

Penerapan alat *minimum quantity lubrication* pada pemberian cairan pemotongan sebagai upaya pemesinan ramah lingkungan

Muhammad Yanis^{1*}, Al Antoni Akhmad², Barlin³, Aneka Firdaus⁴, Nova Yuliasari⁵

¹Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia, email: yanis@unsri.ac.id

²Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia, email: alantoniakhmad@gmail.com

³Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia, email: barlin@ft.unsri.ac.id

⁴Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia, email: anekafirdaus@unsri.ac.id

⁵Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia, email: nova_yuliasari@unsri.ac.id

*Koresponden penulis

Info Artikel

Diajukan: 2021-11-26

Diterima: 2022-04-02

Diterbitkan: 2022-04-13

Keywords:

cutting fluid; minimum quantity lubrication; machining

Kata Kunci:

cairan pemotongan; pelumasan kuantitas minimum; pemesinan



Lisensi: cc-by-sa

Copyright © 2022 Muhammad Yanis, Al Antoni Akhmad, Barlin, Aneka Firdaus, Nova Yuliasari

Abstract

Machining quality and tool life can be improved by using cutting fluids. Nowadays, the manufacturing industry is leading to the need for environmentally friendly machining processes. One of these efforts can be achieved by using the minimum possible cutting fluid during machining. This method is called Minimum Quantity Lubrication (MQL). The purpose of this community service is the application of MQL equipment in partner machine tool workshops. This is to educate the small machine tool industry community, especially partner workshops about environmentally friendly machining processes. The method of implementing this activity is assistance to partner machine tool workshops. The implementation includes socialization (exposure and discussion), demonstration of the use of MQL equipment, and monitoring. In socialization activities other than partners, other invited participants and students also participate. The activity went well even though the number of participants was limited due to the high spread of Covid-19. Participants have a better understanding of the importance of environmentally friendly machining. Likewise in monitoring activities, partners are able to use the equipment provided properly. The owner of the partner workshop hopes that there will be new ongoing activities or topics that can provide positive development for his workshop.

Abstrak

Kualitas pemesinan dan umur pahat dapat ditingkatkan dengan menggunakan cairan pemotongan. Pada saat ini industri manufaktur mengarah pada kebutuhan akan proses pemesinan yang ramah lingkungan. Salah satu upaya ini dapat dicapai dengan menggunakan cairan pemotongan seminimum mungkin selama pemesinan. Metode ini disebut Minimum Quantity Lubrication (MQL). Tujuan dari pengabdian masyarakat ini adalah penerapan peralatan MQL di bengkel mesin perkakas mitra. Hal ini untuk mengedukasi masyarakat industri kecil mesin perkakas khususnya bengkel mitra tentang proses pemesinan yang ramah lingkungan. Metode pelaksanaan kegiatan ini adalah pendampingan kepada bengkel mesin perkakas mitra. Pelaksanaannya meliputi sosialisasi (paparan dan diskusi), demonstrasi penggunaan peralatan MQL, dan monitoring. Pada kegiatan sosialisasi selain mitra, peserta undangan lainnya dan mahasiswa juga ikut berpartisipasi. Kegiatan telah berjalan dengan baik meskipun jumlah peserta terbatas akibat tingginya penyebaran

Covid-19. Peserta lebih memahami tentang penting pemesinan yang ramah lingkungan. Begitu juga dalam kegiatan monitoring, mitra sudah dapat menggunakan peralatan yang diberikan dengan baik. Pemilik bengkel mitra mengharapkan kegiatan yang berkelanjutan atau topik baru yang dapat memberikan perkembangan positif bagi bengkelnya.

Cara mensitasi artikel:

Yanis, M., Akhmad, A. A., Barlin, Firdaus, A., & Yuliasari, N. (2022). Penerapan alat *minimum quantity lubrication* pada pemberian cairan pemotongan sebagai upaya pemesinan ramah lingkungan. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMAS)*, 5(2), 199–209. <https://doi.org/10.33474/jipemas.v5i2.13957>

PENDAHULUAN

Salah satu cara pembuatan suku cadang atau komponen mesin adalah menggunakan mesin perkakas. Dibandingkan dengan metode lain (proses pengecoran, metalurgi serbuk, pembentukan, perlakuan), mesin perkakas lebih dominan digunakan yaitu paling tidak mencapai hingga 80%. Hal ini karena mesin perkakas dapat menghasilkan produk yang lebih akurasi, presisi, kompleksitas dan produktif dibanding metode lain tersebut (Stephenson & Agapiou, 2016; Grzesik, 2017).

Kualitas pemesinan yaitu ketelitian dimensi dan geometri, kekasaran permukaan serta umur pahat dapat diperbaiki menggunakan cairan pemotongan (*cutting fluid*) atau cairan pendingin (*coolant*) (Tang et al., 2022). Bagi industri mesin perkakas skala besar maupun sedang umumnya sudah menerapkan standar pengolahan cairan pemotongan dan pengelolaan limbahnya dengan baik. Namun untuk industri kecil mesin perkakas belum menerapkan pengelolaan cairan pemotongan dan limbahnya. Cairan pemotongan, terutama yang berasal dari minyak mineral berbahaya karena beberapa komponennya bersifat racun yang dapat menimbulkan risiko karsinogenik bagi manusia. Cairan pemotongan dapat menguap dalam bentuk kabut cair, asap dan bau yang dapat menjadi masalah kesehatan bagi operator (Benedicto et al., 2017; Salem et al., 2020; Wu et al., 2021).

Berdasarkan survei yang dilakukan terhadap beberapa industri kecil mesin perkakas yang berada di Kota Palembang, pemilik bengkel mesin perkakas melakukan pembuangan limbah cairan pemotongan ke lingkungan yaitu tanah ataupun saluran pembuangan air (selokan). Hal ini sudah tentu dapat menimbulkan efek ke lingkungan sendiri dan manusia. Selain itu pemilik bengkel kurang memahami tentang efek penggunaan cairan pemotongan dari pemesinan kepada operator mesin perkakas.

Pada saat ini, pemerintah dan otoritas yang berwenang mengarahkan bagi industri permesinan untuk menerapkan pemesinan yang ramah lingkungan atau *green machining* (Gupta, 2020). Pemesinan ramah lingkungan dicapai dengan menerapkan (a) pemesinan kering (*dry*) tanpa menggunakan cairan pemotongan, (b) pemesinan pendinginan *Cryogenic* (fluida dingin dan bertekanan tinggi), dan (c) pemesinan dengan cairan pemotongan dengan jumlah sedikit atau *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) (Kaynak et al., 2014; Benedicto et al., 2021). Pemesinan ramah lingkungan yang umum diaplikasikan oleh industri saat ini adalah metode MQL (Debnath et al., 2014; Sharma et al. 2015; Boswell et al., 2017). Penerapannya adalah menggunakan peralatan

tambahan (MQL system) dengan prinsip kerjanya cairan pemotongan disemprotkan ke daerah pemesinan yang dibantu udara bertekanan (Walker, 2015).

Tujuan dari kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat adalah penerapan alat MQL ke salah satu bengkel mesin perkakas yang ada di Kota Palembang. Bengkel mesin perkakas sebagai mitra adalah bengkel las dan bubut Tris. Bengkel mitra ini memiliki peralatan usaha yaitu las listrik, bor tangan, gerinda tangan, mesin rol, mesin gurdi dan mesin bubut konvensional. Bengkel mitra belum memahami pengelolaan cairan pemotongan, efeknya terhadap lingkungan dan manusia ataupun tentang pemesinan yang ramah lingkungan. Bengkel mitra bersedia dijadikan contoh penerapan teknologi yang akan disampaikan memiliki keinginan kuat untuk meningkatkan kegiatan usahanya dengan salah satunya adalah menerapkan teknologi yang diberikan. Hal ini mereka butuhkan karena bengkel ini pada saat ini banyak menerima pesanan dari masyarakat umum, pemerintah daerah maupun industri lainnya. Usaha mereka selain pembuatan komponen mesin menggunakan mesin bubut, pengelasan juga pesanan pembuatan peralatan mesin lain atau teknologi tepat guna seperti oven pemanas, mesin penghancur rumput, mesin cetak plastik dan lain-lain.

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini berupa metode pendampingan kepada bengkel mitra. Kegiatan juga melibatkan pemilik industri kecil mesin perkakas lainnya yang diundang untuk menambah wawasan mereka tentang pemesinan yang ramah lingkungan dari alat yang disosialisasikan.

METODE PELAKSANAAN

Metode yang dikembangkan dalam penerapan teknologi yang disampaikan berupa pendampingan dengan kegiatan sebagai berikut, survei lapangan, sosialisasi dan demo serta pemantauan. Pelaksanaan survei terdiri atas dua tahapan yaitu identifikasi permasalahan dan tujuan pelaksanaan melakukan kegiatan di bengkel mitra. Identifikasi permasalahan dengan maksud mencari permasalahan atau kendala yang dihadapi oleh bengkel mesin perkakas ataupun mitra. Beberapa permasalahan yang ada seperti yang telah dijelaskan di bagian sebelumnya. Tahap ini dilakukan sebelum kegiatan pengabdian dilaksanakan. Tahapan tujuan pelaksanaan kegiatan di bengkel mitra dilakukan dengan menjelaskan keinginan kegiatan untuk penerapan teknologi yang akan disampaikan. Pada tahapan ini juga memberi penjelasan tentang alat MQL, cara perancangan dan pembuatan sebagai langkah awal metode pendampingan.

Tahapan kegiatan kedua adalah sosialisasi dan demo penggunaan alat. Sosialisasi dilakukan di bengkel mitra dihadiri pimpinan dan karyawan mitra, pemilik bengkel mesin perkakas lain yang diundang serta mahasiswa, dengan jumlah diharapkan dapat diikuti oleh hingga 25 peserta. Pada tahapan ini kegiatan berupa ceramah dan diskusi serta demo cara menggunakan alat MQL pada pemesinan. Ceramah meliputi cairan pemotongan dan pengaruhnya limbahnya pada alam dan manusia, pemesinan ramah lingkungan, alat MQL

dan perawatannya serta demo penggunaan alat. Di akhir sosialisasi dilakukan penyerahan kepada mitra dari alat MQL yang diterapkan. Alat MQL ini merupakan hasil pengembangan penelitian oleh Tim Pelaksana sebagai salah satu teknologi untuk diterapkan pada industri kecil mesin perkakas (Yanis et al, 2020).

Tahapan kegiatan ketiga adalah melakukan pemantauan di beberapa minggu setelah kegiatan sosialisasi. Pada kegiatan pemantauan ini bertujuan seberapa jauh penggunaan alat yang diberikan. Pemantauan ini dilakukan dengan dua acara yaitu dengan mengunjungi langsung ke bengkel mitra dan berkomunikasi menggunakan telepon seluler. Evaluasi hasil kegiatan dilakukan pada saat pelaksanaan sosialisasi dan pemantauan. Keberhasilan kegiatan pada saat sosialisasi dilakukan dengan tes awal dan akhir kepada peserta, serta dari diskusi tanya jawab. Evaluasi pada saat pemantauan dinilai dari tingkat penerapan alat yang telah dilakukan oleh mitra. Rangkaian semua kegiatan pelaksanaan pengabdian ini ditunjukkan seperti pada Gambar 1 di bawah ini.



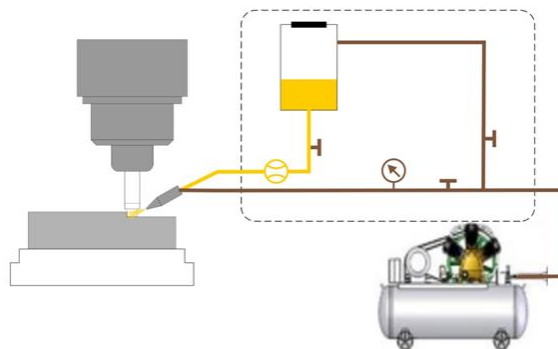
Gambar 1. Tahapan pelaksanaan kegiatan pengabdian metode pendampingan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan pendampingan ini direncanakan dimulai pada awal September 2021, namun tidak dapat terlaksana. Hal ini karena pemilik bengkel mitra dan banyak masyarakat sekitar bengkel mitra terinfeksi (positif) *Covid-19*. Kegiatan di bengkel mitra dilaksanakan terdiri atas tiga kali pertemuan, yaitu 12 September, 3 Oktober dan 1 November 2021. Pada pertemuan pertama mendiskusikan maksud tujuan pelaksanaan kegiatan, waktu sosialisasi untuk pemaparan/presentasi ke semua khalayak sasaran dan teknologi yang disampaikan. Pada pertemuan pertama ini juga melakukan penjelasan pada pimpinan mitra tentang alat MQL yang akan dihibahkan. Penjelasan meliputi perencanaan, pembuatan dan penggunaan atau prinsip kerja dari alat MQL. Dokumentasi pelaksanaan pertemuan pertama seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan skematik dari komponen alat MQL ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 2. Penjelasan tentang teknologi yang diterapkan ke pimpinan bengkel mitra



Gambar 3. Peralatan MQL dan pemberian cairan pemotongan pada diarea kontak pahat dan benda kerja

Pertemuan kedua merupakan sosialisasi yaitu ceramah dan diskusi serta demo penggunaan alat MQL. Pada pelaksanaan kegiatan ini sudah tentu tetap mematuhi protokol kesehatan dalam pencegahan dan penyebaran *Covid-19*. Pada pertemuan ini dihadiri oleh pimpinan dan karyawan dari bengkel mitra, peserta atau masyarakat yang diundang dan mahasiswa yang berjumlah 16 peserta. Hal ini diluar target yang diundang karena seperti dijelaskan diatas bahwa daerah sekitar bengkel mitra dan pemilik bengkel sebelum kegiatan terinfeksi *Covid-19*, sehingga sebagian peserta yang diundang membatalkan kehadirannya. Selain itu ada juga peserta membatalkan kehadiran karena ada kegiatan lain. Sosialisasi dilakukan meliputi kegiatan pemaparan tentang materi sebagai berikut:

- Cairan pemotongan secara umum, efek penggunaannya dan efek limbahnya.
- Alat MQL yang diterapkan sebagai metode pemberian cairan pemotongan yang ramah lingkungan.
- Perawatan alat MQL (rutin dan berkala)
- Demo penggunaan alat MQL.

Penjelasan tentang cairan pemotongan diantaranya tentang cairan pemotongan secara umum, jenis-jenis cairan pemotongan untuk pemesinan, pengaruhnya untuk pemesinan, efek positif dan negatifnya, efek pencemaran limbahnya bagi bagi manusia dan alam (tanah, udara dan air) (Byers, 2018;

Kumar et al., 2014). Ceramah tentang alat MQL sebagai salah satu metode pemberian cairan pemotongan meliputi mengapa menggunakan MQL, prinsip kerja, cara penggunaannya, syarat kapasitas cairan pemotongan yang umum diterapkan, perancangan dan pembuatan alat MQL serta perawatan yang diperlukan (Walker, 2015; Kui et al., 2021). Dokumentasi kegiatan pada saat pelaksanaan sosialisasi seperti diberikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Presentasi materi tentang cairan pemotongan



Gambar 5. Presentasi materi tentang aplikasi alat MQL

Pada kegiatan akhir pelaksanaan sosialisasi/ceramah peserta terutama pimpinan bengkel mitra ikut melakukan demo penggunaan alat MQL pada mesin bubut. Dokumentasi kegiatan demonstrasi ini ditunjukkan pada Gambar 6. Kegiatan sosialisasi ditutup dengan penyerahan alat MQL dan cairan pemotongan oleh Tim Pelaksana ke pimpinan bengkel mitra dan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Pelaksanaan demo cara penggunaan alat MQL pada mesin bubut



Gambar 7. Serah terima alat MQL dan cairan pemotongan kepada pimpinan bengkel mitra

Sepanjang pelaksanaan ceramah dan demo penggunaan MQL dilakukan komunikasi dua arah untuk tanya-jawab agar ada umpan balik dari peserta dan akan memudahkan bagi peserta untuk memahami apa yang disampaikan. Kegiatan evaluasi dilakukan pada saat pelaksanaan sosialisasi dan pemantauan. Evaluasi pada pelaksanaan sosialisasi pertama melakukan tes awal saat mulai melakukan kegiatan, tes akhir dilakukan setelah pemaparan seluruh materi dan sebelum pelaksanaan demo penggunaan alat. Selain itu evaluasi kegiatan dilihat dari respon/tanggapan yang diberikan peserta pada saat sesi tanya-jawab sepanjang kegiatan. Khusus tes awal dan akhir dilakukan bukan tes tertulis namun dengan pertanyaan lisan dan tim mencatat tanggapan atau jawaban peserta (diluar mahasiswa). Hal ini dilakukan karena situasi lingkungan yang tidak memungkinkan akibat pandemi *Covid-19*. Pertanyaan dan hasil evaluasi tes awal dan tes akhir ditabulasikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil evaluasi didapatkan bahwa menunjukkan bahwa peserta memiliki pemahaman materi yang disampaikan. Hasil ini dapat dilihat dari respon yang positif dan tanya-jawab yang diberikan. Salah satu pertanyaan yang disampaikan oleh peserta adalah tentang perbandingan yang terbaik campuran antara cairan pemotongan dengan air. Berdasarkan hasil Tabel 1, menunjukkan peningkatan pemahaman peserta untuk semua materi. Kriteria penilaian adalah bila peserta dapat menjawab pertanyaan diajukan atau memahami tentang yang disampaikan. Ada 3 kriteria penilaian yaitu belum

memahami (BP = peserta tidak dapat menjawab pertanyaan), cukup memahami (CP = peserta menjawab singkat) atau memahami (P = peserta menjawab dengan jelas dan tepat).

Tabel 1. Indikator kinerja untuk penilaian awal dan penilaian akhir pada kegiatan sosialisasi

Parameter	Pemahaman Peserta*	
	Awal Kegiatan	Setelah Kegiatan
Cairan pemotongan:		
- Apa itu cairan pemotongan dan fungsi utamanya	CP	P
- Berbagai jenis cairan pemotongan untuk pemesinan	CP	P
- Dapat memberikan contoh cairan pemotongan, seperti bromus, oli, air, dan lain-lain.	CP	P
- Efek cairan pemotongan bagi operator dan lingkungan	BP	P
Pemberian cairan pemotongan dengan MQL:		
- Metode pemberian cairan pemotongan metode MQL dan prinsip kerja	BP	P
- Cara penggunaan alat MQL yang diterapkan	CP	P
- Syarat kapasitas cairan pemotongan menggunakan MQL	BP	P
- Perancangan dan pembuatan alat MQL	BP	CP
- Perawatan (rutin dan berkala)	CP	P

* Kriteria penilaian: Belum Paham (BP), Cukup Paham (CP), dan Paham (P)

Pada penjelasan tentang cairan pemotongan, peserta secara umum cukup memahaminya karena dalam kehidupan sehari-hari peserta mengetahui ataupun tahu bagaimana cara proses pendinginan suatu komponen atau mesin yang bergerak yang mungkin akan menimbulkan panas. Dari cakupan pertanyaan yang diberikan dapat dikatakan pada awal kegiatan peserta 55.6% cukup paham terutama tentang topik cairan pemotongan. Dan 44.4% belum paham yaitu pada efek dari penggunaan cairan pemotongan bagi operator dan lingkungan serta sebagian besar tentang pemberian cairan pemotongan menggunakan MQL. Peserta 88,9% memahami materi pada akhir kegiatan dan 11,1% cukup paham tentang perancangan dan pembuatan alat MQL. Sementara itu tes berkaitan pemaparan tentang MQL secara umum peserta menanggapinya sebagai suatu metode baru sehingga sebagian besar belum memahami teknologi ini, namun setelah melakukan sosialisasi dan demo peserta memahaminya. Kesulitan bagi peserta yang hanya cukup memahami adalah syarat perancangan dan pembuatan terutama pada nosel dan kombinasi tekanan yang diberikan untuk menghasilkan kapasitas tertentu.

Evaluasi saat pemantauan setelah kegiatan dilakukan adalah melihat keberlanjutan penerapan teknologi yang diberikan, kendala yang mungkin dihadapi pada penerapan peralatan yang diberikan, dan lain sebagainya. Dari hasil pemantauan didapat hasil pimpinan bengkel mitra mulai mampu menggunakan (a) alat MQL dengan baik, (b) sudah mampu mengatur laju aliran (pengaturan katup) yang diinginkan, (c) mencoba beberapa jenis cairan pemotongan. Selain itu mitra mengharapkan komunikasi terus berlanjut khususnya bila ada permasalahan baik khusus maupun umum tentang masalah pemesinan. Dokumentasi pemantauan ke bengkel mitra seperti ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 8. Diskusi pada saat pemantauan bersama pimpinan dan karyawan bengkel mitra



Gambar 9. Diskusi permasalahan pada penerapan alat MQL

KESIMPULAN

Kegiatan pendampingan di bengkel mesin perkakas mitra telah dilaksanakan, dengan dihadiri khalayak sasaran baik dari masyarakat yang diundang pimpinan dan karyawan bengkel mitra serta mahasiswa. Jumlah peserta yang hadir tidak sesuai target yang diharapkan karena terkendala gelombang *Covid-19*. Pengetahuan yang disampaikan sangat bermanfaat bagi industri kecil mesin perkakas terutama bengkel mitra. Proses sosialisasi disambut antusias dengan respon yang baik dari para peserta kegiatan menghasilkan peningkatan pemahaman dan interaksi diskusi tanya-jawab. Respon diskusi tanya-jawab yang erat terkait materi yang dipaparkan merupakan umpan balik yang menunjukkan bahwa kegiatan telah berjalan sesuai harapan. Selain itu keberhasilan dapat dilihat juga dari tes awal dan tes akhir yang diberikan menunjukkan peningkatan pemahaman materi yang diberikan. Para peserta pada awal kegiatan dikategorikan 44,4% belum memahami dan 55,6% cukup memahami dari semua materi yang disampaikan. Namun pada akhir kegiatan 88,9% peserta telah memahami dan hanya 11,1% cukup memahami materi.

Pada pelaksanaan pemantauan, dapat dievaluasi bahwa mitra telah mampu mengaplikasikan alat MQL yang diberikan, mengoperasikan dengan baik dan pengaturan katup untuk kapasitas pengeluaran cairan pemotongan serta mencoba menggunakan beberapa jenis cairan pemotongan. Selain itu

pimpinan bengkel mitra mengharapkan dari pihak Perguruan Tinggi memberikan kegiatan yang berkelanjutan ataupun kegiatan yang berhubungan dengan peningkatan usaha mereka. Hal ini bertujuan untuk memberikan perkembangan positif pada usaha bengkel mitra.

Keberlanjutan kegiatan kedepannya adalah (1) Bengkel mitra diharapkan menginformasikan peralatan yang diaplikasikan ke bengkel serupa lainnya sehingga lebih banyak yang menerapkan alat tersebut. (2) Pelatihan lanjutan pada bengkel mitra untuk mengoptimalkan alat MQL sehingga lebih praktis penggunaannya seperti menambahkan bagian pengukur kapasitas cairan pemotongan yang terpakai, Selain itu memberikan pelatihan lainnya seperti usaha peningkatan kemampuan mesin perkakas yang ada dengan alat tambahan (attachment). (3) Pelatihan serupa dimungkinkan juga dilakukan pada bengkel mesin perkakas lain sehingga pemanfaatan alat MQL tersebut lebih tersebar penggunaannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada LPPM Universitas Sriwijaya sebagai pemberi bantuan dana dengan nomor kontrak 0037.03/UN9/SB3.LP2M.PT/2021.

DAFTAR RUJUKAN

- Benedicto, E., Carou, D., & Rubio, E. M. (2017). Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems Used in Machining Processes. *Procedia Engineering*, 184, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.075>
- Benedicto, Elisabet, Rubio, E. M., Aubouy, L., & Sáenz-Nuño, M. A. (2021). Formulation of sustainable water-based cutting fluids with polyol esters for machining titanium alloys. *Metals*, 11(5), 1–11. <https://doi.org/10.3390/met11050773>
- Boswell, B., Islam, M. N., Davies, I. J., Ginting, Y. R., & Ong, A. K. (2017). A review identifying the effectiveness of minimum quantity lubrication (MQL) during conventional machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 321–340. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0142-3>
- Byers, J. P. (2018). Metalworking Fluids. In *CRC Press-Taylor & Francis Group* (Third Edit). CRC Pres-Taylor & Francis Group.
- Debnath, S., Reddy, M. M., & Yi, Q. S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: A Review. *Journal of Cleaner Production*, 83, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.071>
- Grzesik, W. (2017). Advanced Machining Processes of Metallic Materials - Theory, Modelling, and Applications. In *Elsevier* (Second Edi). Joe Hayton. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63711-6.00021-1>
- Gupta, K. (2020). A review on green machining techniques. *Procedia Manufacturing*, 51(2020), 1730–1736. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.241>
- Jain, A., & Kansal, H. (2017). Green Machining – Machining Of The Future. *4th*

- National Conference on Advancements in Simulation & Experimental Techniques in Mechanical Engineering (NCASEme-2017)*, March, 21–25.
- Kaynak, Y., Lu, T., & Jawahir, I. S. (2014). Cryogenic Machining-Induced Surface Integrity: A Review and Comparison with Dry, MQL, and Flood-Cooled Machining. *Machining Science and Technology*, 18(2), 149–198. <https://doi.org/10.1080/10910344.2014.897836>
- Kui, G. W. A., Islam, S., Reddy, M. M., Khandoker, N., & Chen, V. L. C. (2021). Recent progress and evolution of coolant usages in conventional machining methods: a comprehensive review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1–2), 1–38. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08182-0>
- Kumar, P., Jafri, S. A. H., Bharti, P. K., & Siddiqui, M. A. (2014). Study of Hazards Related To Cutting Fluids and Their Remedies. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(7), 1225–1229. <https://www.ijert.org/study-of-hazards-related-to-cutting-fluids-and-their-remedies>
- Salem, A., Hopkins, C., Imad, M., Hegab, H., Darras, B., & Kishawy, H. A. (2020). Environmental analysis of sustainable and traditional cooling and lubrication strategies during machining processes. *Sustainability*, 12(20), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su12208462>
- Sharma, V. S., Singh, G., & Sorby, K. (2015). A review on minimum quantity lubrication for machining processes. *Materials and Manufacturing Processes*, 30(8), 935–953. <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.994759>
- Stephenson, D. A., & Agapiou, J. S. (2016). *Metal Cutting Theory and Practice* (Third Edit). CRC Pres-Taylor & Francis Group.
- Tang, L., Zhang, Y., Li, C., Zhou, Z., Nie, X., Chen, Y., Cao, H., Liu, B., Zhang, N., Said, Z., Debnath, S., Jamil, M., Ali, H. M., & Sharma, S. (2022). Biological Stability of Water-Based Cutting Fluids: Progress and Application. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35(3), 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s10033-021-00667-z>
- Walker, T. (2015). *The MQL Handbook - A guide to machining with Minimum Quantity Lubrication*. Unist, Inc. V1.0.7.
- Wu, X., Li, C., Zhou, Z., Nie, X., Chen, Y., Zhang, Y., Cao, H., Liu, B., Zhang, N., Said, Z., Debnath, S., Jamil, M., Ali, H. M., & Sharma, S. (2021). Circulating purification of cutting fluid: an overview. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117(9–10), 2565–2600. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07854-1>
- Yanis, M., Firdaus, A., Yuliasari, N., & Budiman, A. Y. (2020). *Prediksi Optimasi Kualitas Permukaan Menggunakan Artificial Neural Networks pada Pemesinan Hijau (Green Machining)*. LPPM Universitas Sriwijaya.