

Karakteristik Uji Tarik Material Komposit Hibrida Polyester yang Diperkuat Serat Kaca dan Stainless Steel Hasil Anodasi

Putu Suwarta¹, Wajan Berata¹, Sutikno¹

¹Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111
E-mail: putu_suwarta@me.its.ac.id

Abstrak

Salah satu jenis material yang saat ini mendominasi industri transportasi adalah Polymer Matrix Composites (PMC) karena kekuatan spesifik dan ketangguhan spesifik tinggi disertai densitas rendah. Kelemahan mendasar dari penggunaan PMC adalah kegagalan seketika yang dialami ketika dikenakan beban statis maupun beban dinamis. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat mekanik dari material PMC adalah dengan menambahkan serat penguat kedua dengan kekuatan dan regangan lebih tinggi dibandingkan serat sintetis. Jenis material yang dapat dipergunakan sebagai serat penguat kedua adalah stainless steel. Guna meningkatkan efisiensi transfer beban antara stainless steel dengan serat sintetis maka permukaan stainless steel diberi perlakuan anodasi untuk memperkuat ikatan mekanik antara stainless steel dengan resin polymer.

Penelitian dilakukan pada komposit hibrida yang tersusun dari polymer thermosetting jenis polyester yukalac 157 BTQN-EX dengan dua serat penguat berbentuk anyaman berupa serat kaca WR 600 dan stainless steel 304L. Menggunakan perbandingan prosentase volume fraksi antara resin dan serat penguat sebesar 68 % : 32 % , komposit hibrida dibentuk menjadi laminate dengan jumlah total lapisan adalah 9 laminae serta posisi peletakan stainless steel di tengah laminate. Salah satu kelompok dari laminate hibrida mempergunakan stainless steel yang telah direaksikan dengan larutan HNO₃ untuk menghasilkan permukaan stainless steel yang kasar agar terjadi ikatan mekanik yang baik. Stainless steel mesh 304L memiliki ukuran diameter 274 µm dan aperture sebesar 527 µm. Untuk mengetahui sifat mekanik komposit hibrida akibat beban statis maka dilakukan pengujian tarik.

Dari hasil pengujian tarik didapatkan data kekuatan tarik dan regangan hingga patah untuk stainless steel mesh 304 L tanpa perlakuan anodasi (304L-) sebesar 722,15 MPa dan 16, 14 %. Sedangkan untuk stainless steel mesh 304L dengan perlakuan anodasi (304L+) didapatkan data kekuatan tarik dan regangan hingga patah sebesar 708,4 MPa dan 15, 65 %. Ketika dilakukan pengujian tarik untuk komposit hibrida yang menggunakan kedua jenis stainless steel mesh 304L didapatkan perbedaan yang berarti. Untuk komposit hibrida yang menggunakan 304L- didapatkan data kekuatan tarik dan regangan sebesar 178, 39 MPa dan 2,29 % sedangkan bagi komposit yang menggunakan 304L+ didapatkan kenaikan untuk nilai kekuatan tarik dan regangan yaitu 181,39 MPa dan 2,33 %. Nilai kekuatan tarik dan regangan komposit hibrida dengan 304L- mengalami kenaikan sebesar 7 % dan 20 % dibandingkan dengan komposit non hibrida sedangkan untuk komposit hibrida dengan 304L+ , nilai kekuatan tarik dan regangan dibandingkan dengan komposit non hibrida mengalami kenaikan sebesar 8 % dan 22 %.

Kenaikan nilai kekuatan tarik dan regangan dari kedua jenis komposit hibrida tersebut disebabkan beban terbagi antara stainless steel mesh 304L dengan serat kaca WR 600 dan resin polyester sehingga material tidak mengalami kegagalan seketika. Hal ini dibuktikan dengan pola patahan dari stainless steel mesh 304L membentuk cup-cone karena menyerap energi tarik sehingga mampu berdeformasi plastis.

Keywords: komposit hibrida, stainless steel 304L, anodasi, pengujian tarik, deformasi plastis

Pendahuluan

Material yang digunakan di industri transportasi dituntut untuk memiliki kekuatan spesifik dan ketangguhan spesifik tinggi disertai densitas rendah. Hal ini berkaitan dengan keamanan pengguna dan kemampuan kendaraan untuk menghemat penggunaan bahan bakar. Salah satu jenis material yang mampu memenuhi kebutuhan dunia

industri transportasi adalah Polymer Matrix Composites (PMC). Susunan PMC terdiri dari serat sintetis seperti serat kaca, serat karbon, serat aramid serta resin polymer jenis thermosetting atau thermoplastic. Kelemahan mendasar dari penggunaan PMC adalah kegagalan seketika yang dialami ketika dikenakan beban statis maupun beban dinamis. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat mekanik dari material PMC adalah dengan menambahkan serat

penguat kedua dengan kekuatan dan regangan lebih tinggi dibandingkan serat sintesis. Serat penguat yang memiliki keuletan tinggi seperti stainless steel dapat meningkatkan ketangguhan dari material komposit melalui mekanisme deformasi plastis. Ketika serat stainless steel menjembatani retakan yang merambat, terjadi kenaikan gaya yang dibutuhkan untuk mencabut serat logam dari resin akibat deformasi plastis yang terjadi. Agar efisiensi fungsi dari serat stainless steel dapat ditingkatkan, maka perlu adanya ikatan mekanik yang kuat antara permukaan serat stainless steel dengan resin polymer dengan tujuan ada beban yang dibagikan ke serat stainless steel (Wetherhold 2000).

Resin polyester yukalac 157 BTQN-EX dan serat kaca adalah bahan yang umum digunakan di dunia transportasi mobil Indonesia. Studi yang mempelajari pengaruh penambahan serat penguat dengan keuletan tinggi pada material tersebut belum banyak ditemukan. Untuk mengetahui peran serat stainless steel terhadap perubahan sifat mekanik material komposit hibrida itu maka dilakukan pengujian tarik.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Material

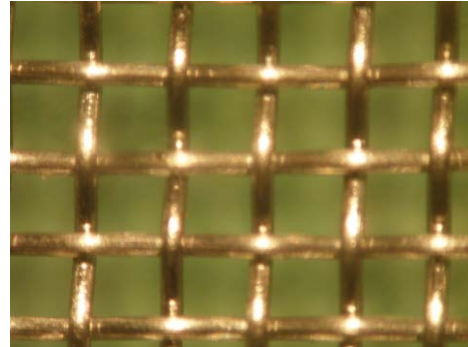
Jenis resin polyester yang digunakan adalah yukalac 157 BTQN-EX. Dengan nilai viskositas yang rendah, curing resin ini berlangsung pada suhu kamar melalui penambahan katalis methyl etyl ketone peroxida (MEKPO). Pada rentang suhu 110- 140°C, resin ini masih mempertahankan sifat mekaniknya. Sifat mekanik dari resin ini pada suhu kamar ditunjukkan pada tabel 1. Dengan nilai regangan hingga patah sebesar 2 %, resin ini memiliki sifat getas.

TABLE I
Sifat Mekanik Polyester Yukalac BQTN 157
[PT. Justus Kimia Raya 2011]

Sifat Mekanik	Unit	Nilai
Berat Jenis	Gr/cm ³	1,3
Tegangan Tarik	MPa	60
Modulus Tarik	GPa	2,8
Regangan	%	2

Serat kaca yang digunakan adalah jenis E-glass dalam bentuk *woven roving* (anyaman). Serat kaca ini memiliki kekuatan tarik dan regangan hingga patah sebesar 675 MPa dan 3,42 %. Sedangkan stainless steel 304L yang digunakan sebagai serat penguat kedua memiliki kekuatan tarik dan regangan hingga patah sebesar 722,15 MPa dan 16,14 %. Kedua nilai tersebut berlaku untuk stainless steel 304L yang belum mendapatkan perlakuan

anodasi. Sedangkan nilai kekuatan tarik dan regangan hingga patah untuk stainless steel yang telah mendapatkan perlakuan anodasi adalah 708,4 MPa dan 15,65 %. Logam tersebut berbentuk anyaman dengan diameter 274 µm dan ukuran celah 527 µm. Bentuk dari stainless steel 304L ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Stainless steel 304L plain woven mesh

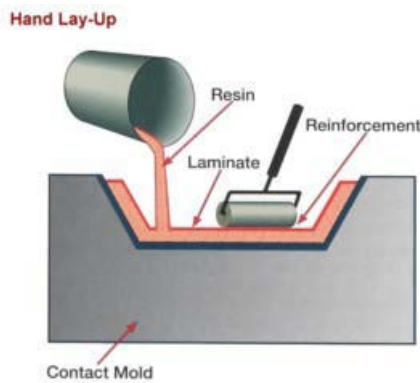
Produksi Spesimen Uji

Tiga jenis spesimen uji pada penelitian ini diproduksi menggunakan metode *hand lay-up* di laboratorium. Perbandingan volume fraksi antara resin dan serat penguat adalah 68 % : 32 % dimana untuk 100 % volume material komposit terdiri dari 68 % volume resin dan 32 % volume serat penguat. Lembaran serat kaca WR 600 dan stainless steel 304L dipotong dengan ukuran 40 x 40 cm menurut dimensi cetakan yang digunakan.

Sebelum dipergunakan sebagai serat penguat pada material komposit, stainless steel 304L yang telah dipotong dibersihkan dengan NaOH selama 1 jam pada suhu 65 °C lalu dibilas dengan aquades dan dikeringkan pada suhu 60 °C dengan menggunakan dryer.

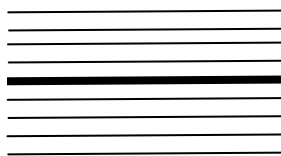
Untuk proses anodasi, stainless steel 304L direndam pada larutan HNO₃ yang teragitasi pada suhu 50 °C selama 50 menit. Setelahnya dilakukan proses pembersihan kembali dengan menggunakan aquades dan pengeringan pada suhu 60 °C.

Katalis MEKPO dengan jumlah sebanyak 1 % dari volume resin dicampurkan pada resin yukalac 157 BTQN-EX. Selanjutnya cairan resin tersebut dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat layer pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan roller / kuas resin kembali diratakan. Pemberian tekanan dengan roller atau kuas bertujuan untuk mengurangi *void* / gelembung udara yang terperangkap dalam laminat komposit. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan. Secara umum metode *hand lay-up* digambarkan pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Proses Hand Lay-Up (Willey John 2006)

Jumlah lapisan laminae yang digunakan adalah 9 lapisan dengan posisi peletakan stainless steel di tengah laminate seperti ditunjukkan pada gambar 3. Untuk tiap lapisan laminate, arah serat kaca WR 600 adalah 0/90.



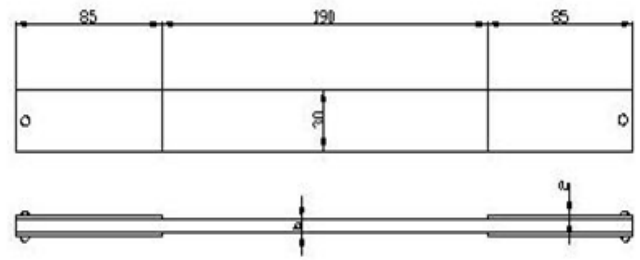
Gambar 3. Konfigurasi laminate dimana posisi stainless steel berada di tengah

Setelah cetakan laminate ditutup dengan tutup cetakan seperti ditunjukkan gambar 4, spesimen dibiarkan untuk menjalani proses curing selama 24 jam di suhu ruangan.



Gambar 4. Cetakan untuk produksi material komposit.

Selanjutnya spesimen dipotong dengan menggunakan gerinda tangan menurut standar pengujian tarik ASTM D3039-76 dengan dimensi 36 x 3 cm seperti ditunjukkan gambar 5 berikut.



Gambar 5. Dimensi spesimen uji tarik (satuan dalam mm)

Dari hasil produksi dengan metode hand lay-up, didapatkan 3 jenis spesimen uji seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

TABLE 2
Jenis Material Komposit

No.	Nama	Jumlah Lapisan SS	Proses Anodasi	Tebal b (mm)
1	GF	0	tidak	6,5
2	GMF 304L (-)	1	tidak	6,2
3	GMF 304L (+)	1	ya	6,2

Dari tiap kelompok material komposit tersebut, digunakan 3 jumlah spesimen untuk pengujian tarik untuk kemudian diambil nilai rerata.

Pengujian Tarik

Pengujian tarik material komposit mengikuti standar pengujian tarik ASTM D3039-76 dengan menggunakan mesin uji tarik Wolpert dengan skala kekuatan maksimum 60 kN dan laju pembebanan sebesar 2 mm/min.

Untuk menghitung tegangan maksimum yang terjadi dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut ini:

$$\sigma = \frac{F}{b.d} \quad (1)$$

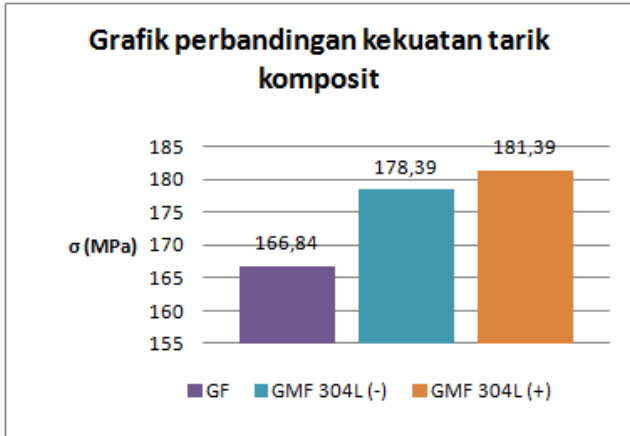
Dimana nilai F merupakan beban maksimum yang terbaca pada kurva F-ΔL sedangkan d bernilai 30 mm dan b adalah tebal spesimen masing-masing.

Regangan hingga patah (ε) dicari dengan mengukur perbedaan panjang sebelum (Lo) dan sesudah diuji (Lf) seperti ditunjukkan pada persamaan 2.

$$\epsilon = (Lf-Lo)/Lf .100 \% \quad (2)$$

Hasil dan Pembahasan

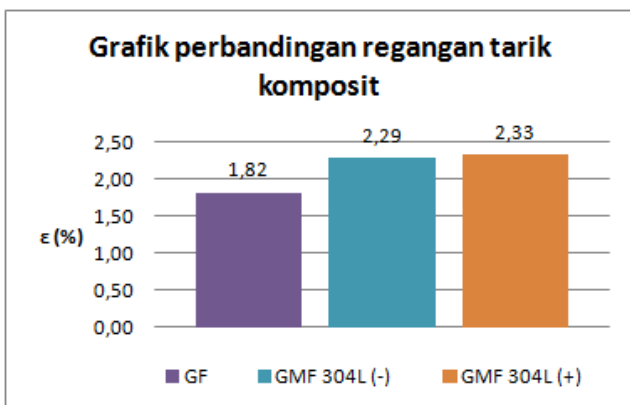
Dari gambar 6 terlihat bahwa nilai kekuatan tarik untuk material komposit hibrida mengalami peningkatan dibandingkan dengan material komposit non-hibrida. Peningkatan nilai kekuatan ini menunjukkan beban terbagi antara stainless steel dengan resin dan serat kaca.



Gambar 6. Grafik perbandingan kekuatan tarik

Nilai kekuatan tarik GMF 304L (-) adalah 178,39 MPa. Ini merupakan kenaikan nilai kekuatan tarik sebesar 7 % dibandingkan nilai kekuatan tarik GF (material komposit non hibrida). Sedangkan nilai kekuatan tarik GMF 304L (+) adalah 181,39 MPa dan ini merupakan kenaikan nilai kekuatan tarik sebesar 8 % dibandingkan nilai kekuatan tarik GF.

Regangan hingga patah untuk material komposit hibrida GMF 304 L (-) dan GMF 304L (+) juga mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan material GF, seperti ditunjukkan pada gambar 7 berikut. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme deformasi plastis pada stainless steel memberikan sumbangan yang berarti.



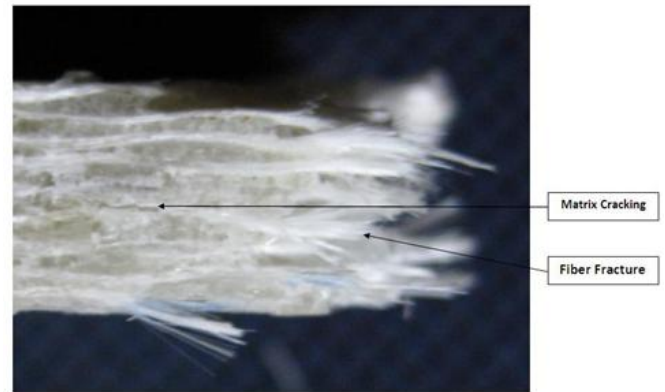
Gambar 7. Grafik perbandingan regangan tarik

Nilai regangan tarik hingga patah untuk GMF 304L(-) adalah 2,29 %. Nilai ini sendiri mengalami kenaikan sebesar 20 % dibandingkan material GF. Sedangkan nilai regangan tarik untuk GMF 304L (+) adalah 2,33 % dan ini merupakan kenaikan nilai

regangan sebesar 22 % dibandingkan nilai regangan material GF.

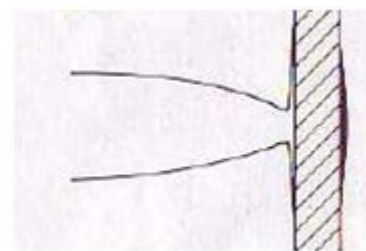
Kenaikan nilai kekuatan tarik dan regangan untuk material GMF 304L (-) maupun GMF 304L (+) jika dibandingkan material GF dijelaskan melalui mekanisme kegagalan spesimen yang dimatai melalui SEM maupun optical mikroskop.

Untuk material GF, mekanisme kegagalan yang mendominasi pada saat pengujian tarik adalah fibre fracture seperti ditunjukkan pada gambar 8.



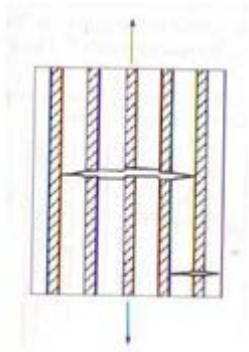
Gambar 8. Foto makro material GF dengan perbesaran 10 x

Dengan sifat resin yang cenderung getas maka retakan (cracking) akan muncul ketika regangan hingga patah resin tercapai. Retakan ini akan merambat menuju resin di sekelilingnya sehingga akibatnya resin tidak akan bekerja secara efektif untuk membagikan beban ke serat kaca. Retakan yang menuju ke daerah interface akan menyebabkan debonding pada permukaan serat kaca sehingga sebagian besar beban tarik akan ditanggung oleh serat kaca WR 600.



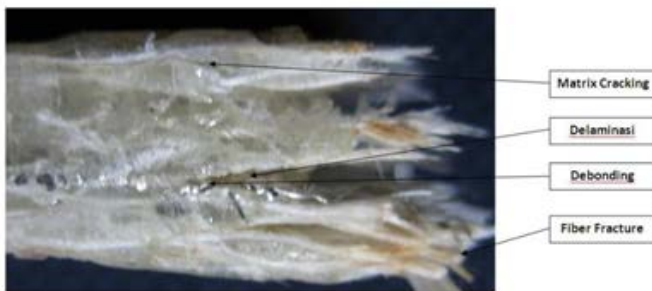
Gambar 9. Daerah interface yang mengalami retak dan debonding (Derek, Hull 1995)

Ketika konsentrasi tegangan yang bekerja pada serat kaca melebihi tegangan ijinnya, maka fracture mulai terjadi seperti ditunjukkan gambar 10 yang mengakibatkan terjadinya kegagalan spesimen uji. Rendahnya nilai kekuatan tarik material GF dapat disebabkan oleh kemampuan deformasi serat kaca WR 600 yang tidak digunakan secara penuh.



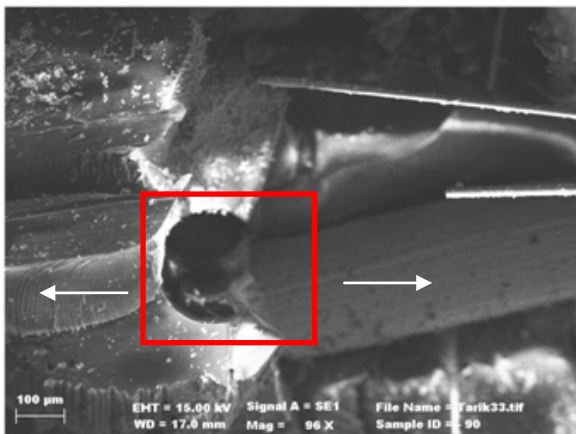
Gambar 10. Mekanisme patahnya serat penguat (Derek, Hull 1995)

Sedangkan untuk material GMF 304L(-), retakan yang muncul pada resin akan merambat menuju daerah interface stainless steel. Ikatan yang lemah antara stainless steel dan resin akan menyebabkan debonding dan selanjutnya delaminasi seperti ditunjukkan pada gambar 11, sehingga kemampuan deformasi plastis stainless steel tidak dapat digunakan secara maksimal.



Gambar 11. Foto makro spesimen GMF 304L(-) dengan perbesaran 10 x

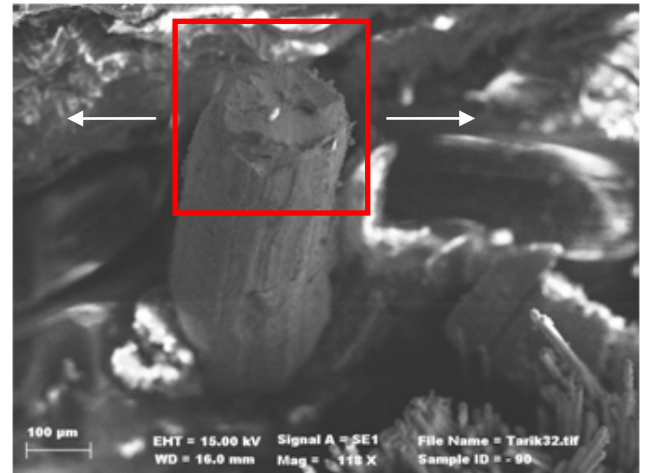
Dari gambar 12, terlihat adanya debonding pada daerah lubang (kotak warna merah) dimana serat stainless steel tercabut dari resin



Gambar 12. Pengamatan penampang patahan material GMF 304L(-) dengan perbesaran 96 x, tanda panah menunjukkan arah rambat retak

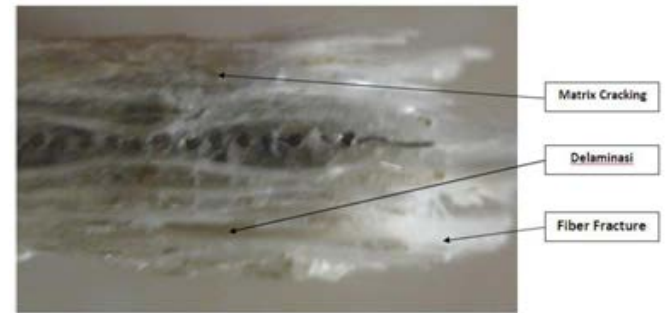
Terlihat dari gambar 13 bahwa untuk material GMF 304L(-) stainless steel 304L mengalami necking sesaat sebelum akhirnya patah (kotak warna merah).

Hal ini mengindikasikan bahwa *stainless steel mesh* merupakan salah satu penyumbang regangan pada spesimen komposit hibrida ini.



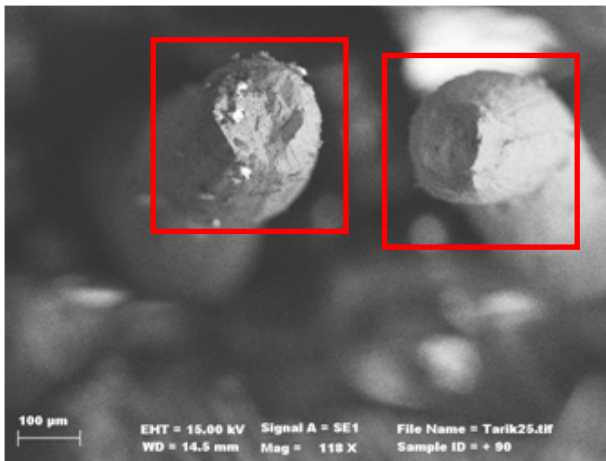
Gambar 13. Pengamatan penampang patahan stainless steel 304L untuk material GMF 304L(-) dengan perbesaran 118 x

Fenomena yang terjadi pada material GMF 304L (+) diterangkan oleh gambar 14.



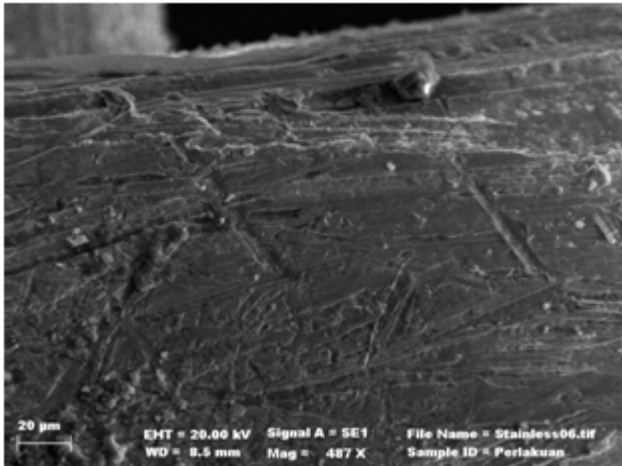
Gambar 14. Foto makro spesimen GMF 304L(+) dengan perbesaran 10 x

Dari gambar 14, tidak terlihat adanya delaminasi antara stainless steel dengan resin polymer yang diakibatkan kuatnya ikatan mekanik antara dua material tersebut. Hal ini mengakibatkan tegangan yang bekerja di stainless steel dapat mencapai tegangan ijin stainless steel karena resin dapat membagikan bebannya secara maksimal ke serat yang lebih ulet. Hal ini juga dibuktikan dengan luas area necking (kotak warna merah pada gambar 15) yang terjadi pada GMF 304L (+) sebelum gagal lebih kecil dibandingkan gambar 13. Dengan kata lain deformasi plastis stainless steel 304L digunakan secara maksimal sehingga kekuatan material komposit hibrida naik.

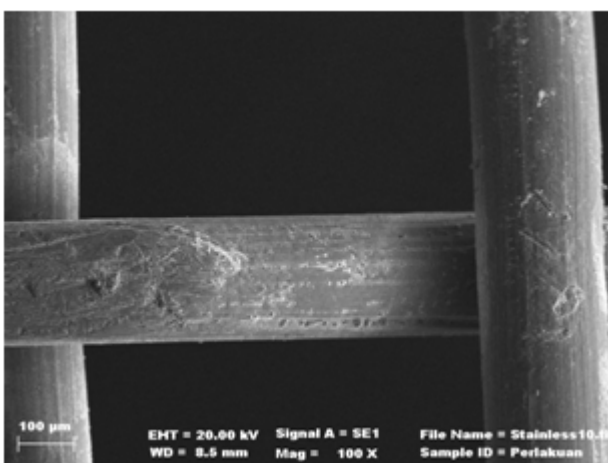


Gambar 15. Pengamatan penampang patahan stainless steel 304L untuk material GMF 304L(+) dengan perbesaran 118 x

Kuatnya ikatan mekanik antara stainless steel dengan resin polymer diakibatkan oleh permukaan stainless steel yang kasar karena termakan oleh HNO₃ seperti ditunjukkan gambar 16 dan gambar 17.



Gambar. 16 Penampang *stainless steel* perlakuan anodasi dengan perbesaran 487x



Gambar 17. Penampang stainless steel perlakuan anodasi dengan perbesaran 100 x

Kesimpulan

1. Perlakuan anodasi pada permukaan *stainless steel mesh* meningkatkan kekuatan tarik dan regangan komposit.
2. Kenaikan kekuatan tarik dan regangan akibat ikatan mekanik yang kuat antara stainless steel dan resin polymer.
3. Ikatan mekanik yang kuat menyebabkan deformasi plastis stainless steel 304L digunakan secara maksimal yang ditunjukkan oleh luas penampang necking yang kecil.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terimakasih penulis tujukan kepada Professor Wajan Berata dan Dr. Sutikno yang telah memberi masukan bagi kemajuan penelitian ini serta saudara Aditya Prihartanto, S.T. yang telah melaksanakan pengujian mekanik.

Nomenklatur

- d Lebar (mm)
- F Beban (N)
- b Tebal (mm)
- L_o Panjang awal spesimen (mm)
- L_f Panjang akhir spesimen (mm)

Greek letters

- σ Stress (MPa)
- ε Regangan hingga patah (%)

Referensi

- [1] Wetherhold. J Robert, J. Bos, *Ductile Reinforcements for Enhancing Fracture Resistance in Composite Materials*, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Vol. 33, pp. 83-91, 2000.
- [2] Willey, John, *Mechanical Engineers Handbook Material and Design*, volume I, Third Edition, 2006.
- [3] *Mechanical Properties of Resin YUKALAC BQTN 157*, PT. Justus Kimia Raya, 2011.
- [4] Hull, Derek, *An Introduction To Composite Materials*, Cambridge Solid State Science Series, Cambridge University, 1995.

