

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

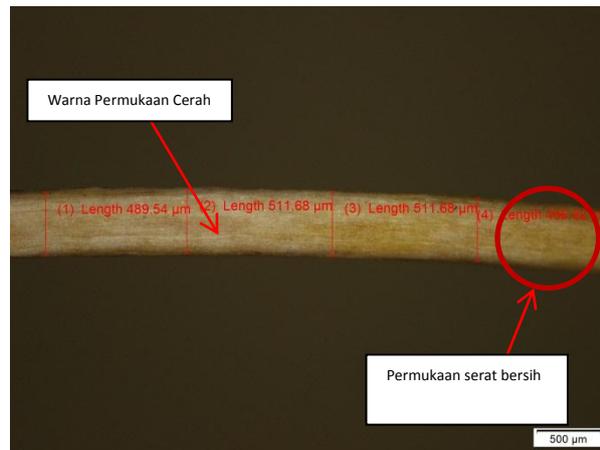
#### 4.1. Morfologi Permukaan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Morfologi permukaan serat tandan kosong kelapa sawit dapat diketahui dengan melakukan uji optik pada serat tunggal. Serat TKKS memiliki permukaan yang berminyak seperti pada gambar 4.1, hal ini dapat mempengaruhi kualitas ikatan antara serat dan matriks. Oleh karena itu dilakukan pembersihan permukaan serat dengan cara dicuci dengan air mengalir, dan direbus untuk mengurangi kandungan minyak dipermukaan serat.

Uji optik yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pencucian dan perebusan terhadap permukaan serat TKKS yang berminyak. Setelah dilakukan proses pencucian dan perebusan, hasilnya minyak yang terdapat pada permukaan serat TKKS dapat dikurangi, hal itu tampak dari gambar 4.2 yang menunjukkan permukaan serat yang lebih bersih daripada sebelum pencucian dan perebusan.



Gambar 4.1 Permukaan serat TKKS sebelum perebusan



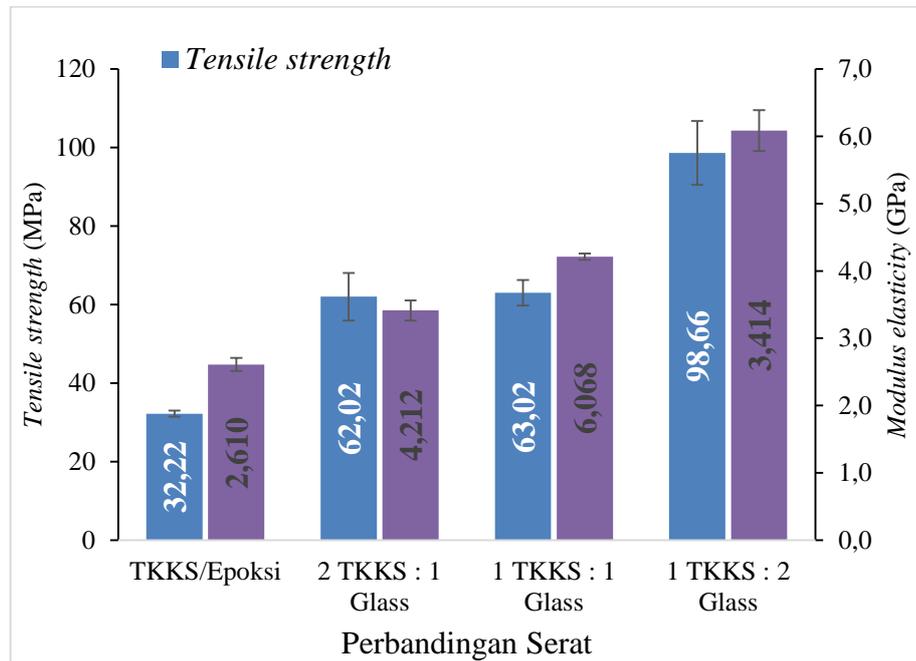
Gambar 4.2 Permukaan serat TKKS setelah perebusan

Sementara menurut Agustin (2016), perlakuan perebusan dan perendaman pada serat TKKS tidak akan mempengaruhi karakteristik serat TKKS yang meliputi berat jenis, panjang dan diameter, hanya saja perlakuan perebusan dapat berpengaruh terhadap warna permukaan serat.

## 4.2. Hasil Uji Kekuatan Mekanis

### 4.2.1. Hasil pengujian spesimen tarik

Dari pengujian tarik yang dilakukan terhadap tiga variasi spesimen tarik, yaitu variasi perbandingan volume serat TKKS dan E-glass sebesar 1:1, 1:2 dan 2:1, dimana setiap variasi diwakili oleh lima spesimen, maka didapatkan data spesimen uji dan dapat diketahui kekuatan tarik (tensile strength), dan modulus elastisitas dari spesimen. Dibawah ini merupakan grafik dari nilai rata-rata kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari ketiga variasi spesimen tarik pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Nilai rata-rata kekuatan tarik dan modulus elastiitas

- A = TKKS/Epoksi
- B = 1 TKKS : 1 GLASS = TKKS 20% : E-GLASS 20%
- C = 1 TKKS : 2 GLASS = TKKS 13,33% : E-GLASS 26,77%
- D = 2 TKKS : 1 GLASS = TKKS 26,77% : E-GLASS 13,33%

Dari gambar 4.3 diketahui bahwa kuat tarik komposit dengan fraksi volume 40:60% mengalami peningkatan kekuatan tarik seiring dengan penambahan volume serat *e-glass*. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas tiap variasi nilainya berbeda. Nilai rata-rata kekuatan tarik pada 5 spesimen uji dengan perbandingan volume serat A, B, C, dan D berturut turut adalah sebesar 32,22 MPa, 63,02 MPa, 98,66 MPa, dan 62,02 MPa. Dari hasil tersebut, dapat diketahui variasi perbandingan volume serat C memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas paling baik diantara variasi lainnya. Variasi A tanpa penambahan *e-glass* memiliki hasil terendah, sedangkan dua variasi lainnya B dan D tidak terlalu memiliki nilai yang berbeda jauh. Tangguhnya variasi C dipengaruhi oleh jumlah volume serat *e-glass* yang lebih

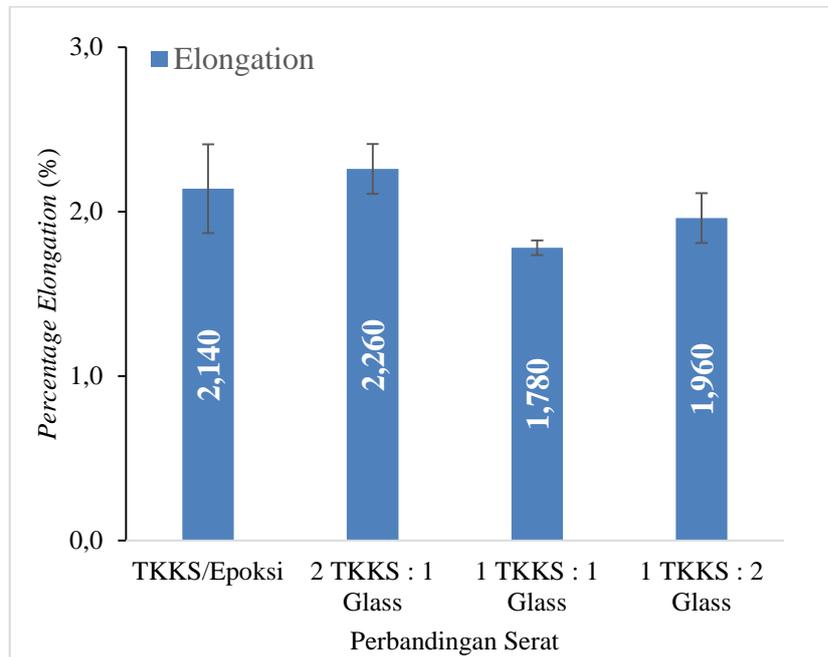
banyak dibanding jumlah volume serat TKKS. Perlakuan serat e-glass dengan muffle furnace juga mempengaruhi kekuatan dan daya ikat antara serat e-glass dan matriks.

Variasi volume serat B dan D sendiri dinilai sudah cukup memiliki angka yang baik dalam kekuatan tarik, namun yang membuat nilai kekuatan tarik tidak sebaik variasi C, adalah jumlah perbandingan volume seratnya. Begitu pula yang terjadi pada variasi perbandingan volume serat A yang tanpa penambahan *e-glass*. Hal ini sekaligus membuktikan serat *e-glass* masih lebih baik dalam daya ikat homogenitasnya menyatu dengan matriks dibandingkan dengan TKKS. TKKS juga memiliki daya ikat terhadap matriks, hanya saja pada permukaannya masih terdapat lapisan minyak tipis yang mungkin saja menghambat laju penyerapan matriks pada saat fabrikasi.

Penambahan volume serat TKKS tidak terlalu mempengaruhi kekuatan tarik dan modulus elastisitas pada komposit hibrid, sementara sebaliknya penambahan volume serat e-glass berpengaruh besar terhadap kuat tarik dan modulus elastisitas komposit.

#### 4.2.2. Regangan Tarik Komposit

Regangan tarik komposit pada ketiga variasi spesimen setelah dilakukan pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.4 Nilai rata-rata elongation

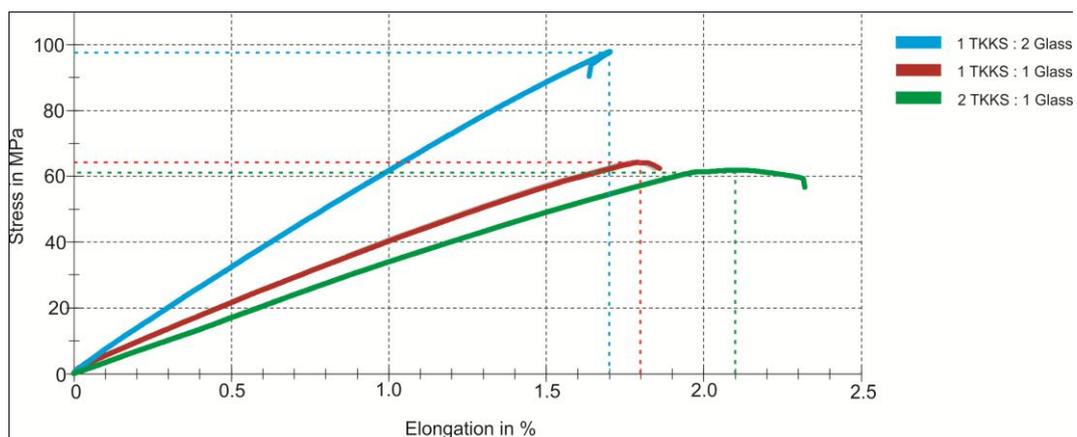
- A = TKKS/Epoksi
- B = 1 TKKS : 1 GLASS = TKKS 20% : E-GLASS 20%
- C = 1 TKKS : 2 GLASS = TKKS 13,33% : E-GLASS 26,77%
- D = 2 TKKS : 1 GLASS = TKKS 26,77% : E-GLASS 13,33%

Dari grafik regangan tarik komposit Gambar 4.4 diketahui bahwa regangan tarik komposit dengan fraksi volume 40:60% mengalami peningkatan seiring dengan penambahan variasi volume serat TKKS dan E-glass. Penambahan serat e-glass menurunkan regangan tarik komposit TKKS/Epoksi, namun pada penambahan 13,3% serat e-glass regangan tarik meningkat nilainya melebihi komposit TKKS/Epoksi.

Diketahui nilai rata-rata dari elongation atau pertambahan panjang yang dialami oleh spesimen uji tarik berbeda tiap variasinya, dimana variasi perbandingan volume serat D memiliki nilai regangan tarik sebesar 2,260% dari panjang mula-mula, ini merupakan nilai terbesar diantara variasi perbandingan volume serat lainnya. Variasi perbandingan volume serat C memiliki nilai regangan tarik sebesar 1,960% dari panjang mula-mula. Sedangkan perbandingan variasi B memiliki nilai 1,780 % dari panjang mula-

mula, dan merupakan nilai regangan tarik paling rendah. Ketiga nilai regangan tarik dari tiap-tiap spesimen tidak ada yang melebihi nilai 3% dari panjang mula-mula. Sedangkan untuk variasi A tanpa penambahan serat *e-glass* memiliki nilai regangan yang hampir serupa dengan variasi D.

Variasi dengan jumlah serat TKKS lebih banyak dibanding *e-glass* menunjukkan hasil regangan yang tinggi. Hal ini terjadi disebabkan oleh baiknya serat TKKS dalam menahan deformasi komposit yang terjadi saat dilakukan pengujian tarik terjadi. Semakin besar regangan tarik menunjukkan bahwa material tersebut semakin kuat menahan deformasi.



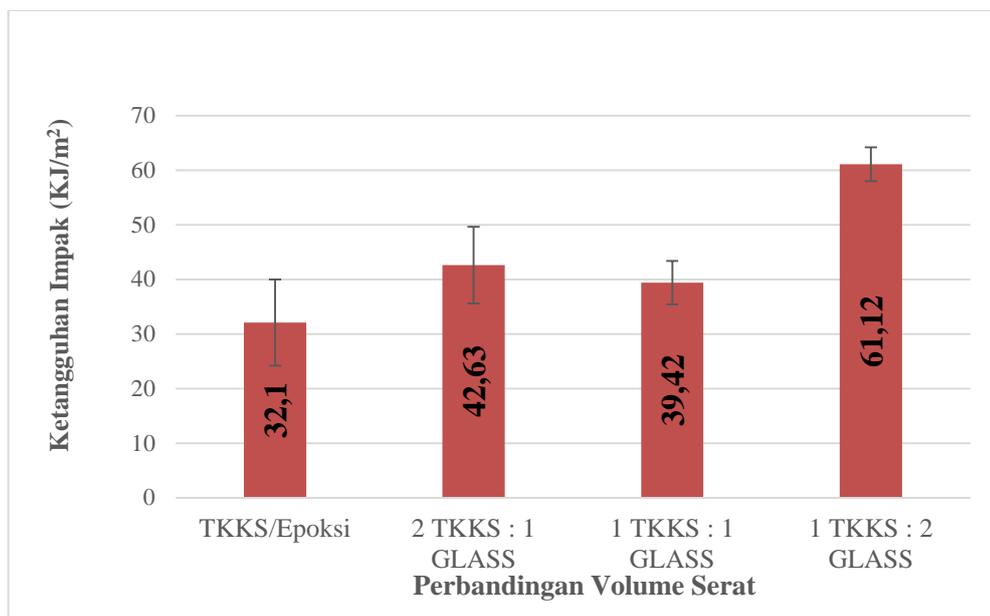
Gambar 4.5 Pengaruh varisai serat terhadap nilai kuat tarik dan elongation

Gambar 4.5 menjelaskan grafik nilai kuat tarik dan elongation dari spesimen terbaik tiap variasi. Dalam grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh 1 TKKS : 2 Glass, sedangkan nilai terendahnya dimiliki variasi 2 TKKS : 1 Glass. sedangkan untuk nilai elongation tertinggi dimiliki oleh variasi 2 TKKS : 1 Glass, dan nilai terendahnya dimiliki oleh variasi 1 TKKS : 2 Glass. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat glass berpengaruh terhadap sifat keuletan dari material komposit TKKS-Eglass/Epoksi. Semakin besar jumlah penambahan serat glass, maka sifat komposit semakin getas (*brittle*), sedangkan sebaliknya semaiqn besar jumlah serat TKKS maka sifat komposit semakin ulet (*ductile*). Faktor yang menyebabkan besarnya nilai

elongasi variasi dengan jumlah serat TKKS yang lebih besar yaitu karena serat TKKS memiliki nilai *elongation break* yang lebih tinggi dibanding serat glass. Serat glass merupakan serat dengan nilai elongation rendah namun modulus tinggi, sedangkan serat TKKS merupakan serat dengan nilai elongation tinggi namun modulus rendah (Hariharan, 2005).

#### 4.2.3. Hasil pengujian spesimen impact

Dari pengujian impact yang dilakukan terhadap tiga variasi spesimen tarik, yaitu variasi perbandingan volume serat TKKS dan E-glass sebesar 1:1, 1:2 dan 2:1, dimana setiap variasi diwakili oleh lima spesimen, maka didapatkan data spesimen uji, dan dapat diketahui kekuatan impact, dan energi serap. Dibawah ini merupakan grafik dari nilai rata-rata kekuatan impact pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Nilai rata-rata kekuatan impact

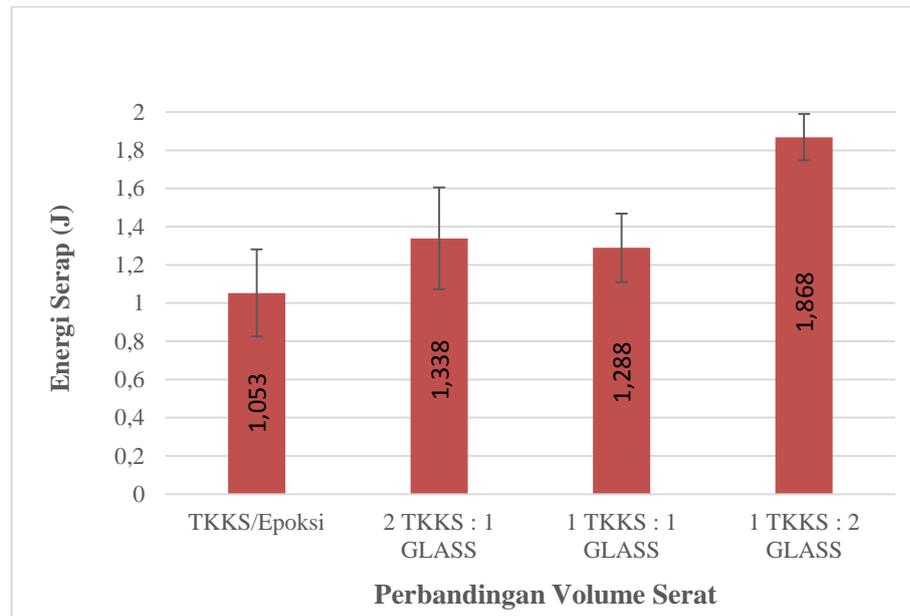
- A = TKKS/Epoksi
- B = 1 TKKS : 1 GLASS = TKKS 20% : E-GLASS 20%
- C = 1 TKKS : 2 GLASS = TKKS 13,33% : E-GLASS 26,77%
- D = 2 TKKS : 1 GLASS = TKKS 26,77% : E-GLASS 13,33%

Dari Gambar 4.6 diatas bahwa komposit TKKS-eglass/Epoksi dengan fraksi volume 40:60% yang menggunakan variasi volume serat menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya volume serat e-glass yang digunakan. Hasil pengujian impact komposit dengan variasi perbandingan volume serat C memiliki nilai rata-rata kekuatan impact tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu sebesar 61,12 KJ/m<sup>2</sup>. Sedangkan pada variasi perbandingan volume serat lainnya, nilai rata-rata kekuatan impact tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dimana variasi B memiliki nilai kekuatan impact sebesar 39,42 KJ/m<sup>2</sup>, dan D sebesar 42,63 KJ/m<sup>2</sup>.

Penambahan jumlah volume serat *e-glass* pada perbandingan C memberikan efek yang signifikan terhadap kekuatan impact. Sedangkan penambahan volume serat TKKS pada perbandingan D memberikan nilai kekuatan impact yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan nilai kekuatan impact yang dimiliki oleh variasi perbandingan B yang jumlah volume kedua seratnya sama.

#### 4.2.4. Energi Serap

Dari pengujian impact yang telah dilakukan, maka dapat diketahui energi serap spesimen tiap variasinya. Berikut adalah nilai rata-rata dari tiap variasi spesimen yang diuji impact pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Nilai rata-rata energi serap

- A = TKKS/Epoksi
- B = 1 TKKS : 1 GLASS = TKKS 20% : E-GLASS 20%
- C = 1 TKKS : 2 GLASS = TKKS 13,33% : E-GLASS 26,77%
- D = 2 TKKS : 1 GLASS = TKKS 26,77% : E-GLASS 13,33%

Dari grafik pada Gambar 4.7 diatas, diketahui penambahan serat e-glass meningkatkan senergi serap komposit. Nilai rata-rata energi serap dari tiap spesimen dengan variasi berbeda yang telah diuji impact, dimana variasi perbandingan volume serat C memiliki nilai terbaik diantara variasi perbandingan lainnya yaitu sebesar 1,868 J. Variasi perbandingan D memiliki nilai rata-rata energi serap sebesar 1,338 J, sedangkan variasi perbandingan B memiliki nilai energi serap terendah sebesar 1,288 J dan A sebesar 1,053 J. Hal ini karena serat e-glass dan matriks memiliki ikatan yang baik sehingga energi yang diterima oleh matriks kemudian dapat disalurkan menuju serat yang menahan beban. Lain hal dengan ikatan serat TKKS dengan matriks yang tidak baik sehingga menyebabkan *debonding* dan nilai energi serap komposit TKKS/Epoksi menjadi lebih rendah.

#### 4.2.5. Patahan Spesimen Uji Tarik

Patahan spesimen uji tarik yang terjadi pada tiap variasi spesimen umumnya terletak pada bagian tengah spesimen. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat 5 spesimen dengan beberapa variasi perbedaan volume serat yang diujikan, memiliki letak patahan yang berbeda-beda. Letak patahan mempengaruhi juga nilai kekuatan tarik tiap spesimen. Hal ini disebabkan oleh faktor rataannya persebaran serat dan matriks yang mempengaruhi titik kekuatan pada tiap spesimen. Oleh karena fabrikasi yang dilakukan secara manual, maka resiko kegagalan patah meningkat akibat potensi persebaran serat yang tidak merata.



Gambar 4.8 Patahan spesimen uji tarik

#### 4.2.6. Patahan Spesimen Uji Impak

Patahan pada spesimen uji impact terjadi akibat benturan pendulum pada massa tertentu terhadap spesimen sehingga membuat spesimen mengalami perubahan dari bentuk aslinya sampai patah. Dibawah ini merupakan gambar yang menunjukkan beberapa patahan yang terjadi pada variasi perbedaan volume serat pada Gambar 4.9

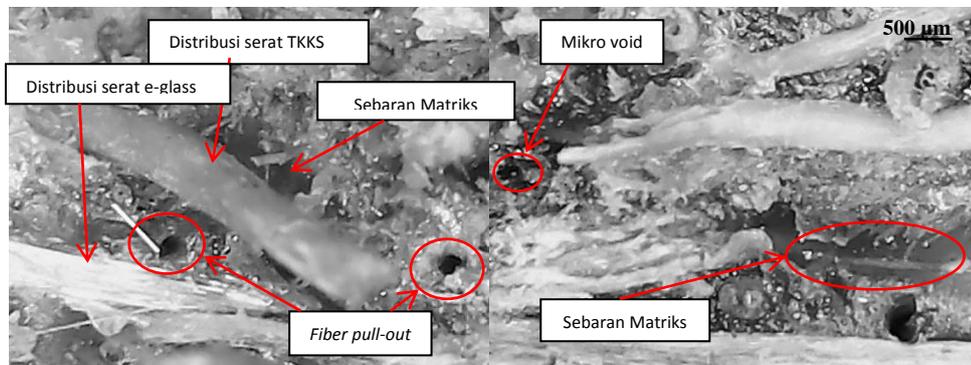


Gambar 4.9 Patahan spesimen uji impact

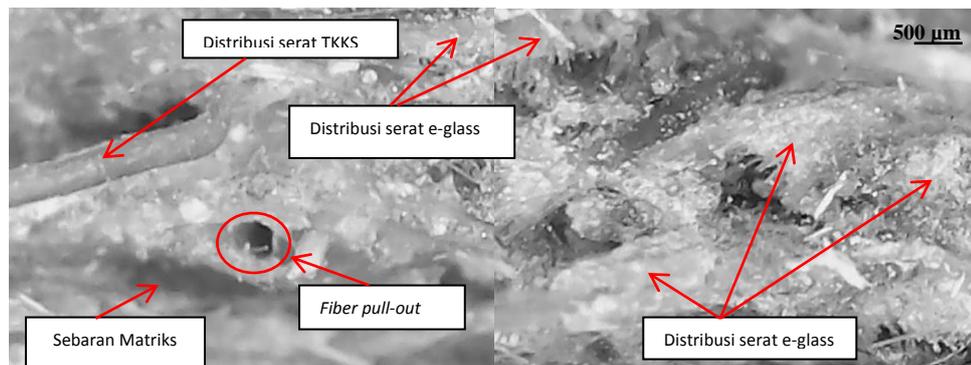
Patahan pada tiap spesimen menjadi berbeda juga diakibatkan persebaran serat yang tidak merata sehingga mempengaruhi kekuatan mekanis dari tiap-tiap spesimen. Seluruh spesimen pada Gambar 4.9 diberikan gaya dan beban yang sama, namun hasil pengujian patahnya berbeda. Begitupula dengan perbedaan nilai kekuatan impact dan energi serap. Akibat perbedaan tersebut, spesimen mengalami perbedaan kondisi setelah dilakukan uji impact.

### 4.3. Karakterisasi Struktur Patahan dan Persebaran Serat

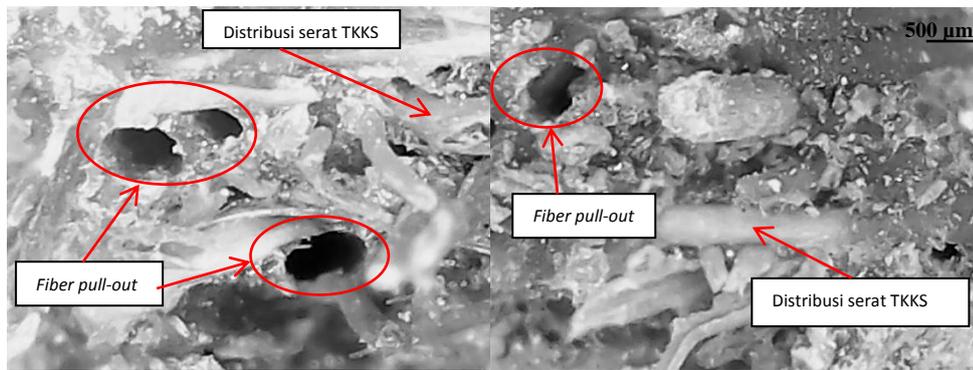
Setelah didapatkan patahan dari hasil pengujian, maka patahan pada tiap spesimen dari masing-masing variasi kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui struktur patahan dan persebaran serat pada spesimen komposit hibrid. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi patahan dan persebaran serat adalah dengan menggunakan foto mikroskop optik. Berikut pada Gambar 4.10 sampai Gambar dengan 4.15 berturut-turut adalah citra foto patahan spesimen tarik dan impact menggunakan mikroskop optik.



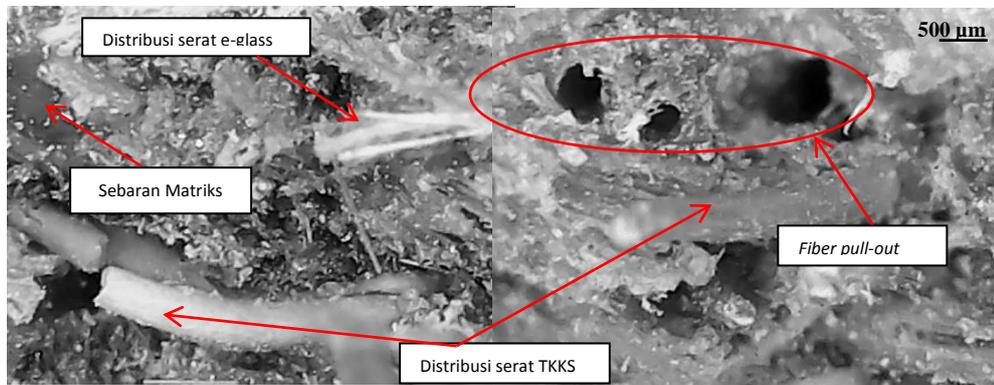
Gambar 4.10. Foto optik patahan tarik variasi perbandingan 1:1



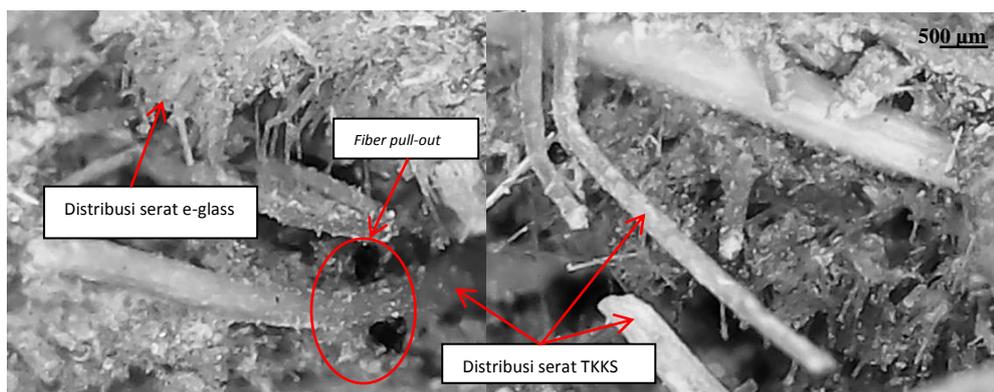
Gambar 4.11. Foto optik patahan tarik variasi perbandingan 1:2



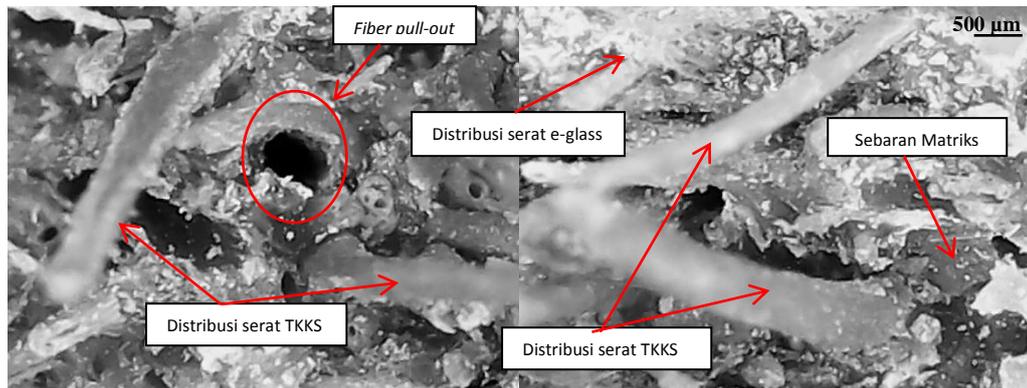
Gambar 4.12. Foto optik patahan tarik variasi perbandingan 2:1



Gambar 4.13. Foto optik patahan impak variasi perbandingan 2:1



Gambar 4.14. Foto optik patahan impak variasi perbandingan 1:2

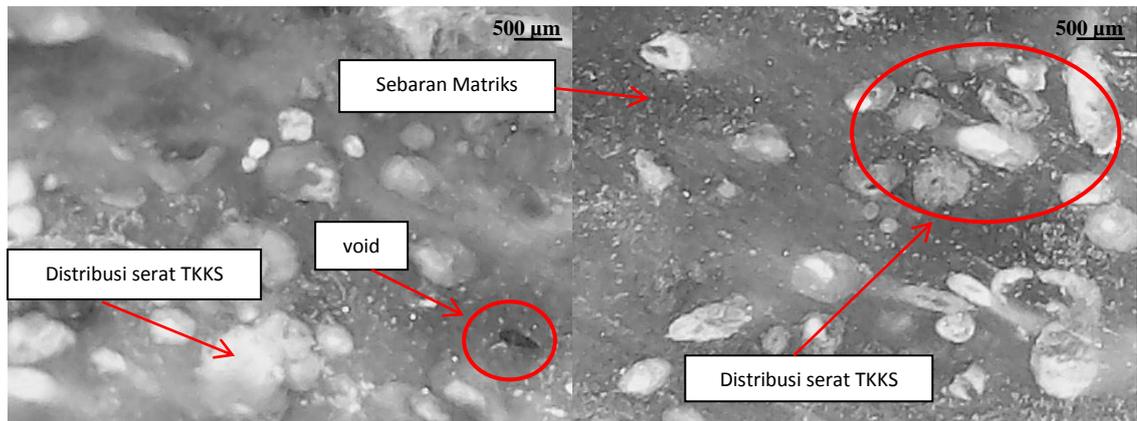


Gambar 4.15. Foto optik patahan impak variasi perbandingan 1:1

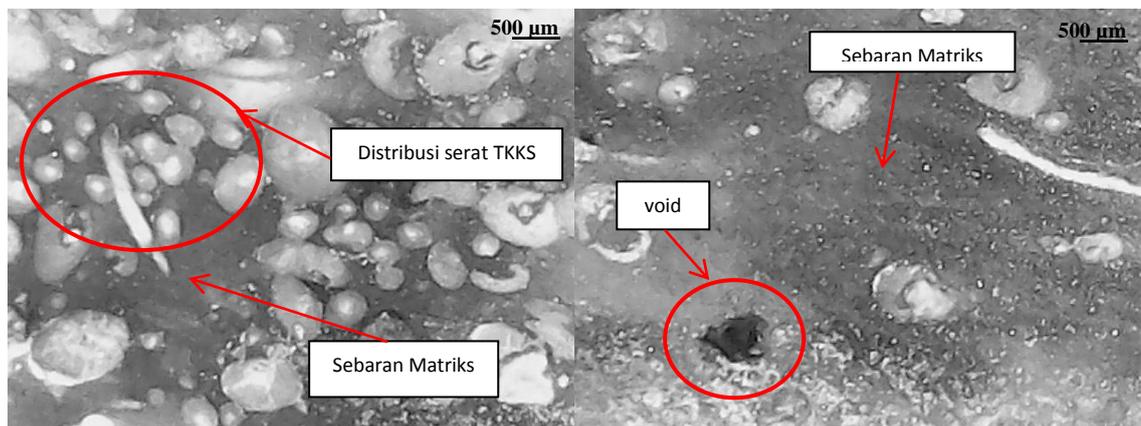
Dari citra mikroskop optik patahan serat spesimen tarik dan impak Gambar 4.7 sampai dengan Gambar 4.12, dapat dilakukan pengamatan terhadap distribusi serat TKKS, distribusi serat E-glass, sebaran matriks, fiber pullout, dan ikatan serat dengan matriks yang terlihat melalui optik. Dari ketiga sampel variasi tersebut, variasi 2 TKKS : 1 E-glass mengalami fiber pull-out terbesar bila dibandingkan variasi lainnya, hal ini bisa dilihat dari jumlah lubang yang tercipta akibat serat yang tertarik keluar saat proses uji tarik. Serat yang keluar karena minimnya ikatan serat TKKS dengan matriks atau *debonding* sehingga membuat kekuatan tarik dan impak spesimen melemah.

Pada variasi 1 TKKS : 2 E-Glass, dapat dilihat distribusi serat E-glass sangat merata ke seluruh permukaan patahan. Hal ini yang meminimalisir terjadinya fiber pull-out pada komposit. Sebaran E-glass yang merata juga mempengaruhi nilai kekuatan tarik menjadi lebih baik. Sedangkan pada variasi 1 TKKS : 1 E-Glass, distribusi serat cenderung merata keduanya, begitu juga dengan sebaran matriks yang dapat dilihat pada beberapa titik di permukaan patahan.

Fabrikasi yang dilakukan secara manual, menjadikan spesimen memiliki karakteristik yang berbeda-beda, namun dari beberapa variasi yang diambil sampelnya menunjukkan distribusi serat dan matriks yang cukup merata.



Gambar 4.16. Foto optik patahan spesimen tarik 2:1 dan 1:2



Gambar 4.17. Foto optik patahan spesimen impak 2:1 dan 1:2

Pada Gambar 4.13 dan 4.14 sebaran serat TKKS terlihat dominan pada citra optik. Pada variasi 1:1 terlihat sebaran serat merata, pada variasi 1:2 serat TKKS tidak terlalu banyak mengisi komposit, sedangkan pada variasi 2:1 serat TKKS mendominasi dengan sebaran serat yang merata. Hal tersebut terjadi karena pembuatan komposit dengan metode *hand lay-up* memungkinkan tidak meratanya sebaran serat. Bahkan terdapat void pada variasi 1:1 dikarenakan udara yang terjebak di dalam spesimen. Sebaran serat E-glass pada tiap spesimen cenderung tidak merata, terutama pada variasi perbandingan volume serat 2 TKKS : 1 E-Glass. Sedangkan pada variasi lainnya, terlihat lebih dominan sebaran matriks dan serat TKKS dibanding sebaran serat E-Glass.

#### 4.4. Kelayakan Material Komposit

Dari hasil uji mekanis seperti yang tersaji pada Gambar 4.1 dan 4.3 diatas, diketahui bahwa kekuatan maksimum dari variasi perbandingan volume serat terdapat pada variasi 1 TKKS : 2 E-Glass pada kedua uji tarik maupun impact. Dimana nilai rata-rata kekuatan maksimum tarik adalah pada 98,66 MPa, sedangkan impact berada pada 61,12 KJ/m<sup>2</sup>.

Penelitian tentang TKKS-Epoksi dengan variasi panjang serat, kuat tarik maksimum dari variasi panjang serat TKKS menunjukkan bahwa variasi panjang serat 15 mm memiliki kekuatan mekanis paling baik dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 32,22 MPa dan impact sebesar 32,10 kJ/m<sup>2</sup>. Bila dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik dan impact maksimum yang dihasilkan dari komposit hibrid serat TKKS-Eglass/Epoksi, komposit TKKS/Epoksi nilainya masih dibawah dari hasil penelitian ini. Hal ini menunjukkan komposit hibrid memiliki sifat mekanis yang lebih unggul dibanding komposit non-hibrid.

Mengacu pada penelitian yang dilakukan Myrtha (2008) tentang komposit serat TKKS-Eglass/Polyester dengan variasi volume serat dan perlakuan perendaman serat pada larutan alkali, diperoleh nilai kuat bending sebesar 143,0 MPa. Sedangkan penelitian oleh Kim (2016) yang meneliti kekuatan tarik komposit TKKS/Epoksi dengan variasi fraksi berat TKKS, didapatkan kekuatan tarik sebesar 40 MPa, *modulus young* sebesar 2.54 GPa.

Membandingkan pada penelitian diatas, maka hasil kekuatan mekanis dari penelitian TKKS-Eglass/Epoksi dengan metode *coldpress* masih dibawah nilai komposit TKKS-Eglass/polyester milik Myrtha (2008). Hal ini dikarenakan perbedaan perlakuan yang diberikan pada serat TKKS dan seart E-glass, juga disebabkan oleh perbedaan penggunaan matriks. Sedangkan membandingkan dengan penelitian Kim (2016), nilai kekuatan tarik komposit TKKS-Eglass/Epoksi jauh lebih baik. Penambahan serat e-glass menjadikan komposit hibrid memiliki kekuatan mekanis diatas komposit non-hibrid.

Namun bila dibandingkan dengan penelitian Hariharan (2005) tentang kuat tarik dan impak TKKS-Eglass/Epoksi dengan metode *vacuum bagging* bilayer komposit, hasil kuat tarik tertinggi sebesar 87 MPa lebih rendah nilainya dibanding penelitian ini sebesar 98,66 MPa, sedangkan kuat impak tertingginya sebesar 70 KJ/m<sup>2</sup>, lebih tinggi dari penelitian ini 61,12 KJ/m<sup>2</sup>.

Mengacu kepada penelitian yang dilakukan oleh Allaya (2014) tentang kelayakan mekanik komposit serat rami-polyester helm sebagai bahan penyusun helm standar SNI, dengan membandingkan nilai kekuatan mekanis helm biokomposit dengan helm standar SNI yang pada umumnya terbuat dari *Unsaturated Polyester Resin* atau UPRs. Diketahui kekuatan tarik dari helm SNI standar adalah sebesar 33,93 MPa. Nilai tersebut berada dibawah nilai dari komposit rami-polyester yang diteliti yaitu sebesar 48,41 MPa. Sedangkan nilai kuat tarik komposit TKKS-Eglass/Epoksi sebesar 98,66 MPa. Allaya (2014) juga meneliti kekuatan impak komposit serat rami-polyester sebesar 42,55 KJ/m<sup>2</sup>. Bila dibandingkan dengan hasil penelitian ini kekuatan impak maksimum komposit TKKS-Eglass/Epoksi berada pada 61,12 KJ/m<sup>2</sup>.

Bila mengacu pada beberapa penelitian diatas, maka komposit serat TKKS-E-Glass/Epoksi pada variasi 1 TKKS : 2 E-Glass dengan fraksi volume 60%:40% dengan metode *coldpress* dan serat acak, memiliki nilai kuat tarik lebih baik penelitian komposit non-hibrid Kim (2016), memiliki nilai kekuatan tarik dan impak yang hampir mendekati penelitian TKKS-Eglass/Epoksi Hariharan (2005) yang menggunakan metode *vacuum bagging* serat anyam, namun tidak lebih baik dari nilai kuat tarik komposit TKKS-Eglass/Polyester Myrtha (2008) yang menggunakan metode *hand lay up* serat kontinyu. Sedangkan dari segi kekuatan mekanis, bila dibandingkan dengan penelitian Allaya (2014), nilai tarik dan impak komposit TKKS-Eglass/Epoksi berada diatas komposit rami-polyester, dan helm standar SNI. Penelitian ini sudah dapat menunjukkan sifat kelayakan komposit hibrid TKKS-EGlass/Epoksi sebagai bahan penyusun tempurung helm.