



Perancangan dan Optimasi Performa Sistem Minimum Quantity Lubrication (MQL) pada Proses Pemesinan Keras dengan Kontroler berbasis Arduino

Ronald Naibaho¹, Roy Lamrun Sianturi², Abidan Napitupulu³

^{1,3}Teknik Mesin Akademi Teknik Deli Serdang

²Teknik Mesin Universitas HKBP Nomensen Medan

¹ronaldnaibaho1970@gmail.com

Abstract- The cutting process using a lathe is one of the important processes in manufacturing. Using petroleum-based cutting fluids in machining creates health hazard problems for machining operators and environmental problems due to waste. Alternative methods are needed to prevent the hazardous aspects of cutting fluids. This paper aims to discuss the design and optimization of an activated minimum quantity lubrication (MQL) system based on the evolution of tool wear. Applying MQL in machining has been proven to improve machinability from various perspectives. The MQL unit is expected to replace wet cutting while retaining its benefits or where possible achieving higher performance than wet cutting. Based on a reference review, this paper confirms the advantages and suitability of MQL systems to contribute to productivity and cost reductions due to longer tool life. The MQL system contributes to reduced costs due to increased tool life. However more experimental efforts and details should continue to be made to further identify the advantages and disadvantages of this system in hard machining processes.

Keywords- Control Systems, Optimization, Cutting Fluids, MQL, Hard Machining

Abstrak- Proses pemotongan dengan menggunakan mesin bubut merupakan salah satu proses penting dalam manufaktur. Menggunakan cairan pemotongan dalam pemesinan berbasis minyak bumi menimbulkan masalah bahaya kesehatan bagi operator pemesinan dan masalah lingkungan akibat limbah. Metode alternatif diperlukan untuk mencegah aspek berbahaya dari cairan pemotongan. Makalah ini bertujuan untuk membahas perancangan dan optimasi sistem pelumasan kuantitas minimum (MQL) yang diaktifkan berdasarkan evolusi keausan pahat. Menerapkan MQL dalam pemesinan terbukti meningkatkan machinability dari berbagai sudut pandang. Unit MQL diharapkan dapat menggantikan pemotongan basah tetapi tetap mempertahankan manfaatnya atau bila memungkinkan mencapai kinerja yang lebih tinggi daripada pemotongan basah. Berdasarkan tinjauan referensi, makalah ini menegaskan keuntungan dan kesesuaian sistem MQL untuk berkontribusi pada produktivitas dan pengurangan biaya karena masa pakai alat yang lebih lama. Sistem MQL memberikan kontribusi pengurangan biaya karena peningkatan masa pakai alat. Namun upaya dan detail yang lebih eksperimental harus terus dilakukan untuk mengidentifikasi hasil lebih lanjut, baik keuntungan maupun kerugian dari sistem ini dalam proses pemesinan keras.

Kata kunci-Sistem Kontrol, Optimasi, Cairan Pemotongan, MQL, Pemesinan Keras

I. PENDAHULUAN

Proses pemotongan dengan menggunakan mesin bubut merupakan salah satu proses penting dalam manufaktur. Salah satu faktor yang berpengaruh penting dalam proses pemotongan menggunakan mesin seperti mesin bubut dan milling adalah Machine Cutting Fluids (MCF). Cutting fluid meningkatkan produktivitas dan kualitas produksi karena adanya pendinginan dan pelumasan selama proses pemotongan dan pembentukan logam[1]. Selain itu, cairan pemotongan berfungsi sebagai perpindahan panas pada area pemotongan [2] dan juga menghilangkan chip dari area pemotongan[3]. Namun penggunaan coolant tidak hanya menguntungkan tetapi juga merugikan dalam proses produksi.

Sekitar 85% cairan pemotongan yang digunakan di seluruh dunia adalah minyak oli mineral yang dicampur

dengan air dalam proporsi tertentu[4]. Penggunaan Cairan pemotongan yang berlebihan dapat menciptakan masalah lingkungan dan kesehatan operator. Hal ini disebabkan cairan mengandung fosfor, belerang, klorin, dan seng[5]

Ada dua upaya utama untuk mengatasi masalah tersebut. Di satu sisi, beberapa peneliti telah melakukan upaya untuk mengganti cairan pemotongan berbasis minyak bumi dengan yang terbarukan. Minyak nabati seperti jarak [2], minyak sawit dan Calophyllum [6]. Peneliti lain khawatir tentang pengurangan penggunaan cairan pemotongan dengan menerapkan pelumasan kuantitas minimum (MQL) dalam pemesinan[7]. Kedua kelompok telah membuat prestasi yang signifikan. Selain itu, beberapa peneliti telah mencoba menerapkan keduanya. Semua pihak berlomba menuju green



manufacturing untuk menciptakan kehidupan yang lebih baik di masa depan.

Menerapkan MQL dalam pemesinan terbukti meningkatkan machinability dari berbagai sudut pandang. Dilaporkan bahwa MQL menghasilkan permukaan mesin yang lebih baik[8]. Beberapa ilmuwan mengklaim bahwa MQL telah terbukti meningkatkan masa pakai pahat dalam aplikasi pemesinan yang berbeda[9]. Ini juga mengurangi gaya pemotongan dalam pemesinan[10]. Lagi pula, MQL jauh lebih ekonomis daripada menggunakan metode flooding karena cairan pemotongan yang dibutuhkan selama siklus pemesinan lebih sedikit.

Secara default, sistem MQL bukanlah metode asli untuk menerapkan cairan pemotongan pada alat mesin. Oleh karena itu, para peneliti harus membangun jaringan mereka dan menggabungkannya dengan peralatan cutting fluid yang ada. Eksperimen lain menggunakan sistem MQL dengan menghapus atau meninggalkan sistem saat ini[11]. Tidak ada makalah yang diterbitkan yang menjelaskan atau menyajikan potret yang jelas tentang bagaimana sistem MQL dibangun. Namun, ada petunjuk yang sama untuk membangun sistem MQL, menggunakan cairan pemotongan terkompresi[12]. Untuk membuat bentuk kabut dan mengarahkannya ke antarmuka alat dan pembentukan chip benda kerja yang sedang berlangsung.

Dari berbagai penelitian, terbukti bahwa MQL merupakan alternatif yang menguntungkan dan layak untuk metode pendinginan konvensional dan kering. Namun, pemilihan parameter MQL yang sesuai harus menjadi pertimbangan untuk efisiensi penggunaan metode ini. Penelitian sebelumnya telah melaporkan pengembangan dan penggunaan sistem MQL untuk mendukung proses pemesinan[13]. Sistem MQL dijalankan dari awal hingga akhir proses pemesinan, di mana alat telah mencapai akhir masa pakainya. Dengan demikian, penggunaan sistem MQL dianggap tidak efisien karena cairan dikeluarkan dari nosel MQL dari awal hingga akhir proses pemesinan, terlepas dari keausan pahat yang tidak signifikan. Dengan mempertimbangkan evolusi keausan pahat, fase bertahap perlu dikondisikan karena pada fase ini, pahat memberikan kinerja terpanjang yang menentukan kualitas permukaan mesin. Oleh karena itu, perlu untuk mengidentifikasi fase keausan bertahap serta kebutuhan dukungan sistem MQL.

Berdasarkan latar belakang di atas, Pengurangan aplikasi cairan pemotongan lebih lanjut dapat dilakukan dengan merancang pengembangan sistem MQL dengan menambahkan pengontrol di sistem MQL atau diaktifkan berdasarkan evolusi keausan pahat. Cairan pemotongan akan menyembur sesuai kebutuhan saja. Tim kami telah berhasil merancang dan membuat sistem MQL dengan

pengontrol berbasis Arduino[14]. Pengontrol dapat dikontrol waktu atau suhu. Menerapkan perangkat baru telah terbukti mengurangi kerusakan alat dan meningkatkan kualitas permukaan mesin.

II. METODE PENELITIAN

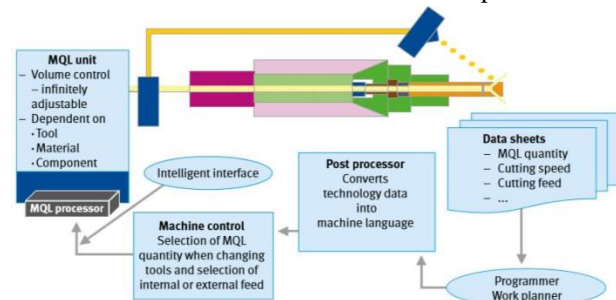
Untuk membangun sistem MQL, kami mengembangkan pengontrol berbasis Arduino. Berdasarkan sistem sebelumnya, terdapat empat perangkat keras atau komponen utama, sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Selain itu, pengaturan temperatur pada penyemprotan diubah dari 70°C menjadi 150°C mengingat temperatur kerja alat mencapai 600°C dengan tetap mempertahankan kekerasannya. pada 50 HRC[15]. Semua perubahan adalah upaya untuk memenuhi kriteria MQL. Beberapa komponen tetap sama dengan desain sebelumnya, menggunakan tipe Arduino UNO R3. Untuk menurunkan tegangan DC digunakan LM2596 seperti pada Tabel 1 dengan sistem MQL model terdahulu [14] dan sistem MQL model baru.

Tabel 1: Perbandingan antara komponen lama dan baru yang digunakan untuk membangun sistem MQL

No	Komponen	X1	X2	Faktor Perubahan
1	Pompa	Pompa air	Pompa bahan Bakar	Pompa lebih kuat
2	Power Supply	12V/1A	12V/10A	Lebih tahan lama
3	Nozzle	spray	Injektor	tetes semprotan kabut yang lebih kecil
4	Sensor	Sensor DS18B20	Sensor MAX6675	bekerja pada suhu - 200°C hingga 1200°C)
5	Setingan Suhu	70 °C	150 °C	Meningkatkan ambang batas penyemprotan

1. Sistem dan Konstruksi Unit MQL

Sistem pelumasan kuantitas minimum MQL, SKF Lubricant Basic, dan Smart terdiri dari reservoir berpelumas, satu atau lebih unit kontrol campuran, dan saluran pelumas dengan nosel semprot seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Udara terkompresi dimasukkan ke dalam sistem untuk menstabilkan reservoir pelumas yang tadinya diangkut secara terpisah melalui sistem saluran dan dari saluran ke nosel semprot.



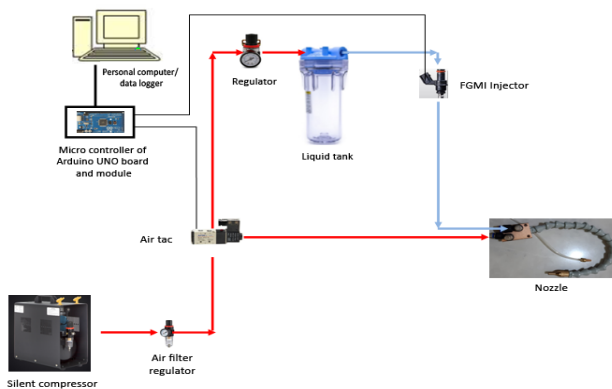
Gambar 1. Sistem dan Konstruksi Unit MQL



Sistem MQL kemudian diuji pada baja paduan AISI 4340 yang dikeraskan dengan 50 HRC dan menggunakan Pahat cermet chisel. Kinerja pemesinan diukur dengan mengukur/ menghitung jumlah cairan pemotongan yang digunakan dalam satu jam. Kemampuan mesinnya diukur dengan mengamati kerusakan alat dan kekasaran permukaan bagian mesin.

2. Desain unit sistem MQL.

Perancangan sistem dan konstruksi unit minimum terdiri dari pemilihan komponen, perancangan, dan integrasi pengontrol, perancangan dan cara kerja alat. Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui keefektifan desain berikut bagian-bagian yang terdapat pada pelumas semprot. Alat-alat tersebut antara lain Pneumatic Air Solenoid Valves, regulator filter, tee cabang, regulator, tangki cairan, injektor PGMI, sepeda motor 12V DC, fitting, box, box casing controller, nozel kombinasi, dan dudukan magnet seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. sistem MQL

3. pengaturan sistem MQL.

Persyaratan umum untuk tugas utama sistem MQL adalah memasok pelumas target yang tepat ke ujung mata pahat. perangkat MQL yang dapat dikontrol secara manual dengan pengumpanan internal dan eksternal menggunakan mode fungsional yang berbeda. sistem MQL kompleks telah dikembangkan yang memiliki komponen terintegrasi untuk regulasi, kontrol, dan pemantauan. pelumas disemprotkan nozel di sekitar alat. Di ujung pipa, pelumas diatomisasi dengan nozel semprot dan diumpankan sebagai aerosol dari luar.

4. Saluran masuk dan saluran keluar.

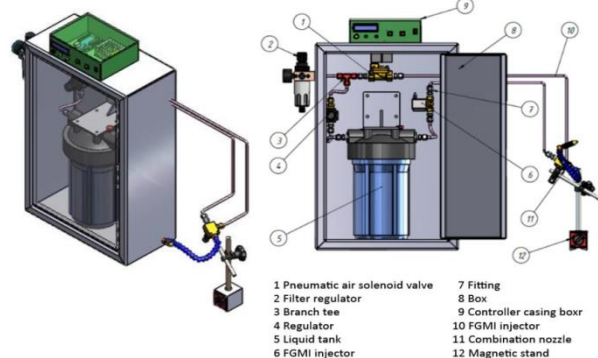
Saluran masuk sistem MQL dengan umpan internal memungkinkan suplai aerosol yang tepat langsung ke titik kontak melalui alat. Ketersediaan pelumas dipertahankan pada titik-titik kritis di seluruh urutan pemrosesan. Itu memungkinkan untuk

mengebor lubang yang dalam dan menggunakan kecepatan potong yang tinggi. Untuk media harus diumpankan melalui poros mesin

sehingga konversi ke sistem ini mungkin mahal. Beberapa sistem dapat dikontrol secara langsung oleh sistem kontrol. Pengaturan sistem pelumasan untuk jumlah oli yang dibutuhkan dan nilai udara tekan dapat dilakukan secara otomatis dalam hal penggantian pahat. Dalam produksi otomatis, pengaturan parameter sistem manual tidak diperlukan.

5. Nosel

Aliran udara yang dilakukan melalui tabung koaksial diaduk di zona outlet pelumas (pelumas keluar dari tabung kapiler). Udara memecah pelumas menjadi butiran yang sangat halus dan menyapunya ke titik pelumasan tanpa membentuk kabut. Ukuran mikrodroplet (200/600 µm) memastikan lapisan pelumas sempurna tanpa atomisasi. Desain khusus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 menjaga agar jet tidak mengembang dan pelumas dikirim ke titik pelumasan dengan akurasi yang tepat. Hasilnya, pencemaran lingkungan dengan pelumasan berlebih telah berhasil dicegah.



Gambar 3. Desain semprot nozel

5. Komponen dan material rakitan sistem/unit MQL.

Komponen pada perancangan sistem kontrol spray otomatis adalah sebagai berikut: silent compressor dan board dan modul Mikrokontroler Arduino Uno, Solenoid Valve Air Tac 3V210-08, Pressure Sensor Transmitter Pressure Transducer 12 Mpa DC 5V G14, pneumatic regulator, housing filter, Injektor PGMI, sistem semprotan pendingin kabut, selang pneumatik, alat kelengkapan pneumatik: relay, LCD 16x2, tombol tekan, catu daya, kotak panel, komponen elektronik lainnya.

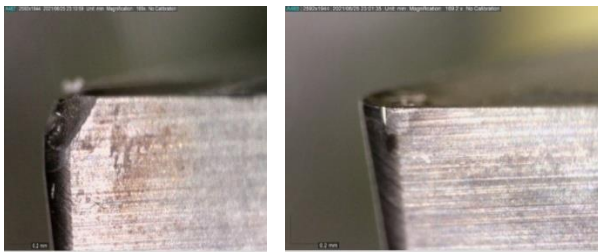
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem MQL yang dirancang disajikan pada Gambar 2. Sensor ditempatkan 3 mm dari tooltip kemudian dihubungkan ke controller Arduino, dimana controller dihubungkan ke pompa. Saat spindel berputar dan pahat maju ke arah benda kerja, proses pemesinan dimulai. Karena proses pemotongan pembentukan chip dan gesekan antara pahat-benda kerja dan pahat-keripik, panas



dihasilkan selama pemesinan. Kemudian panas akan didistribusikan di antara pahat, benda kerja, dan keripik. Ketika sensor mendeteksi kenaikan suhu pahat hingga 150 °C, pengontrol mengirimkan sinyal ke pompa untuk menyemburkan cairan pemotongan. Selanjutnya, penurunan suhu alat di bawah 150 °C pengontrol mengatur pompa untuk menghentikan penyemprotan. Suhu dan waktu proses dipantau dan dicatat oleh laptop. Hasil penelitian yang diamati dengan mikroskop Dino-Lite menunjukkan kondisi pemotongan dengan model MQL terdahulu dan model baru dikembangkan, bahwa pada VB sekitar 0.25 mm terdapat mode aus yang lain yang menyertai aus tepi pada kedua pahat yaitu mode aus penyerpihan. Penyerpihan yang menyertai aus pada mata potong pahat kondisi pemotongan Dry mengalami keausan yang lebih besar dari pahat kondisi pemotongan MQL. Hal ini membuktikan bahwa hasil pengujian pada kondisi pemotongan operasional adalah benar bahwa pahat kondisi Pemotongan pada model MQL terdahulumenunjukkan pahat lebih rentan mengalami aus berbanding pahat Kondisi Pemotongan MQL model baru

Penilaian hasil produk dari proses pembubutan pada kondisi pemotongan optimal untuk kedua metode MQL yang diteapkan ditentukan parameter kekasaran permukaan Ra, secara rata-rata kekasaran permukaan Ra yang dihasilkan oleh Pahat pada kondisi pemotongan dengan sistem MQL model baru (1,181mikron) jauh lebih optimal jika dibandingkan dengan nilai Ra pahat pada kondisi pemotongan Dengan metode MQL terdahulu (1,619 mikron).



(a) MQL model lama (b) Model MQL dikembangkan
Gambar 4. Kondisi Pemotongan dengan penerapan minimum pelumas (MQL)

IV. PENUTUP

Makalah ini melaporkan studi eksperimental desain sistem dan mengoptimalkan unit mesin kering dengan jumlah minimum pelumas (MQL). Kerangka kerja penelitian ini didasarkan pada tinjauan pustaka dari karya-karya sebelumnya tentang pemesinan keras untuk mengonfirmasi hasilnya. Sistem MQL memberikan kontribusi pengurangan biaya karena peningkatan masa pakai alat. Namun upaya dan detail yang lebih eksperimental harus terus dilakukan untuk mengidentifikasi hasil lebih lanjut, baik keuntungan maupun kerugian dari sistem ini dalam proses pemesinan keras.

V. REFERENSI

- [1] H. Abdalla and S. Patel, "The performance and oxidation stability of sustainable metalworking fluid derived from vegetable extracts," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 220, no. 12, pp. 2027–2040, 2006.
- [2] S. Guo *et al.*, "Experimental evaluation of the lubrication performance of mixtures of castor oil with other vegetable oils in MQL grinding of nickel-based alloy," *J. Clean. Prod.*, vol. 140, pp. 1060–1076, 2017.
- [3] E. Rahim and H. Sasahara, "A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys," *Tribol. Int.*, vol. 44, no. 3, pp. 309–317, 2011.
- [4] T. Singh, P. Singh, J. Dureja, M. Dogra, H. Singh, and M. S. Bhatti, "A review of near dry machining/minimum quantity lubrication machining of difficult to machine alloys," *Int. J. Mach. Mach. Mater.*, vol. 18, no. 3, pp. 213–251, 2016.
- [5] S. Ali, N. Dhar, and S. Dey, "Effect Of Minimum Quantity Lubrication (MQL) On Cutting Performance in Turning Medium Carbon Steel By Uncoated Carbide Insert at Different Speed-Feed Combinations.," *Adv. Prod. Eng. Manag.*, vol. 6, no. 3, 2011.
- [6] W. N. Wulandari, M. Darsin, and R. K. K. Wibowo, "Study on characteristics of calophyllum inophyllum oil as a new alternative cutting fluid," presented at the AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, 2020, p. 020010.
- [7] S. Pervaiz, S. Anwar, I. Qureshi, and N. Ahmed, "Recent advances in the machining of titanium alloys using minimum quantity lubrication (MQL) based techniques," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol.*, vol. 6, pp. 133–145, 2019.
- [8] D. A. Nugraha, R. D. H. Qoryah, and M. Darsin, "Pengaruh Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL) Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan," *Rekayasa*, vol. 13, no. 2, pp. 125–129, 2020.
- [9] A. Khatri and M. P. Jahan, "Investigating tool wear mechanisms in machining of Ti-6Al-4V in flood coolant, dry and MQL conditions," *Procedia Manuf.*, vol. 26, pp. 434–445, 2018.
- [10] S. Ekinovic, H. Prcanovic, and E. Begovic, "Investigation of influence of MQL machining parameters on cutting forces during MQL turning of carbon steel St52-3," *Procedia Eng.*, vol. 132, pp. 608–614, 2015.
- [11] Z. Jiang, F. Zhou, H. Zhang, Y. Wang, and J. W. Sutherland, "Optimization of machining parameters considering minimum cutting fluid consumption," *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 183–191, 2015.
- [12] M. Li *et al.*, "Experimental evaluation of an eco-friendly grinding process combining minimum quantity lubrication and graphene-enhanced plant-oil-based cutting fluid," *J. Clean. Prod.*, vol. 244, p. 118747, 2020.
- [13] M. F. Hardiansyah, S. Prasetya, and M. Muslimin, "Rancang Bangun Alat Spray Pelumas Sebagai Media Pendingin Pada Proses Milling Dengan Menggunakan Sistem Kontrol Berbasis Arduino Uno," presented at the Seminar Nasional Teknik Mesin, 2019, pp. 49–58.
- [14] G. G. S. Dinata, A. Z. Muttaqin, and M. Darsin, "Rancang bangun dan uji performa sistem kendali pemberian fluida pemesinan MQL berbasis arduino," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 97–104, 2020.
- [15] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson educación, 2002.