

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN DAN KEAUSAN PAHAT PEMESINAN KOMPONEN *THIN-WALLED* PADA PROSES FREIS MENGGUNAKAN MINYAK KELAPA SEBAGAI *CUTTING FLUID*

M. Yanis^{1*}, Q. Hadi² dan N. Yuliasari³

^{1,2}Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

³Kimia FMIPA, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author: yanis@unsri.ac.id

ABSTRAK: Komponen ber dinding tipis (*thin-walled*) memiliki kekakuan yang rendah karena besarnya luas permukaan dibanding dengan ketebalannya. Kekakuan yang rendah pada pemesian *thin-walled* akan meningkatkan efek negatif pada kesalahan dimensi/geometri, kualitas permukaan komponen dan mempercepat keausan pahat potong. Kualitas pemesian dapat diperbaiki menggunakan cairan pemotongan (*cutting fluid*). Penelitian ini menganalisis pemesian *thin-walled*, yaitu kekasaran permukaan dan keausan pahat komponen *thin-walled*. Pemesian pada proses freis menggunakan minyak kelapa sebagai salah satu cairan pemotong yang ramah lingkungan. Parameter luaran tersebut diukur dengan variasi kecepatan potong 64 – 156 m/min, gerak pemakanan 0.025 – 0.158 mm/gigi, kedalaman pemotongan radial dan aksial masing-masing 0.2 – 0.51 mm dan 3.5 – 14.2 mm. Rancangan penelitian ditentukan berdasarkan metode CCD (Central Composite Design). Dimensi efektif *thin-walled* yang dimesin adalah 5 x 25 x 100 mm, dan menggunakan pahat potong dari jenis karbida tanpa lapis (*uncoated*) berdiameter 10 mm. Pengujian pemesian menggunakan mesin freis CNC Wieda XK 7132. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemesian freis *thin-walled* pada kondisi pemotongan maksimum menyebabkan keausan pahat 0.115 mm atau 38.2% dari batas aus yang dizinkan. *Photography* permukaan hasil pemesian pada pemotongan maksimum menunjukkan kontur permukaan bergelombang lebih jelas dari kondisi pemotongan sedang dan ringan. Hal ini juga dibuktikan dari pengukuran kekasaran permukaan dengan nilai maksimum 2.477 μm .

Kata Kunci: Kekasaran permukaan (*Surface roughness*) , keausan pahat (*chisel wear*) , *thin-walled*, minyak kelapa (*coconut oil*)

ABSTRACT: Thin-walled components have low rigidity due to the large surface area compared to their thickness. Low stiffness in thin-walled machining will increase negative effects on dimensional / geometry errors, surface quality of components and accelerate the wear of cutting tools. The quality of machining can be improved using cutting fluid. This study analyzes thin-walled machining, namely surface roughness and tool wear of thin-walled components. Machining in the freis process uses coconut oil as an environmentally friendly cutting fluid. The output parameters are measured with variations in cutting speed of 64 - 156 m / min, feed motion of 0.025 - 0.158 mm / tooth, radial and axial cutting depths of 0.2 - 0.51 mm and 3.5 - 14.2 mm, respectively. The study design was determined based on the CCD (Central Composite Design) method. The effective dimensions of thin-walled machined are 5 x 25 x 100 mm, and use a cutting tool of the type of uncoated carbide with a diameter of 10 mm. Machining testing using the CNC Wieda XK 7132 freis machine. The test results show that thin-walled freis machining at maximum cutting conditions causes tool wear of 0.115 mm or 38.2% of the allowable wear limit. Photographic machining surfaces at maximum cutting show wavy surface contours more clearly than moderate and mild cutting conditions. This is also evidenced from the measurement of surface roughness with a maximum value of 2,477 μm .

PENDAHULUAN

Untuk mengurangi berat dan geometri, banyak komponen mesin dan konstruksi tertentu dibuat dengan

ketebalan yang tipis (*thin walled*). Komponen *thin-walled* banyak digunakan dibidang otomotif, militer, pembangkit daya, industri perkapalan dan terutama industri pesawat terbang. Pada pemesian *thin-walled*, memiliki kekakuan

yang rendah karena besarnya luas permukaan dibanding dengan ketebalannya. Oleh karena itu bagian berinding tipis harus dimesin dengan hati-hati (Zhang et al., 2016; Bolal and Joshi, 2017).

Kekakuan yang rendah pada pemesinan *thin-walled* akan meningkatkan efek negatif pada kualitas permukaan komponen dan mempercepat keausan pahat potong. Oleh karena itu kekasaran permukaan dan keausan pahat biasa digunakan untuk mengontrol kualitas pemesinan. Kekasaran permukaan berpengaruh pada korosi, perpindahan panas, ketahanan aus dan beban kejut sehingga digunakan sebagai indikator kualitas produk jadi (Debnath et al., 2014; Fei et al., 2019).

Kualitas pemesinan yaitu ketelitian dimensi/geometri, kekasaran permukaan dan memperpanjang umur pahat dapat diperbaiki menggunakan cairan pemotongan (cutting fluid). Proses pemesinan di industri kecil maupun besar selama ini masih sering menggunakan cairan pemotongan berbahan petroleum. Cairan pemotongan ini sulit biodegradasi dan mengandung senyawa serta aditif yang karsinogen yang membahayakan lingkungan dan kesehatan pekerja (Sharif et al., 2016).

Kebijakan otoritas pemerintahan, organisasi masyarakat secara global dan permintaan pasar mengarah kebutuhan pemesinan yang ramah lingkungan atau pemesinan hijau (green machining). Berdasarkan hal itulah maka alternatif peralihan menggunakan cairan pemotongan dari minyak nabati yang memiliki sifat terbarukan, mudah terbiodegradasi, tidak beracun dan mudah didapat (Lawal, 2013).

Penelitian ini menggunakan minyak kelapa sebagai cairan pemotongan. Penelitian-penelitian yang membandingkan kinerja minyak kelapa memberikan kekasaran permukaan, gaya makan, gaya tekan, gaya potong, temperatur pemotongan dan keausan pahat yang lebih baik dibanding minyak nabati lain (Srikant and Rao, 2017). Hal ini dapat dikarenakan minyak kelapa mengandung asam lemak jenuh lebih banyak dibanding minyak nabati lain (Shashidhara and Jayaram, 2010). Ikatan jenuh tersebut menghasilkan sifat ketahanan oksidatif. Kepolaran dan jumlah rantai karbon medium (C₁₂) membentuk komposisi yang lebih terorientasi sehingga lebih mampu membentuk film yang berinteraksi baik dengan permukaan pahat dan permukaan benda kerja (Debnath et al., 2019).

Material benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah, dimana material ini merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai konstruksi umum dan komponen mesin (Sehgal and Meenu, 2014). Pemesinan *thin-walled* menggunakan cairan pemotongan minyak nabati dari sumber lokal sebagai cairan pemotongan potensial untuk menjadi solusi masalah diatas (Lawal, 2013; Syahrullail et al., 2013).

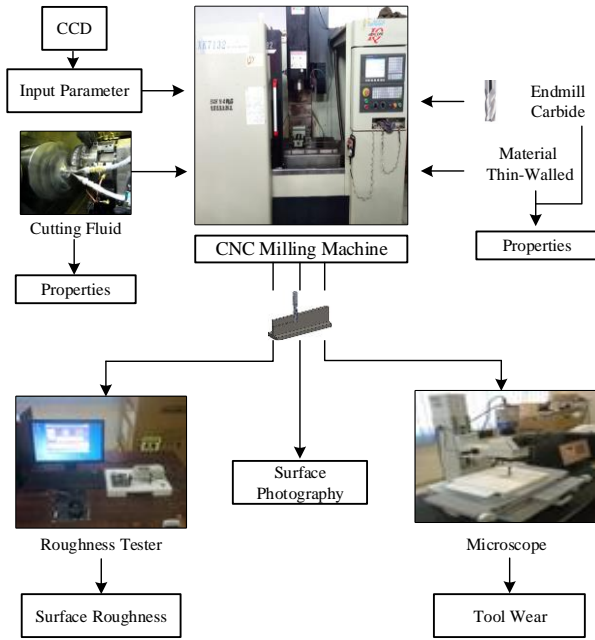
Analisis terdiri atas kekasaran permukaan dan *photography* permukaan hasil pemesinan serta keausan pahat (flank wear).

METODE PENELITIAN

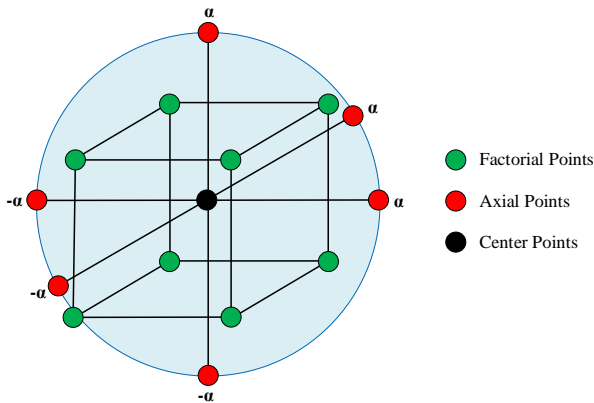
Penelitian yang dilakukan mengikuti prosedur dan langkah-langkah seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pemesinan menggunakan mesin freis CNC-Wieda XK 7132, daya 5,5 kW dan putaran spindle maksimum 6000 rpm. Benda kerja berbentuk *thin-walled* 3 x 20 x 100 mm dari material ASTM A106 (carbon steel-high temperature). Pahat menggunakan karbide tanpa lapis (uncoated carbide) WC Co, end mill EMC 54100 dengan diameter 10 mm, 4 flute dan sudut helix 60°. Proses freis dilakukan menggunakan cairan pemotongan dari minyak kelapa. Minyak kelapa ini merupakan salah satu cairan pemotongan nabati sehingga ramah lingkungan (environmentally friendly) dan merupakan salah satu sumber lokal di Sumatera Selatan. Spesifikasi dari minyak kelapa adalah densitas pada 15°C adalah 915 kg/m³ dan viskositas absolut pada 40°C adalah 1,84 cP. Pemesinan dilakukan dengan variasi kecepatan potong (*V_c*), gerak makan per gigi (*f_z*), kedalaman potong radial (*a_r*) dan aksial (*a_x*). Variasi nilai-nilai kondisi pemotongan ini ditentukan berdasarkan *Central Composite Design* (CCD). Pada rancangan CCD variable input diposisikan pada titik-titik factorial, tengah dan aksial seperti ditunjukkan Gambar 2. Pada penelitian ini jumlah data di titik factorial = 2k = 16 buah data. Pada titik tengah di ambil 6 buah data dan di titik aksial yang berjarak $\alpha = (2^k)^{1/4} = 2$ dari pusat ada 8 data. Nilai variable input diambil berdasarkan kemampuan mesin yang digunakan dan nilai ini sebagai dasar untuk titik factorial. Nilai input pada titik pusat dan aksial ditentukan menggunakan persamaan 1 dan hasilnya di tunjukkan pada Table 1.

$$x = \frac{\ln x_n - \ln x_{n0}}{\ln x_{n1} - \ln x_{n0}} \quad (1)$$

dimana, x adalah kode level, *x_n* nilai di variable level-*n*, *x_{n1}* adalah nilai divariabel level-*n*+1 dan *x_{n0}* nilai titik pusat.



Gambar 1 Langkah-langkah kegiatan pelaksanaan pengambilan data pengujian



Gambar 2 Central Composite Design (CCD)

Tabel 1 Hubungan antara kondisi pemotongan dengan level dari CCD

Kondisi Pemotongan	Levels dari CCD				
	-2	-1	0	+1	+2
V_c m/min	64.00	80	100	125	156.25
f_z mm/gigi	0.025	0.04	0.063	0.1	0.158
a_r mm	0.200	0.25	0.32	0.4	0.51
a_x mm	3.536	5	7.07	10	14.17

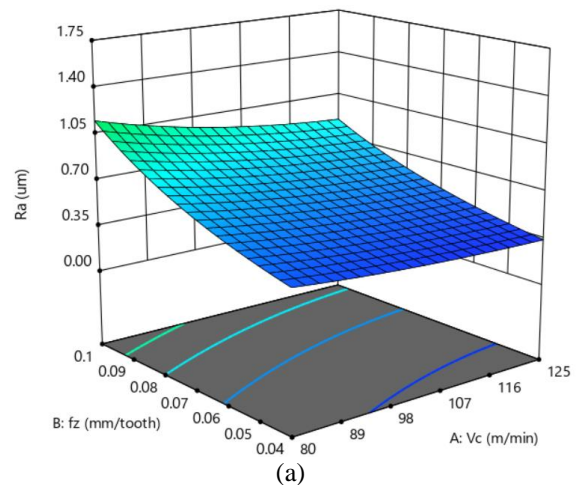
Parameter output terdiri atas kekasaran permukaan dan *photography* permukaan hasil pemesinan serta keausan pahat (flank wear). Kekasaran permukaan diukur menggunakan *Surface Texture Measuring Handysurf E-*

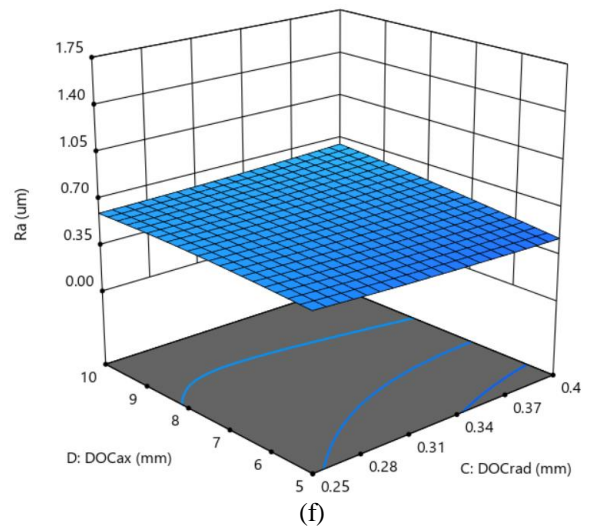
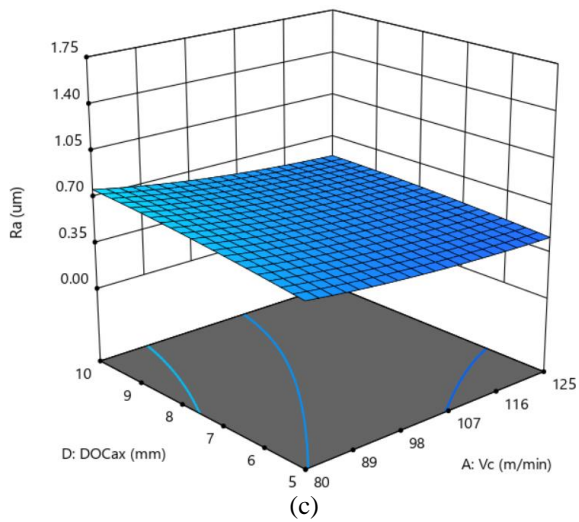
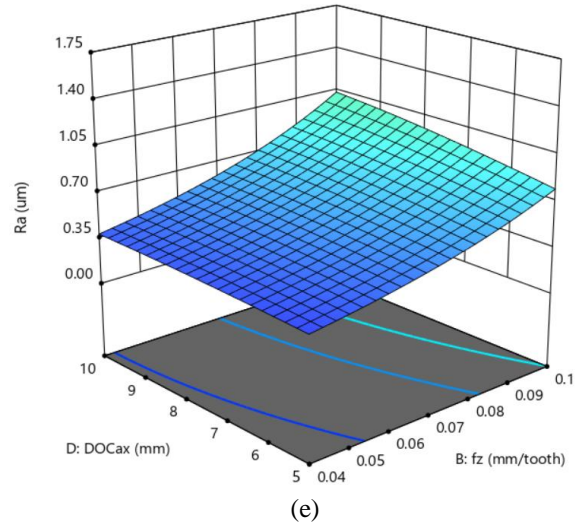
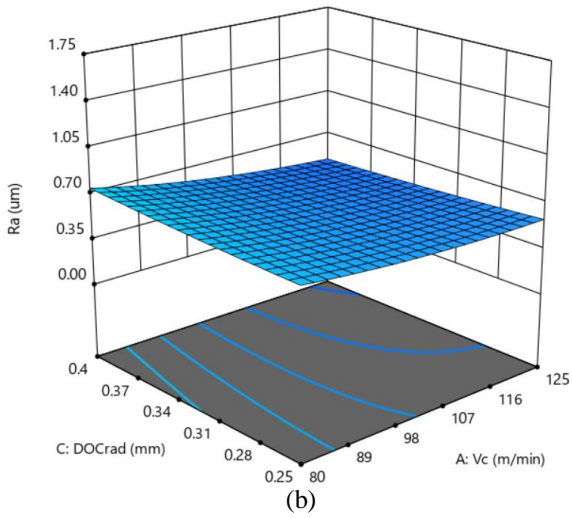
35 A/B dengan kecermatan $0,01 \mu\text{m}$. *Photography* permukaan menggunakan kamera Canon dengan pembesaran hingga 52x. Pengukuran keausan pahat menggunakan *Optical Electron Microscope (OEM) - Microscope Olympus STM 6 - LM* pembesaran 50x.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian proses freis untuk total variasi parameter pemesinan seperti diberikan dari Tabel 1 adalah 30 data. Data hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam plot seperti ditunjukkan pada Gambar 3, dimana dari setiap gambar ini menunjukkan hubungan variable input terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) yang terjadi pada setiap benda kerja hasil pemesinan. Dari hubungan antara variable input terhadap kekasaran permukaan menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan cenderung halus dengan meningkatnya kecepatan pemotongan (v_c) dan menjadi lebih kasar dengan meningkatnya gerak pemakanan (f_z) dan kedalaman pemotongan (a_r dan a_x). Nilai kekasaran permukaan minimum adalah $0.283 \mu\text{m}$ dan maksimum $2.477 \mu\text{m}$. Kondisi optimum adalah pada $V_c = 125 \text{ m/min}$, $f_z = 0.04$, $a_r = 0.25 \text{ mm}$ dan $a_x = 10 \text{ mm}$ dengan nilai $R_a = 0.314 \mu\text{m}$.

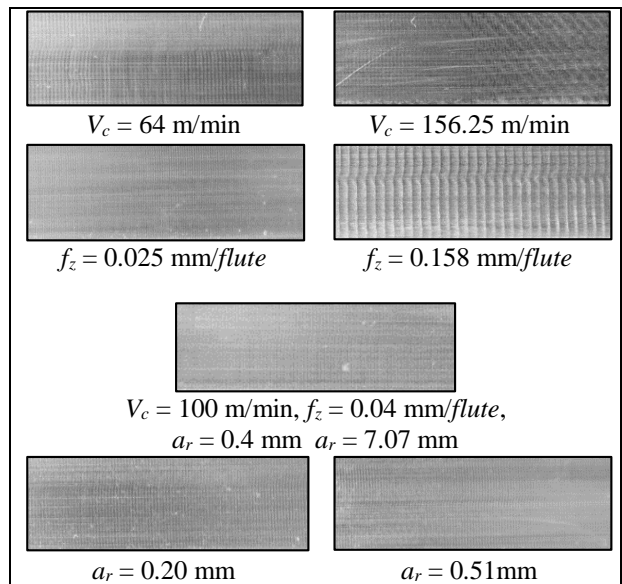
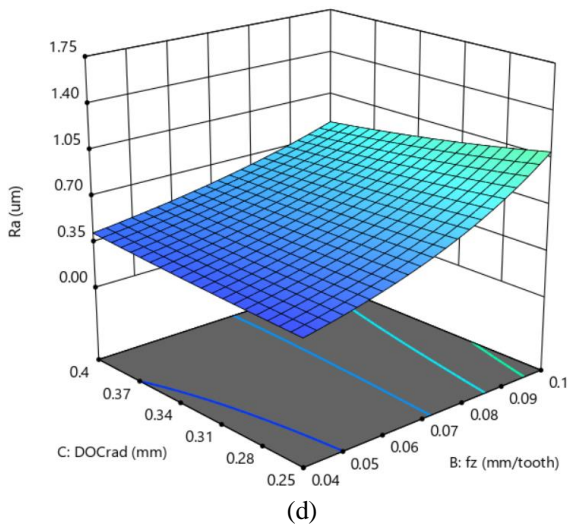
Hasil kekasaran permukaan dapat dilihat juga dari *photography* permukaan seperti ditunjukkan Gambar 4. Gambar yang ditampilkan untuk posisi di titik aksial dari CCD. Titik ini merupakan posisi pada pemotongan terkecil dan terbesar dari masing-masing variable input yang bersangkutan. Pada gambar menunjukkan bahwa sesuai hasil pengukuran kekasaran permukaan tercermin juga pada *photography* permukaan. Pada variable minimum kekasaran permukaannya halus dan variable maksimum menunjukkan kekasaran permukaan yang besar.

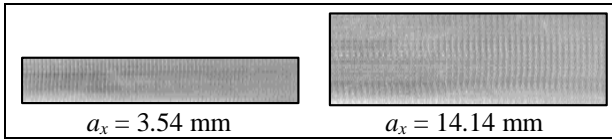




Gambar 3 Pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan

Gambar 3 (Lanjutan) Pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan





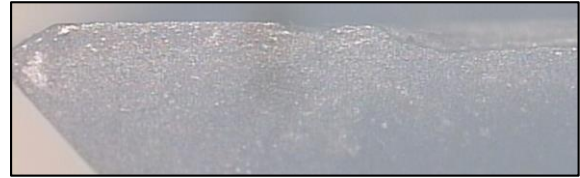
Gambar 4 *Photography* permukaan *thin-walled* pada variasi parameter pemotongan di titik aksial (CCD).

Hasil pengukuran keausan pada pahat untuk setiap hasil pemesinan ditampilkan pada Gambar 5. Keausan pahat yang terjadi besarnya tidak merata disetiap *flute* masing-masing pahat. Keausan terbesar terjadi titik-titik sebagai berikut gerak pemakanan maksimum dan kedalaman pemotongan maksimum. Keausan yang besar ini terjadi karena dari struktur *thin-walled* yang ketebalannya jauh lebih kecil dari tingginya sehingga secara teori akan menyebabkan getaran yang besar sehingga akan mempercepat keausan pada pahat maupun kekasaran permukaan yang lebih besar. Hal ini merupakan permasalahan pada pemesinan berdinding tipis. Pemberian cairan pemotongan salah satu untuk mengatasi hal tersebut. Cairan pemotongan yang diterapkan adalah salah satu minyak nabati yaitu minyak kelapa. Minyak kelapa dipilih karena memiliki keunggulan dari minyak nabati lainnya yaitu ketahanan oksidatif yang tinggi, viskositas yang rendah dan berat jenis yang tinggi.

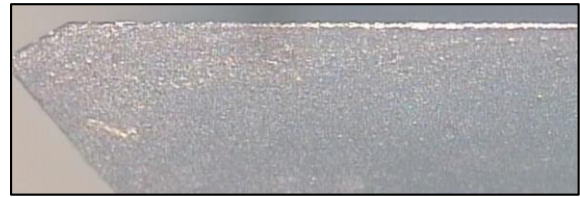
Keausan yang terjadi semuanya pada ujung mata pahat seperti ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini. Besar keausan maksimum yang terjadi adalah 0.115 mm pada kondisi pemotongan gerak pemakanan maksimum dan jenis keausannya adalah *localized chipping*. Bila diambil dari standar ISO besar keausan yang diizinkan adalah 0.3 mm, maka keausan maksimum yang terjadi adalah 38.2%.



$f_z = 0.025 \text{ mm/flute}$ (Keausan 0.0102 mm)



$f_z = 0.158 \text{ mm/flute}$ (Keausan 0.1146 mm)

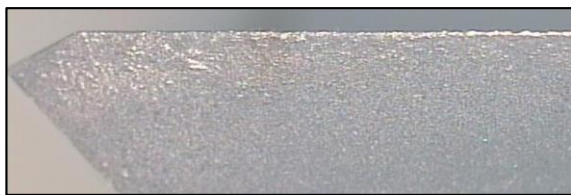


$a_r = 0.20 \text{ mm}$ (Keausan 0.0137 mm)



$a_r = 0.51 \text{ mm}$ (Keausan 0.0158 mm)

Gambar 5 Keausan pada mata pahat pada kondisi pemotongan maksimum



$V_c = 64 \text{ m/min}$ (Keausan 0.0104 mm)



$V_c = 156.25 \text{ m/min}$ (Keausan 0.0108 mm)



$a_x = 3.54 \text{ mm}$ (Keausan 0.0126 mm)



$a_x = 14.14 \text{ mm}$ (Keausan 0.0142 mm)

Gambar 5 (Lanjutan) Keausan pada mata pahat pada kondisi pemotongan maksimum

KESIMPULAN

Pengujian pemesinan pada thin-walled dalam analisis kekasaran permukaan dan keausan mata pahat telah dilakukan dengan kesimpulan:

- Pada kekasaran permukaan menunjukkan kecenderungan akan lebih halus dengan membesarnya kecepatan potong dan lebih kasar dengan membesarnya gerak makan dan kedalaman pemotongan radial dan aksial. Nilai kekasaran permukaan maksimum adalah $2.477 \mu\text{m}$ pada pemesinan thin-walled, keausan tepi-VB (flank wear) terbesar yang terjadi pada $V_c = 100 \text{ m/min}$, $f_z = 0.158 \text{ mm/tooth}$, $a_r = 0.32 \text{ mm}$ dan $a_x = 7.07 \text{ mm}$.
- Hasil pengukuran kekasaran permukaan tercermin juga pada *photography* permukaan. Pada variable minimum kekasaran permukaannya halus dan variable maksimum menunjukkan kekasaran permukaan yang besar.
- Besar keausan maksimum yang terjadi adalah 0.115 mm pada kondisi pemotongan gerak pemakanan maksimum dan jenis keausannya adalah *localized chipping*. Bila diambil dari standar ISO besar keausan yang diizinkan adalah 0.3 mm atau 38.2% dari batas aus yang diizinkan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dana penelitian yang bersumber dari Penelitian Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Bolar, G., Joshi, S.N., 2017. Three-dimensional numerical modeling, simulation and experimental validation of milling of a thin-wall component. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231 (5): 792–804. <https://doi.org/10.1177/0954405416685387>
- Debnath, S., Reddy, M.M., Pramanik, A., 2019. Dry and Near-Dry Machining Techniques for Green Manufacturing 1–27. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03276-0_1
- Debnath, S., Reddy, M.M., Yi, Q.S., 2014. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: A Review. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.071>
- Fei, J., Lin, B., Yan, S., Ding, M., Zhang, J., Ji, C., Zhang, X., 2019. Modeling of surface roughness for manufactured thin-walled structure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233 (4): 1216–1223. <https://doi.org/10.1177/0954405418780165>
- Lawal, S.A., 2013. A review of application of vegetable oil-based cutting fluids in machining non-ferrous metals. *Indian Journal of Science and Technology*, 6 (1): 3951–3956.
- Sehgal, A.K., Meenu, 2014. Application of Artificial Neural Network in Surface Roughness Prediction considering Mean Square Error as Performance Measure. *International Journal of Computational Engineering & Management*, 16 (Issue 3): 72–76.
- Sharif, M.N., Pervaiz, S., Deiab, I., 2016. Potential of alternative lubrication strategies for metal cutting processes: a review, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9298-5>
- Shashidhara, Y.M., Jayaram, S.R., 2010. Vegetable oils as a potential cutting fluid-An evolution. *Tribology International*, 43 (5–6): 1073–1081. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2009.12.065>
- Srikant, R.R., Rao, P.N., 2017. Use of Vegetable-Based Cutting Fluids for Sustainable Machining. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51961-6>
- Syahrullail, S., Kamitani, S., Shakirin, A., 2013. Performance of vegetable oil as lubricant in extreme pressure condition. *Procedia Engineering*, 68 (December 2013): 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.164>
- Zhang, L., Gao, W., Zhang, D., Tian, Y., 2016. Prediction of Dynamic Milling Stability considering Time Variation of Deflection and Dynamic Characteristics in Thin-Walled Component Milling Process. *Shock and Vibration*, 2016 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/3984186>