

Karakteristik *Minimum Quantity Lubrication* Dengan Pelumas Nabati Terhadap Jarak Potong dan *Flank Wear* Pahat *Carbide*

Istyawan Priyahapsara

Teknik Penerbangan, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto Yogyakarta
Jl Janti Blok R Lanud Adisutjipto, Yogyakarta
istyawanpriyahapsara@gmail.com

Abstract

Machining using coolant causing environmental problems. Improper coolant waste handling can damage surrounding environment. In Minimum Quantity Lubrication (MQL) there are lubrication that can reduce friction force between tool and working material thereby can reduce the rate of temperature rise, and can improve tool life. The purpose of this research is to analyze the use of vegetable oil lubricant as alternative MQL lubricant on cutting distance and flank wear of the work material.

This research using vegetable oils consisted of palm oil, coconut oil, soybean oil, and maize (corn) oil. Those vegetable oils were tested their physical properties to be compared with ester oil especially the kinematic viscosity and flash point properties. Turning process were done until flank wear reach 0.3 mm.

Soy bean are choose as the best vegetable oil used as MQL. Compared with dry, MQL soy bean produce longer cutting distance. Compared with wet and MQL ester oil, soy bean oil produce shorter life tool.

Keywords: MQL, lubricants, flank wear, cutting distance

1. Pendahuluan

Pemberian coolant untuk mengurangi laju keausan carbide ternyata menyisakan masalah. Limbah industri yang dihasilkan coolant sulit ditangani [1].

Minimum quantity lubrication (MQL) adalah teknik pelumasan dimana pelumas dan udara bertekanan ditembakkan ke area kontak antara *carbide* dengan benda kerja, pelumasan yang terjadi mengurangi gesekan antara *carbide* dengan benda kerja sehingga mengurangi laju kenaikan temperatur pahat dan menaikkan umur pahat [2].

Pada penelitian ini akan dilakukan proses permesinan menggunakan teknik MQL dengan variasi pelumas minyak nabati. Proses pembubutan dilakukan pada material mild steel, yang merupakan material yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Permesinan juga dilakukan secara kering (tanpa *coolant*) dan secara basah (dengan *coolant*).

Tujuan Penelitian ini adalah untuk Mengetahui pengaruh teknik pelumasan minyak nabati terhadap keausan carbide pada permesinan *mild steel*.

Penggunaan minyak nabati pada proses pembubutan AISI 9310 pernah dilakukan [3]. Dalam penelitian ini digunakan mesin Lathe, 15 hp, dengan laju aliran 100 mL/jam, dengan *lubricant* berbasis minyak nabati (Fuchs Ecocut San 220). Permesinan dilakukan permesinan *dry*, *wet* dan MQL dengan variasi *cutting speed* dan laju pemakanan. Dilakukan pengukuran temperatur, pola tatal, keausan pahat dan kekasaran permukaan benda kerja. Hasil penelitian menunjukkan dengan naiknya *cutting speed* semakin tinggi pula temperatur permesinannya, dalam penelitian ini juga disebutkan proses MQL dengan minyak nabati menghasilkan warna tatal yang biru dan emas tetapi tidak terjadi warna yang menunjukkan yang terbakar seperti yang terjadi pada proses *dry* dan *wet*. Kekasaran permukaan dan keausan pahat MQL minyak nabati menunjukkan peningkatan dibanding proses *dry* dan *wet*. Namun dalam penelitian ini tidak dilakukan perbandingan performa antara MQL minyak nabati dengan MQL yang umum dipakai seperti *ester*.

Penelitian dengan menggunakan minyak kelapa sawit sebagai *lubricant* MQL dalam

permesinan *milling* menggunakan pahat *insert carbide* TiAlN dan AlTiN dilakukan[4]. Dalam penelitian ini dilakukan variasi jenis perlakuan secara *dry*, *flood*, *MQL fatty alcohol*, dan *MQL* kelapa sawit. Hasil penelitian ini menunjukkan teknik *MQL* menggunakan minyak kelapa sawit memberikan keausan pahat yang lebih rendah dibanding teknik permesinan yang lain.

Penelitian mengenai performa minyak ester dan minyak kelapa sawit pada proses *high speed drilling* Ti-6Al-4V dengan teknik *MQL* pernah dilakukan [5]. Selama penelitian, keausan pahat, pola keausan, gaya potong dan permukaan benda kerja dimonitor. Pengukuran temperatur juga dilakukan menggunakan *thermocouple* untuk mempelajari kemampuan fluida permesinan. Hasilnya adalah antara minyak ester ataupun minyak kelapa sawit menunjukkan kemampuan yang sebanding dalam keausan pahat. Dalam kemampuan mengurangi gaya potong dan hasil akhir permukaan benda kerja, minyak kelapa sawit mengungguli minyak ester akibat kemampuannya dalam mengurangi temperatur pada saat proses *drilling*. Kekurangan dalam penelitian adalah tidak menggunakan minyak nabati lain sebagai *lubricant* *MQL* untuk dibandingkan performanya dengan ester.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat Penelitian

2.1.1. Bahan

1. Pahat: pahat jenis *insert carbide* merk sumitomo DCMT070204N-SU
2. *Workpiece*: *mild steel* diameter 2 inchi
3. *Lubricant*: minyak nabati (minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jagung, minyak kedelai)

2.1.2. Alat

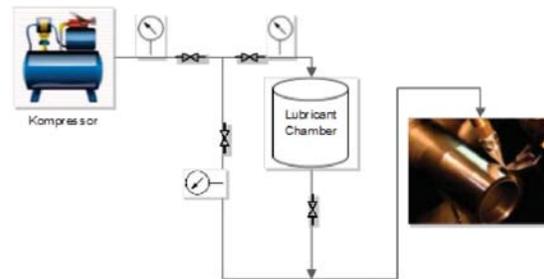
1. Unit *Minimum Quantity Lubrication* (*MQL*): piranti yang akan digunakan sebagai media *spray lubricant* pada pahat.
2. Mesin CNC bubut: alat utama yang digunakan untuk pembubutan. Mesin yang digunakan Denford Cyclone P.
3. *USB microscope*: alat yang digunakan untuk mengamati pembentukan *flank wear*.
4. Mesin gergaji: alat yang digunakan untuk memotong spesimen yang akan dibubut di mesin.
5. *Thermocouple type K*: alat yang digunakan untuk pembacaan temperatur pahat.

6. *Stop watch*: digunakan untuk mengukur waktu pembubutan
7. Kompresor: digunakan sebagai pemasuplai udara bertekanan untuk unit *MQL*

2.2. Tahapan Penelitian

2.2.1. Instalasi alat MQL

Gambar 1 menunjukkan skema unit *MQL*,



Gambar 1 Skema unit *MQL*.

2.2.2. Pengujian *lubricant*

1. Semua *lubricant* yang akan digunakan di uji karakter fisiknya. Pengujian terdiri dari:
2. Viskositas kinematis (40°) menggunakan metode pengujian ASTM D-455.
3. Viskositas kinematis (100°) menggunakan metode pengujian ASTM D-455
4. Indeks viskositas menggunakan metode ASTM D-2270
5. *Flash point* menggunakan metode ASTM D-92.

2.2.3. Pembubutan benda kerja

Pahat digunakan untuk membubut baja *mild steel* dengan tiga perlakuan: *dry*, *flood*, dan *MQL*. Panjang benda kerja 190 mm dan berdiameter 2 inchi (50.8 mm). Sebelum dilakukan pembubutan pengujian, benda kerja dibubut terlebih dahulu hingga mencapai diameter 50 mm dan panjang 175 mm menggunakan pahat yang tidak diuji. Ketebalan pemakanan 1 mm, kecepatan potong sesuai rekomendasi produsen *insert carbide* 160 m/min, *feedrate* 0.05 mm/putaran. Pengukuran keausan dilakukan setiap 2-4 siklus pembubutan dan dicatat lebar *flank wear*-nya hingga mencapai *flank wear* 0.3 mm.

1. Pembubutan secara *dry*: benda kerja dibubut tanpa menggunakan pendinginan.
2. Pembubutan *MQL* dengan variasi minyak nabati: benda kerja dibubut dengan variasi minyak nabati dengan aliran 60 mL/jam.

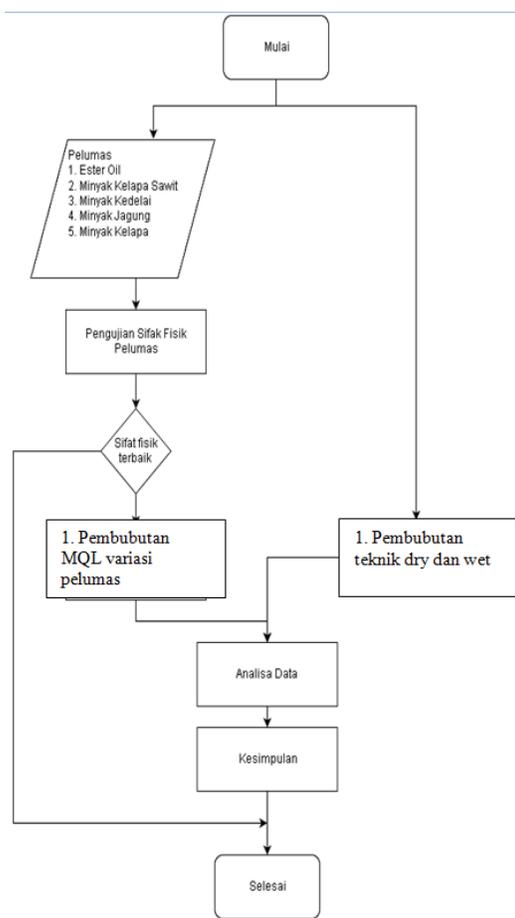
3. Pembubutan MQL minyak nabati dengan variasi aliran: benda kerja dibubut dengan minyak nabati terbaik dengan variasi aliran 60 mL/jam, 120 mL/jam, 180 mL/jam, 240 mL/jam, dan 300 mL/jam.
4. Pembubutan MQL ester dengan variasi aliran: benda kerja dibubut dengan *ester oil* terbaik dengan variasi aliran 60 mL/jam, 120 mL/jam, 180 mL/jam, 240 mL/jam, dan 300 mL/jam.
5. Pembubutan secara *wet*: benda kerja dibubut dengan *coolant* merk Beltran, dengan campuran 1:10 terhadap air.

2.2.4. Pengukuran keausan pahat

Pengukuran flank wear pahat menggunakan *USB microscope*.

2.2.5. Diagram alir penelitian

Gambar 2 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil pengujian benda kerja permesinan

Pengujian spectometer untuk mengetahui unsur benda kerja permesinan dilakukan di Laboratorium Logam Ceper, Politeknik Manufaktur Ceper. Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian.

Tabel 1 Komposisi kimia benda kerja pembubutan.

Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	Al (%)
94.6	0.179	0.907	0.626	<0.005	<0.005	0.141	0.253	I	0.013
Co (%)	Cu (%)	Nb (%)	Ti (%)	V (%)	W (%)	Pb (%)	Ca (%)	Zr (%)	
0.265	0.108	0.200	0.0762	0.0916	1.25	0.108	0.0011	0.0845	

Berdasar hasil pengujian, terlihat bahwa benda kerja yang dibubut mendekati spesifikasi standar AISI 1018[6]

3.2 Pengujian sifat teknis minyak nabati

Minyak nabati dan minyak ester (kontrol) diuji sifat teknisnya di Laboratorium Teknologi Minyak Bumi Gas dan Batubara, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Minyak nabati yang diujikan berupa minyak kelapa sawit, minyak kedelai, minyak jagung dan minyak kelapa. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sifat teknis minyak.

Berdasarkan hasil pengujian dipilih minyak kedelai, minyak jagung dan minyak kelapa sawit sebagai minyak nabati yang akan diuji kemampuannya sebagai *lubricant* alternatif MQL. Minyak kedelai dan minyak jagung dipilih karena memiliki viskositas kinematis 40°C yang dekat dengan minyak ester. Minyak kelapa sawit dipilih karena memiliki viskositas kinematis 40 °C yang lebih tinggi dibanding *lubricant* kontrol, hal ini sesuai dengan [7] yang menyatakan semakin tinggi nilai viskositas minyak nabati akan meningkatkan efek lubrikasi. Selain itu ketiga minyak nabati tersebut memiliki indek viskositas yang lebih tinggi dibanding *lubricant* kontrol yang artinya kemampuan mempertahankan viskositas pada suhu tinggi lebih baik dibanding minyak ester sehingga diharapkan saat proses pembubutan pada suhu tinggi kemampuan melumasinya lebih baik dibanding minyak ester. Minyak kelapa tidak dipilih karena memiliki viskositas kinematis 40 °C yang

lebih rendah dibanding ester, selain itu minyak ini memiliki *flash point* yang lebih rendah dibanding minyak nabati lain.

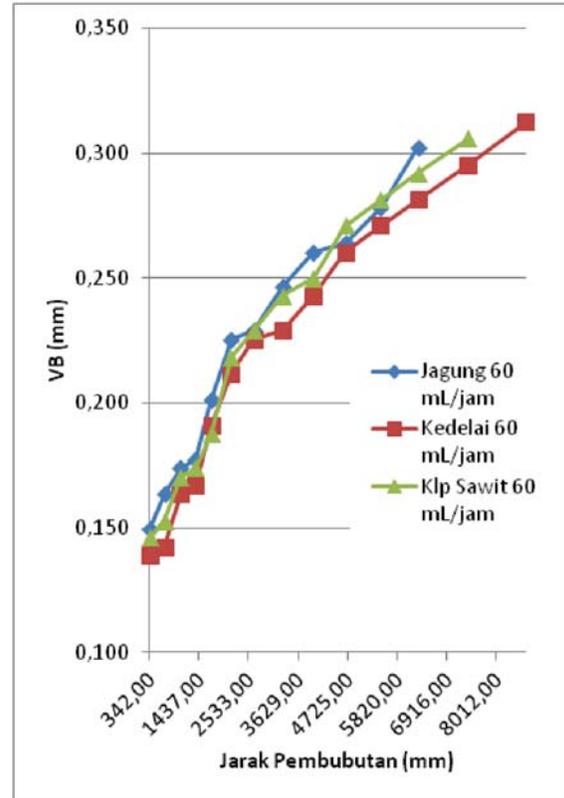
Tabel 2 Hasil uji sifat teknis media MQL.

No.	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pemeriksaan					Metode
			Ester	Kelapa	Kedelai	Jagung	Kelapa sawit	
1.	Viskositas kinematis (40°)	mm ² /s	34.58	27.47	31.68	32.20	40.17	ASTM D-455
2.	Viskositas kinematis (100°)	mm ² /s	4.793	6.084	7.763	7.867	8.577	ASTM D-455
3.	Index viskositas		20.5	156.5	166.8	166.5	155.2	ASTM D 2270
4.	<i>Flash Point</i> COC	°C	182	272	*)	*)	*)	ASTM D 92

*) Sampai dengan 320 °C belum terjadi *flash point* dan sampel berasap

Berdasarkan hasil pengujian Tabel 2 dipilih minyak kedelai, minyak jagung dan minyak kelapa sawit sebagai minyak nabati yang akan diuji kemampuannya sebagai *lubricant* alternatif MQL. Minyak kedelai dan minyak jagung dipilih karena memiliki viskositas kinematis 40 °C yang dekat dengan minyak ester. Minyak kelapa sawit dipilih karena memiliki viskositas kinematis 40 °C yang lebih tinggi dibanding [7] yang menyatakan semakin tinggi nilai viskositas minyak nabati akan meningkatkan efek lubrikasi. Selain itu ketiga minyak nabati tersebut memiliki indek viskositas yang lebih tinggi dibanding *lubricant* kontrol yang artinya kemampuan mempertahankan viskositas pada suhu tinggi lebih baik dibanding minyak ester sehingga diharapkan saat proses pembubutan pada suhu tinggi kemampuan melumasinya lebih baik dibanding minyak ester. Minyak kelapa tidak dipilih karena memiliki viskositas kinematis 40 °C yang lebih rendah dibanding ester, selain itu minyak ini memiliki *flash point* yang lebih rendah dibanding minyak nabati lain.

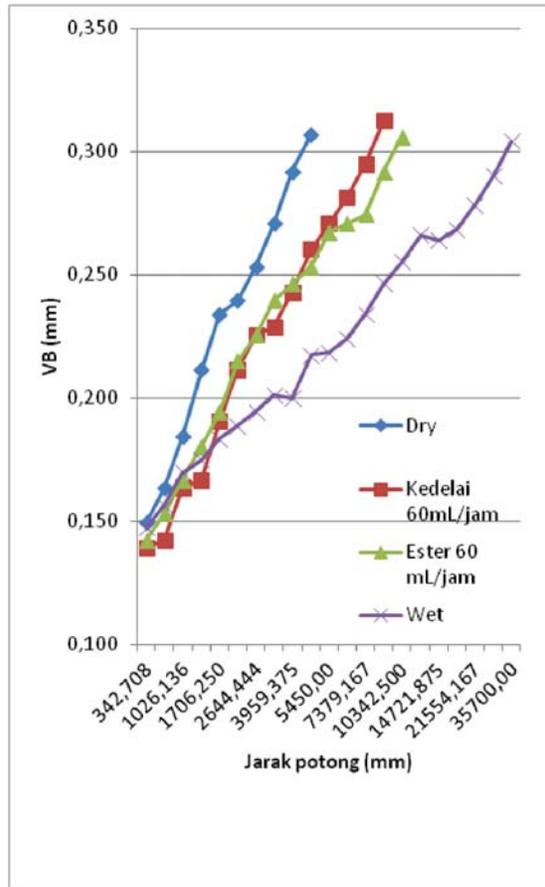
3.3. Pengujian keausan pahat dengan media minyak nabati.



Gambar 3 Perbandingan *flank wear* (VB) antar minyak nabati.

Minyak kedelai unggul pada nilai indek viskositas artinya saat suhu pemotongan yang tinggi minyak ini mampu mempertahankan viskositasnya sehingga mampu memberikan lapisan pelumas yang lebih baik pada suhu potong yang tinggi dibanding minyak kelapa sawit dan minyak jagung. Sehingga dapat diputuskan minyak kelapa kedelai sebagai *lubricant* MQL minyak nabati terbaik diantara yang lain.

3.4. Pengujian keausan pahat *dry*, *wet*, MQL ester 60 mL/jam, dan MQL minyak kelapa sawit 60 mL/jam.



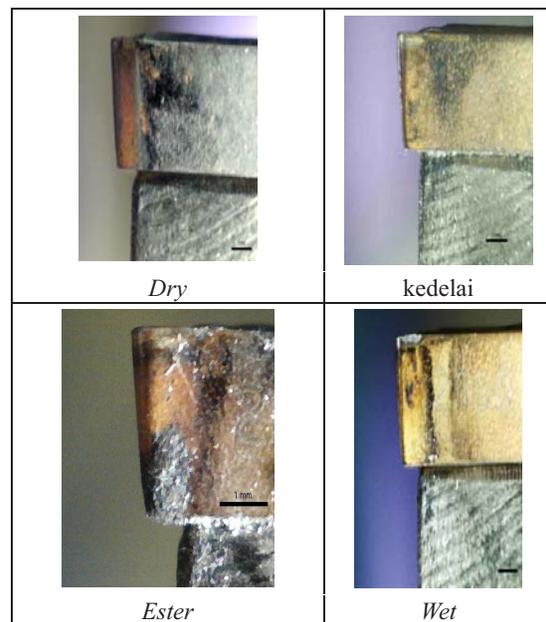
Gambar 3. Hasil pengujian keausan pahat *dry*, *wet*, MQL ester 60 mL/jam, dan MQL kedelai 60 mL/jam

Dari Gambar 3, umur pahat dengan teknik *dry* memiliki umur yang paling pendek. Hal ini terjadi karena terjadi kontak langsung antara pahat dengan benda kerja tanpa adanya usaha pendinginan maupun pelumasan yang bisa mengurangi laju kenaikan temperatur yang berakibat pada terjadinya keausan yang lebih dini.

Teknik MQL secara umum dapat memperpanjang umur pahat dibanding teknik *dry* karena proses lubrikasinya menyebabkan berkurangnya gesekan pada titik kontak antara pahat dengan benda kerja. Semakin kecil gesekan maka semakin kecil pula laju pemanasan pahat hal ini akan membantu berkurangnya keausan secara *abrasive* yang meningkatkan kemampuan mempertahankan kekerasan pahat. Selain itu keausan *adhesive* dan keausan difusi juga berkurang karena jenis keausan ini sangat peka terhadap temperatur.

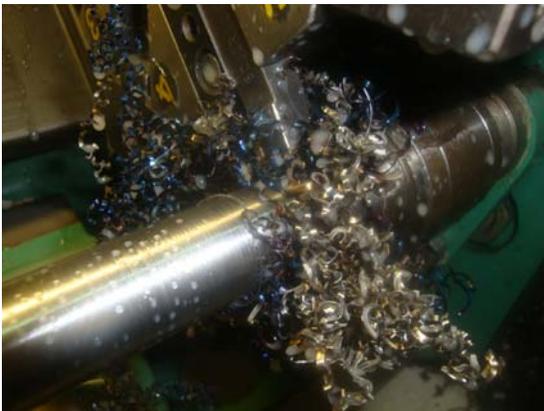
Teknik MQL secara umum dapat memperpanjang umur pahat dibanding teknik *dry* karena proses lubrikasinya menyebabkan berkurangnya gesekan pada titik kontak antara pahat dengan benda kerja. Semakin kecil gesekan maka semakin kecil pula laju pemanasan pahat hal ini akan membantu berkurangnya keausan secara *abrasive* yang meningkatkan kemampuan mempertahankan kekerasan pahat. Selain itu keausan *adhesive* dan keausan difusi juga berkurang karena jenis keausan ini sangat peka terhadap temperatur.

Gambar 4 menunjukkan bentuk keausan pahat yang terjadi antara perlakuan *dry*, MQL minyak kedelai 60 mL/jam, MQL ester 60 mL/jam, dan *wet*.



Gambar 4. Foto *flank wear* pahat (lanjutan).

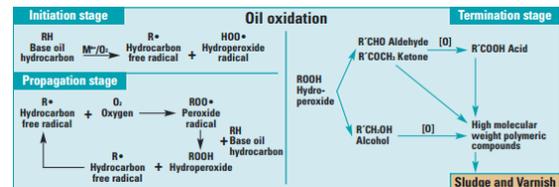
Gambar 5 menunjukkan anomali dimana aliran MQL minyak ester dan MQL minyak kedelai yang pada awalnya menunjukkan pertumbuhan VB yang lebih baik dibanding *wet*, menunjukkan kenaikan drastis di suatu titik pengujian (MQL minyak kelapa sawit menit 37.4; MQL minyak ester menit 55.1) sehingga umur pahatnya menjadi lebih pendek dibanding proses *wet*. Hal ini dikarenakan pada titik tertentu terjadi pertumbuhan tatal kontinyu yang terlalu banyak sehingga hal ini menghalangi proses penembakan *lubricant* ke arah kontak antara pahat dan benda kerja (Gambar 5). Penyebab timbulnya tatal kontinyu ini karena nilai gesekan yang rendah antara pahat dengan benda kerja [8]. Minyak kelapa sawit memiliki nilai viskositas dan indeks viskositas yang lebih tinggi dibanding minyak ester sehingga menghasilkan nilai gesek yang lebih rendah dibanding minyak ester, rendahnya gaya gesek ini menyebabkan timbulnya tatal yang kontinyu yang lebih awal dibanding MQL ester. Dengan tidak sampainya lubrikasi di titik kontak menyebabkan naiknya gaya gesek sehingga menaikkan temperatur maka semakin tinggi tingkat keausan pahat.



Gambar 5 Tatal yang menghalangi MQL.

Penyebab lain kenapa umur pahat MQL minyak kelapa sawit lebih pendek dari MQL minyak ester adalah terjadinya proses oksidasi. Ikatan hidrokarbon minyak kelapa sawit ($C_{55}H_{96}O_6$) beraksi dengan oksigen. Temperatur pemotongan yang tinggi juga mempertinggi kemungkinan terjadinya proses oksidasi. Proses ini terjadi dalam tiga tahap yaitu tahap *initiation*, tahap *propagation*, dan tahap *termination* [9](Gambar 6). Pada tahap *initiation* hidrokarbon beraksi dengan oksigen

membentuk hidrokarbon radikal bebas. Selanjutnya hidrokarbon radikal bebas beraksi lanjut dengan oksigen membentuk perioksida radikal pada tahap *propagation*. Peroksida radikal ini sangat reaktif dan beraksi lanjut dengan hidrokarbon dari minyak. Hal ini menghasilkan hidroperoksida dan hidrokarbon radikal bebas, yang beraksi dengan oksigen. Pada tahapan terakhir, hidroperoksida yang terbentuk pada proses sebelumnya membentuk *compound* teroksidasi seperti *aldehydes*, *ketones*, alkohol, dan air. *Compound* ini beraksi lanjut membentuk asam organik dan produk yang memiliki berat molekular yang tinggi. Polikondensasi dan polimerisasi lanjut produk-produk tersebut berujung terbentuknya produk *insoluble* seperti *sludge*, yang berwujud lapisan tipis membentuk deposit pada permukaan logam. Deposit ini mampu menjebak kontaminan keras menghasilkan permukaan *sandpaper*, yang mempercepat proses terjadinya keausan.



Gambar 6. Proses oksidasi pada hidrokarbon [9]

Selama proses permesinan *wet* juga terjadi tatal kontinyu tapi tidak sesering saat proses MQL sehingga proses pendinginan lebih sering. Selain itu area yang terpapar *coolant* lebih luas dibanding area lubrikasi MQL sehingga proses pendinginan proses *wet* lebih baik dibanding MQL.

4. Kesimpulan

Teknik MQL menghasilkan umur pahat lebih tinggi dibanding proses *dry*, tetapi masih tidak bisa menyamai atau melebihi teknik *wet*. Terhadap MQL kedelai lebih tinggi sebesar 47.1 % dibanding proses *dry*, sedangkan terhadap MQL *ester* meningkat sebesar 55.4 % dibanding proses *dry*. Tetapi *lubricant* minyak nabati kedelai menghasilkan umur pahat yang masih lebih rendah dari pada *lubricant ester* sebesar 17.5 %.

5. Saran

1. Untuk menghindari tatal kontinyu yang menghalangi *nozzle* disarankan untuk

menggunakan parameter permesinan yang lebih tinggi dari pada rekomendasi pahat, dan penggunaan materail pembubutan yang lebih keras seperti baja karbon tinggi atau besi cor.

2. Perlu tempat pengujian dengan sistem ventilasi yang lebih baik, karena teknik MQL menghasilkan produk sampingan berupa asap hasil terbakarnya *lubricant*.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto yang telah memberi dukungan financial terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] EPA, 2010, Screening-Level Hazard Characterization Polyol Esters Category http://www.epa.gov/chemrtk/hpvis/hazchar/Category_Polyol%20Esters_September_%202010.pdf.
- [2] Klocke, 2011, *Manufacturing Processes 1*, Springer, Berlin
- [3] Khan M. M. A., Mithu M. A. H., Dhar D. R., 2009, *Effects of Minimum Quantity Lubrication on Turning AISI 9310 Alloy Steel using Vegetable Oil-based Cutting Fluid*, *Journal of Materials Processing Technology*, 5573–5583
- [4] Sharif S., Yusuf N. M., Idris M. H., Ahmad Z. A., Sudin I., Ripin A., Zin A. H., 2009, *Feasibility Study Of Using Vegetable Oil As A Cutting Lubricant Through The Use Of Minimum Quantity Lubrication During Machining*, Fundamental Research Grant Scheme, Universiti Teknologi Malaysia
- [5] Rahim E. H., Sasahara H., 2009, *Performance of Palm Oil as MQL Fluid during High Speed Drilling of Ti-6Al-4V*, 5th International Conference On Leading Edge Manufacturing In 21st Century
- [6] ASM Handbook, 1990, *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*, ASM International..
- [7] Safian, S., Hisyam, M. A. And Aman, S., Evaluation of Vegetable Oil As Alternative Cutting Lubricant When End Milling Martensitic Stainless Steel Using Uncoated Carbide Tool, *Journal of Advanced Manufacturing And Technology*, Vol 3 No.2, 2009
- [8] Groover, M. P., 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing (Materials, Processes, and Systems)*, Prentice – Hall, USA.
- [9] Ancho. L.V., 2006, *Oxidation in Lubricant Base Oils*, The Filter No. 4