

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pemesinan logam (*machining*) memegang peranan penting dalam produksi komponen presisi pada industri manufaktur modern. Berbagai faktor menjadi penentu keunggulan kompetitif suatu produk maupun proses manufaktur, di antaranya akurasi geometris, kualitas permukaan hasil pemesinan, umur pakai pahat, efisiensi penggunaan energi, serta dampak terhadap lingkungan. Namun, proses pemesinan konvensional masih menghadapi sejumlah kendala yang dapat menurunkan kualitas permukaan dan produktivitas. Permasalahan tersebut umumnya ditandai oleh tingginya temperatur selama proses pemotongan, percepatan keausan pahat (*tool wear*), serta meningkatnya gaya gesek yang terjadi [1]. Proses pemesinan baja karbon menengah menghadapi berbagai permasalahan tribologi, seperti tingginya tingkat gesekan, meningkatnya temperatur selama proses pemotongan, serta laju keausan pahat yang lebih cepat. Oleh karena itu, diperlukan penerapan teknologi pelumasan dan pendinginan yang lebih optimal untuk mengatasi permasalahan tersebut. Selain mampu meningkatkan efektivitas proses pemesinan, teknologi ini juga berkontribusi pada efisiensi penggunaan energi serta mendukung praktik manufaktur yang lebih ramah lingkungan [2].

Metode *minimum quantity lubrication* (MQL) merupakan alternatif terhadap sistem pelumasan konvensional dengan mampu menurunkan penggunaan fluida hingga sekitar 95%, sehingga mengurangi dampak lingkungan serta biaya yang diperlukan untuk pengelolaan limbah. Penerapan metode ini sejalan dengan perkembangan industri global yang mengarah pada proses manufaktur yang lebih bersih dan berkelanjutan. MQL bekerja dengan menyemprotkan aerosol pelumas bertekanan rendah untuk membentuk lapisan pelumas tipis pada zona pemotongan tanpa membasahi seluruh area kerja. Dibandingkan dengan metode pelumasan konvensional, penggunaan MQL menawarkan berbagai keuntungan, seperti meningkatkan umur pakai pahat, menurunkan temperatur pemotongan, serta menghasilkan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) yang lebih rendah [3].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, metode *minimum quantity lubrication* (MQL) masih memiliki keterbatasan, terutama pada efisiensi pendinginan, kemampuan membentuk *tribofilm* yang stabil, serta perlindungan terhadap keausan pahat. Keterbatasan tersebut menjadi tantangan dalam penerapan MQL untuk pemesinan material berkekerasan tinggi maupun pada kondisi pemotongan yang ekstrem. Sebagai upaya mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan pendekatan inovatif melalui penambahan nanopartikel ke dalam fluida pelumas (*nanofluids*) untuk meningkatkan karakteristik termal dan tribologinya. Salah satu nanopartikel yang berpotensi digunakan adalah MXene, yang memiliki struktur kristal berlapis sehingga mampu mengurangi gesekan dan meningkatkan pembentukan lapisan pelumas pada permukaan kontak. Dengan demikian, penggunaan MXene berpotensi menekan keausan pahat sekaligus meningkatkan kualitas permukaan hasil proses pemesinan [4].

Pemanfaatan nanopartikel dalam metode *minimum quantity lubrication* (MQL) telah menjadi fokus berbagai penelitian untuk meningkatkan kualitas hasil proses pemesinan. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Naguib *et al.* melaporkan bahwa MXene memiliki sejumlah karakteristik unggul, antara lain struktur dua dimensi berlapis, konduktivitas listrik yang tinggi, serta sifat hidrofilik yang berasal dari gugus fungsi permukaan seperti O, OH, dan F. Selain itu, proses delaminasi menjadi lembaran tunggal maupun multilapis dapat meningkatkan luas permukaan spesifik serta reaktivitas material tersebut. Kombinasi karakteristik struktural dan fungsional tersebut menjadikan MXene sebagai material yang sangat berpotensi tinggi untuk berbagai aplikasi, terutama pada bidang penyimpanan energi, perangkat elektronik, dan tribologi [5].

Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan fluida *minimum quantity lubrication* (MQL) yang mengandung nanopartikel MXene mampu meningkatkan kinerja proses pemesinan secara signifikan. Peningkatan tersebut ditunjukkan oleh penurunan nilai kekasaran permukaan dan tingkat keausan pahat, serta peningkatan umur pakai pahat dibandingkan dengan penggunaan fluida MQL konvensional. Kinerja tersebut dipengaruhi oleh kemampuan MXene dalam memfasilitasi pembentukan *tribofilm* dan mengurangi gesekan pada zona kontak. Karakteristik tersebut didukung oleh struktur berlapis serta konduktivitas termal MXene yang

tinggi, sehingga mampu meningkatkan efektivitas pelumasan dan perpindahan panas selama proses pemesinan [6]. Hasil uji tribologi mendukung temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi nanopartikel MXene mampu menurunkan koefisien gesek dan tingkat keausan secara signifikan pada berbagai kondisi pembebanan. Selain itu, keberadaan fase cair atau polimer pendukung berperan dalam menghasilkan distribusi pelumas yang lebih merata serta mendukung mekanisme *selfhealing* selama proses gesekan. Kombinasi mekanisme tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kinerja tribologi secara keseluruhan [7].

Dalam mengevaluasi kinerja suatu media pendingin baru, diperlukan suatu acuan pembanding berupa cairan pendingin konvensional yang telah umum digunakan pada industri manufaktur. Pada penelitian ini, Dromus, yaitu cairan pendingin jenis *water miscible cutting fluid* yang lazim dipergunakan pada proses pembubutan di berbagai bengkel dan industri pemesinan, dipilih sebagai coolant pembanding (kontrol). Penggunaan Dromus sebagai pembanding bertujuan untuk memperoleh gambaran yang objektif mengenai posisi kinerja nanofluid berbasis MXene terhadap cairan pendingin konvensional yang selama ini telah diaplikasikan secara luas, sehingga nilai tambah dari penambahan nanopartikel MXene ke dalam sistem MQL dapat dievaluasi secara lebih terukur, baik ditinjau dari aspek keausan pahat, kekasaran permukaan, maupun karakteristik geram yang dihasilkan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kesenjangan penelitian yang masih terdapat pada kajian sebelumnya melalui analisis pengaruh variasi konsentrasi nanopartikel MXene dalam sistem *minimum quantity lubrication* (MQL) terhadap keausan pahat, nilai kekasaran permukaan, dan karakteristik geram pada proses pemesinan baja karbon menengah. Selain bertujuan untuk menentukan konsentrasi nanopartikel yang memberikan performa pemesinan terbaik, penelitian ini juga diharapkan dapat memperluas pemahaman ilmiah mengenai mekanisme pelumasan tribologis yang terjadi pada sistem MQL berbasis *nanofluid*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara konsentrasi nanopartikel MXene dengan parameter kinerja pemesinan yang meliputi keausan pahat, kekasaran permukaan, dan karakteristik geram. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk merumuskan rekomendasi parameter pemrosesan yang mampu

meningkatkan efisiensi proses, produktivitas, serta umur pakai pahat pada sektor manufaktur. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian teoritis mengenai tribologi pada sistem *minimum quantity lubrication* (MQL) berbasis *nanofluid*. Di samping itu, temuan penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai acuan teknis yang aplikatif bagi industri manufaktur logam dalam upaya meningkatkan kualitas produk sekaligus mengurangi biaya proses produksi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi konsentrasi nanopartikel MXene pada pelumas berbasis air (*water-based*) yang diaplikasikan menggunakan sistem *minimum quantity lubrication* (MQL) terhadap tingkat keausan pahat dan kualitas permukaan hasil proses pemesian baja karbon menengah.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi nanopartikel MXene dalam sistem *minimum quantity lubrication* (MQL) terhadap tingkat keausan pahat pada proses pemesian baja karbon menengah.
2. Mengevaluasi pengaruh konsentrasi nanopartikel MXene terhadap kualitas permukaan hasil pemesian berdasarkan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*).
3. Mengamati karakteristik geram yang terbentuk selama proses pemesian baja karbon menengah dengan penerapan sistem MQL berbasis nanopartikel MXene.
4. Menentukan konsentrasi nanopartikel MXene yang memberikan kinerja pemesian paling optimal berdasarkan parameter keausan pahat, kekasaran permukaan, dan karakteristik geram.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian teoretis di bidang ilmu permesinan dan tribologi, khususnya mengenai pengaruh variasi konsentrasi nanopartikel MXene pada sistem *minimum*

quantity lubrication (MQL) terhadap keausan pahat dan kekasaran permukaan pada proses pemesinan baja karbon menengah.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga ruang lingkup penelitian agar tetap terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek sebagai berikut.

1. Baja karbon menengah St 45 ditetapkan sebagai material benda kerja dalam penelitian ini.
2. Penelitian ini hanya mencakup proses pembubutan sebagai metode pemesinan yang digunakan.
3. Sistem pelumasan yang diterapkan menggunakan *minimum quantity lubrication* (MQL) dengan penambahan nanopartikel MXene sebagai aditif pelumas.
4. Variabel bebas yang dikaji adalah konsentrasi nanopartikel MXene, sedangkan parameter pemotongan lainnya dipertahankan tetap atau hanya divariasikan dalam rentang yang terbatas sesuai kebutuhan penelitian.
5. Penilaian terhadap hasil pemesinan mengacu pada tiga indikator, yaitu keausan pahat, nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*), dan karakteristik geram.

1.6 Sistematika Penulisan

Struktur penulisan tugas akhir ini terdiri atas lima bab yang disusun secara sistematis untuk menggambarkan keseluruhan proses penelitian. Bab I berisi uraian mengenai aspek pendahuluan, meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II menyajikan kajian pustaka yang memuat landasan teori serta telaah terhadap penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian. Bab III menguraikan metodologi penelitian, termasuk pendekatan yang diterapkan, alat dan bahan yang digunakan, serta tahapan pelaksanaan penelitian secara terstruktur. Bab IV memaparkan hasil dan pembahasan yang mencakup data, analisis, dan diskusi hasil penelitian serta pencapaian yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan. Bab V, penutup, berisi kesimpulan dan saran yang ingin disampaikan dari hasil penelitian yang dilakukan.