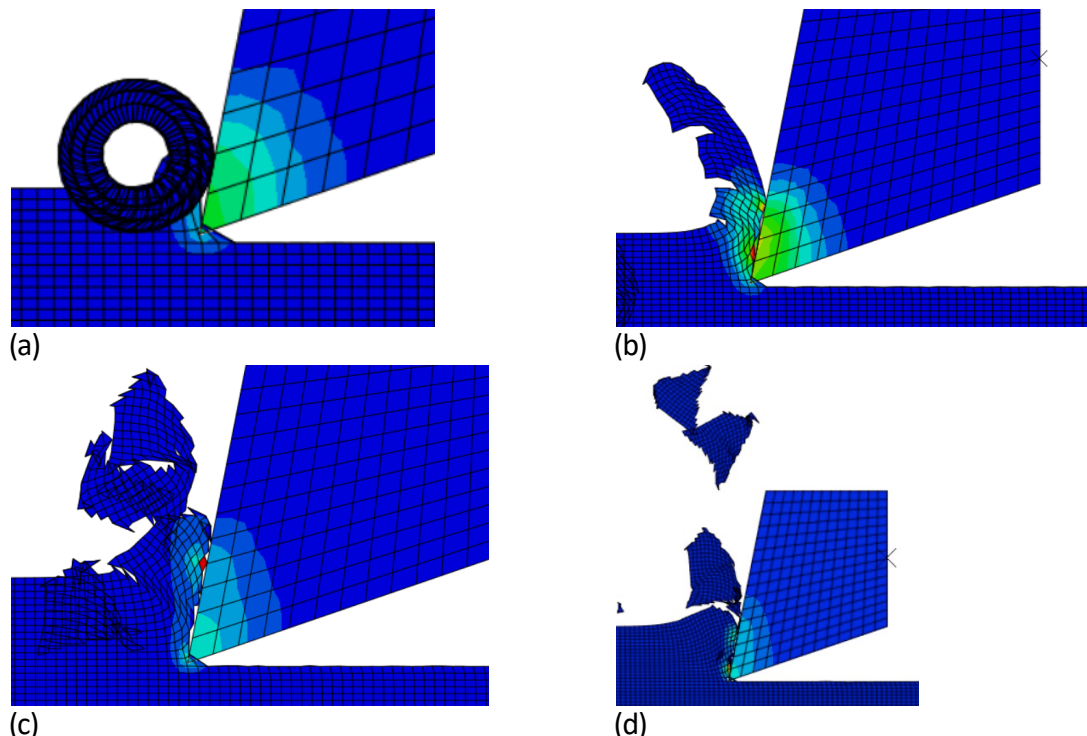
Pemotongan orthogonal dengan variasi kedalaman pemotongan telah dianalisa secara simulasi. Adapun analisa yang dilakukan ialah untuk mengetahui tegangan dan distribusi temperatur *cutting tool* pada variasi kedalaman pemakanan.

**Tabel 3.** Mechanical properties Tool CNMG 120404 Carbide

Parameter	$P, \text{kg/m}^3$	$E, \text{GPa}$	$\nu$	$A, \text{MPa}$	$B, \text{MPa}$	$n$	$c$	$m$
Besaran	14500	450	0.19	896	656	0.50	0.0128	0.80

**Tabel 4.** Thermal parameter Tool CNMG 120404 Carbide

Parameter	Specific heat, $\text{J}/(\text{kg.K})$	Thermal conductivity, $\text{W}/(\text{m.K})$
Besaran	234	33.5



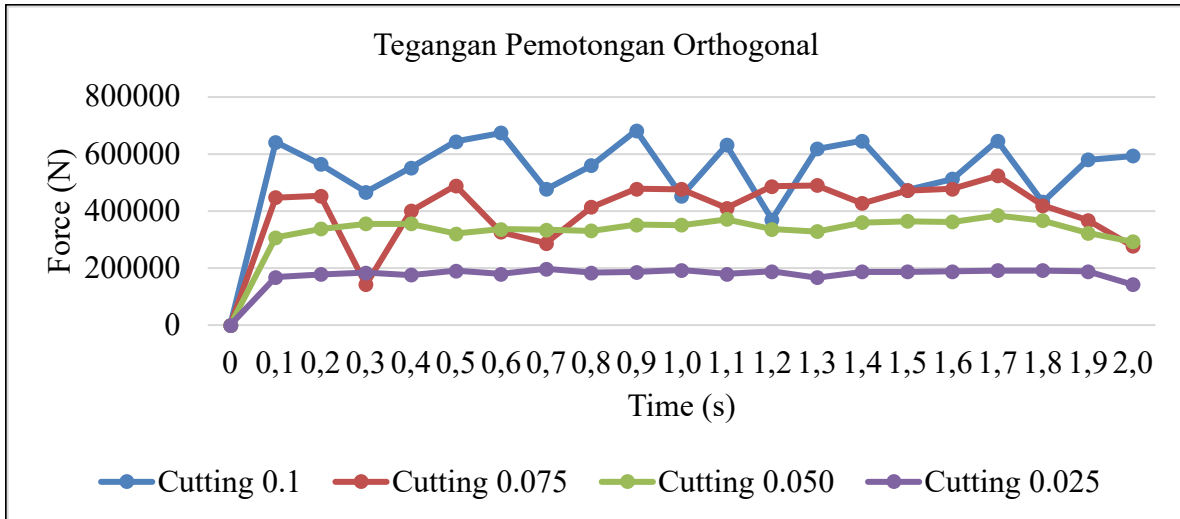
**Gambar 3.** Hasil pemotongan orthogonal (a) kedalaman 0.025 inch, (b) kedalaman 0.050 inch, (c) kedalaman 0.075 inch, dan (d) kedalaman 0.1 inch

Terlihat pada gambar 4 grafik tegangan pemotongan orthogonal setiap kedalaman pemakanan. Pada pemotongan dengan kedalaman 0.1 inch memiliki hasil tegangan yang fluktuatif dimana data yang dihasilkan naik dan turun pada setiap waktu.

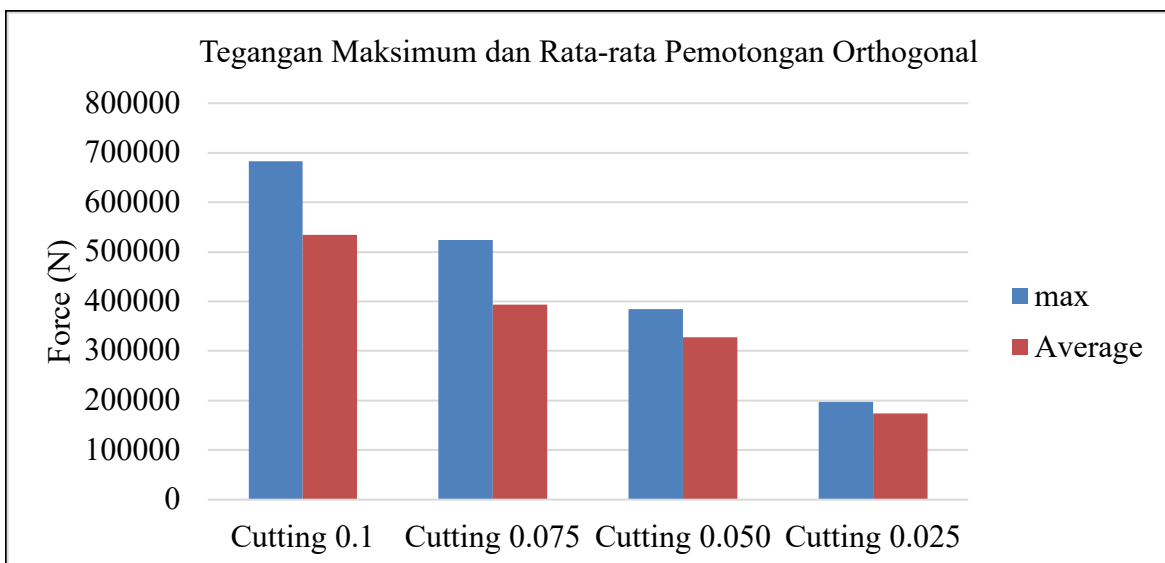
Begitupun juga dengan pemotongan kedalaman 0.075 inch dimana grafik yang terlihat fluktuatif diawal pemotongan. Lain halnya pemotongan dengan kedalaman 0.050 dan 0.025 inch menampilkan data yang hampir mendekati rata dari awal pemotongan hingga

akhir pemotongan. Kondisi tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh pembuangan chips. Jika chips yang dihasilkan terputus-putus maka tegangan yang dihasilkan akan fluktuatif. Namun jika chips yang dihasilkan tidak terputus maka tegangan yang dihasilkan rata dari awal hingga akhir pemotongan.

Pada Gambar 5 terlihat grafik tegangan maksimum dan tegangan rata-rata pemotongan orthogonal dengan variasi kedalaman pemakanan.



**Gambar 4.** Grafik tegangan pemotongan orthogonal dengan variasi kedalaman pemotongan



**Gambar 5.** Grafik tegangan maksimum dan tegangan rata-rata pada pemotongan orthogonal dengan variasi kedalaman pemakanan

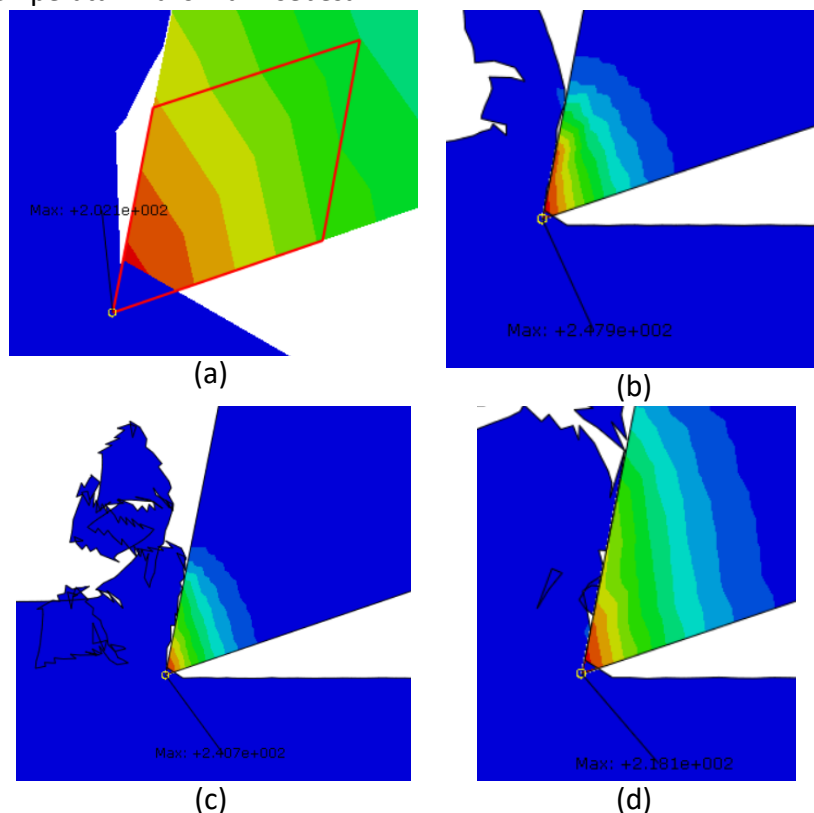
Kedalaman pemotongan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan. Terlihat bahwa pemotongan dengan kedalaman 0.10 inch memiliki nilai tegangan maksimum yang paling besar dengan nilai 682,605 N. Sedangkan kedalaman pemotongan 0.025 inch memiliki nilai tegangan paling kecil sebesar 197,503 N. Tegangan rata-rata pemotongan orthogonal juga terlihat pada Gambar 5 Grafik tersebut menampilkan nilai tegangan rata-rata pemotongan orthogonal yang mana besaran nilainya tidak berbeda dengan nilai tegangan

maksimum setiap kedalaman pemotongan. Namun pada pemotongan kedalaman 0.050 inch dan 0.075 inch memiliki nilai yang tidak jauh berbeda yaitu 327,064 N dan 393,691 N. Pada Gambar 6 menampilkan visual distribusi temperatur pada cutting tool pada setiap kedalaman pemotongan. Adapun penyebaran temperatur diperoleh dari analisis menggunakan Abaqus. Pada setiap pemotongan memiliki nilai temperatur yang berbeda. Nilai tersebut tergantung kondisi pemotongan cutting tool terhadap material.

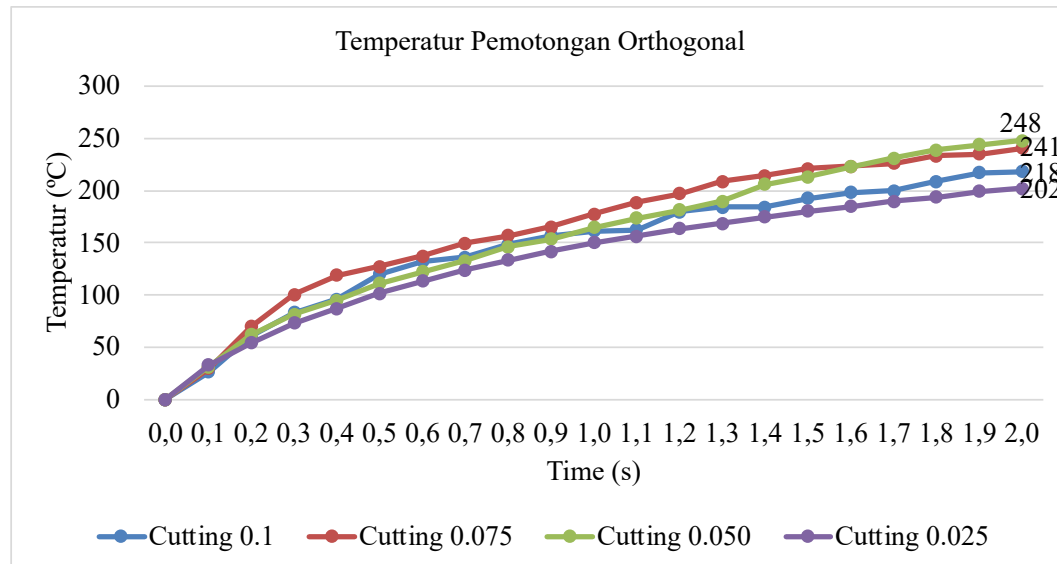
Terlihat pada Gambar 7 grafik temperatur pemotongan orthogonal. Trend grafik pada setiap variasi kedalaman pemotongan terlihat sama dari awal hingga akhir pemotongan terhadap material. Namun nilai temperature maksimum setiap kedalaman pemotongan berbeda.

Pada kedalaman pemotongan 0.050 inch memiliki nilai temperatur maksimum tertinggi sebesar 248 °C. Sedangkan untuk nilai temperatur maksimum terendah ialah kedalaman pemotongan 0.025 inch sebesar 202 °C. Pada kedalaman pemotongan 0.1 inch memiliki nilai temperatur maksimum sebesar

218 °C. Trend grafik pada pemotongan ini memperlihatkan fluktuatif yang meningkat. Hal tersebut dikarenakan hasil pemotongan yang putus-putus. Terlihat pula pada kedalaman pemotongan 0.050 dengan waktu 1.3 detik yang mengalami penurunan temperatur diakibatkan pada kondisi tersebut chips yang dihasilkan putus. Kedalaman pemotongan 0.025 inch memiliki nilai temperature yang meningkat dan tidak naikturun karena hasil pemotongan tidak putus-putus.



**Gambar 6.** Distribusi temperatur pemotongan orthogonal pada kedalaman pemotongan (a) 0.025 inch, (b) 0.050 inch, (c) 0.075 inch, dan (d) 0.10 inch



**Gambar 7.** Grafik temperatur pada pemotongan orthogonal dengan variasi kedalaman pemotongan

## KESIMPULAN

Studi ini dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut; (1) Proses pemotongan orthogonal dengan menggunakan pahat sisi pada perangkat lunak ABAQUS telah dilaksanakan. Analisa ini menggunakan material AISI 4340 untuk benda kerja dan material Carbide untuk cutting tool. Adapun kedalaman pemotongan yang dilakukan ialah 0.025 inch, 0.050 inc, 0.075 inch, dan 0.10 inch, (2) Tegangan dan temperatur pada proses pemotongan orthogonal telah dianalisis. Diperoleh tegangan maksimum tertinggi ialah dengan kedalaman pemotongan 0.10 inch sebesar 682,605 N dan tegangan maksimum terkecil ialah dengan kedalaman pemotongan 0.025 inch sebesar 197,503 N. Dari analisis diketahui bahwa kedalaman pemotongan mempengaruhi nilai tegangan maksimum pada saat pemotongan. Selain itu, temperatur maksimum tertinggi ialah kedalam pemotongan 0.050 inch sebesar 248 °C sedangkan temperature maksimum terendah ialah kedalaman pemotongan 0.025 inch sebesar 202 °C. Dari analisis temperatur diketahui bahwa nilai temperatur maksimum

tergantung pada kondisi chips yang putus atau tidak putus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, Mursyid. 2020. "Pengaruh Tebal Pemotongan Terhadap Keausan Pahat Karbida Pada Pembubutan Baja AISI 1045 Menggunakan Mesin Bubut CNC QTN 100 U." Institut Sains dan Teknologi AKPRIND.
- Alam, Nadeem, Saigeeta Priyadarshani, and Mahfuj Alam. 2017. "Effect of Different Cutting Tools and Cutting Parameters on MRR and Surface Roughness in CNC Turning." 5(8):20–26.
- Bag, Rabinarayan, Amlana Panda, Ashok Kumar Sahoo, and Ramanuj Kumar. 2020. "A Comprehensive Review on AISI 4340 Hardened Steel: Emphasis on Industry Implemented Machining Settings, Implications, and Statistical Analysis." *International Journal of Integrated Engineering* 12(8):61–82. doi: 10.30880/ijie.2020.12.08.007.
- M. Bashistakumar, and B. Pushkal. 2018. "Finite Element Analysis of Orthogonal



- Cutting Forces in Machining AISI 1020 Steel Using a Carbide Tip Tool." *Journal of Engineering Sciences* 5(2). doi: 10.21272/jes.2018.5(2).a1.
- Christian, Bayu. 2018. "Studi Perbandingan Permukaan Termesin Baja AISI 4340 Hasil Operasi Pembubutan Keras Dan Kering Menggunakan Pahat Karbida CVD Berlapis / A12O3 / TiCN." Universitas Sumatera Utara.
- Daniel, Ipilakyya Tertsegha. 2018. "Effect of Cut Thickness and Cutting Speed on Cutting Forces in Orthogonal Cutting of Mild Carbon Steel (CS1030)." 3(November):133–39.
- Das, Sanat, Santanu Das, and Bijoy Mandal. 2017. "Exploring Machinability of AISI 4340 Steel with Coated Carbide Inserts." 137:165–70. doi: 10.2991/iccasp-16.2017.27.
- Galanis, Nikolaos I., and Dimitrios E. Manolakos. 2014. "Finite Element Analysis of the Cutting Forces in Turning of Femoral Heads from AISI 316L Stainless Steel." *Lecture Notes in Engineering and Computer Science* 2(July):1232–37.
- Gökkaya, Hasan. 2010. "The Effects of Machining Parameters on Cutting Forces, Surface Roughness, Built-up Edge (BUE) and Built-up Layer (BUL) during Machining AA2014 (T4) Alloy." *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering* 56(9):584–93.
- Ipilakyya, Tertsegha Daniel, Livinus Tyovenda, and David Terfa. 2014. "Predictive Force Models for Orthogonal Cutting Incorporating Tool Flank Wear." *International Journal of Engineering and Technology* 4(August 2014).
- Irjayanti, Sabbara Luxmana, Pendidikan Teknik, Mesin Universitas, and Negeri Semarang. 2019. "Pengaruh Media Pendingin Dan Kecepatan Spindel Terhadap Tingkat Kekasaran Proses Cnc Turning Pada Aluminium Daur Ulang." *Jurnal Kompetensi Teknik* 11(2):34–39.
- Lubis, M. Sobron Yamin, Erwin Siahaan, Steven Darmawan, Adiando Adiando, and Ronald Ronald. 2019. "Variation of Cutting Parameters in the Process of Turning Aisi 4340 Steel on Surface Roughness." *Sinergi* 23(2):139. doi: 10.22441/sinergi.2019.2.007.
- Muhamad, Shalina Sheik, Jaharah A. Ghani, Che Hassan Che Haron, and Hafizal Yazid. 2019. "Investigation of Cutting Forces in End Milling of AISI 4340 under Dry and Cryogenic Conditions." *Jurnal Tribologi* 23(November):125–36.
- Necpal, Martin, Peter Pokorný, and Marcel Kuruc. 2017. "Finite Element Analysis of Tool Stresses, Temperature and Prediction of Cutting Forces in Turning Process." *Solid State Phenomena* 261 SSP:354–61. doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.261.354.
- Ranganath, M. ., Vipin, Kuldeep, Rayyan, Manab, and Gaurav. 2016. "Optimization of Surface Roughness in CNC Turning Using Taguchi Method and ANOVA." *International Journal of Advanced Science and Technology* 93(October 2015):1–14. doi: 10.14257/ijast.2016.93.01.
- Rifelino, and Yanti Sari Delima. 2009. *Pengaruh Sudut Potong Utama Terhadap Temperatur Pahat Bubut HSS Pada Material Baja Karbon Rendah*. Padang.
- Susarno, Ardiyan. 2012. "Studi Pengaruh Sudut Potong Pahat Hss Pada Proses Bubut Dengan Tipe Pemoangan Orthogonal Terhadap Kekasaran Permukaan."
- Syed Irfan, S., M. Vijay Kumar, and N. Rudresha. 2019. "Optimization of Machining Parameters in CNC Turning of En45 by Taguchi's Orthogonal Array

Experiments". *Materials Today: Proceedings* 18:2952–61. doi: 10.1016/j.matpr.2019.07.165.

Zhou, Zhi Heng, Chao Yong Zhang, Yang Xie, Ming Luo, and Xin Yu Shao. 2014. "Research on Modeling of Cutting Force on CNC Lathe Based on Orthogonal Experiment." *Advanced Materials Research* 912–914:748–52. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.912-914.748.