

Investigation of Surface Treatment of Single Lap Bonded Joint Strength on CFRP and Aluminum

Herry Purnomo^a, Tresna Priyana Soemardi^a, Hendri Ds Budiono^{a1}

Adi Pradana Putra Salim^b, Sulaksana Permana^b, Mahfud Ibadi^a

^aDepartment of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

^bDepartement. of Mechanical Engineering, Gunadarma University, Depok 16424, Indonesia

¹hendri@eng.ui.ac.id

ABSTRACT

This investigation focused on assessing the strength of bonded joints between Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) and Aluminum T6 6061 using two different adhesives: Loctite AERO and MM-Metal SS-Steel ceramic. The primary objective was to evaluate the influence of surface treatment, specifically using grit 400 and grit 240 sandpaper, on joint strength. Test specimens were prepared according to the ASTM standard for tensile testing of bonded joints, with surface treatment applied to the CFRP and T6 6061 Aluminum materials prior to adhesive application. Tensile tests were conducted to assess joint strength and failure mode. The results indicated that using Loctite AERO adhesive with surface treatment using grit 240 sandpaper yielded optimal joint strength, with increased surface roughness contributing to improved mechanical bonding and greater joint strength. Conversely, for MM-Metal SS-Steel ceramic adhesives, the use of grit 400 sandpaper was found to be most effective. It is essential to match the type of adhesive with the appropriate surface treatment, as not all surface treatments are equally effective for different adhesives. This research provides valuable insights for optimizing bonded joints between CFRP and Aluminum T6 6061, with significant implications for the aerospace and automotive industries. These findings can enhance the design and manufacturing process of more efficient and reliable composite-metal joints.

Keywords: Bonded joint, Surface Treatment, Surface Roughness, CFRP.

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590762

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material dalam industri *aerospace* dan otomotif telah mendorong penggunaan material komposit, khususnya *Carbon Fiber Reinforced Polymer* CFRP, karena sifatnya yang ringan namun kuat (Callister, 2019). Namun, penggunaan CFRP pada umumnya memerlukan sambungan dengan material logam, seperti Aluminium T6 6061, yang masih banyak digunakan dalam struktur kendaraan dan pesawat terbang (Baldan, 2004). Tiga metode sambungan yang biasa digunakan antara lain adalah sambungan mekanik, pengelasan dan sambungan adhesif atau bonded joint (Cui et al., 2021) (Maggiore et al., 2021). *Bonded joint* menjadi pilihan yang semakin populer untuk menyambungkan CFRP dengan logam karena kemampuannya untuk mendistribusikan beban secara merata dan mengurangi konsentrasi tegangan (Da Silva et al., 2011). Namun, kekuatan sambungan *bonded joint* sangat bergantung pada pemilihan adhesif yang tepat dan persiapan permukaan yang memadai (Landrock & Ebnesajjad, 2015). Di sisi lain, manfaat *bonding* adalah distribusi tegangan yang homogen, area penahan beban yang cukup

besar, penampilan yang lebih baik, dan peningkatan kekakuan (Fiore et al., 2013; Pohlit* et al., 2008)

Surface treatment merupakan faktor kritis dalam optimalisasi kekuatan *bonded joint* (Packham, 2003). Penelitian ini fokus pada penggunaan metode abrasi mekanis dengan kertas ampelas grit 400 dan 240 untuk meningkatkan kekasaran permukaan dan memperluas area kontak antara adhesif dan substrat (Budhe et al., 2017). Semakin kecil grit ampelas yang digunakan, semakin tinggi kekuatan gesernya, namun untuk *surface treatment* dengan grit 60 kekuatannya rendah karena terdapat bagian ruang kosong yang tidak terkena adhesif (Yang et al., 2019).

Untuk mengevaluasi kekuatan sambungan, uji tarik dilakukan sesuai dengan standar ASTM *single lap joint*, yang merupakan metode standar untuk pengujian kekuatan geser sambungan adhesif antara substrat kaku. Penggunaan standar ini memungkinkan perbandingan hasil dengan studi sebelumnya dan memberikan data yang dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kekuatan sambungan *bonded joint* antara CFRP dan

Aluminium T6 6061 melalui evaluasi sistematis pengaruh jenis adhesif dan tingkat kekasaran *surface treatment*. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan metode sambungan yang lebih efektif untuk aplikasi struktural yang melibatkan material komposit dan logam.

METODE PENELITIAN

Desain penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi kekuatan sambungan *bonded joint* antara CFRP dengan Aluminium T6 6061. Pada sistem sambungan ini menggunakan dua Jenis Adhesif yang berbeda dan 3 jenis perlakuan *surface treatment* yang berbeda. Tujuan Utamanya adalah mengetahui jenis adhesif mana yang terbaik beserta *surface treatment* yang cocok untuk adhesif tersebut.

Pemilihan Adhesif

Pemilihan adhesif khususnya untuk sistem sambungan antara CFRP dengan aluminium haruslah kompatibel untuk memastikan ikatan yang kuat dan tahan lama (Baldan, 2004). Selain itu Viskositas yang sesuai diperlukan untuk proses pembahasaan permukaan yang baik serta penetrasi kedalam pori-pori substrat (Landrock & Ebnesajjad, 2015) dalam hal ini CFRP dan aluminium. Adhesif harus melindungi substrat aluminium dari korosi galvanik yang dapat terjadi ketika bersentuhan dengan CFRP. Serta Metode aplikasi adhesif harus sesuai dengan proses manufaktur dan geometri sambungan. Dua jenis adhesif yang di gunakan dalam penelitian ini adalah Loctite EA9394 AERO, yang telah terbukti efektif dalam aplikasi *aerospace* dan MM-Metal SS-Steelceramic, yang dikenal karena ketahanannya terhadap suhu tinggi dan korosi Pemilihan adhesif yang tepat sangat penting untuk memastikan kekuatan dan ketahanan sambungan dalam berbagai kondisi operasional (Petrie, 2000)

Speciment Manufacturing processes

Spesimen uji berupa dua buah substrat yaitu CFRP dan aluminium 6061 yang akan di sambung menggunakan adhesif yang telah ditentukan. CFRP sendiri di buat menggunakan 12 layer serat karbon dengan matriks Epoksi resin Gurit Prime 27® dengan metode pembuatan *vacuum Infusion*. Kedua subtract ini kemudian di siapkan dengan ukuran sesuai dengan ASTM D 5868.

1. *Surface Treatment*

Pada proses ini Pemilihan ukuran grit yang tepat sangat penting untuk mencapai tingkat kekasaran permukaan yang optimal. (Budhe et al., 2017). Pada penelitian digunakan tiga variasi yang pertama adalah tanpa *surface treatment*, yang kedua menggunakan *sand paper* dengan Grit 240 dan yang ketiga menggunakan Grit 400 harus dilakukan secara konsisten dan merata untuk menciptakan topografi permukaan yang seragam, yang penting untuk adhesi yang baik (Packham, 2003). Pengontrolan kedalam *surface tretment* menjadi hal yang penting terutama pada CFRP karena dapat merusak serat. Pemeriksaan visual dan pengukuran kekasaran permukaan dapat membantu memastikan kualitas *surface treatment* yang konsisten (Landrock & Ebnesajjad, 2015) Oleh karena itu proses pemeriksaan *surface roughness* sebelum dan sesudah *surface treatment* dilakukan dalam penelitian ini. Setelah *surface treatment* seluruh substrat dibersihkan. Penghilangan kontaminan dan sisa kotoran dari proses *surface treatment* dari permukaan untuk memastikan ikatan yang kuat (Baldan, 2004). Kekasaran permukaan aluminium sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan antara aluminium dengan CFRP. (Yang et al., 2019)

Surface roughness test

Pentingnya *surface roughness* kekasaran permukaan dapat di ubah melalu beberapa Teknik antara lain sandblasting, sandpaper ceramic shoot peening, laser shock processing (Denti & Sola, 2019). *Surface treatment* untuk kekasaran permukaan sangat mempengaruhi kekuatan struktur sambungan antara logam dengan komposit (Nasreen et al., 2021). Pengukuran *surface roughness* dilakukan menggunakan alat Mitutoyo SJ-301 untuk setiap substrat di ukur sebelum maupun sesudah *surface treatment*. Pengukuran di lakukan pada daerah bonding area.



Gambar 1. Pengukuran Surface Roughness

Lap Shear Testing

Uji *lap shear* memberikan pengukuran langsung kekuatan geser antarmuka, yang merupakan indikator utama kualitas dan kekuatan ikatan antara aluminium dan CFRP. Pengujian kekuatan *Lap Shear* ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 5868. oleh BRIN Pusat Riset Teknologi Penerbangan menggunakan Mesin Uji Tarik TENSILON RTF 2410

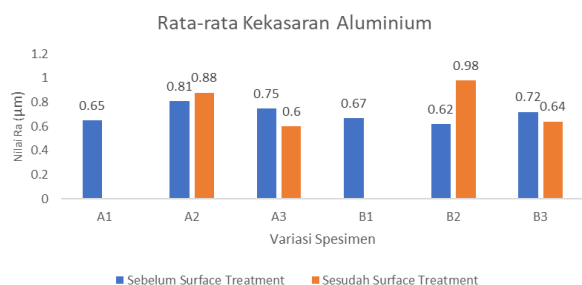


Gambar 2. Proses pengujian lap shear

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Roughness Test Aluminium 6061

Pengukuran Surface roughness dilakukan sebelum maupun sesudah proses *surface treatment* pengukuran ini diharapkan dapat mengetahui efek dari proses *surface treatment* terhadap permukaan pada bonded area.

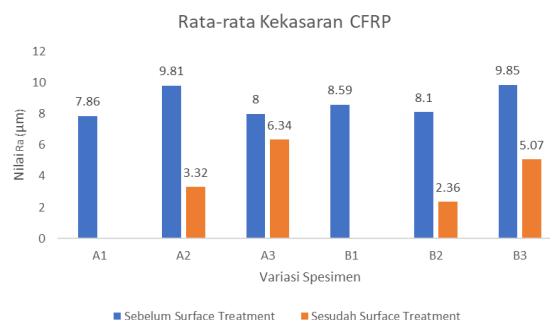


Gambar 3. Diagram rata rata surface rougness permukaan aluminium pada bonded area

Pada gambar 3. Dapat dilihat substrat dengan kode A adalah aluminium yang nantinya akan menggunakan Adhesif Loctite EA9394-AERO dan B menggunakan M-Metal SS-Steelceramic. Sementara 1 adalah tanpa *surface treatment*, 2 adalah dengan menggunakan grit 240 dan 3 adalah grit 400. Dari sini dapat dilihat bahwa proses menggunakan Grit 240 menghasilkan permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan Grit 4000 maupun tanpa *surface treatment*.

2. Hasil Roughness Test Prepreg CFRP

Sedangkan pada permukaan CFRP perlakuan *surface treatment* yang sma menghasilkan *surface roughness* yang sangat berbeda di bandingkan dengan aluminium.

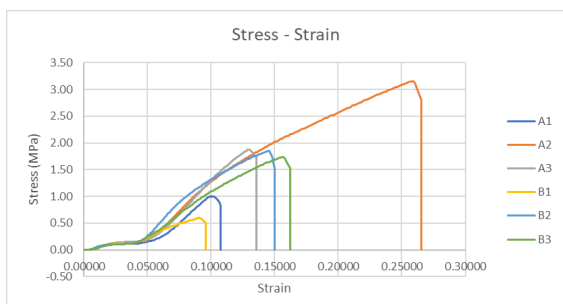


Gambar 4. Diagram rata rata surface rougness CFRP pada bonded area

Pada Gambar 4 dapat di lihat bahwa dengan menggunakan Grit 240 justru menghasilkan permukaan yang lebih halus di bandingkan dengan Grit 400. Hal ini di mungkinkan karena proses sandpaper yang dilakukan menggunakan waktu yang sama dan melihat kekasaran permukaan CFRP sebelum proses *surface treatment* yang lebih tinggi di bandingkan setelah *surface treatment*, Hal ini sedikit bertolak belakang dengan permukaan aluminium yang cenderung hampir sama atau bahkan relative lebih rendah sebelum *surface treatment*.

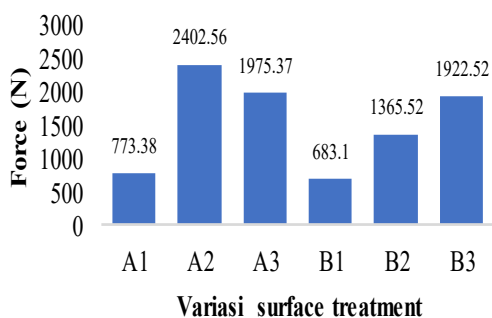
3. Hasil Lap shear testing

Hasil Uji Lap shear testing menunjukkan bahwa proses *surface treatment* substrat dengan menggunakan sandpaper dengan grit 240 dan menggunakan Loctite EA 9394 -AERO menghasilkan kekuatan sambungan yang terbaik di antara sistem sambungan lainnya.



Gambar 5. Stress VS Strain Lap shear Testing

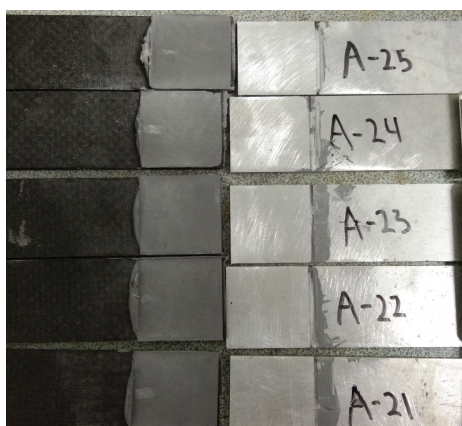
Pada hasil uji kekuatan geser Adhesive bonded joint tertinggi memperoleh hasil 3,65 MPa. Seperti dapat di lihat pada gambar 5. Selain itu di peroleh hasil juga bahwa tanpa perlakuan surface treatment menghasilkan kekuatan geser yang lebih rendah di bandingkan dengan substrat yang mengalami proses surface treatment.



Gambar 6. Force pada lap shear testing.

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa variasi surface treatment menggunakan adhesif Loctite mampu menahan beban geser tertinggi yaitu 2402,56 Newton hampir 3 kali lebih besar daripada jenis adhesif yang sama tanpa perlakuan *surface treatment*.

Sedangkan untuk pemilihan adhesif untuk sambungan pada jenis substrat ini dapat dikatakan bahwa Loctite EA9394-AERO merupakan pilihan yang lebih baik jika di bandingkan dengan M-Metal SS-Steelceramic.



Gambar 7. Substrat setelah pengujian lap shear

Pada Gambar 7. Dapat dilihat bahwa kegagalan yang terjadi pada system joining terbaik yang di dapat pada penelitian ini yaitu pada subtract A2 adalah kegagalan adhesive antar muka, dimana sisa adhesive terlihat hanya pada satu sisi substrat saja(Wei et al., 2024), yaitu substrat CFRP.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan permukaan pada sambungan *bonded joint* dapat meningkatkan kekuatan sambungan dengan signifikan jika dibandingkan dengan yang tidak diberi perlakuan permukaan. Didapat pula bahwa perlakuan permukaan terbaik untuk setiap adhesif berbeda. Perlakuan permukaan terbaik untuk adhesif Loctite EA9394-AERO adalah pengamplasan dengan grit 240 sedangkan adhesif MM-Metal SS-Steelceramic adalah *surface treatment* menggambarkan bahwa setiap adhesif memiliki kekhususan dalam perlakuan *surface treatment*.

Metode *surface treatment* menggunakan sand paper sepertinya kurang efektif untuk permukaan aluminium, dilihat dari mode analisis kegagalan yang timbul mode kegagalan adhesif antarmuka terlihat sangat jelas di seluruh variasi substrat. Dimana sisa adhesif terdapat pada seluruh substrat CFRP dan sedangkan pada bonding area substrat aluminium terlihat bersih. Hal ini mengaplikasikan bahwa lemahnya ikatan antara adhesif yang digunakan dengan aluminium 6061(Budhe et al., 2017)

Dalam penelitian ini belum memperhatikan curing sistem dari setiap adhesif untuk meningkatkan kekuatan sistem sambungan. Untuk penelitian lanjutan ada beberapa faktor yang harus di perhatikan antara lain adalah kondisi lingkungan yang terkondisi pada saat pengaplikasian adhesif, variasi metode *surface treatment* yang berbeda antar substrat baik CFRP maupun aluminium. Kompatibilitas antara adhesif dengan substrat, luasan permukaan yang berubah karena proses surfacetreatment, serta jarak waktu pengaplikasian adhesif setelah *surface treatment*. Serat pengujian sistem sambungan pada kondisi lingkungan tertentu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pendanaan hibah Riset dan Inovasi untuk

Indonesia maju dengan nomor kontrak Gelombang 4 Tahun 2023 nomor kontrak 122/IV/KS/11/2023, Rumah Program research Organization for Aeronautics and sapace 2024 (2/III.1/HK/2024) and E-Layanan Sains (ELSA).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Baldan, A. (2004). Adhesively-bonded joints and repairs in metallic alloys, polymers and composite materials: Adhesives, adhesion theories and surface pretreatment. *Journal of Materials Science*, 39(1), 1–49. <https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000007726.58758.e4>
- [2]. Budhe, S., Banea, M. D., De Barros, S., & Da Silva, L. F. M. (2017). An updated review of adhesively bonded joints in composite materials. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 72, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.10.010>
- [3]. Callister, W. D. (2019). *Materials Science and Engineering*. Wiley.
- [4]. Cui, X., Tian, L., Wang, D. S., & Dong, J. P. (2021). Summary of thermosetting composite material welding. *Journal of Physics: Conference Series*, 1765(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1765/1/012021>
- [5]. Da Silva, L. F. M., Öchsner, A., & Adams, R. D. (Eds.). (2011). *Handbook of Adhesion Technology*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01169-6>
- [6]. Denti, L., & Sola, A. (2019). On the Effectiveness of Different Surface Finishing Techniques on A357.0 Parts Produced by Laser-Based Powder Bed Fusion: Surface Roughness and Fatigue Strength. *Metals*, 9(12), 1284. <https://doi.org/10.3390/met9121284>
- [7]. Fiore, V., Alagna, F., Di Bella, G., & Valenza, A. (2013). On the mechanical behavior of BFRP to aluminum AA6086 mixed joints. *Composites Part B: Engineering*, 48, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.12.009>
- [8]. Landrock, A. H., & Ebnesajjad, S. (2015). *Adhesives technology handbook* (Third edition). Elsevier/WA, William Andrew is an imprint of Elsevier.
- [9]. Maggiore, S., Banea, M. D., Stagnaro, P., & Luciano, G. (2021). A Review of Structural Adhesive Joints in Hybrid Joining Processes. *Polymers*, 13(22), 3961. <https://doi.org/10.3390/polym13223961>
- [10]. Nasreen, A., Shaker, K., & Nawab, Y. (2021). Effect of surface treatments on metal–composite adhesive bonding for high-performance structures: An overview. *Composite Interfaces*, 28(12), 1221–1256. <https://doi.org/10.1080/09276440.2020.1870192>
- [11]. Packham, D. E. (2003). Surface energy, surface topography and adhesion. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 23(6), 437–448. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(03\)00068-X](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(03)00068-X)
- [12]. Petrie, E. M. (2000). *Handbook of adhesives and sealants*. McGraw-Hill.
- [13]. Pohlit*, D. J., Dillard, D. A., Jacob**, G. C., & Starbuck, J. M. (2008). Evaluating the Rate-Dependent Fracture Toughness of an Automotive Adhesive. *The Journal of Adhesion*, 84(2), 143–163. <https://doi.org/10.1080/00218460801952825>
- [14]. Wei, Y., Jin, X., Luo, Q., Li, Q., & Sun, G. (2024). Adhesively bonded joints – A review on design, manufacturing, experiments, modeling and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 276, 111225. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.111225>
- [15]. Yang, G., Yang, T., Yuan, W., & Du, Y. (2019). The influence of surface treatment on the tensile properties of carbon fiber-reinforced epoxy composites-bonded joints. *Composites Part B: Engineering*, 160, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.095>