

The Effect of Filler Size Variation on The Mechanical Strength and Failure of Epoxy Adhesive Layer

Khairul Anam^{1,*} dan Anindito Purnowidodo¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya - Malang

*Korespondensi: khairul.anam27@ub.ac.id

Abstract. Adhesive joint is a method to connect two or more materials both metals and non-metals. A method to increase the strength of the joint is adding a powder material into the adhesive. However, the study on the addition of the powder material is still far from completed. The aim of this study is to understand the effect of filler size on mechanical strength and failure mode of aluminum bonded with epoxy-based adhesive. The filler used is iron ore with different filler size. The filler size of 0; 0,1; 0,28 and 0,315 was used in this study. The filler volume fraction is 30%. The mechanical strength of the adhesive joints was determined by utilizing T-peel and single lap-shear tests using hydraulic servo pulsar. The failure mode of the adhesive joints and the distribution of the fillers was examined by using macro and scanning electron microscope photos, respectively. The result shows that optimum value in peel and shear tests were attained with filler size of 0,1 mm and of 0,315 mm, respectively. The results also show that peel and shear strength by using fillers is higher than without filler. However, the failure mode in all variation is dominated by adhesive and cohesive fracture.

Abstrak. Sambungan lem merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menyambung dua atau lebih material baik logam maupun non logam. Salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan sambungan adalah dengan menambahkan serbuk material (*filler*) ke dalam lem. Namun, penelitian tentang penambahan *filler* ini masih belum selesai. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh variasi ukuran *filler* terhadap kekuatan mekanik dan mode kegagalan pada *epoxy adhesive layer*. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk *iron ore* dengan variasi ukuran 0; 0,1; 0,28 dan 0,315. Fraksi volume *filler* yang digunakan adalah 30%. Kekuatan mekanik yang terdiri dari kekuatan *peeling* dan *tearing* diukur menggunakan *Hydraulic Servo Pulser*. Mode kegagalan dilihat dari hasil foto makro dan foto *scanning electron microscope* (SEM). Kekuatan *peeling* tertinggi didapat pada ukuran *filler* sebesar 0,1 mm sedangkan kekuatan *tearing* tertinggi didapat pada ukuran *filler* sebesar 0,315 mm. Sambungan lem dengan menggunakan *filler* cenderung untuk mengalami kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan sambungan lem tanpa *filler* baik dari segi kekuatan *peeling* maupun kekuatan *tearing*. Bagaimanapun, mode kegagalan pada sambungan baik uji *peel* maupun uji *tear* di dominasi oleh mode kegagalan adhesi dan kohesi.

Kata kunci: ukuran *filler*, kekuatan mekanik, mode kegagalan, *epoxy adhesive*

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Salah satu metode penyambungan dua material baik logam maupun non logam adalah sambungan lem atau *adhesive joint*. Metode ini sering digunakan dalam segala bidang mulai dari kehidupan sehari-hari, rumah tangga sampai dunia otomotif dan *aerospace*. Salah satu jenis lem yang sering digunakan sebagai *adhesive* adalah *epoxy*. Pengembangan dalam hal *Epoxy* ini adalah dengan menambahkan material serbuk. Pengaruh dari peningkatan material serbuk ini antara lain adalah meningkatkan konduktivitas termal, meningkatkan sifat elektrik, kekuatan mekanik dan lain-lain.

Beberapa penelitian sudah dilakukan terkait penambahan *filler* pada *epoxy*. Kilik telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan material serbuk terhadap kekuatan mekanik dari lem yang dicampur dengan serbuk aluminium, serbuk

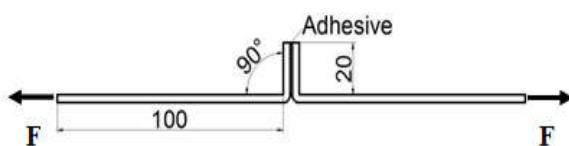
tembaga dan lem tanpa campuran terhadap pengujian tarik, *peeling test*, *tearing test*, *fatigue*, dan *impact* dengan menggunakan variasi ukuran butir yang berbeda yaitu 50 µm, 75 µm, 100 µm [1]. Tidak hanya itu saja, Kahraman melakukan investigasi tentang pengaruh ketebalan lem dan volume material pengisi lem terhadap performa mekanik dari sambungan. Material serbuk yang digunakan adalah serbuk aluminium [2].

Penelitian yang sudah dilakukan kebanyakan hanya fokus pada campuran lem *epoxy* dengan serbuk aluminium. Oleh karena itu, sangatlah menarik jika dilakukan investigasi lain mengenai pengaruh campuran *iron ore powder* pada lem *epoxy*. Penyambungan dengan campuran *iron ore powder* pada lem *epoxy* sedang dalam tahap investigasi dalam hal mengetahui konduktivitas listrik dan konduktivitas termal. Sehingga, diper-

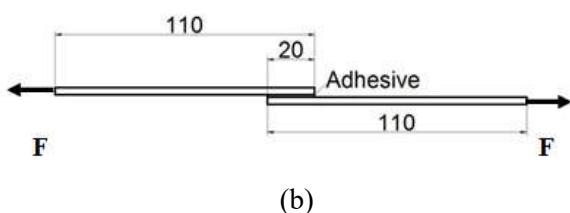
lukan investigasi lanjutan dalam hal kekuatan mekaniknya. Oleh karena itu, penelitian kali ini akan menginvestigasi hal tersebut dan difokuskan pada pengaruh ukuran butir *iron ore powder* terhadap kekuatan *peel* dan *shear* pada *epoxy adhesive layer*. Pengujian ini menggunakan metode *peeling test* dan *tearing test*.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata. Spesimen yang digunakan yaitu dengan menyambungkan dua plat aluminium dengan tebal 3 mm dengan *epoxy* yang diberikan campuran *iron ore powder* dengan ukuran butir 0,10; 0,280; dan 0,315 mm dan tanpa diberikan campuran serbuk. Ketebalan *adhesive layer* \leq 0,5 mm, dengan luas *adhesive* 400 mm². Dimensi spesimen *peel* dan *shear* serta saat specimen diberikan beban dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 (satuan : mm).



Gambar 1. Spesimen *T-Peel joint* saat menerima beban.



Gambar 2. Spesimen *Tear* saat menerima beban.

Apabila spesimen *peeling* atau *tearing* diberi beban tarik seperti pada gambar 1 dan 2, spesimen akan menunjukkan suatu hubungan antara *load* dan *displacement*. Hubungan ini direpresentasikan menjadi grafik hubungan antara *load* dan *displacement* (gambar 3). Dari grafik dapat diketahui bahwa grafik memiliki kecenderungan meningkat kemudian turun dan konstan. Ketika grafik mengalami perpindahan (*displacement*), spesimen mengalami tarikan hingga pada suatu titik *displacement* lapisan *adhesive epoxy* mengalami retak, dan setelah itu terjadi distribusi retak yang kemudian menyebabkan spesimen *adhesive epoxy* mengelupas. Besarnya gaya rata-rata selama pengelupasan disebut *Average Peeling Force*.

Gaya pengelupasan rata-rata yang bekerja pada sambungan *adhesive epoxy* per luas penampang *adhesive epoxy* merupakan kekuatan dari *adhesive*

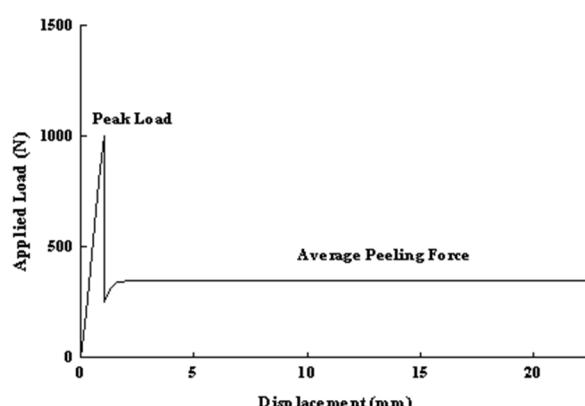
epoxy, dan gaya maksimal yang menyebabkan *adhesive epoxy* retak per luas penampang *adhesive epoxy* merupakan kekuatan *peel* atau kekuatan *shear* dari *adhesive epoxy*, sebagaimana persamaan 1 dan 2 berikut [4]:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dimana σ_t = kekuatan *Peel* (MPa), F = beban maksimum (N), dan A = luas penampang *adhesive* (mm²).

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

dimana τ = kekuatan *shear* (MPa), F = beban maksimum (N) dan A = luas penampang *adhesive* (mm²).



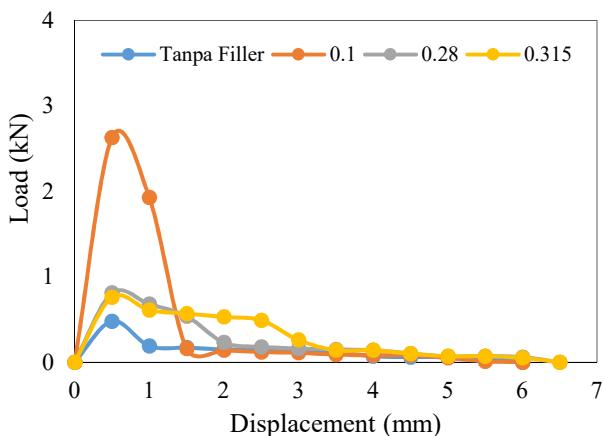
Gambar 3. Hubungan antara *load* dan *displacement* [3]

Hasil dan Pembahasan

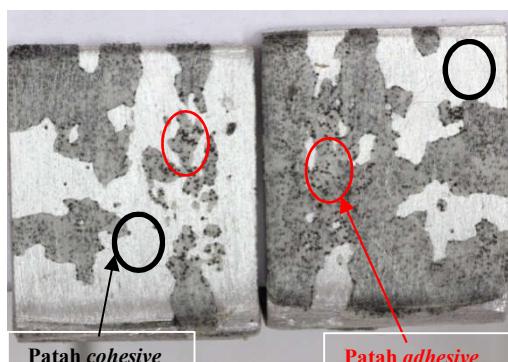
Dalam pengujian *peeling* yang telah dilakukan, didapatkan hasil berupa grafik hubungan *load* dan *displacement*. serta grafik pengaruh variasi ukuran *iron ore powder* terhadap kekuatan *peel* *epoxy adhesive layer*. Pada gambar 4 menunjukkan *adhesive* yang tidak diberi campuran maupun yang diberikan campuran serbuk *Iron Ore* memiliki kecenderungan yang sama yaitu *load* akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya *displacement*. Selain itu, kecenderungan lain dari grafik hubungan *load* – *displacement* pada pengujian *peeling* ini adalah *load* mengalami kenaikan sampai titik tertentu yang disebut dengan *load* maksimum, kemudian terjadi penurunan yang cukup signifikan.

Gambar 5 menunjukkan jenis patahan pada penambahan serbuk *iron ore* 0,1 mm pada pengujian *peeling* dengan menggunakan foto makro. Dari Gambar terlihat bahwa jenis patahan yang terjadi merupakan kombinasi antara *adhesive* dan *cohesive*. Patah *cohesive* terjadi karena gaya tarik menarik antara *adhesive* dengan *interface* lebih kuat dibanding gaya tarik menarik antar *adhesive* itu sendiri. Sedangkan patah *adhesive* terjadi selama

sambungan mengalami peningkatan *load* yang signifikan (*load* maksimum). Hal ini disebabkan karena gaya tarik menarik antara *adhesive* itu sendiri.



Gambar 4. Hubungan *Load-Displacement* Pengujian *Peeling* semua spesimen.

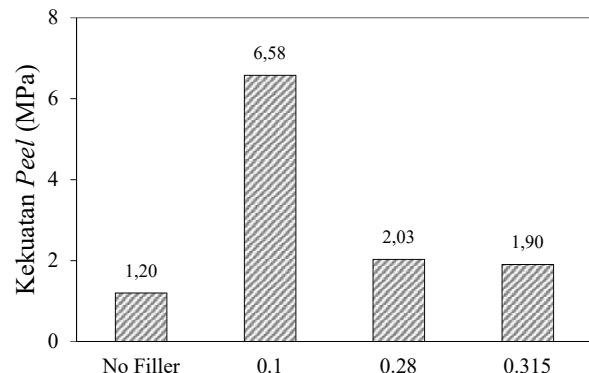


Gambar 5. Jenis patahan akibat penambahan serbuk *iron Ore* 0,1 mm pada pengujian *peeling*.

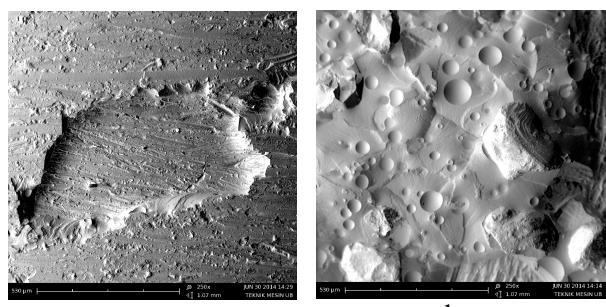
Dari gambar 4 didapat beban maksimal tiap-tiap *adhesive*. Dari beban maksimal tiap *adhesive* diam-bil untuk menghitung kekuatan *peel* dari *adhesive*. Dengan menggunakan persamaan 1 didapat kekuatan *peel* yang terlihat pada gambar 6. Dari perhitungan diatas, nilai beban maksimum (σ_t) berbanding lurus dengan kekuatan *peel*, sehingga semakin besar beban maksimum yang mampu diterima *adhesive* maka semakin besar kekuatan *peel* tersebut. Dalam pengujian *peeling*, hasil yang paling besar adalah *adhesive* dengan campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,1 mm sebesar 6,58 MPa. Sedangkan *adhesive* tanpa campuran memiliki kekuatan yang paling kecil sebesar 1,2 MPa. Untuk perbandingan tiap ukuran serbuk *iron ore* dapat dilihat pada gambar 6.

Dari gambar 6 dapat dilihat perbandingan kekuatan *peel* tiap ukuran serbuk *iron ore*. serbuk *iron ore* ini memiliki pengaruh dalam meningkatkan kekuatan *peel* dari *adhesive*, jika dibandingkan *adhesive* tanpa campuran material serbuk. Hal ini sesuai pada

hipotesis yang tertulis pada tinjauan pustaka bahwa penambahan serbuk *iron ore* akan memberikan pengaruh peningkatan kekuatan *peel* pada *epoxy adhesive layer*. Hal ini dikarenakan serbuk *iron ore* menghalangi retak yang terjadi pada *adhesive* saat menahan beban maksimum. Sehingga rambatan retak harus melewati atau menghancurkan butiran yang bercampur dengan *adhesive*.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *Peel*.

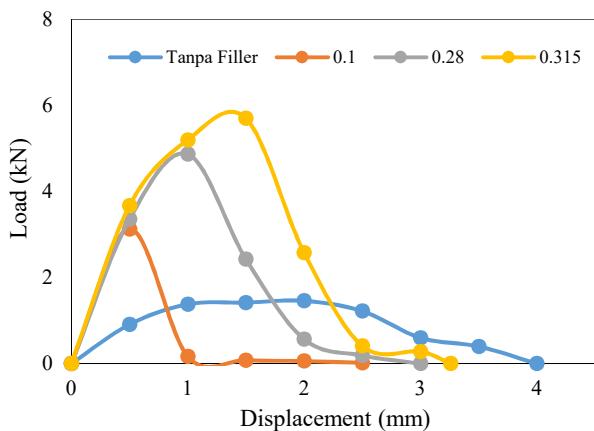


Gambar 7. Foto SEM Spesimen *Peeling*. a) Patahan *Adhesive* Tanpa Serbuk b) Patahan *Adhesive* Serbuk *Iron Ore* 0,10 mm.

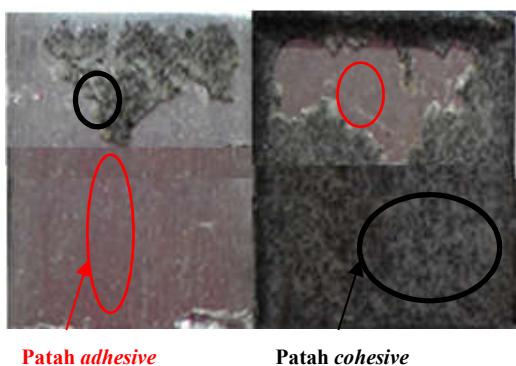
Pada Gambar 7a terlihat permukaan dari patahan *adhesive* tanpa campuran *iron ore*, terlihat rata tanpa adanya bekas butiran. Jika dibandingkan dengan Gambar 7b *adhesive* dengan campuran *iron ore* 0,10 mm terlihat bekas-bekas butiran yang dapat menghalangi retakan saat *adhesive* menerima beban. Hal inilah yang membuat kekuatan *peel* dari *adhesive* campuran serbuk *iron ore* lebih kuat dibanding material serbuk tanpa campuran. Dengan diperkuat adanya foto SEM pada patahan *adhesive* dapat disimpulkan penambahan serbuk *iron ore* memberikan pengaruh pada peningkatan kekuatan *peel* pada *epoxy adhesive layer*.

Dalam pengujian *tearing* yang telah dilakukan, didapatkan hasil berupa grafik hubungan *load* dan *displacement*. serta grafik pengaruh variasi ukuran *iron ore powder* terhadap kekuatan *shear epoxy adhesive layer*. Gambar 8 menunjukkan *adhesive* yang tidak diberi campuran maupun yang diberikan campuran serbuk *Iron Ore* memiliki kecenderungan

yang sama yaitu *load* akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya *displacement*. Selain itu, kecenderungan lain dari grafik hubungan *load* – *displacement* pada pengujian *tearing* ini adalah *load* mengalami kenaikan sampai titik tertentu yang disebut dengan *load* maksimum, kemudian terjadi penurunan yang cukup signifikan.

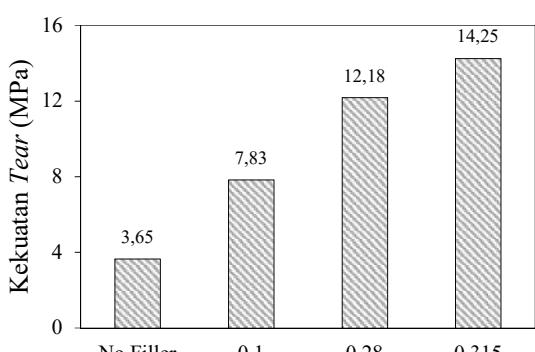


Gambar 8. Hubungan *Load-Displacement* Pengujian *Tearing* semua spesimen.



Gambar 9. Jenis patahan akibat penambahan serbuk *iron Ore* 0,1 mm pada pengujian *tearing*.

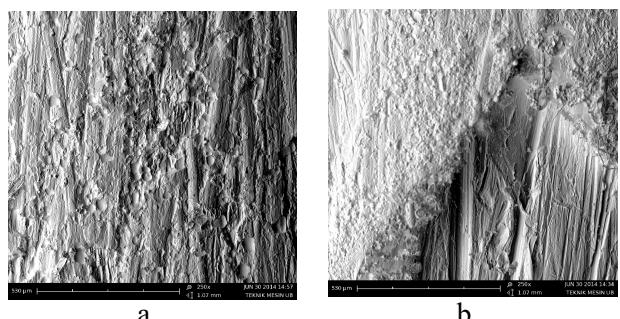
Gambar 9 menunjukkan jenis patahan pada penambahan serbuk *iron ore* 0,1 mm pada pengujian *tearing* dengan menggunakan foto makro. Seperti halnya pada pengujian *peeling* jenis patahan yang terjadi pada pengujian *tearing* juga merupakan kombinasi antara *adhesive* dan *cohesive*.



Gambar 10. Grafik Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *shear*.

Dari gambar 8 didapat beban maksimal tiap-tiap *adhesive*. Dari beban maksimal tiap *adhesive* diambil untuk menghitung kekuatan *shear* dari *adhesive*. Dengan menggunakan persamaan 2 didapat kekuatan *shear* yang terlihat pada gambar 10. Dari perhitungan diatas, nilai beban maksimum berbanding lurus dengan kekuatan *shear* (τ), sehingga semakin besar beban maksimum mampu diterima *adhesive* maka semakin besar kekuatan *shear* tersebut. Dalam pengujian *tearing*, hasil yang paling besar adalah *adhesive* dengan campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,315 mm sebesar 14,25 MPa. Sedangkan *adhesive* tanpa campuran memiliki kekuatan yang paling kecil sebesar 3,65 MPa. Untuk perbandingan tiap ukuran serbuk *iron ore* dapat dilihat pada gambar 10, yang mana dapat dilihat perbandingan kekuatan *shear* tiap ukuran serbuk *iron ore*. serbuk *iron ore* ini memiliki pengaruh dalam meningkatkan kekuatan *shear* dari *adhesive*, jika dibandingkan *adhesive* tanpa campuran material serbuk. Hal ini sesuai pada hipotesis yang tertulis pada tinjauan pustaka bahwa penambahan serbuk *iron ore* akan memberikan pengaruh peningkatan kekuatan *shear* pada *epoxy adhesive layer*. Hal ini dikarenakan serbuk *iron ore* menghalangi retak yang terjadi pada *adhesive* saat menahan beban maksimum. Sehingga rambatan retak harus mele-wati atau menghancurkan butiran yang bercampur dengan *adhesive*.

Pada gambar 11a terlihat permukaan dari patahan *adhesive* tanpa campuran *iron ore*, terlihat rata tanpa adanya bekas butiran. Jika dibandingkan dengan gambar 11 b *adhesive* dengan campuran *iron ore* 0,10 mm terlihat bekas-bekas butiran yang dapat menghalangi retakan saat *adhesive* menerima beban. Hal inilah yang membuat kekuatan *shear* dari *adhesive* campuran serbuk *iron ore* lebih kuat dibanding material serbuk tanpa campuran. Dengan diperkuat adanya foto SEM pada patahan *adhesive* dapat disimpulkan penambahan serbuk *iron ore* memberikan pengaruh pada peningkatan kekuatan *shear* pada *epoxy adhesive layer*.



Gambar 11. Foto SEM spesimen *tearing*. a) Patahan *Adhesive* Tanpa Serbuk b) Patahan *Adhesive* serbuk *iron Ore* 0,1 mm.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian peeling dan tearing pada sambungan *epoxy adhesive layer* didapatkan kesimpulan bahwa kekuatan *peeling* tertinggi didapat pada ukuran *filler* sebesar 0,1 mm sedangkan kekuatan *tearing* tertinggi didapat pada ukuran *filler* sebesar 0,315 mm. Sambungan lem dengan menggunakan *filler* cenderung untuk mengalami kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan sambungan lem tanpa *filler* baik dari segi kekuatan *peeling* maupun kekuatan *tearing*. Bagaimanapun, mode kegagalan pada sambungan baik uji *peel* maupun uji *tear* di dominasi oleh mode kegagalan adhesi dan kohesi.

Referensi

- [1] Kilik, R. Mechanical properties of adhesive filled with metal powders. Jurnal Adhesion dan Adhesive. Universitas Erciyes, Turki. 1989.
- [2] Kahraman, Ramazan. *Influence of adhesive thickness and filler content on the mechanical performance of aluminum single-lap joints bonded with aluminum powder filled epoxy adhesive*. Journal of Material Processing Technology 205. Universitas Qatar, Doha. 2008.
- [3] Dieter, George, E. *Mechanical Metallurgy*. London: McGraw-Hill. 1988.
- [4] Patrie, Edward, M. *Handbook of Adhesive and Sealants*. New York: McGraw-Hill. 2007.