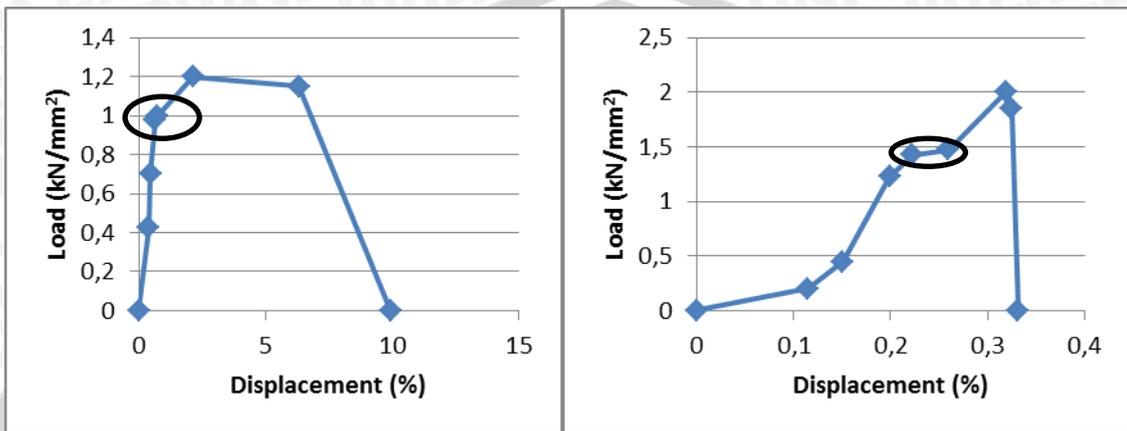


**BAB IV  
HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Data Hasil Pengujian Peeling**

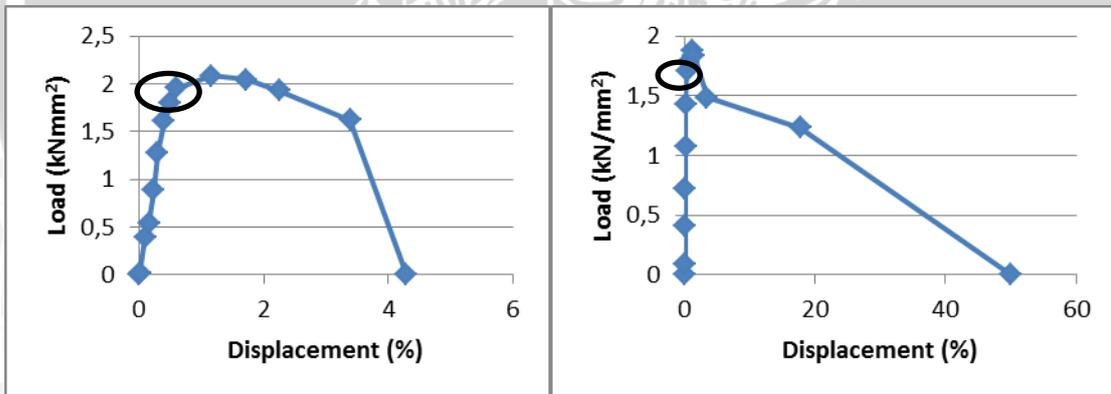
- Terlampir

**a. Grafik Perbandingan Load – Displacement Pengujian Peeling.**



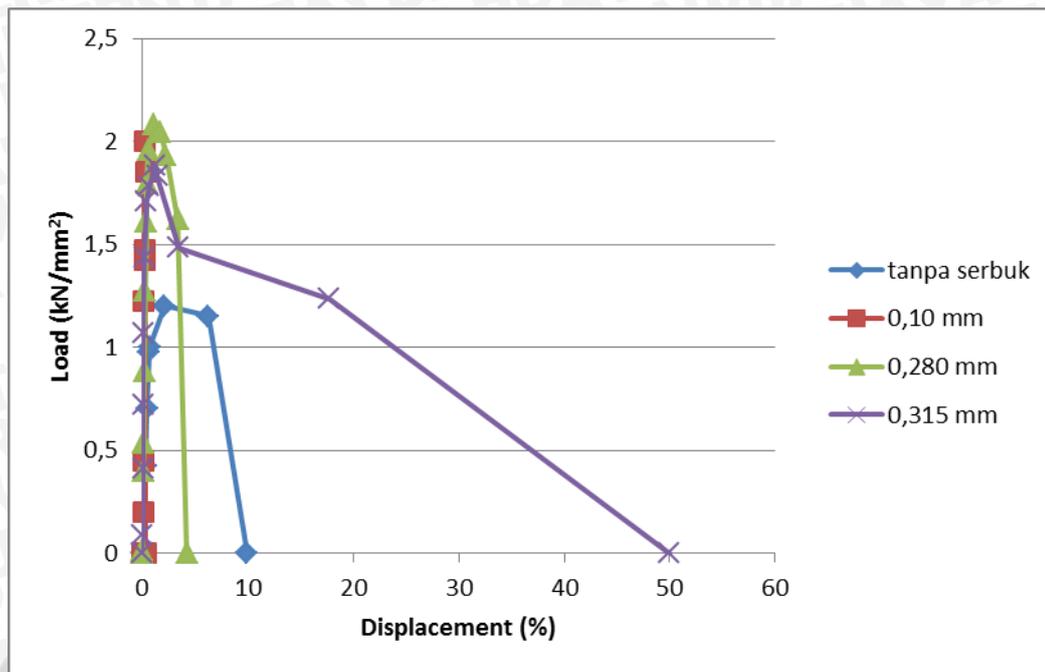
a. Tanpa Campuran Serbuk

b. Ukuran Butir Iron Ore 0,10 mm



c. Ukuran Butir Iron Ore 0,280 mm

d. Ukuran Butir iron ore 0,315 mm

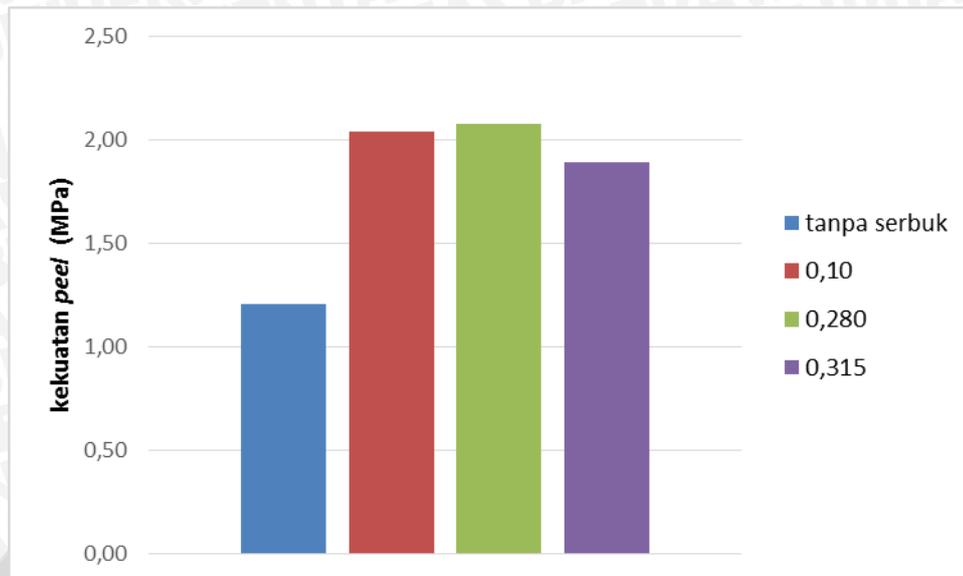


e)

Gambar 4.1 Grafik *Load-Displacement* Pengujian *Peeling*. a) Tanpa Campuran Serbuk. b) Ukuran Butir *Iron Ore* 0,10 mm. c) Ukuran Butir *Iron Ore* 0,280 mm. d) Ukuran Butir *iron ore* 0,315 mm. e) semua spesimen.

Gambar 4.1 diatas menunjukkan grafik hubungan antara *load* terhadap *displacement* pada pengujian *peeling*. Dapat dilihat bahwa kecenderungan dari grafik diatas adalah *load* mengalami kenaikan sampai titik tertentu yang disebut dengan *load* maksimum, kemudian terjadi penurunan yang cukup signifikan. selain itu, *adhesive* yang tidak diberi campuran maupun yang diberikan campuran serbuk *Iron Ore* memiliki kecenderungan yang sama yaitu *load* akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya *displacement*. *Load* maksimum dengan nilai tertinggi didapat oleh *adhesive* campuran *iron ore* dengan ukuran butir 0,280 mm sebesar 0,8325 kN ditunjukkan pada Gambar 4.1 c. Diteruskan oleh *adhesive* dengan campuran *iron ore* ukuran butir 0,10 mm sebesar 0,8175 kN ditunjukkan pada Gambar 4.1 b, kemudian *adhesive* dengan campuran *iron ore* ukuran butir 0,315 mm sebesar 0,7577 kN ditunjukkan pada Gambar 4.1 d, dan yang terakhir adalah *adhesive* tanpa campuran sebesar 0,4835 kN ditunjukkan pada Gambar 4.1 a. Sedangkan pada Gambar 4.1 e merupakan grafik hubungan *load* – *displacement* semua spesimen pada pengujian *peeling*.

### b. Grafik Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *Peel*



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *Peel*.

Grafik diatas menunjukkan pengaruh Variasi Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap kekuatan *peel* dari *epoxy adhesive layer*. Dari grafik didapat nilai *adhesive* dengancampuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,280 mm sebesar 2,08 MPa; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,10 mm sebesar 2,04 MPa; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,315 mm sebesar 1,89 MPa; dan *adhesive* tanpa serbuk sebesar 1,21 MPa. Besar dari kekuatan *peel* ini diambil dari beban maksimal setiap variasi pada grafik *load-displacement*, untuk perhitungannya dapat dilihat pada sub bab pembahasan.

#### 4.1.1 Distribusi Serbuk Spesimen *Peeling*





c.

d.

Gambar 4.3 Distribusi Sebaran Serbuk Spesimen Pengujian *Peeling*. a) Spesimen *Peeling* Tanpa Campuran. b) Spesimen *Peeling* Butiran *Iron Ore* 0,10 mm. c) Spesimen *Peeling* Butiran *Iron Ore* 0,280 mm d) Spesimen *Peeling* Butiran *Iron Ore* 0,315 mm

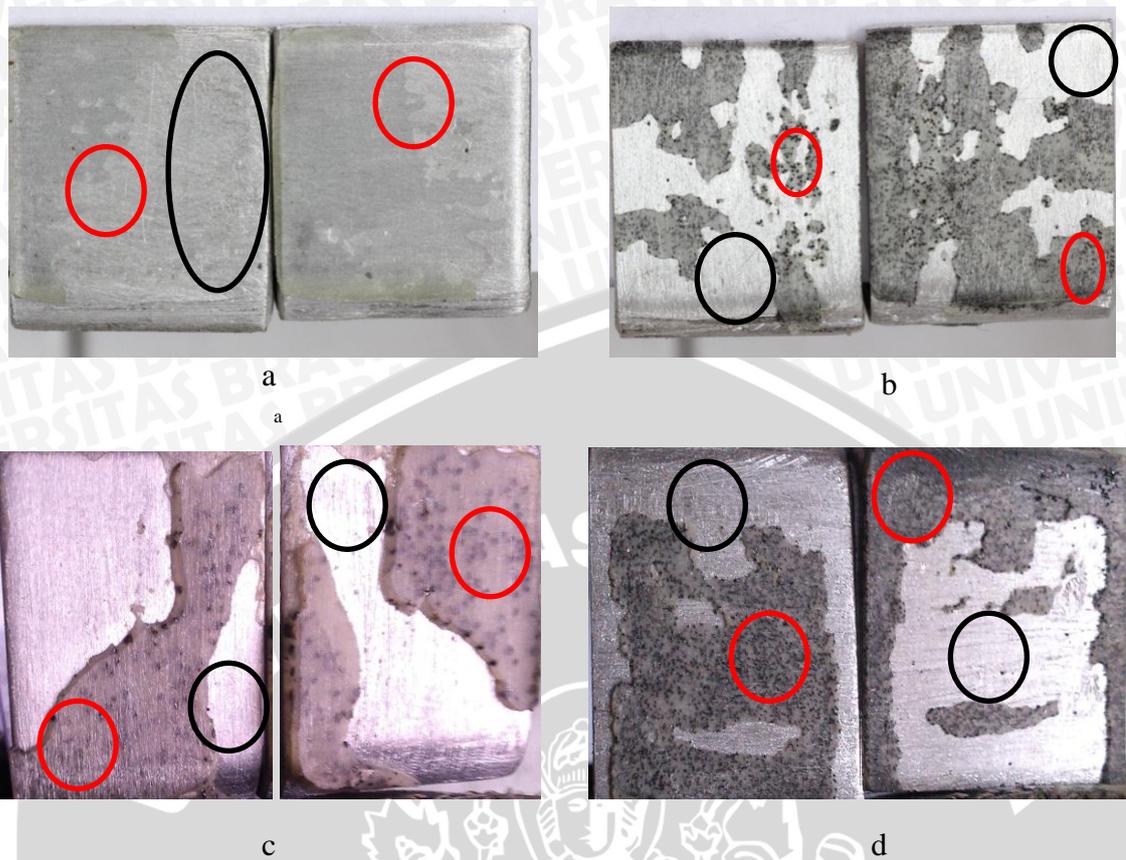
Pada Gambar 4.3 merupakan spesimen *peeling* yang telah difoto makro setelah dilakukan pengujian untuk melihat distribusi sebaran serbuknya. Dari Gambar spesimen yang telah ditambahkan serbuk *Iron Ore* terlihat bahwa material serbuk mengisi seluruh permukaan lapisan *adhesive*. Distribusi sebaran serbuk pada masing-masing spesimen terbilang merata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 b, c, dan d.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Perilaku Perambatan Retak Pengujian *Peeling*.

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa *load* terjadi sampai titik tertentu kemudian terjadi penurunan yang cukup signifikan. Besarnya *load* sebelum terjadi penurunan secara signifikan ini disebut *load* maksimum atau beban maksimum yang dapat diterima dari *adhesive*.

Pada Gambar 4.1 a, b, c, dan d terdapat beberapa titik yang mengalami peningkatan *load* yang tidak signifikan (terdapat lingkaran hitam). hal ini disebabkan jenis patah yang terjadi pada *adhesive*. Untuk lebih jelas dapat dilihat di tinjauan pustaka sub bab 2.9. Patah yang terjadi pada saat grafik meningkat secara tidak signifikan adalah patah *cohesive*. Hal ini disebabkan karena gaya tarik menarik antara *adhesive* dengan *interface* lebih kuat dibanding gaya tarik menarik antar *adhesive* itu sendiri. Kemudian pada saat grafik mengalami peningkatan *load* yang signifikan adalah saat spesimen mengalami patah *adhesive*. Hal ini disebabkan karena gaya tarik menarik antara *adhesive* itu sendiri.



Gambar 4.4 Jenis Patahan a) Spesimen *Peeling* Tanpa Campuran. b) Spesimen *Peeling* Butiran *Iron Ore* 0,10 mm. c) Spesimen *Peeling* Butiran *Iron Ore* 0,280 mm d) Spesimen *Peeling* Butiran *Iron Ore* 0,315 mm

Pada Gambar 4.4 diatas, terlihat daerah berwarna lingkaran hitam adalah daerah yang tidak terdapat bekas lem pada *interface*-nya adalah jenis patah *adhesive* dan untuk daerah lingkaran berwarna merah adalah daerah patah *cohesive*, dimana terdapat bekas lem pada *interface*-nya. Jadi untuk patah yang terjadi tidak hanya satu jenis saja melainkan terdapat dua jenis patah. Patah ini disebut patah campuran karena adanya patah *adhesive* dan *cohesive* pada satu sambungan lem.

Dari Gambar 4.1 didapat nilai *adhesive* dengan campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,10 mm dapat menahan beban maksimum sebesar 0,8175 kN; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,280 mm sebesar 0,8325 kN; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,315 mm sebesar 0,7577 kN; dan *adhesive* tanpa serbuk sebesar 0,4835 kN. Dari beban maksimum ini nantinya akan didapatkan kekuatan *peel* dari masing-masing spesimen yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

#### 4.2.2 Pengaruh Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *Peel Epoxy Adhesive Layer*

Dari Gambar 4.1 didapat beban maksimal tiap-tiap adhesive. Dari beban maksimal tiap *adhesiv* edapat diketahui kekuatan *peel* dari *adhesive*. dengan menggunakan persamaan 2-1 yang mana contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

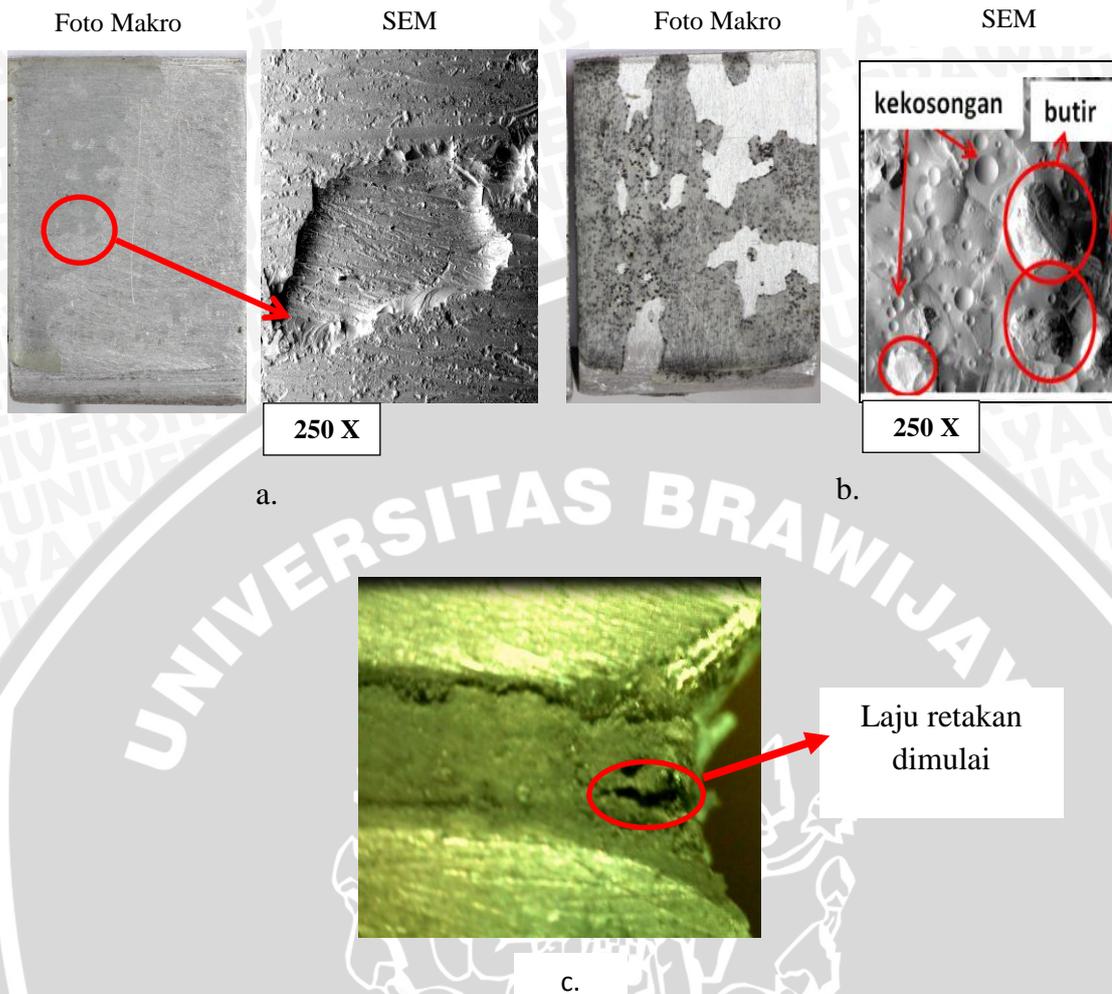
$$\sigma_t = \frac{483.5}{400}$$

$$\sigma_t = 1.21 \text{ MPa}$$

Sehingga didapat kekuatan *peel* sebesar 1,21 MPa (beban maksimal dikonversikan menjadi satuan newton, dikalikan 1000).

Dari perhitungan diatas, nilai beban maksimum( $\sigma_t$ ) 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 0,280 mm sebesar 2,08 MPa. Sedangkan *adhesive* tanpa campuran memiliki kekuatan yang paling kecil sebesar 1,21 MPa.

Dari Gambar 4.2 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*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat lewat foto SEM sebagai berikut :



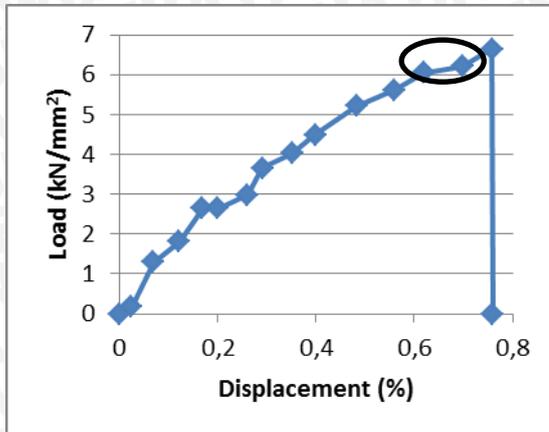
Gambar 4.5 Foto SEM Spesimen Pengujian *Peeling*. a) Patahan *Adhesive* Tanpa Campuran. b) Patahan *Adhesive* Campuran *Iron Ore* 0.10 mm. c) *Capture* Laju Retak Spesimen *Peeling Adhesive* Campuran *Iron Ore* 0.10 mm

Pada Gambar 4.5 a terlihat permukaan dari patahan *adhesive* tanpa campuran *iron ore*, terlihat rata tanpa adanya bekas butiran. Jika dibandingkan dengan Gambar 4.5 b *adhesive* dengan campuran *iron ore* 0,10 mm terlihat bekas-bekas butiran yang dapat menghalangi retakan saat *adhesive* menerima beban. Sedangkan pada Gambar 4.5 c merupakan perambatan laju retak dimulai pada spesimen *peeling*. 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*.

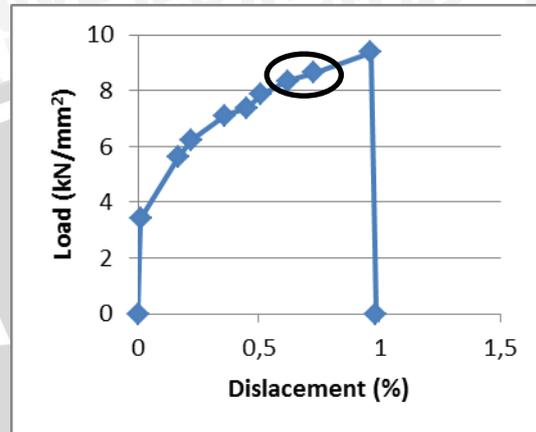
### 4.3 Data Hasil Pengujian *Tearing*

- Terlampir

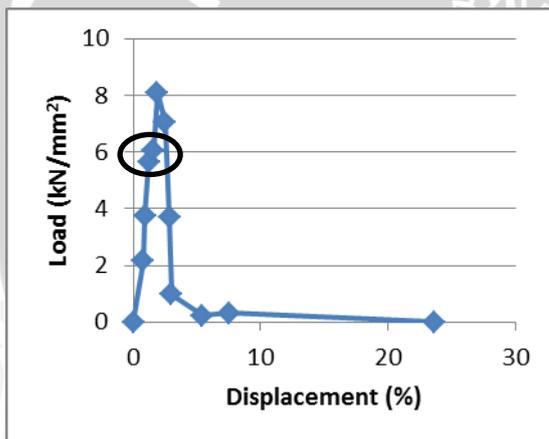
#### a. Grafik Perbandingan *Load – Displacement* Pengujian *Tearing*.



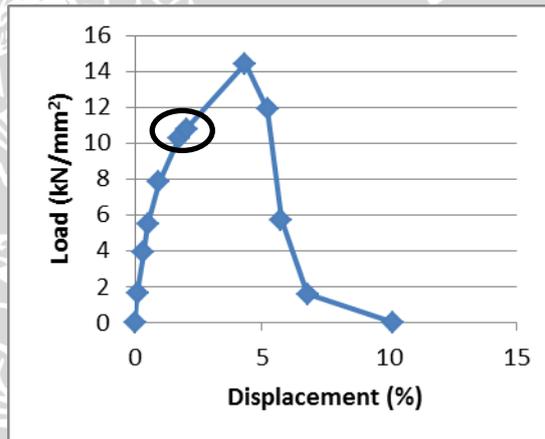
a. Tanpa Campuran Serbuk



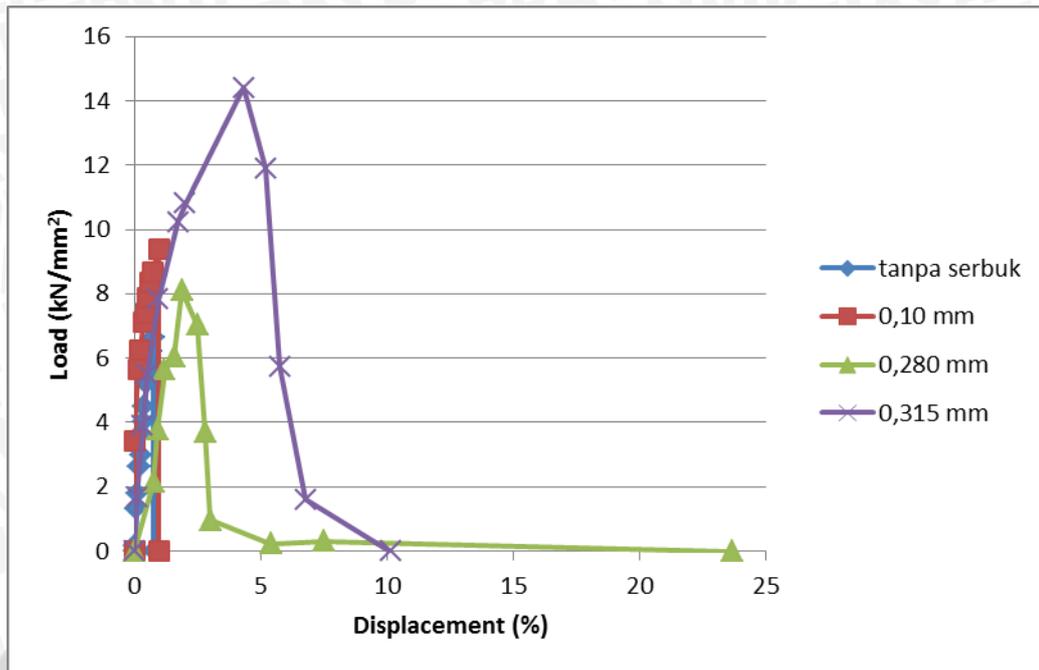
b. Ukuran Butir *Iron Ore* 0,10 mm



c. Ukuran Butir *Iron Ore* 0.280 mm



d. Ukuran Butir *Iron Ore* 0,315 mm

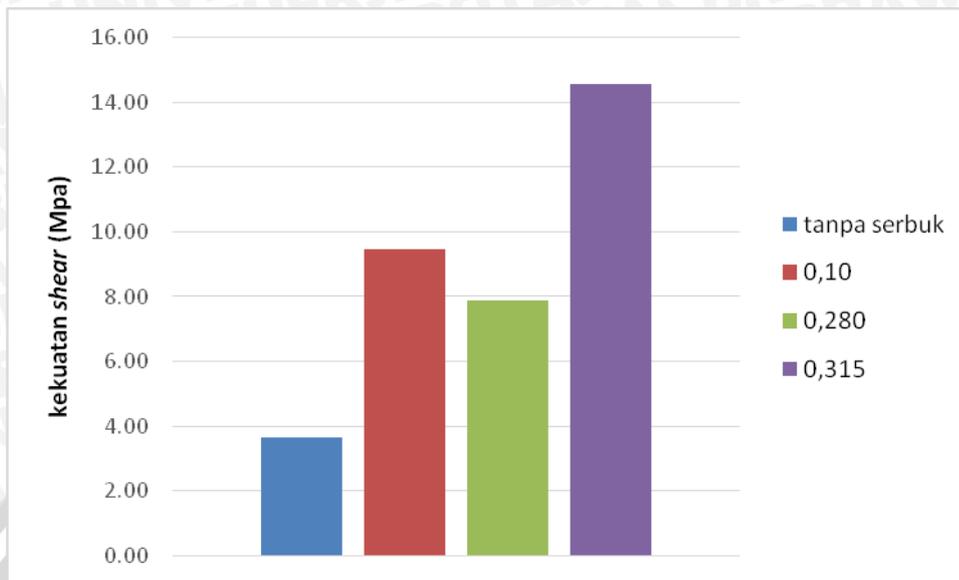


e)

Gambar 4.6 Grafik *Load-Displacement* Pengujian *Tearing*. a) Tanpa Campuran Serbuk. b) Ukuran Butir *Iron Ore* 0,10 mm. c) Ukuran Butir *Iron Ore* 0,280 mm. d) Ukuran Butir *Iron Ore* 0,315 mm. e) semua spesimen.

Gambar 4.6 diatas menunjukkan grafik hubungan antara *load* terhadap *displacement* pada pengujian *tearing*. Dapat dilihat bahwa kecenderungan dari grafik diatas adalah *load* mengalami kenaikan sampai titik tertentu yang disebut dengan *load* maksimum, kemudian terjadi penurunan yang cukup signifikan. selain itu, *adhesive* yang tidak diberi campuran maupun yang diberikan campuran serbuk *Iron Ore* memiliki kecenderungan yang sama yaitu *load* akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya *displacement*. *Load* maksimum dengan nilai tertinggi didapat oleh *adhesive* campuran *iron ore* dengan ukuran butir 0,315 mm sebesar 5,8347 kN ditunjukkan pada Gambar 4.6 d. Diteruskan oleh *adhesive* dengan campuran *iron ore* ukuran butir 0,10 mm sebesar 3,7936 kN ditunjukkan pada Gambar 4.6 b, kemudian *adhesive* dengan campuran *iron ore* ukuran butir 0,280 mm sebesar 3,1456 kN ditunjukkan pada Gambar 4.1 c, dan yang terakhir adalah *adhesive* tanpa campuran sebesar 1,4606 kN ditunjukkan pada Gambar 4.1 a. Sedangkan pada Gambar 4.1 e merupakan grafik hubungan *load* – *displacement* semua spesimen pada pengujian *tearing*.

## b. Grafik Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *Shear*



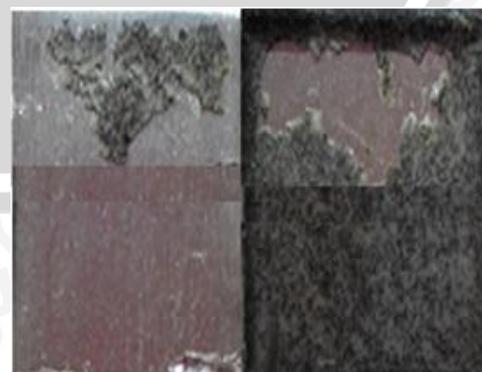
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *Shear*.

Grafik diatas menunjukkan pengaruh variasi ukuran serbuk *iron ore* terhadap kekuatan *shear* dari *epoxy adhesive layer*. Dari grafik didapat nilai *adhesive* dengan campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,315 mm sebesar 14,59 MPa; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,10 mm sebesar 9,48 MPa; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,280 mm sebesar 7,86 MPa; dan *adhesive* tanpa serbuk sebesar 3,65 MPa. Besar dari kekuatan *shear* ini diambil dari beban maksimal setiap variasi pada grafik *load-displacement*, untuk perhitungannya dapat dilihat pada sub bab pembahasan.

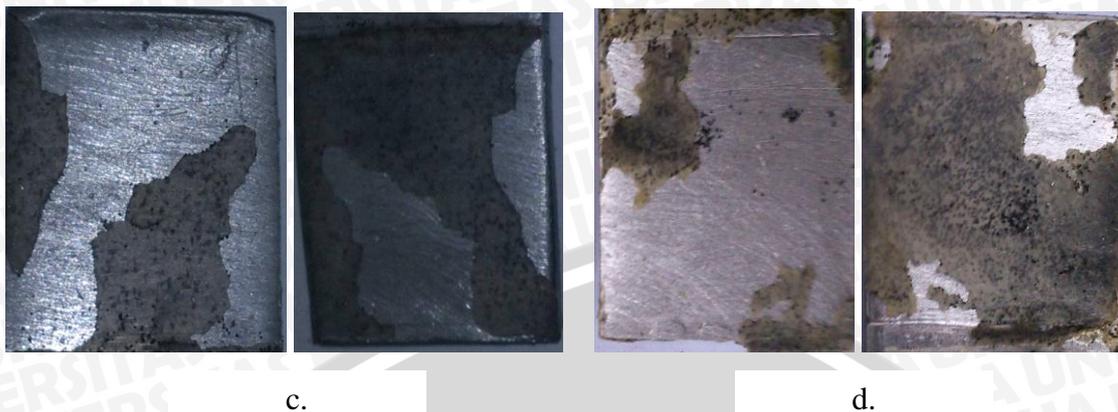
### 4.1.5 Distribusi Serbuk Spesimen *Tearing*



a.



b.



Gambar 4.8 Distribusi Sebaran Serbuk Spesimen Pengujian *Tearing*. a) Spesimen *Tearing* Tanpa Campuran. b) Spesimen *Tearing* Butiran *Iron Ore* 0,10 mm. c) Spesimen *Tearing* Butiran *Iron Ore* 0,280 mm. d) Spesimen *Tearing* Butiran *Iron Ore* 0,315 mm.

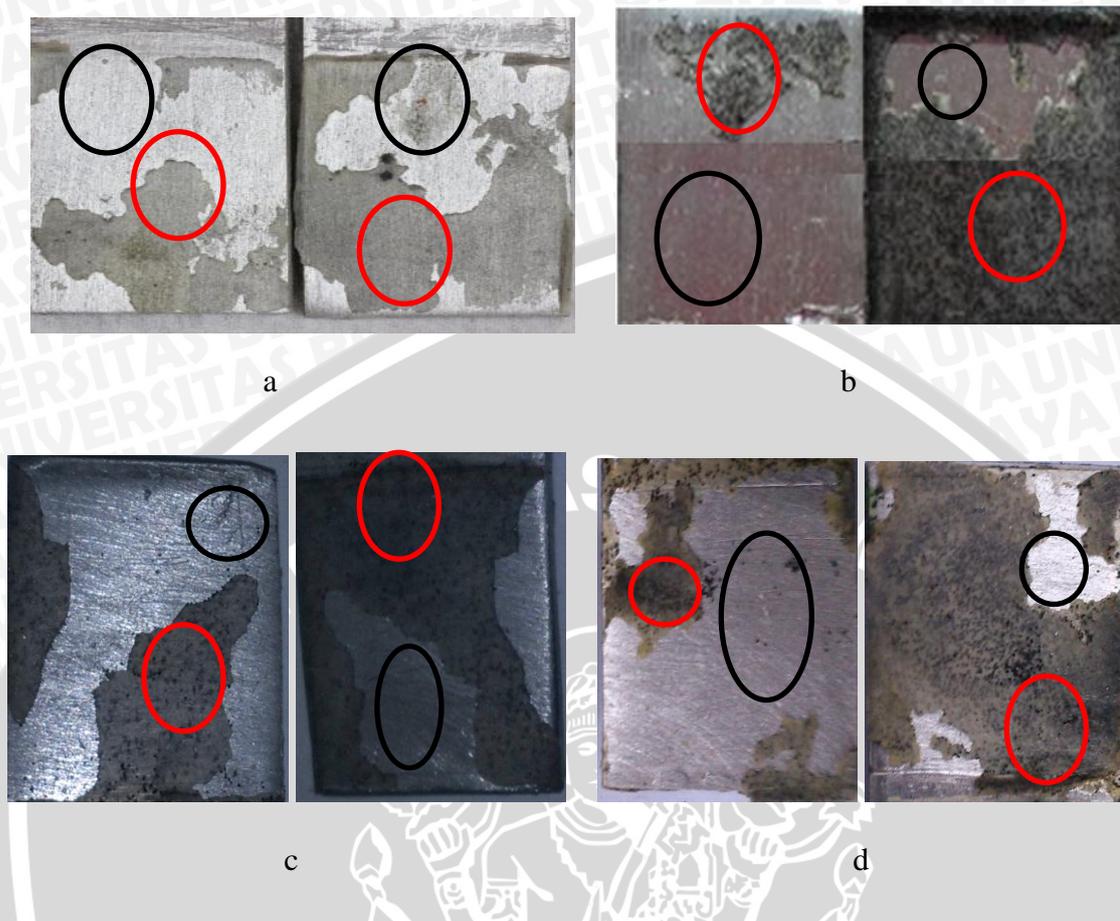
Pada Gambar 4.8 merupakan spesimen *Tearing* yang telah difoto makro setelah dilakukan pengujian untuk melihat distribusi sebaran serbuknya. Dari Gambar spesimen yang telah ditambahkan serbuk *Iron Ore* terlihat bahwa material serbuk mengisi seluruh permukaan lapisan *adhesive*. Distribusi sebaran serbuk pada masing-masing spesimen terbilang merata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 b, c, dan d.

#### 4.4 Pembahasan

##### 4.4.1 Perilaku Perambatan Retak Pengujian *Tearing*

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa *load* terjadi sampai titik tertentu kemudian terjadi penurunan yang cukup signifikan. Besarnya *load* sebelum terjadi penurunan secara signifikan ini disebut *load* maksimum atau beban maksimum yang dapat diterima dari *adhesive*.

Pada Gambar 4.1 a, b, c, dan d terdapat beberapa titik yang mengalami peningkatan *load* yang tidak signifikan (terdapat lingkaran hitam). hal ini disebabkan jenis patah yang terjadi pada *adhesive*. Untuk lebih jelas dapat dilihat di tinjauan pustaka sub bab 2.9. Patah yang terjadi pada saat grafik meningkat secara tidak signifikan adalah patah *cohesive*. Hal ini disebabkan karena gaya tarik menarik antara *adhesive* dengan *interface* lebih kuat dibanding gaya tarik menarik antar *adhesive* itu sendiri. Kemudian pada saat grafik mengalami peningkatan *load* yang signifikan adalah saat spesimen mengalami patah *adhesive*. Hal ini disebabkan karena gaya tarik menarik antara *adhesive* itu sendiri.



Gambar 4.9 Jenis Patahan a) Spesimen *Tearing* Tanpa Campuran. b) Spesimen *Tearing* Butiran *Iron Ore* 0,10 mm. c) Spesimen *Tearing* Butiran *Iron Ore* 0,280 mm d) Spesimen *Tearing* Butiran *Iron Ore* 0,315 mm

Pada Gambar 4.9 diatas, terlihat daerah berwarna lingkaran hitam adalah daerah yang tidak terdapat bekas lem pada *interface*-nya adalah jenis patah *adhesive* dan untuk daerah lingkaran berwarna merah adalah daerah patah *cohesive*, dimana terdapat bekas lem pada *interface*-nya. Jadi untuk patah yang terjadi tidak hanya satu jenis saja melainkan terdapat dua jenis patah. Patah ini disebut patah campuran karena adanya patah *adhesive* dan *cohesive* pada satu sambungan lem.

Dari Gambar 4.6 didapat nilai *adhesive* dengan campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,315 mm dapat menahan beban maksimum sebesar 5,8347 kN; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,10 mm sebesar 3,7936 kN; campuran serbuk *iron ore* ukuran butir 0,280 mm sebesar 3,1456 kN; dan *adhesive* tanpa serbuk sebesar 1,4606 kN. Dari beban maksimum ini nantinya akan didapatkan kekuatan *tear* dari masing-masing spesimen yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

#### 4.4.2 Pengaruh Ukuran Serbuk *Iron Ore* terhadap Kekuatan *Shear Epoxy Adhesive Layer*

Dari Gambar 4.6 didapat beban maksimal tiap-tiap *adhesive*. Dari beban maksimal tiap *adhesive* diambil untuk dilakukan perhitungan kekuatan *tear* dari *adhesive*. Dengan menggunakan persamaan 2-2 yang mana contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$\tau = \frac{F}{A}$$

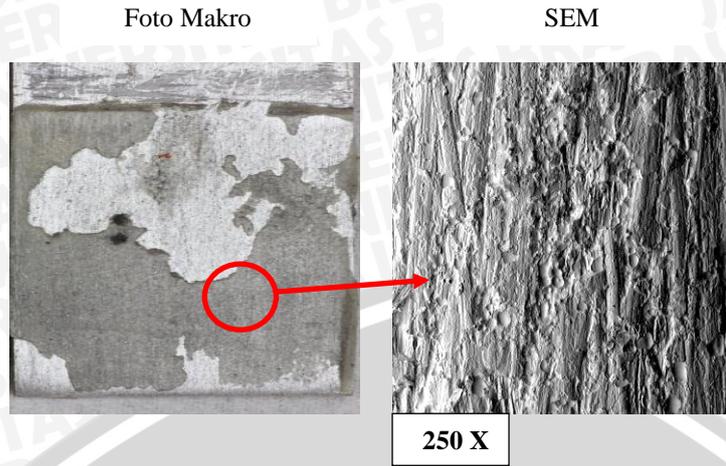
$$\tau = \frac{5834,7}{400}$$

$$\tau = 14,59 \text{ MPa}$$

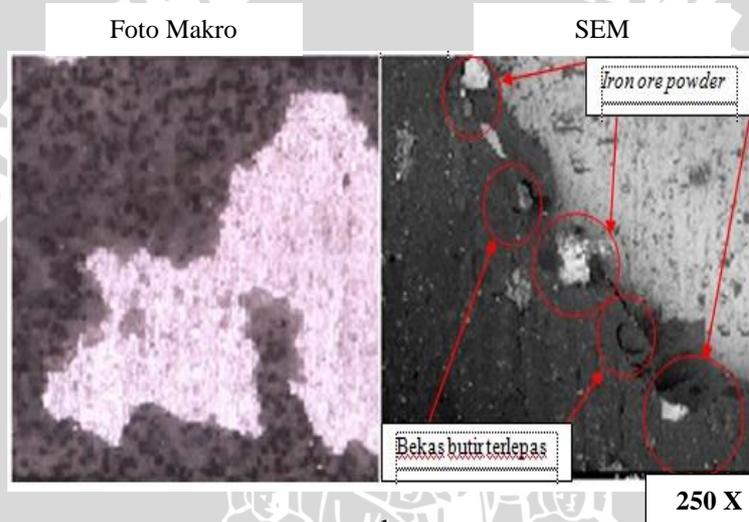
Sehingga didapat kekuatan *shear* sebesar 14,59 MPa (beban maksimal dikonversikan menjadi satuan newton, dikalikan 1000).

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa beban maksimum (F) berbanding lurus dengan kekuatan *shear* sehingga semakin besar beban maksimum yang mampu diterima *adhesive* maka semakin besar pula kekuatan *shear*-nya. Dalam pengujian *tearing*, nilai kekuatan *shear* yang paling besar adalah *adhesive* dengan campuran *iron ore* 0,315 mm sebesar 14,59 MPa. Sedangkan *adhesive* tanpa campuran serbuk memiliki kekuatan yang paling kecil sebesar 1,4606 MPa.

Dari Gambar 4.7 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 melewati atau menghancurkan butiran yang bercampur dengan *adhesive*. Hal ini dapat dijelaskan pada foto SEM sebagai berikut :



a.



b.



c.

Gambar 4.10 Foto SEM Spesimen Pengujian *Tearing*. a) Patahan Adhesive Tanpa Campuran. b) Patahan Adhesive Campuran Iron Ore 0,10 mm c) Capture Laju Retak Spesimen *Tearing Adhesive* Campuran Iron Ore 0.10 mm

Pada Gambar 4.10 a terlihat permukaan dari patahan *adhesive* tanpa campuran *iron ore*, terlihat rata tanpa adanya bekas butiran. Jika dibandingkan dengan Gambar 4.10 b *adhesive* dengan campuran *iron ore* 0,10 mm terlihat bekas-bekas butiran yang dapat menghalangi retakan saat *adhesive* menerima beban. Sedangkan pada Gambar 4.10 c merupakan perambatan laju retak dimulai pada spesimen *Tearing*. 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*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian *peeling* dan *tearing* pada sambungan *epoxy adhesive layer* didapatkan kesimpulan :

1. Pemberian serbuk *iron ore* pada *epoxy adhesive layer* meningkatkan kekuatan *peel* dan *shear*-nya.
2. Distribusi material serbuk pada *epoxy adhesive layer* yang telah ditambahkan serbuk *iron ore* pada masing-masing spesimen merata.
3. Patah yang terjadi pada masing-masing spesimen baik *peel* dan *tear* adalah patah campuran dimana terdapat patah *adhesive* dan *cohesive*.
4. Penambahan serbuk *iron ore* dengan ukuran butir 0,280 mm dapat memberikan nilai kekuatan *peel* paling tinggi dan penambahan serbuk *iron ore* dengan ukuran butir 0,315 mm memiliki kekuatan *shear* paling tinggi.

### 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Menggunakan *adhesive* berjenis lain yang bukan *epoxy*.
2. Jenis butiran serbuk dapat divariasikan.
3. Spesimen digosok menggunakan kertas gosok yang kasar untuk meningkatkan ikatan pada *interface*.
4. Meneliti konduktivitas termal dari sambungan karena merupakan kelebihan utama dari *adhesive* yang dicampur material serbuk logam.