

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Selama beberapa dekade terakhir, penggunaan material komposit seperti *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) telah meningkat secara signifikan, khususnya dalam sektor industri pesawat terbang, otomotif, dan peralatan olahraga (Sutrisno dkk., 2017). Peningkatan ini didorong oleh kebutuhan material struktural yang memiliki kekuatan mekanik tinggi, berat yang ringan, ketahanan terhadap kelelahan, serta resistansi korosi yang baik, sehingga menjadikannya sangat cocok untuk penggunaan dalam aplikasi struktural yang memerlukan performa tinggi (Yaşar dkk., 2017). Berdasarkan laporan *Grand View Research*, pasar global CFRP diproyeksikan tumbuh dengan *compound annual growth rate* (CAGR) sebesar 10,9% pada periode 2025 hingga 2030, yang mencerminkan meningkatnya permintaan terhadap material komposit ringan berperforma tinggi (Research, 2024).

Meskipun memiliki keunggulan sifat mekanik, proses manufaktur dan pemesinan CFRP masih menghadapi berbagai tantangan terutama pada proses pengeboran (*drilling*) (Xu dkk., 2023). Dalam aplikasi struktural, metode penyambungan mekanis seperti baut dan paku keling lebih banyak digunakan dibandingkan perekat, karena kemudahan pembongkaran untuk keperluan inspeksi dan perbaikan. Oleh sebab itu, proses pengeboran menjadi tahapan krusial dalam perakitan komponen CFRP (Shyha dkk., 2009). Pada industri dirgantara, jumlah lubang yang dibutuhkan bisa mencapai ratusan ribu hingga jutaan, tergantung pada jenis penggunaannya. Sebagai contoh, pada pesawat komersial diperlukan sekitar 1,5 hingga 3 juta lubang, sedangkan untuk jet tempur dibutuhkan sekitar 300.000 lubang (Aamir dkk., 2019). Tingginya jumlah lubang tersebut menuntut kualitas pengeboran yang konsisten dan bebas cacat.

Sifat anisotropik dan struktur berlapis pada CFRP menyebabkan material ini rentan mengalami kerusakan selama proses pengeboran. Salah satu cacat yang paling umum dan kritis adalah delaminasi, yaitu terpisahnya lapisan-lapisan komposit akibat gaya dorong aksial yang bekerja selama penetrasi mata bor (Molina-Moya dkk., 2023). Delaminasi dapat terjadi pada sisi masuk (*Peel-up*

delamination) maupun sisi keluar (*Push-out delamination*) lubang dan berpotensi menurunkan kekakuan struktur, melemahkan kekuatan sambungan, serta mempercepat kegagalan komponen akibat konsentrasi tegangan di sekitar area cacat (Su dkk., 2018).

Besarnya delaminasi pada proses pengeboran CFRP sangat dipengaruhi oleh parameter pemesinan, khususnya kecepatan spindel dan diameter mata bor (Yalçın dkk., 2024). Kecepatan spindel yang terlalu rendah cenderung meningkatkan gaya dorong aksial sehingga serat tidak terpotong secara optimal dan tertarik keluar, yang pada akhirnya meningkatkan risiko delaminasi. Sebaliknya, kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan peningkatan temperatur pemotongan yang berpotensi melemahkan ikatan antara serat dan matriks (Babu L dkk., 2022 dan Raj dkk., 2025). Diameter mata bor juga berperan penting karena menentukan luas bidang kontak antara alat potong dan material. Peningkatan diameter mata bor umumnya meningkatkan gaya dorong aksial yang bekerja pada laminasi CFRP, sehingga memperbesar potensi terjadinya delaminasi (Bolat dkk., 2023). Selain parameter pemesinan, geometri mata bor turut memengaruhi mekanisme pemotongan serat dan kecenderungan terjadinya delaminasi. Mata bor dengan ujung tajam dan stabilitas pemotongan awal yang baik, seperti *Brad Spur*, memiliki karakteristik *center point* dan tepi potong yang relatif tajam sehingga teoritis dapat membantu menurunkan gaya dorong awal dan meningkatkan kestabilan penetrasi pada material berlapis seperti CFRP (Xu dkk., 2021).

Material CFRP yang digunakan dalam penelitian ini merupakan CFRP yang dimodifikasi dengan penambahan silika hasil ekstraksi abu sekam padi, yang sebelumnya telah divalidasi komposisi dan karakteristiknya. Faizah (2024) menunjukkan bahwa penambahan silika hingga 35 gram mampu meningkatkan ketahanan termal CFRP hingga 414,2 °C, sedangkan penelitian Husaini (2024) melaporkan peningkatan sifat mekanis CFRP dengan kekuatan tarik mencapai 314,93 MPa dan kekerasan sebesar 17,74 VHN. Meskipun demikian, kajian mengenai pengaruh parameter pemesinan, khususnya kecepatan spindel dan diameter mata bor, terhadap karakteristik delaminasi pada CFRP yang dimodifikasi dengan silika abu sekam padi masih sangat terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan spindel dan diameter mata bor terhadap tingkat delaminasi pada proses pengeboran material CFRP termodifikasi silika abu sekam padi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku pemesinan CFRP termodifikasi serta berkontribusi pada pengembangan material komposit ramah lingkungan dengan performa yang tinggi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, dapat diidentifikasi masalah yang akan dijadikan bahan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Proses pengeboran pada material CFRP berpotensi menimbulkan cacat delaminasi akibat sifat anisotropik dan heterogen materialnya.
2. Kecepatan spindel dan diameter mata bor memengaruhi besarnya gaya dorong aksial yang menjadi penyebab utama delaminasi.
3. Karakteristik delaminasi pada CFRP yang dimodifikasi dengan silika abu sekam padi belum banyak dikaji secara eksperimental.
4. Diperlukan analisis sistematis untuk menentukan kombinasi parameter pengeboran yang dapat meminimalkan delaminasi pada CFRP termodifikasi tersebut.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan fokus, maka perlu ditetapkan batasan masalah sehingga ruang lingkup penelitian menjadi jelas, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini tidak termasuk dalam lingkup pembuatan material komposit.
2. Material yang digunakan adalah komposit CFRP dengan matriks termoset resin *unsaturated polyester* dan *hardener*, diperkuat dengan ekstraksi silika dari abu sekam padi.
3. Proses pemesinan dilakukan menggunakan mesin bor duduk tipe *Krisbow 16 mm Drill Press Model KW-297-1716F*.
4. Proses pengeboran dilakukan tanpa penggunaan cairan pendingin.
5. Laju pemakanan (*feed rate*) tidak dikontrol maupun diukur karena penurunan pahat dilakukan secara manual melalui *handle* mesin bor.

6. Mata bor yang digunakan adalah jenis *Brad Spur* dengan variasi diameter 4 mm, 6 mm, dan 8 mm.
7. Kecepatan putar spindel yang digunakan adalah 1190 RPM, 1970 RPM, dan 2100 RPM.
8. Karakteristik kualitas hasil pengeboran yang dianalisis meliputi delaminasi.
9. Analisis data dilakukan dengan Metode Taguchi menggunakan *Orthogonal Array* L9 (3^2) serta analisis varians (ANOVA).

1.4 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang, identifikasi masalah, dan pembatasan masalah, maka perumusan masalah yang menjadi penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan spindel terhadap tingkat delaminasi pada proses pengeboran material CFRP termodifikasi silika abu sekam padi?
2. Bagaimana pengaruh variasi diameter mata bor terhadap tingkat delaminasi pada proses pengeboran material CFRP termodifikasi silika abu sekam padi?
3. Berapa kombinasi parameter kecepatan spindel dan diameter mata bor yang menghasilkan nilai delaminasi paling minimal pada material CFRP termodifikasi silika abu sekam padi?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi kecepatan spindel terhadap tingkat delaminasi pada proses pengeboran material CFRP yang dimodifikasi dengan silika abu sekam padi.
2. Menganalisis pengaruh variasi diameter mata bor terhadap tingkat delaminasi pada proses pengeboran material CFRP yang dimodifikasi dengan silika abu sekam padi.
3. Menentukan kombinasi parameter kecepatan spindel dan diameter mata bor yang menghasilkan nilai delaminasi paling minimal pada proses pengeboran material CFRP termodifikasi silika abu sekam padi.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara akademis maupun praktis, yang dapat dirinci sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang pemesinan material komposit, khususnya mengenai pengaruh variasi kecepatan spindel dan diameter mata bor terhadap kualitas pengeboran CFRP yang dimodifikasi dengan silika abu sekam padi.
2. Menjadi referensi akademik dalam penerapan Metode Taguchi *Orthogonal Array* L9 yang dikombinasikan dengan analisis statistik *Analysis of Variance* (ANOVA) sebagai dasar untuk menentukan faktor yang berpengaruh signifikan dan kontribusinya terhadap variasi delaminasi pada proses pengeboran.
3. Memberikan informasi kepada praktisi industri mengenai pengaruh variasi kecepatan spindel dan diameter mata bor terhadap kualitas lubang hasil pengeboran, sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam proses manufaktur.

