

Hubungan Antara Produktifitas Pemesinan dan Kualitas Permukaan Bahan UHMWPE Hasil Bubut Silindris dengan Mesin CNC

^{(1)*}**Budi Basuki**, ⁽¹⁾**Ignatius Aris Hendaryanto**, ⁽¹⁾**Benidiktus Tulung Prayoga**, ⁽¹⁾**Handoko**
⁽¹⁾*Teknologi Rekayasa Mesin, Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada,
Jl. Yacarana, Sekip, Unit IV, Yogyakarta, Indonesia*
**Email: budi.basuki@ugm.ac.id*

Diterima: 03.03.2023, Disetujui: 12.05.2023, Diterbitkan: 22.05.2023

ABSTRACT

UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) is a special polyethylene material that has been widely used in biomedical applications as a bearing material for human body joint implants. The production of these UHMWPE implant components is still commonly performed with machine tools. Operation of these machines requires specific setting machining parameters in order to produce good UHMWPE surface quality without sacrificing the production cost. This research aims to find the relationship between cylindrical lathe machining productivity parameter, MRR (Material Removal Rate) and surface quality of the produced UHMWPE implant. MRR is directly related to production costs. The research was carried out by turning the UHMWPE at five feed rate variations between 0.025 to 0.2 mm/rev. and two depth of cut variations, 0.05 mm and 0.1 mm, with a cutting speed of 150 m / minute. The test used a Denford FANUC CNC lathe machine with a cemented carbide cutting tool. Product quality was determined by measuring the topography or surface roughness of the material. Results show that the surface quality is inversely related to MRR. This problem can be solved by adjusting the depth of cut. High productivity can be obtained by cutting thicker material. The difference in surface quality of the cylindrical lathe machined material in the two depth of cut variations is not significant.

Keywords: *UHMWPE, biomedical implant, cylindrical lathe, surface quality*

ABSTRAK

UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*) adalah bahan polietilin khusus yang banyak digunakan pada aplikasi biomedis sebagai bahan bantalan untuk implan sambungan rangka tubuh manusia. Produksi komponen implan dari UHMWPE ini masih umum dilakukan menggunakan perangkat atau peralatan mesin perkakas. Pengoperasian mesin perkakas tersebut memerlukan pengaturan parameter pemesinan agar menghasilkan kualitas permukaan UHMWPE yang baik dengan tanpa mengorbankan biaya produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan relasi antara parameter produktifitas operasi pemesinan bubut silindris yaitu MRR (*Material Removal Rate*) dengan kualitas permukaan bahan UHMWPE yang dihasilkan. MRR terkait langsung dengan biaya produksi. Penelitian dilakukan dengan membubut bahan UHMWPE pada lima variasi laju pahat antara 0,025 hingga 0,2 mm/rev. dan dua variasi *depth of cut* atau kedalaman pemotongan yaitu 0,05 mm dan 0,1 mm, dengan *cutting speed* 150 m/menit. Pengujian menggunakan mesin bubut CNC Denford FANUC dengan pahat *cemented carbide*. Kualitas produk ditentukan dengan mengukur topografi kekasaran permukaan bahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas permukaan berbanding terbalik dengan MRR. Masalah ini dapat diatasi dengan mengatur ketebalan pemotongan. Produktifitas tinggi dapat diperoleh dengan memotong bahan lebih tebal. Perbedaan kualitas permukaan bahan hasil bubut silindris pada dua nilai variasi *depth of cut* yang diuji adalah tidak signifikan.

Kata Kunci: *UHMWPE, implan biomedis, bubut silindris, kualitas permukaan*

I. Pendahuluan

Proses pemesinan adalah teknik produksi konvensional yang banyak digunakan untuk menghasilkan berbagai ragam komponen

mekanik bagi keperluan industri. Dibandingkan dengan teknik produksi lain yang tersedia, sekitar 15 % dari total produksi komponen mekanikal dunia masih dihasilkan masih menggunakan metode ini (Abukhshim dkk.,

2004). Data muktahir dari negara maju seperti Amerika Serikat menunjukkan bahwa ekspor produk dengan mesin perkakas merupakan sektor paling kompetitif dalam industri manufaktur di negara tersebut hingga tahun 2015 (Select USA, 2016). Nilai kapital sektor manufaktur sebesar 21 % dari seluruh industri dan investasi asing 36 % untuk tahun 2018 (Select USA, 2019). Teknik yang lebih maju misalnya 3D *printing* sudah tersedia namun keraguan akan kekuatan dan kehandalan luaran produk tersebut menjadi kendala untuk digunakan pada operasi rutin dan kritikal. Meski terus tumbuh, nilai penjualan perangkat 3D *printing*, bahan dan peralatan pendukungnya secara global diprediksi masih rendah yaitu sekitar 2,7 hingga 3 milyar USD untuk tahun 2019 dan 2020 (Deloitte, 2018). Prediksi optimis dilakukan oleh Wagner (2019) yang memperkirakan nilai pasar global sebesar antara 15,8 hingga 35,6 milyar USD untuk periode tahun 2020 – 2024. Laporan riil untuk tahun 2018 lebih baik dari prediksi Deloitte yaitu 7,3 milyar USD (Forbes, 2019). Nilai kapital tersebut jauh dibawah nilai kapital industri manufaktur Amerika Serikat yang sebesar 372 milyar USD pada tahun 2019 (Select USA, 2019). Komponen mekanikal hasil kombinasi antara proses tuang (cor atau *moulding*), proses pembentukan (*drawing*, *extrusion* dan *rolling*) dan pemesinan masih menjadi produk paling handal hingga saat ini. Proses pemesinan cukup kompleks dengan berbagai variabel penentu seperti *cutting speed*, *feedrate*, ketebalan pemotongan (*depth of cut*), dimensi pahat, getaran sistem hingga pada sifat bahan (bahan benda kerja dan bahan pahat). Usaha penelitian masih diperlukan pada berbagai topik yang lebih spesifik terkait kualitas permukaan produk dan pengaruhnya ketika digunakan.

Salah satu industri yang masih memerlukan proses pemesinan adalah produksi implan biomedis. Beragam produk dari berbagai bahan yaitu logam, polimer, keramik hingga komposit telah dibuat. Khusus polimer, produk hasil pemesinan biasanya tidak dilanjutkan dengan proses *ultra finishing* misalnya poles. Hal ini ditujukan untuk mencegah agar partikel keras dari bahan poles tidak melekat pada permukaan polimer yang lunak dan ulet. Keberadaan partikel asing pada permukaan polimer dapat meningkatkan proses keausan bahan dengan mekanisme *third body*

wear, ketika saling kontak dengan permukaan komponen implan lainnya. Oleh karena itu, proses pemesinan bahan polimer hendaknya optimal sehingga menghasilkan produk dengan kualitas permukaan yang baik. Aspek kualitas permukaan cukup penting karena mempengaruhi perilaku dan performa produk ketika digunakan yaitu gesekan dan keausan, konduktivitas listrik dan thermal, serta sifat ketahanan korosi dan fatik. Kualitas permukaan juga mempengaruhi aspek biaya produksi dan penggunaan produk (Tran, 2016). Oleh karena itu perlu diusahakan agar kekasaran permukaan produk implan cukup rendah sehingga akan menekan biaya produksi implan. Kekasaran permukaan yang rendah juga mencegah pengaruh bakteri. Bakteri lebih sedikit menempel pada permukaan bahan implan (Kinnari dkk., 2010). Persoalan yang hendak dipelajari pada penelitian ini adalah menentukan parameter optimum kualitas permukaan biomaterial polimer bahan implan hasil pemesinan bubut silindris beserta kaitannya dengan produktifitas. Bahan polimer yang dimaksud adalah UHMWPE (*Ultra High Poly Ethylene*). Bahan ini banyak digunakan sebagai implan orthopedi, salah satunya adalah *acetabular cup* dari implan panggul (Gambar 1).



Gambar 1. Contoh komponen implan orthopedi dari bahan UHMWPE yaitu *acetabular cup* (Wikimedia Commons, 2008)

UHMWPE memiliki sifat unik yang tidak biasa dihadapi oleh perencana atau operator pekerjaan mesin perkakas yaitu energi ketahanan deformasi yang tinggi namun tidak tahan terhadap panas. Sifat utama UHMWPE adalah ulet, elastis, tahan aus, *self lubricated*, sifat hantar thermal tinggi serta *melting point* yang rendah.

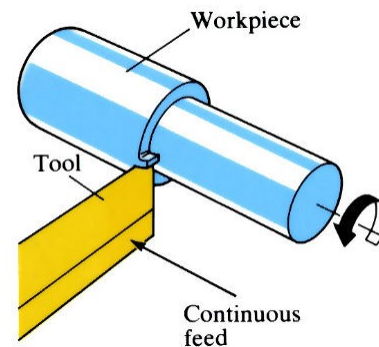
Penelitian parameter pemesinan optimum untuk mengerjakan bahan UHMWPE telah dilakukan oleh beberapa pihak. Salles dan Gonçalves (2003) mempelajari pengaruh parameter pemesinan terhadap kualitas permukaan UHMWPE dengan mesin bubut CNC EMCO Turn 120 dan pahat Sandvik Coromant DCGX070204 AL. Studi tersebut menunjukkan bahwa *feed rate* merupakan parameter yang berperan vital terhadap kekasaran permukaan. Selanjutnya Lazarević dkk (2012) melakukan hal serupa menggunakan perencanaan eksperimen optimum yaitu metode Taguchi L_{27} *orthogonal array* dan mengolah data eksperimen menggunakan ANOM (*ANalysis Of Means*) dan ANOVA (*ANalysis Of VAriance*). Bahan dan tipe operasi pemesinan serupa dengan Salles dan Gonçalves (2003). Mesin perkakas yang digunakan adalah mesin bubut manual. Kedua peneliti tersebut memperoleh nilai parameter pemesinan optimum yang relatif serupa. Untuk kajian yang melibatkan kondisi mesin dan pahat, Ye dkk. (2015) telah melakukan analisis untuk memperkirakan topografi permukaan hasil bubut secara numerik. Namun demikian, belum ada usaha untuk mengaitkan parameter optimum dengan produktifitas pemesinan.

II. Bahan dan Metode

Batang UHMWPE bentuk silindris diameter 40 mm dibubut lurus (Gambar 2) menggunakan mesin CNC Denford FANUC Lathe (Gambar 3). Pahat menggunakan *holder* dan *insert* standar dari Sandvik dengan radius *tool tip* pahat sebesar 0,2 mm. Variasi pengujian terdiri dari lima *feed rate* dari 0,025; 0,05; 0,1; 0,15 hingga 0,2 mm/rev. dan dua variasi ketebalan pematangan yaitu 0,5 mm dan 1 mm. *Cutting speed* ditentukan bernilai tetap yaitu 150 m/menit sesuai dengan nilai optimal yang disampaikan oleh Salles dan Gonçalves (2003). Untuk setiap variasi pengujian, UHMWPE dipotong dengan panjang 10 mm. Spesimen yang telah dibubut selanjutnya diukur kekasaran permukaannya sesuai standar ISO 4287:1997. Parameter yang digunakan adalah *cut off length* (λ) sebesar 4 mm dengan *overall length* (l) setara 5λ . Nilai kekasaran permukaan dinyatakan dengan *arithmetic mean deviation* (Ra) sesuai persamaan (1) dan ilustrasi pada Gambar 4. Satuan Ra dalam mikron dan diukur

menggunakan *profilometer* Surfcomer Fowler SE 1700 (Gambar 5).

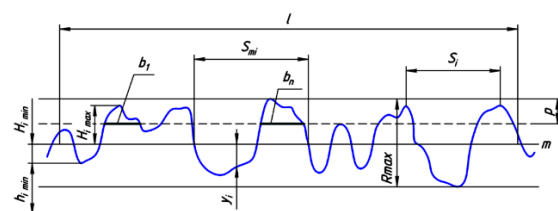
$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^L |y(x)| dx = \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^{i=n} y_i \right) \quad (1)$$



Gambar 2. Ilustrasi situasi operasi bubut lurus (Open Learn, 2018)



Gambar 3. Mesin Denford FANUC Lathe CNC untuk pekerjaan pemesinan spesimen UHMWPE



Gambar 4. Ilustrasi profile roughness parameters



Gambar 5. Profilometer Surfcorder Fowler SE 1700

Produktifitas operasi pemesinan dinyatakan dengan MRR (*Material Removal Rate*) yaitu hasil kali penampang bidang potong dengan *feed rate*. Satuannya adalah mm³/menit. Nilai MRR yang besar menunjukkan tingkat produktifitas yang tinggi, demikian juga sebaliknya. Keterkaitan antara kualitas permukaan bahan dan MRR cukup penting agar operasi produksi tidak sekedar mengejar kualitas tinggi, namun memperhatikan biaya produksi. Khusus produk-produk layanan kesehatan termasuk implan, harga menjadi faktor yang sensitif karena menyangkut hajat hidup orang banyak.

III. Hasil dan Pembahasan

Pengujian yang dilakukan menggunakan pahat baru (jenis dan kondisi sama) pada setiap variasi permesinan. Tingkat keausan pahat pada masing-masing variasi sama yaitu 0% saat digunakan. Kekasaran permukaan hasil permesinan didapatkan data yang dapat dibandingkan satu dengan lainnya.

Data hasil pengujian dengan variasi kedalaman pemotongan dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan dan produktifitas ditampilkan pada Tabel 1. Dari hasil pengujian tampak bahwa *feed rate* dan kekasaran permukaan adalah parameter permesinan yang

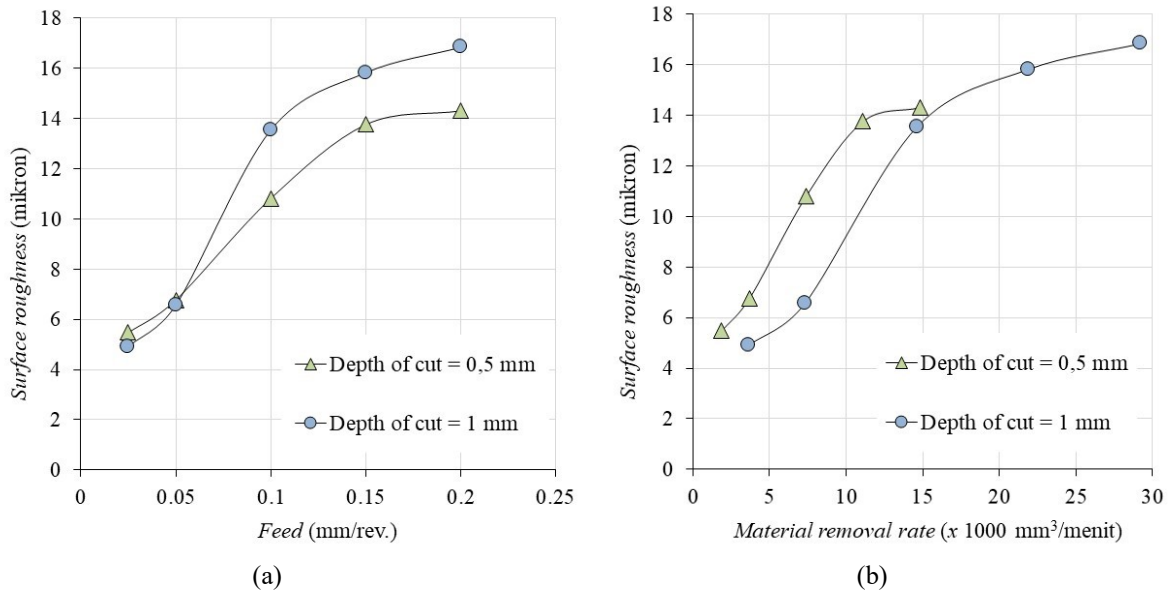
memiliki hubungan linier. Semakin besar *feed rate* maka, kekasaran permukaan produk yang dihasilkan memiliki kecenderungan semakin kasar.

Tabel 1. Data hasil pengujian

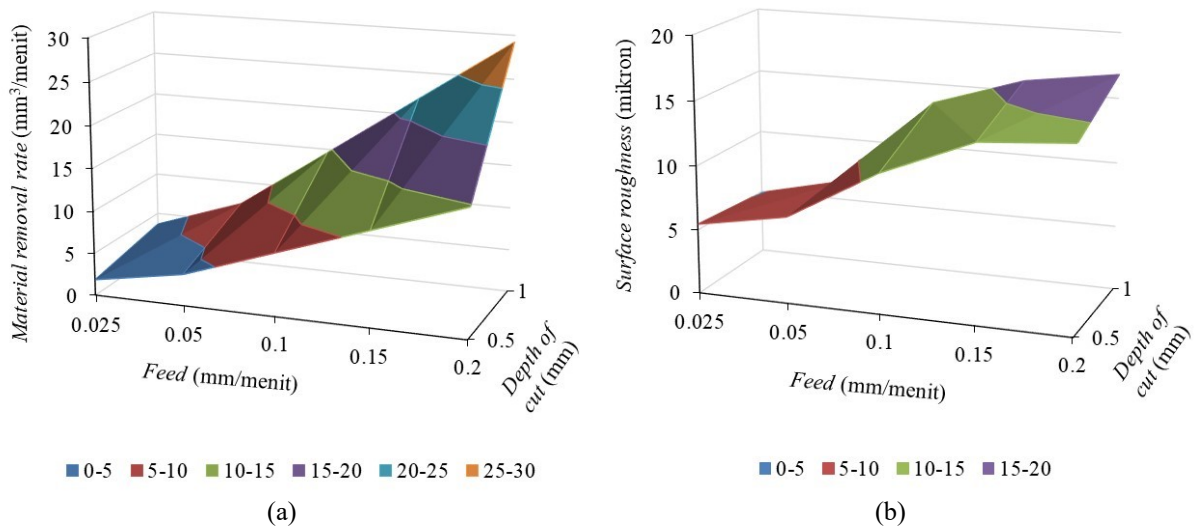
Depth of cut (mm)	f (mm/rev)	Ra (mm)	MRR (mm ³ /menit)
0,5	0,025	5,46	1851
	0,050	6,76	3702
	0,100	10,80	7405
	0,150	13,74	11107
	0,200	14,28	14809
1	0,025	4,92	3655
	0,050	6,56	7311
	0,100	13,52	14622
	0,150	15,80	21933
	0,200	16,81	29243

Hasil pengukuran kekasaran permukaan polimer pada seluruh variasi pengujian nampak pada Gambar 6.(a). Keterkaitan antara kekasaran permukaan dengan produktifitas dinyatakan pada Gambar 6.(b).

Grafik-grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *feed rate*, semakin rendah kualitas permukaan bahan. Peningkatan kualitas permukaan nampak dengan penurunan tajam nilai kekasaran permukaan saat *feed rate* 0,025 mm/rev. dan 0,05 mm/rev. Kecenderungan serupa juga terlihat pada nilai produktifitas karena berbanding lurus dengan *feed rate*. Hal ini menciptakan dilema yaitu operasi pemesinan dengan produktifitas tinggi, meski mampu menekan biaya produksi, hanya akan menghasilkan kualitas permukaan yang rendah. Celah mencari titik optimum tersedia namun sangat terbatas yaitu pada posisi *feed rate* 0,025 mm/rev. dan 0,05 mm/rev. (Gambar 6.(a)). Dengan demikian dapat direkomendasikan untuk membubut bahan polimer UHMWPE pada *feed rate* 0,05 mm/rev dan *depth of cut* 1 mm, karena produktifitasnya lebih tinggi (Gambar 6.(b)) dengan nilai kekasaran permukaan relatif setara. Ilustrasi data – data hasil pengujian menggunakan grafik *surface contour* pada Gambar 7 menunjukkan posisi nilai optimum tersebut.



Gambar 6. Hasil pengujian: (a) kualitas permukaan dan (b) kaitannya dengan produktifitas, pada lima variasi feed rate dan dua variasi depth of cut.



Gambar 7. Surface contour plot dari data – data hasil pengujian: (a) kualitas permukaan dan (b) produktifitas, pada lima variasi feed rate dan dua variasi depth of cut.

IV. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas permukaan berbanding terbalik dengan produktifitas (MRR). Masalah ini dapat diatasi dengan mengatur ketebalan pemotongan. Produktifitas tinggi dapat diperoleh dengan memotong bahan lebih tebal. Nilai optimum yang mempertemukan kualitas permukaan dengan MRR adalah *feed rate* 0,05 mm/rev. dan *depth of cut* 1 mm. Pada rentang *feed rate* 0,025 mm/rev. dan 0,05 mm/rev., perbedaan kualitas permukaan bahan hasil bubut silindris

pada dua nilai variasi *depth of cut* yang diuji adalah tidak signifikan.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada dan para staf dari Laboratorium CNC, Teknologi Mekanik dan Bahan Teknik, Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.

Daftar Pustaka

- Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T. & Sheikh, M.A., (2004). An investigation of the tool chip contact length and wear in high speed turning of EN19 steel. *Proc. Inst. Mech. Engineers Vol. 218 Part B: J. Engineering Manufacture*
- Deloitte. (2018). 3D printing growth accelerates again: TMT Predictions 2019. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/3d-printing-market.html>
- Forbes. (2018). Wohlers Report 2018: 3D Printer Industry Tops \$7 Billion. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2018/06/04/wohlers-report-2018-3d-printer-industry-rises-21-percent-to-over-7-billion/#543c66e42d1a>
- Kinnari, T.J. (2010). Effect of surface roughness and sterilization on bacterial adherence to ultra-high molecular weight polyethylene. *Clinical Microbiology and Infection* 16 (7), 1036-1041.
- Lazarević, D., Madić, M., Janković, P. & Lazarević, A. (2012). Cutting Parameters Optimization for Surface Roughness in Turning Operation of Polyethylene (PE) Using Taguchi Method. *Tribology in Industry* 34 (2), 68-73
- Open Learn. (2018). Retrieved from <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/single-point-cutting>
- Salles, J. A. C. & Gonçalves, M. T. T. (2003). Effects of Machining Parameters on Surface Quality of the Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE). *Matéria* 8(1), 1-10
- Select USA. (2016). Machinery and Equipment Spotlight: The Machinery and Equipment Industry in the United States. Retrieved from <https://www.selectusa.gov/machinery-and-equipment-industry-united-states>
- Select USA. (2019). Foreign Direct Investment: Manufacturing, United States Department of Commerce: Internal Trade Administration
- Tran, H.D. (2016). Measuring and Characterizing Surface Topography, AVS short course, May 26, 2016, Sandia National Laboratories
- Wagner, J. (2019). 3D printing industry - worldwide market size 2020-2024. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/315386/global-market-for-3d-printers/>
- Wikimedia Commons. (2008). Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hip_prosthesis.jpg
- Ye, X., Guan, J., Wang, J., Wang, L. & Cao, Y. (2015). Model for surface topography prediction in cylinder turning. *Procedia CIRP* 27, 286–291.