

KAJI EKSPERIMENTAL *SUSTAINABLE MACHINING* PADA PROSES PEMBUBUTAN BAJA AISI 1045

Rusdi Nur¹⁾ dan Baso Nasrullah²⁾

^{1),2)} *Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar*

ABSTRACT

Sustainable development will become importance issues for many fields, including production, industry, and manufacturing. In order to achieve sustainable development, industry should be able to perform of sustainable production processes and environmentally friendly. Therefore, there is need to minimize the energy demand in the machining process. This paper presents a calculation method of energy consumption in the machining process, especially turning process which calculated by summing the number of energy consumption, such as the electric energy consumed during the machining preparation, the electrical energy during the cutting processes, and the electrical energy to produce a cutting tool. A case study was performed on dry turning of AISI 1045 steel using uncoated carbide. This approach can be used to determine the total amount of electrical energy consumed and material removal rate (MRR) in the specific machining process. It concluded that the energy consumption will be an increase for using the high cutting speed as well as for the feed rate was increased.

Keywords: *sustainable machining, energy consumption, MRR*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi, khususnya energi listrik di Indonesia, makin berkembang menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri dan informasi. Namun pelaksanaan penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero), selaku lembaga resmi yang ditunjuk oleh pemerintah untuk mengelola masalah kelistrikan di Indonesia, sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik secara keseluruhan. Kondisi geografis negara Indonesia yang terdiri atas ribuan pulau dan kepulauan, tersebar dan tidak meratanya pusat-pusat beban listrik, rendahnya tingkat permintaan listrik di beberapa wilayah, tingginya biaya marginal pembangunan sistem suplai energi listrik (Ramani K.V,1992), serta terbatasnya kemampuan finansial, merupakan faktor-faktor penghambat penyediaan energi listrik dalam skala nasional. Selain itu, makin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan tulang punggung dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia, serta makin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan, menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari alternatif penyediaan energi listrik yang memiliki karakter.

Menurut berita harian Tempo, Indonesia kembali mendapat sorotan lantaran dinilai boros dalam penggunaan energi. Hal ini tercermin dalam indeks elastisitas energi, di mana skor Indonesia lebih tinggi dibanding negara-negara di Asia Tenggara dan bahkan negara maju. Hal ini terungkap dalam paparan Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dalam forum National Energy Efficiency Conference, Senin, 11 Juni 2012. Indeks elastisitas energi Indonesia hingga saat ini mencapai 1.63, lebih tinggi dibandingkan Thailand dan Singapura yang masing-masing mencapai 1.4 dan 1.1. Bahkan indeks elastisitas energi negara-negara maju berkisar antara 0.1 hingga 0.6. Indeks elastisitas adalah perbandingan laju pertumbuhan konsumsi energi dibanding laju pertumbuhan ekonomi. Menurut Sekretaris Dirjen Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Djadjang Soekarna, hal ini menunjukkan perlunya masyarakat Indonesia mengonsumsi energi secara lebih efisien dan mengurangi pemborosan. Di sisi lain, meskipun terhitung kaya akan sumber daya Indonesia belum memberi keadilan dalam penyediaan energi seperti energi listrik. "Lebih dari 25 persen rumah tangga di Indonesia belum menikmati aliran listrik." katanya.

Penghematan dalam konsumsi energi merupakan bagian dari sustainability agar manusia mampu menyeimbangkan kehidupannya. Sustainability (Keberlanjutan) merupakan kebutuhan yang semakin penting bagi aktivitas manusia. Hal ini menyebabkan membuat pembangunan berkelanjutan menjadi tujuan utama dalam pembangunan manusia. Pada intinya, pembangunan berkelanjutan adalah pandangan bahwa masalah sosial, ekonomi dan lingkungan harus ditangani secara simultan dan holistik dalam proses pembangunan.

¹ Korespondensi penulis: Rusdi Nur, Telp 081354914925, rusdinur@poliupg.ac.id

Keberlanjutan telah diterapkan pada berbagai bidang, termasuk rekayasa, manufaktur dan desain. Produsen menjadi semakin khawatir tentang isu keberlanjutan. Misalnya, pengakuan hubungan antara operasi manufaktur dan lingkungan alam telah menjadi faktor penting dalam pengambilan keputusan di kalangan masyarakat industri (Rosen dan Kishawy, 2012). Keberlanjutan telah menjadi isu penting di sektor manufaktur. Dalam literatur, secara umum disepakati bahwa pembangunan berkelanjutan harus mencakup tiga pilar, yaitu ekonomi, pertimbangan sosial dan lingkungan (Pusavec dkk, 2010). Oleh karena itu, untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, industri harus menghasilkan produksi yang berkelanjutan (Westkämper dkk, 2000). Salah satu cara untuk mencapai produksi yang ramah lingkungan adalah mengurangi konsumsi energi dalam pembuatan dan penggunaan produk.

Sektor manufaktur adalah industri kunci yang bergantung pada penggunaan energi dalam mendorong nilai selama proses manufaktur. Mesin mekanik banyak digunakan dalam industri manufaktur yang paling maka merupakan permintaan utama untuk energi. Meskipun dekade mengoptimalkan operasi mesin yang didasarkan pada biaya dan produktivitas, mengoptimalkan penggunaan energi tidak menerima perhatian yang signifikan. Ada banyak pekerjaan penelitian yang dilakukan pada proses pemesinan tetapi masalah efisiensi energi dan lingkungan dari proses pemesinan yang jarang diberikan banyak perhatian. Energi yang dibutuhkan untuk proses pemesinan diambil dari jaringan listrik. Energi (listrik) yang dihasilkan dari sumber daya yang berbeda seperti panas bumi, nuklir dan hidrolik. Penghematan energi listrik akan menghasilkan penurunan emisi gas berbahaya, jika sumber panas atau nuklir telah digunakan untuk pembangkit listrik dan penghematan sumber daya air yang berharga, jika PLTA telah digunakan untuk pembangkit listrik.

Produksi yang berkelanjutan merupakan solusi dalam mengatasi masalah permintaan energi yang lebih tinggi dan biaya. Ini berlaku untuk bidang teknik, termasuk proses permesinan (Hanafi dkk, 2012). Satu pertimbangan penting dalam produksi berkelanjutan adalah pengurangan konsumsi energi (Park dkk, 2009; Rajemi dkk, 2010). Permesinan merupakan bagian terpadu dalam produksi. Dengan demikian, mengurangi konsumsi energi selama pemesinan akan memberikan kontribusi pada pengurangan konsumsi energi untuk memproduksi bagian. Mengoptimalkan permintaan energi di bidang manufaktur adalah penting untuk mengurangi intensitas energi produk dan kerentanan mereka terhadap harga energi meningkat. Ini adalah tambahan penting untuk mengurangi biaya energi dalam pembuatan dan untuk mengoptimalkan energi dan jejak karbon dari produk mesin. Mesin mekanik merupakan salah satu proses produksi yang paling banyak digunakan dan dilakukan pada peralatan mesin didukung oleh pasokan energi listrik. Sejumlah besar penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan kondisi pemotongan berdasarkan ilmu mesin dan pertimbangan ekonomi. Misalnya, Arezoo dkk (2000) dan Hinduja dan Sandiford (2004) disajikan model dan metodologi untuk pemilihan kondisi pemotongan optimum berdasarkan pertimbangan biaya minimum untuk mengubah dan penggilangan proses, masing-masing. Lee dan Tarn (2000) mengembangkan sebuah model pemotongan untuk memaksimalkan tingkat produksi dan meminimalkan biaya produksi dengan menggunakan jaringan polinomial. Hal ini jelas dari literatur bahwa keberlanjutan ekonomi telah menjadi fokus utama untuk optimalisasi operasi mesin sementara kelestarian lingkungan telah mendapat sedikit perhatian. Pemesinan adalah proses yang paling banyak digunakan dalam proses produksi. Meminimalisasi konsumsi energi selama mesin diperlukan untuk mencapai tujuan produksi yang berkelanjutan. Penelitian tentang minimalisasi konsumsi energi telah dilaporkan dalam beberapa penelitian, seperti Rajemi dkk (2010); Mativenga dan Rajemi (2011); He dkk (2012); Hanafi dkk (2012); dan Hu dkk (2012).

Rajemi dkk (2010), dan Mativenga dan Rajemi (2011) yang pemodelan dan mengoptimalkan energi total dari komponen mesin dengan berpaling dari baja AISI 1040 untuk menurunkan alat kehidupan ekonomi. Hanafi dkk (2012) parameter pemesinan mengoptimalkan oleh berpaling dari PEEK (PolyEtherEtherKeytone) - 30% Carbon Fiber untuk mendapatkan konsumsi daya minimum dan kualitas permukaan terbaik. He dkk (2012) adalah metode pemodelan tugas-berorientasi konsumsi energi untuk mesin sistem manufaktur disajikan untuk mengkarakterisasi tergantung konsumsi energi pada aliran tugas proses produksi. Hu dkk (2012) mengamati bahwa total konsumsi energi dapat dibagi menjadi dua bagian: konsumsi energi yang konstan sesuai dengan daya awal dan konsumsi energi variabel yang berkaitan dengan proses pemotongan. Dari penjelasan tersebut, penelitian ini mengusulkan pemodelan dan mengoptimalkan parameter pemotongan untuk memperoleh konsumsi daya listrik yang minimum dan MRR yang optimum sebagai bagian dari proses *sustainable machining* (permesinan yang berkelanjutan).

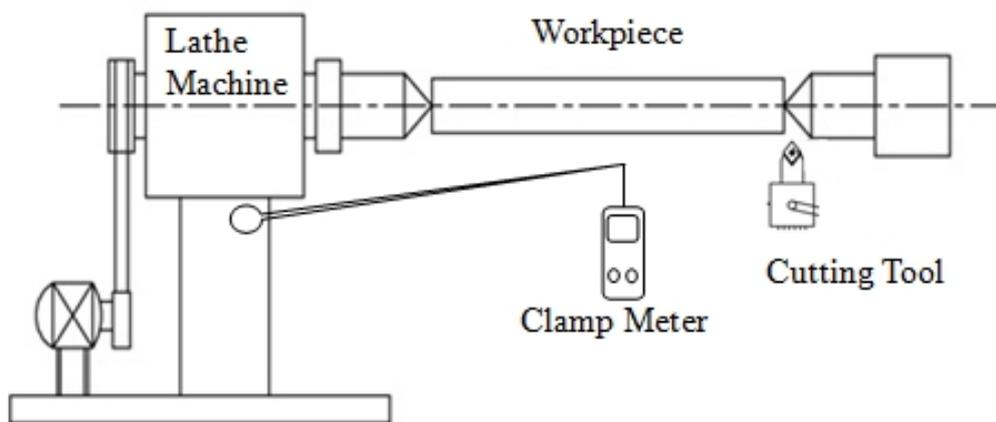
Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh parameter pemesinan (kecepatan potong dan pemakanan) pada berbagai respon seperti konsumsi daya listrik dan MRR dalam proses pembubutan, serta untuk memilih kondisi pemotongan optimum dalam pembubutan dalam memenuhi kriteria energi minimum.

Adapun urgensi dari hasil penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan bagi operator (perusahaan) yang membuat produk dalam proses pembubutan dengan melakukan pengurangan konsumsi daya dan MRR untuk setiap parameter pemotongan yang digunakan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilaksanakan di Bengkel Mekanik dan Laboratorium Mekanik Jurusan Teknik Mesin, karena sebagian besar mesin dan peralatan serta alat ukur tersedia dengan lengkap yang menunjang penelitian yang akan dilakukan. Skema penelitian dapat dilihat dalam Gambar 1.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 1045. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah mesin bubut konvensional (Merek PINDAD), pahat bubut carbide uncoated dengan *tool holder* tipe TCLNR 2020K12, dan alat ukur *clampmeter* untuk mengukur tegangan dan ampere yang digunakan selama proses pembubutan.



Gambar 1. Rancangan eksperimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh parameter pemotongan terhadap *Material Removal Rate* (MRR) dan konsumsi daya listrik yang digunakan.

A. Konsumsi Daya Listrik

Hasil pengukuran konsumsi daya listrik diperoleh dari data hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur clampmeter. Adapun hasil data hasil penggunaan konsumsi energi listrik dalam proses pembubutan dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data hasil pengukuran konsumsi daya listrik

No	Kecepatan potong (rev/min)	Laju Pemakanan (mm/rev)	Konsumsi Daya Listrik (kWs)
1	237	0.052	282.0
2	425	0.052	142.9
3	840	0.052	96.1
4	237	0.105	160.2
5	425	0.105	83.1
6	840	0.105	55.4
7	237	0.157	83.6
8	425	0.157	42.9
9	840	0.157	30.0
10	425	0.105	82.0
11	425	0.105	80.8

B. Material Removal Rate (MRR)

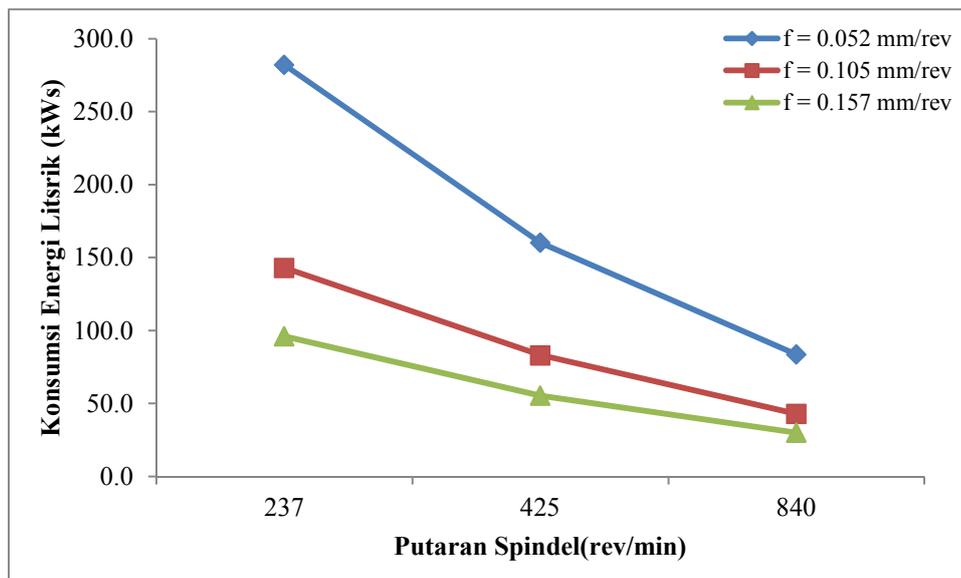
Hasil pengukuran *Material Removal Rate* (MRR) diperoleh dari hasil perhitungan kecepatan potong, laju pemakanan dan kedalaman pemakanan. Adapun data MRR dapat dilihat dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data hasil MRR

No	Kecepatan potong (rev/min)	Laju Pemakanan (mm/rev)	Material Removal Rate (mm ³ /min)
1	237	0.052	2.44
2	425	0.052	4.92
3	840	0.052	7.36
4	237	0.105	4.37
5	425	0.105	8.83
6	840	0.105	13.20
7	237	0.157	8.64
8	425	0.157	17.45
9	840	0.157	26.09
10	425	0.105	8.83
11	425	0.105	8.83

3.2 Pembahasan

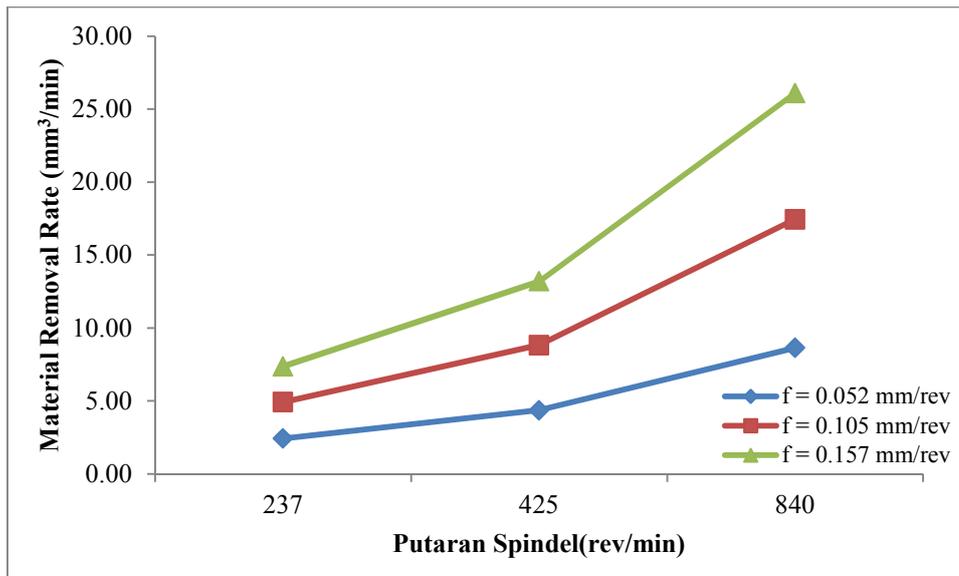
Berdasarkan data hasil pengamatan yang dilakukan selama proses pembubutan, maka dapat diperoleh data hasil konsumsi daya listrik seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan antara putaran spindle dengan konsumsi energi listrik yang digunakan selama proses pembubutan seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara putaran spindle dan konsumsi energy listrik

Dalam Gambar 1 ditunjukkan bahwa semakin tinggi putaran spindle mesin bubut yang digunakan maka konsumsi energi listrik akan berkurang. Hal ini disebabkan oleh waktu operasi pembubutan yang semakin sedikit (cepat selesai) akibat putaran spindle yang semakin tinggi. Begitu juga halnya dengan pengaruh laju pemakanan yang semakin besar maka mengakibatkan konsumsi energi listrik akan menurun.

Sedangkan data hasil pengamatan terhadap *material removal rate* (MRR) yang telah diperlihatkan dalam Tabel 2 dapat digambarkan dalam bentuk grafik hubungan putaran spindle dengan MRR seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3. Gambar ini menunjukkan bahwa MRR yang diperoleh akan semakin meningkat jika semakin besar putaran spindle yang digunakan.



Gambar 3. Grafik hubungan antara putaran spindel dan MRR

4. KESIMPULAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh parameter pemotongan dalam proses pembubutan baja AISI 1045 terhadap konsumsi energi listrik dan *material removal rate* (MRR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar putaran spindel (rpm) pada mesin bubut yang digunakan maka konsumsi energi listrik (kW) akan semakin menurun, namun MRR yang dihasilkan akan semakin meningkat. Sedangkan pengaruh parameter laju pemakanan (rev/min) yang semakin besar maka akan mengakibatkan konsumsi energi listrik semakin berkurang dan akan menghasilkan MRR yang semakin besar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Hanafî, I., Khamlichi, A., Cabrera, F. M., Almansa, E., & Jabbouri, 2012. *Optimization of cutting conditions for sustainable machining of peek cf30 using tin tools*, Journal of Cleaner Production, No. 28.
- Park, C.-W., Kwon, K.-S., Kim, W.-B., Min, B.-K., Park, S.-J., Sung, I.-H., *et al.*, 2009. *Energy consumption reduction technology in manufacturing — A selective review of policies, standards, and research*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 10, hal 151-173
- Rajemi, M. F., Mativenga, P. T., & Aramcharoen, A., 2010. *Sustainable machining: selection of optimum turning conditions based on minimum energy considerations*, Journal of Cleaner Production, Vol. 18, hal. 1059-1065.
- P. F. Chapman, 1974. *Energy costs: A review of methods*, Energy Policy, Vol. 2, hal. 91-103.
- He, Y., Liu, B., Zhang, X., Gao, H., & Liu, X., 2012. *A modeling method of task-oriented energy consumption for machining manufacturing system*, Journal of Cleaner Production, No. 23, hal. 167-174.
- Sarwar, M., Persson, M., Hellbergh, H., & Haider, J., 2009 *Measurement of specific cutting energy for evaluating the efficiency of bandsawing different workpiece materials*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, No. 49, hal. 958-965.
- Mori, M., Fujishima, M., Inamasu, Y., & Oda, Y., 2011. *A study on energy efficiency improvement for machine tools*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, No. 60, hal. 145-148.
- Diaz, N., Redelsheimer, E., & Dornfeld, D., 2011. *Energy Consumption Characterization and Reduction Strategies for Milling Machine Tool Use*, Proceeding of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, hal. 263-267.
- P. T. Mativenga and M. F. Rajemi, 2011. *Calculation of optimum cutting parameters based on minimum energy footprint*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, No.60, hal. 149-152.
- R. Nur, M.Y. Noordin, S.Izman, D. Kurniawan, 2014. *The Effect of Cutting Parameters on Power Consumption during Turning Nickel Based Alloy*, Advanced Materials Research, Vol. 845, hal. 799-802.
- Gutowski, T., Dahmus, J., & Thiriez, A., 2006. *Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes*, 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 31 May – 2 June 2006.
- R. A. Walsh, 2001. *Handbook of Machining and Metalworking Calculations*: McGraw-Hill Professional.

- Calvanese M, Albertelli P, Matta A, Taisch M., 2013. *Analysis of Energy Consumption in CNC Machining Centers and Determination of Optimal Cutting Conditions*. In: Nee AYC, Song B, Ong S-K, editors. *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*: Springer Singapore, hal. 227-232.
- Camposeco-Negrete C., 2013. *Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA*. *Journal of Cleaner Production*, hal. 1- 9.
- Nur, R., Noordin, M., Izman, S., & Kurniawan, D. 2015. *Machining parameters effect in dry turning of AISI 316L stainless steel using coated carbide tools*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, hal. 1-8.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini, khususnya ditujukan kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang melalui Dana DIPA yang dikelola oleh Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (UPPM) yang telah memberikan pendanaan sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik.