

KARAKTERISASI KUAT TARIK DAN KUAT TEKAN TABUNG KOMPOSIT SERAT CARBON ARAMID/EPOXY DENGAN VARIASI PARAMETER CURING DAN POST CURING

Gading Daru Pratingkas, Cahyo Budiyanoro^b, Aris Widyo Nugroho^c
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183
e-mail: Gadingdarupratingkas99@gmail.com

Abstract

Frame is a bike component of the most important because it affects the characteristics. One of the main factors that affect the frame is the material making up the frame. Material constituent bicycle frames are usually made of steel, chromoly, aluminum alloy, and titanium. Aramid carbon fiber is a material that is much lighter than other materials. Carbon Aramid has a density of 1.44 g/cm³ while the aluminum alloy used for the application of a bicycle frame has a density of 2.70 g/cm³. Advantages of carbon fiber aramid others are high strength, anti-corrosion and vibration damping. This study makes aramid composite tubes of carbon fiber bicycle frames with the applications for tensile strength and compressive strength with a variety of curing and post curing. Carbon tube composite manufacture aramid / epoxy using hand lay-up method. Tests done of the tensile test referring to ASTM D 638-4. This study uses six layers of kevlar and carbon fiber parameter variations curing at 100°C, 120°C, 150°C for 60 minutes and post curing at 100°C, 120°C, 150°C for 60 minutes. The result showed that variations in curing and post curing parameters affect the compressive strength and tensile values. The average value of the compressive strength of the highest curing variation obtained at a temperature of 150°C for 558 Mpa. While the average value of the compressive strength of the highest variation obtained post curing at 150°C for 598 Mpa. The average value of variations in curing highest tensile strength obtained at a temperature of 150°C for 328.13 Mpa, while the average value of the tensile strength variation highest post curing obtained at 150°C for 413.88 Mpa.

Keywords: Carbon aramid, curing, post curing, tensile test, compression test.

Abstract

Frame merupakan komponen pembentuk sepeda yang paling penting karena mempengaruhi karakteristiknya. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi frame adalah material penyusun frame. Material penyusun frame sepeda biasanya terbuat dari steel, chromoly, aluminium alloy, dan titanium. Serat carbon aramid adalah material yang jauh lebih ringan dari pada material yang lainnya. Carbon Aramid memiliki massa jenis sebesar 1,44 g/cm³ sedangkan aluminium alloy yang biasa digunakan untuk aplikasi frame sepeda memiliki massa jenis sebesar 2,70 g/cm³. Keuntungan serat carbon aramid yang lainnya yaitu kekuatan tinggi, anti korosi dan peredam getaran. Penelitian ini membuat tabung komposit serat carbon aramid untuk aplikasi frame sepeda dengan uji kuat tarik dan kuat tekan dengan variasi curing dan post curing. Pembuatan komposit tabung karbon aramid/epoxy menggunakan metode hand lay-up. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik mengacu pada ASTM D 638-4. Penelitian ini menggunakan 6 lapisan serat karbon kevlar dan variasi parameter curing pada temperatur 100°C, 120°C, 150°C selama 60 menit dan post curing pada temperatur 100°C, 120°C, 150°C selama 60 menit. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa variasi parameter curing dan post curing mempengaruhi besar nilai kuat tekan dan tarik. Nilai rata-rata kuat tekan variasi curing tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 558 Mpa. Sedangkan nilai rata-rata kuat tekan variasi post curing tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 598 Mpa. Nilai rata-rata kuat tarik variasi curing tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 328,13 Mpa, sedangkan untuk nilai rata-rata kuat tarik variasi post curing tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 413,88 Mpa.

Kata kunci : Carbon aramid, curing, post-curing, uji tarik, uji tekan.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan industri di dunia saat ini berkembang sangat pesat, tidak terkecuali dengan teknologi di bidang ilmu material. seiring meningkatnya kebutuhan dunia industri terhadap material dengan karakteristik yang sepadan dengan logam. Kebutuhan akan penggunaan material yang baik mendorong beberapa orang untuk mengembangkan ilmu-ilmu material salah satunya adalah komposit.

Material komposit menggunakan polimer berbahan resin sebagai matriks dan serat sebagai penguat (Gibson, 1994). Bahan polimer yang biasa digunakan dalam 2 pembuatan komposit adalah polimer jenis termoset. Contoh bahan polimer termoset seperti resin *epoxy*, *polyester*, *vinilester*, dan lainnya. Sedangkan serat yang digunakan sebagai penguat yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat sintetis adalah serat yang terbuat dari bahan anorganik yang berasal dari bahan kimia, misalnya *glassfiber* dan serat karbon. Aplikasi material komposit untuk rangka sepeda perlu dilakukan karena material komposit memiliki keunggulan massa yang lebih ringan dibandingkan dengan material logam.

Menurut Covil dkk (2014), sepeda merupakan kendaraan yang ramah lingkungan dan bisa untuk dijadikan sebagai sarana olahraga. Jenis-jenis sepeda diantaranya sepeda gunung, BMX, sepeda lipat, sepeda balap, sepeda tandem. Untuk meningkatkan performa sepeda maka kerangka sepeda perlu dibuat dari bahan komposit, sehingga dapat ditingkatkan kekuatannya.

Tabel 1. Spesifikasi sifat mekanis material *frame* sepeda, (ASM Handbook 1997).

Material	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Young's modulus (Gpa)	Toughness MN m ^{-3/2}	Density (Mg/m ³)
Steel 1020	380	200	210	140	7,8
Ti-alloy	950	910	100	85	4,5
CFRP	550	200	56	38	1,5
KFRP	1380	621	76	39	1,4
GFRP	530	125	26	40	1,8

Komponen-komponen dalam sepeda diantaranya frame, roda, sistem transmisi, sadel, rem, porok, setang dan lain-lain. Bagian yang paling vital dari sepeda adalah frame. Karena frame memiliki fungsi yang mendasar yaitu menopang beban pengendara dan menyambungkan berbagai komponen-komponen yang lainnya sehingga tercipta bentuk sepeda secara utuh. Bentuk dan ukuran komponen-komponen yang lainnya mengikuti desain dari frame. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa bentuk dari frame merupakan bentuk sepeda itu sendiri. Ketika melakukan perubahan desain frame sepeda maka dapat mempengaruhi karakteristik dan performa sepeda yang terjadi secara keseluruhan.

Bere dkk (2013) melakukan penelitian fabrikasi dan uji tekan *handlebar* sepeda dari bahan *carbon kevlar/epoxy* menggunakan metode *hand lay up* dengan ukuran panjang 680 mm dan diameter 5 mm. Pengujian tekan dilakukan menggunakan *software* ANSYS dengan pembebanan maksimum mencapai 2000 N. Dari hasil uji tersebut didapatkan nilai tekan sebesar 408 Mpa, sehingga *handlebar* ini sangat aman di gunakan untuk sepedah gunung.

Yakub (2013) melakukan penelitian menganalisa kondisi optimum desain rangka sepeda material komposit *carbon kevlar/epoxy* dengan metode taguchi dan analisis ANOVA dengan beban pengendara sebesar 90 kg. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik dengan variasi jumlah layer 2, 4 dan 6. Dari hasil uji tersebut didapatkan hasil uji tarik sebesar 225.40 Mpa pada variasi 2 layer, 225.10 Mpa pada variasi 4 layer dan 194.40 Mpa pada variasi 6 layer.

Menurut Malau (2010) proses curing merupakan proses polimerisasi atau pemanasan material komposit agar resin mempunyai daya ikat yang tinggi pada serat yang dilakukan diatas suhu kamar. Peningkatan temperatur curing menyebabkan

terjadinya peningkatan kecepatan curing sehingga dapat memberikan *cross-linking* pada material komposit, tetapi kekakuan material menurun.

Penelitian untuk tabung komposit serat karbon aramid dan resin *epoxy* perlu disempurnakan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari segi kekuatan dan waktu pembuatan. Penelitian ini membahas tentang pembuatan tabung komposit serat karbon kevlar bermatrik resin *epoxy (bisphenol-A epichlorohydrin)* dan resin *hardener (polyaminoamide)* dengan rasio perbandingan 1:1. Pembuatan tabung komposit dilakukan menggunakan metode *hand lay-up* karena mudah dikerjakan dan mempunyai ongkos produksi yang lebih murah jika dibandingkan dengan metode *bladder molding* menurut jatmiko (2017). Pembuatan dilakukan dengan menggunakan variasi parameter *curing* dan parameter *post curing* agar resin memiliki daya ikat yang tinggi terhadap serat saat komposit telah padat, Malau (2010). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan nilai kuat tarik dan kuat tekan dengan menggunakan variasi parameter *curing* dan variasi parameter *post curing* (suhu dan waktu) pada komposit tabung *carbon aramid/epoxy* sehingga dapat digunakan pada aplikasi frame sepeda.

2. METODE PENELITIAN

Spesimen komposit dibuat dengan metode *hand lay-up* dengan cetakan dari bahan besi. Bahan penyusun komposit terdiri dari serat anyaman *carbon aramid* dan resin *epoxy bisphenol A-epichlorohydrin*, *hardener polyaminoamide*.

2.1 Proses Pembuatan Komposit

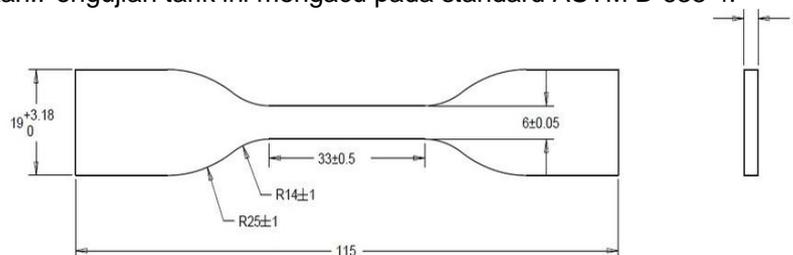
Urutan pembuatan spesimen komposit tabung dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Memotong serat *carbon aramid* anyaman dengan ukuran 11x10,5 cm sebanyak 6 lembar.
2. Mencampur matriks epoksi dan hardener dengan perbandingan 1:1.
3. Mengolesi pipa besi dengan *mirror glass* secara merata dan dibalut dengan kain/kertas teflon. Lalu serat yang sudah diolesi resin digulung pada pipa besi yang sudah dilapisi kertas/kain teflon hingga mencapai 6 lapis. Kemudian dilapisi kain/kertas teflon lagi dan dibalut dengan karet sebelum dimasukkan ke cetakan.
4. Setelah itu selanjutnya cetakan dimasukkan ke oven dengan mengatur temperatur dan waktu yang telah disesuaikan.

2.2 Pengujian Komposit

2.2.1. Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan-regangan dan modulus elastisitas komposit dengan memberikan pembebanan tarik secara terus-menerus hingga titik maksimum yang menyebabkan spesimen bertambah panjang hingga putus. Modulus elastisitas merupakan nilai untuk mengetahui ketahanan spesimen komposit untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan. Pengujian tarik ini mengacu pada standard ASTM D 638-4.



Gambar 2.1 Geometri spesimen uji tarik (ASTM D638 IV).

Untuk menentukan nilai sifat mekanis pada pengujian tarik, maka dilakukan perhitungan seperti, rumus dibawah ini, (ASTM D 638):

- Nilai tegangan pada beban tarik dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

- Nilai regangan pada beban tarik dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0}$$

- Berlaku hukum hooke, modulus elastisitas adalah hubungan deformasi elastis antara tegangan dan regangan. Modulus merupakan sebuah kekakuan material terhadap deformasi elastis. Semakin besar nilai modulus maka material semakin kaku, nilai modulus elastisitas dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dengan catatan:

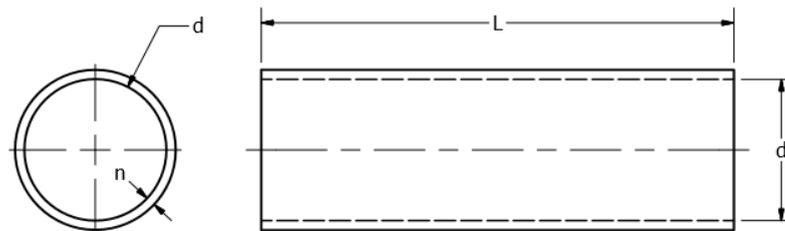
σ = Tegangan normal (Mpa).

ε = Regangan.

E = Modulus elastisitas (Mpa).

2.2.2. Pengujian tekan

Pengujian tekan dilakukan untuk mengetahui nilai kekakuan-deformasi dan modulus tekan komposit yang terkena beban tekan dengan mengukur parameter yang menentukan perilaku spesimen dibawah beban tekan. Pengujian tekan mengacu pada standard ASTM D 2412.



Gambar 2.2 Geometri spesimen uji tekan.

Untuk menentukan nilai sifat mekanis dari hasil pengujian tekan, maka dilakukan perhitungan seperti, (ASTM D 2412):

- Nilai kekakuan pada beban tekan dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$P_s = F/\Delta_y$$

- Nilai deformasi pada beban tekan dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$P_d = \Delta_y/dx100$$

- Nilai modulus tekan pada beban tekan dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$E = P_s/P_d$$

Dengan catatan:

P_s = pipe stiffness (Mpa).

P_d = pipe deflection (%).

E = modulus tekan (Mpa).

2.2.3. Pengujian Fraktografi dan Makro

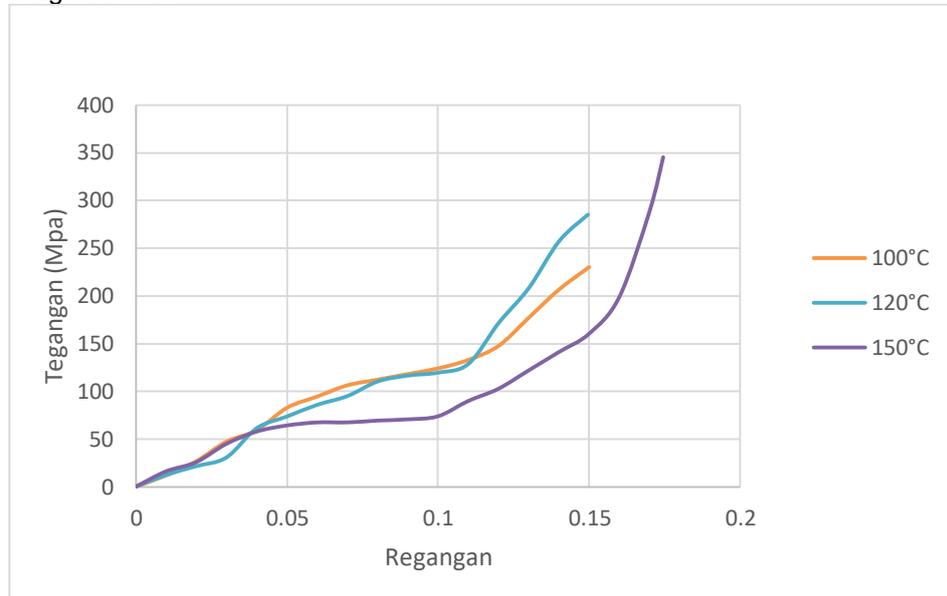
Pengujian fraktografi dan makro bertujuan untuk mengetahui permukaan komposit yang telah diuji dan dianalisa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

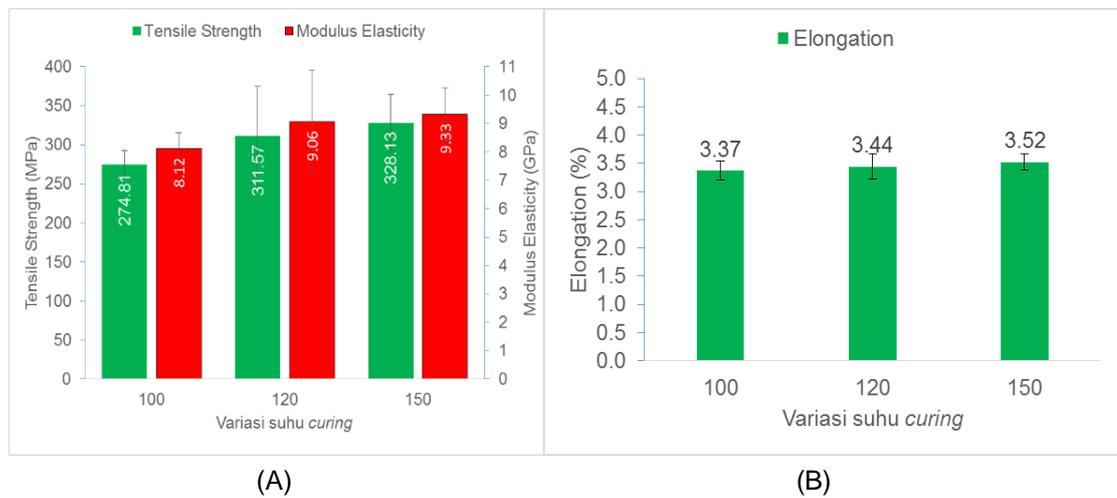
3.1 Hasil Penelitian Uji Tarik

Pada pengujian tarik komposit tabung *carbon aramid/epoxy* pada variasi *curing* dan *post curing* diperoleh 3 parameter parameter data kekuatan mekanis komposit seperti tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas tarik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *Zwick roll Z2020* dengan kecepatan uji sebesar 50 mm/min.

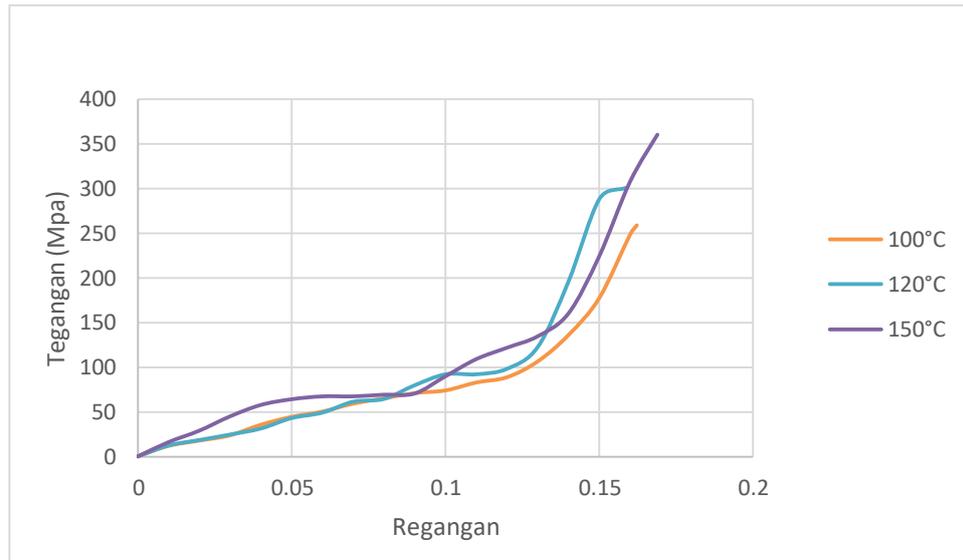
Berikut hasil data pengujian tarik pada variasi temperatur *curing* 100°C, 120°C, 150°C sebagai berikut:



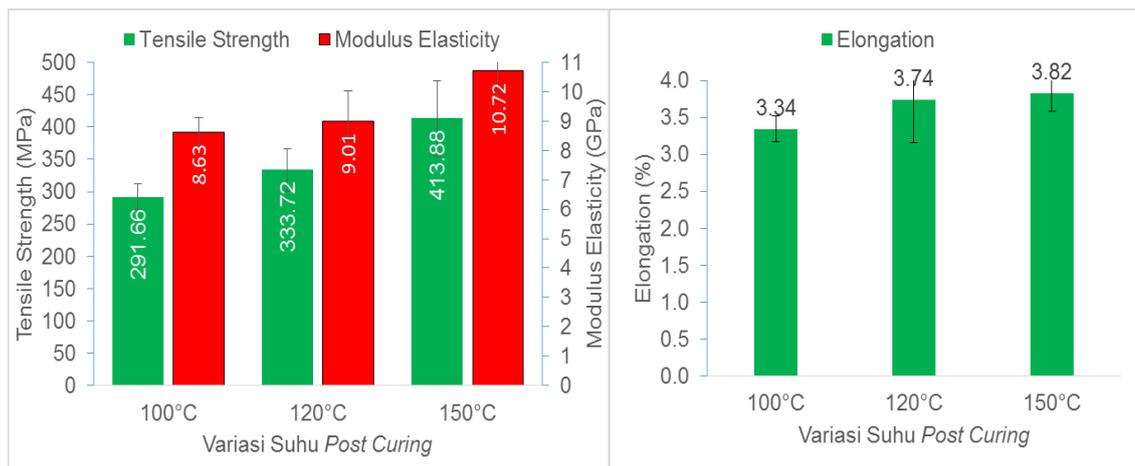
Gambar 3.1 Grafik nilai rata-rata tegangan tarik dan regangan tarik variasi *curing*.



Gambar 3.2 (A) Grafik nilai rata-rata tegangan tarik dan modulus elastisitas variasi *curing*. (B) Grafik nilai rata-rata regangan tarik variasi *curing*.



Gambar 3.3 Grafik nilai rata-rata tegangan tarik dan regangan tarik variasi *post curing*.



(A)

(B)

Gambar 3.4 (A) Grafik nilai rata-rata tegangan tarik dan modulus elastisitas variasi *post curing*. (B) Grafik nilai rata-rata regangan tarik variasi *post curing*.

Pada pengujian tarik didapatkan komposit dengan variasi *curing* pada temperatur 150°C memiliki kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 328,13 Mpa dengan regangan sebesar 3,52% dan modulus elastisitas sebesar 9,3 Gpa. Sedangkan variasi *post curing* dengan temperatur 150°C memiliki rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 413,88 Mpa dengan regangan sebesar 3,82% dan modulus elastisitas sebesar 10,7 Gpa. Perlakuan *post curing* memiliki pengaruh yang besar, perlakuan *post curing* 150°C membuat kenaikan yang signifikan antara kekuatan tarik dari nilai rata-rata komposit *curing*. Hal ini dikarenakan proses *curing* sudah dimulai pada saat proses pembentukan komposit pada suhu kamar yang akan menghasilkan komposit dengan nilai kekuatan yang masih rendah. Menurut Malau (2010) proses *curing* sebenarnya terjadi pada saat pemanasan diatas suhu kamar dan dimulai setelah bahan komposit menjadi padat.

Pada gambar 3.2 (A) dari hasil data pengujian variasi temperatur *curing* material komposit tabung *carbon aramid/epoxy* dapat dianalisa bahwa terdapat peningkatan

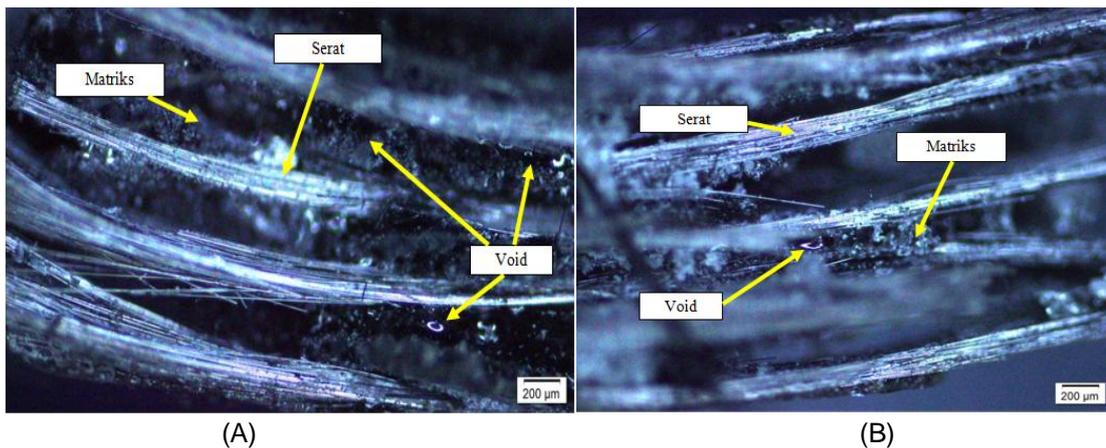
tegangan tarik. Variasi temperatur *curing* 150°C memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 328,13 Mpa. Peningkatan kekuatan tarik ini disebabkan oleh peningkatan ikatan (terjadi *crosslink*) dari *epoxy* sebagai matrik seiring dengan naiknya temperatur *curing*. Menurut Emanuel (2017) bahwa kenaikan temperatur *curing* lebih besar dari suhu kamar dapat menimbulkan terjadinya peningkatan kecepatan *curing* yang diikuti dengan kenaikan kekuatan ikatan antar bahan pembentuknya, kondisi ini akan memberi *crosslinking* pada komposit yang diikuti dengan pemadatan matrik yang dapat mengurangi terjadinya *void* sehingga dapat menghasilkan kekuatan yang lebih optimal. Sedangkan nilai rata-rata modulus elastisitas komposit mengalami peningkatan, modulus elastisitas tertinggi terdapat pada temperatur *curing* 150°C sebesar 9,3 Gpa. Modulus elastisitas menunjukkan sifat kekakuan atau ketahanan terhadap deformasi elastis, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *curing* maka akan semakin kaku.

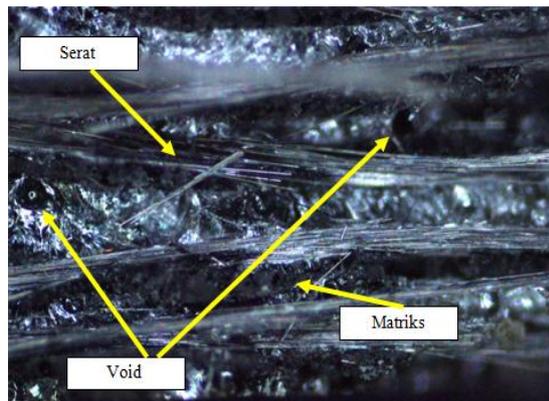
Pada gambar 3.2 (B) dijelaskan dari hasil data pengujian tarik terjadi peningkatan regangan tarik, nilai regangan tarik tertinggi terdapat pada variasi temperatur *curing* 150°C didapat nilai rata-rata regangan tarik sebesar 3.52%. Hal ini dikarenakan meningkatnya temperatur *curing* akan menyebabkan matrik menjadi semakin baik dalam mengikat serat. Menurut Emanuel (2017) bahwa nilai regangan dapat dipengaruhi perlakuan temperatur *curing* yang memberikan pengaruh pada matrik yang digunakan untuk semakin baik dalam mengikat serat.

Pada gambar 3.4 (A) dan gambar 3.4 (B) dijelaskan dari hasil data pengujian tarik terjadi peningkatan kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas tarik. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi temperatur *post curing* 150°C diperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 413,88 Mpa nilai regangan tarik sebesar 3,82% dan modulus elastisitas sebesar 10,7 Gpa. Hal ini dikarenakan seiring meningkatnya temperatur *post curing* akan menyebabkan meningkatnya ikatan *crosslink* sehingga komposit menjadi semakin padat yang juga menyebabkan meningkatnya regangan komposit. Menurut Ritonga (2014) bahwa peningkatan temperature *post curing* akan menyebabkan molekul-molekul matrik bergerak lebih cepat untuk menyusun ulang dan membentuk ikatan *crosslink* yang lebih besar.

Selain pengaruh proses *curing* dan *post curing*, jenis serat komposit yang digunakan juga mempengaruhi terhadap kekuatan, regangan dan sifat mekanis lainnya. Komposit dengan susunan serat jenis serat anyaman (*woven roving*) memiliki ketahanan dan kekuatan yang lebih baik dari jenis susunan lainnya, karena memiliki susunan serat yang teratur saling mengikat antar serat lainnya.

3.2 Hasil Fraktografi Pengujian Tarik





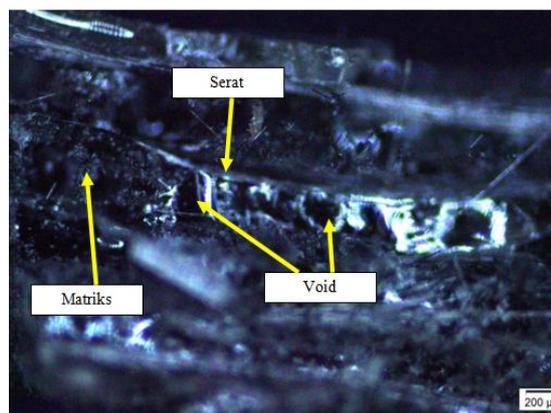
(C)

Gambar 3.5 Fraktografi uji tarik variasi temperatur *curing* (A)100°C (B)120°C (C)150°C.



(A)

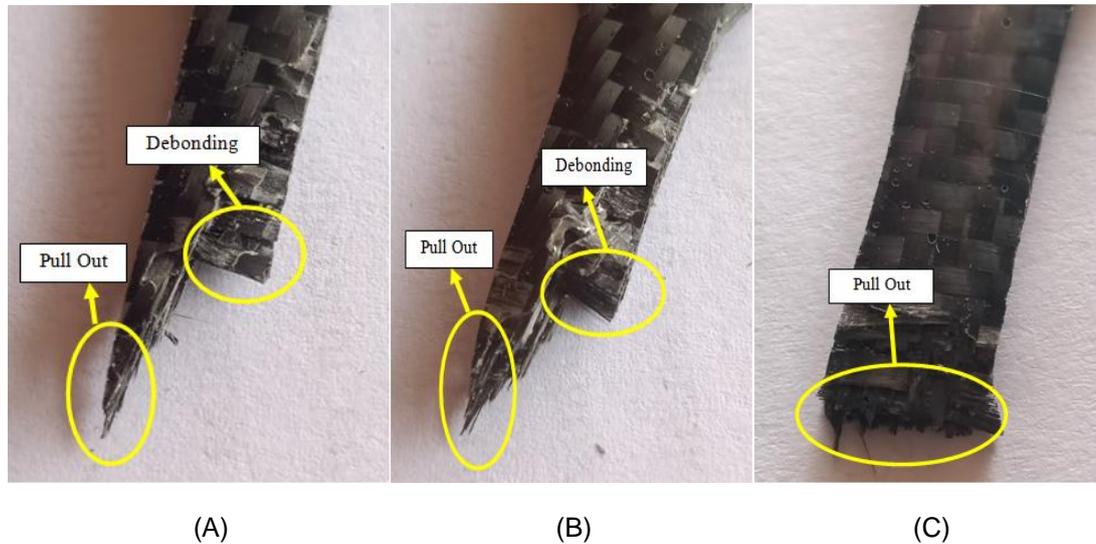
(B)



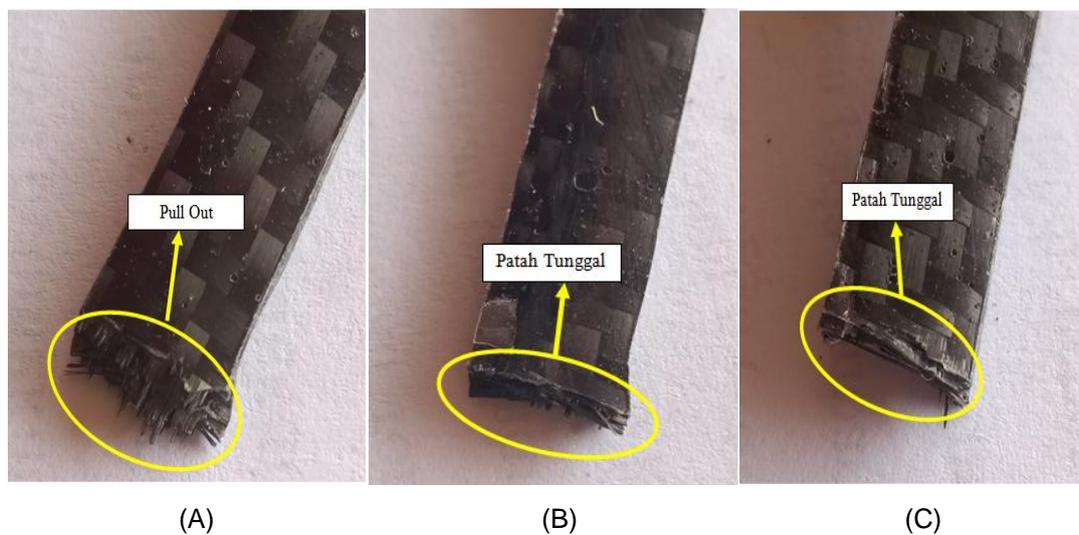
(C)

Gambar 3.6 Fraktografi uji tarik variasi temperatur *post curing* (A)100°C (B)120°C (C)150°C.

3.3 Foto Spesimen Uji Tarik



Gambar 3.7 Foto spesimen uji tarik variasi temperatur *curing* (A)100°C, (B)120°C, (C)150°C.



Gambar 3.8 Foto spesimen uji tarik variasi temperatur *post curing* (A)100°C, (B)120°C, (C)150°C.

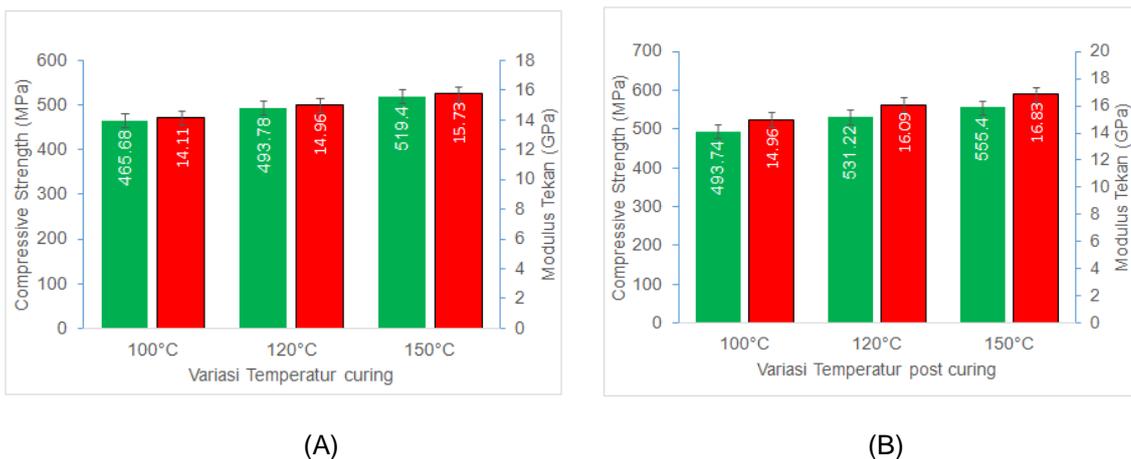
Dari hasil pengujian fraktografi dapat dilihat bahwa setiap variasi temperatur pada spesimen terdapat rongga (void) yang akan mengakibatkan penurunan sifat mekanis. Ada beberapa penyebab void pada spesimen yaitu tidak adanya tekanan ke spesimen pada waktu proses curing, proses pengadukan resin epoxy dan hardener menciptakan banyak rongga (void), dan proses hand lay-up juga menciptakan banyak void. Pada gambar 3.5 (A) menunjukkan hasil fraktografi spesimen serat *carbon aramid/epoxy* variasi temperatur 100°C terdapat banyak rongga (void), begitu pula dengan variasi temperatur curing 120°C dan 150°C yang ditunjukkan pada gambar 3.5 (B) dan gambar 3.5 (C). Akan tetapi, setiap kenaikan temperatur curing mengurangi jumlah rongga (void) pada spesimen. Menurut Emanuel (2017) bahwa kenaikan temperatur curing lebih besar dari suhu kamar dapat menimbulkan terjadinya

peningkatan kecepatan curing yang diikuti dengan kenaikan kekuatan ikatan antar bahan pembentuknya, kondisi ini akan memberi crosslinking pada komposit yang diikuti dengan pemadatan matrik yang dapat mengurangi terjadinya void sehingga dapat menghasilkan kekuatan yang lebih optimal.

Pada variasi temperatur post curing jumlah rongga (void) lebih sedikit dari pada variasi temperatur curing yang di tunjukkan pada gambar 3.6 (A), gambar 3.6 (B) dan gambar 3.6 (C). Hal ini dikarenakan peningkatan temperatur post curing akan menyebabkan molekul-molekul matrik bergerak lebih cepat untuk menyusun ulang dan membentuk ikatan crosslink yang lebih besar dan mengurangi void (Ritonga, 2014).

Analisa kegagalan uji tarik di tunjukkan pada gambar 3.7 (A), gambar 3.7 (B), gambar 3.7 (C) dan gambar 3.8 (A) dengan patahan *pull out* dan *debonding*. Patahan *pull out* terjadi karena tercabutnya serat dari matriks yang disebabkan ketika matriks retak akibat beban tarik, kemampuan untuk menahan beban akan berkurang, namun komposit masih mampu menahan beban walaupun beban yang mampu ditahan lebih kecil daripada beban maksimum. *Debonding* terjadi dikarenakan lepasnya ikatan pada bidang kontak matrik dan serat, hal ini terjadi dikarenakan tidak adanya tekanan saat pembuatan komposit sehingga serat dan matriks tidak terikat sempurna. Pada gambar 3.8 (B) dan gambar 3.8 (C) patahan terlihat lebih rapi atau disebut dengan patahan tunggal, patahan ini lebih baik karena karena ikatan antara matriks dan serat terikat dengan sempurna.

3.4 Hasil Penelitian Uji Tekan

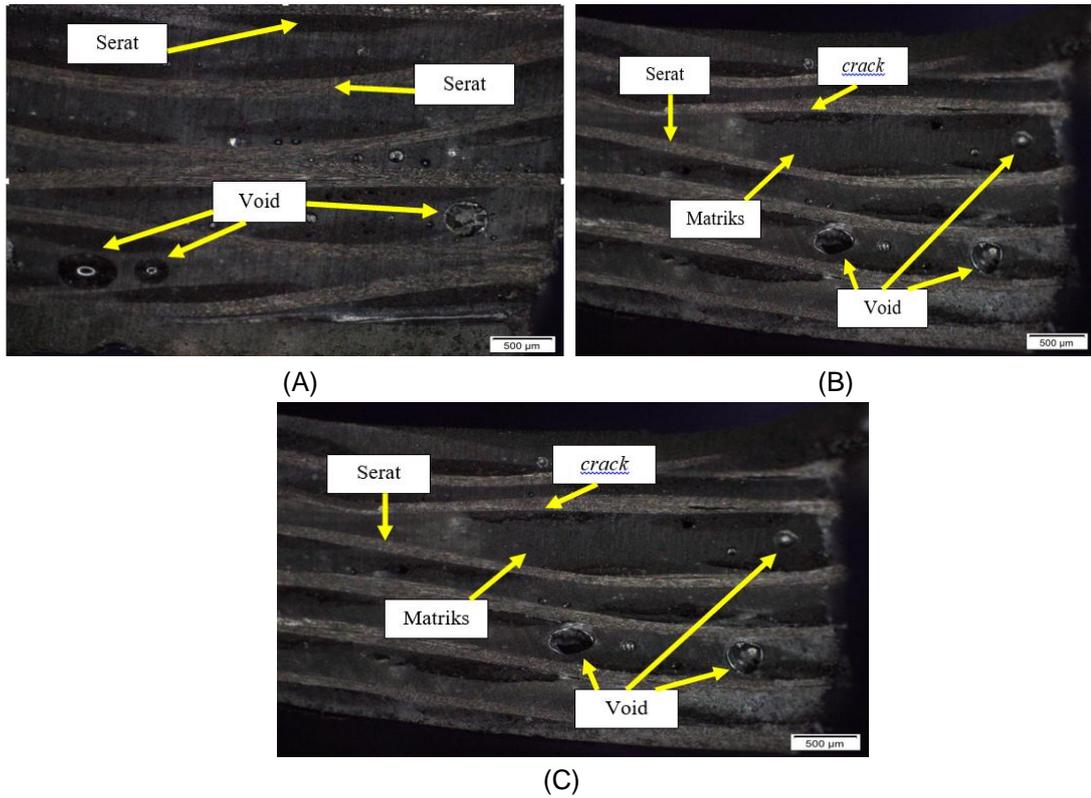


Gambar 3.9 (A) Grafik nilai rata-rata tegangan tekan dan modulus elastisitas variasi *curing*. (B) Grafik nilai rata-rata tegangan tekan dan modulus elastisitas variasi *post curing*.

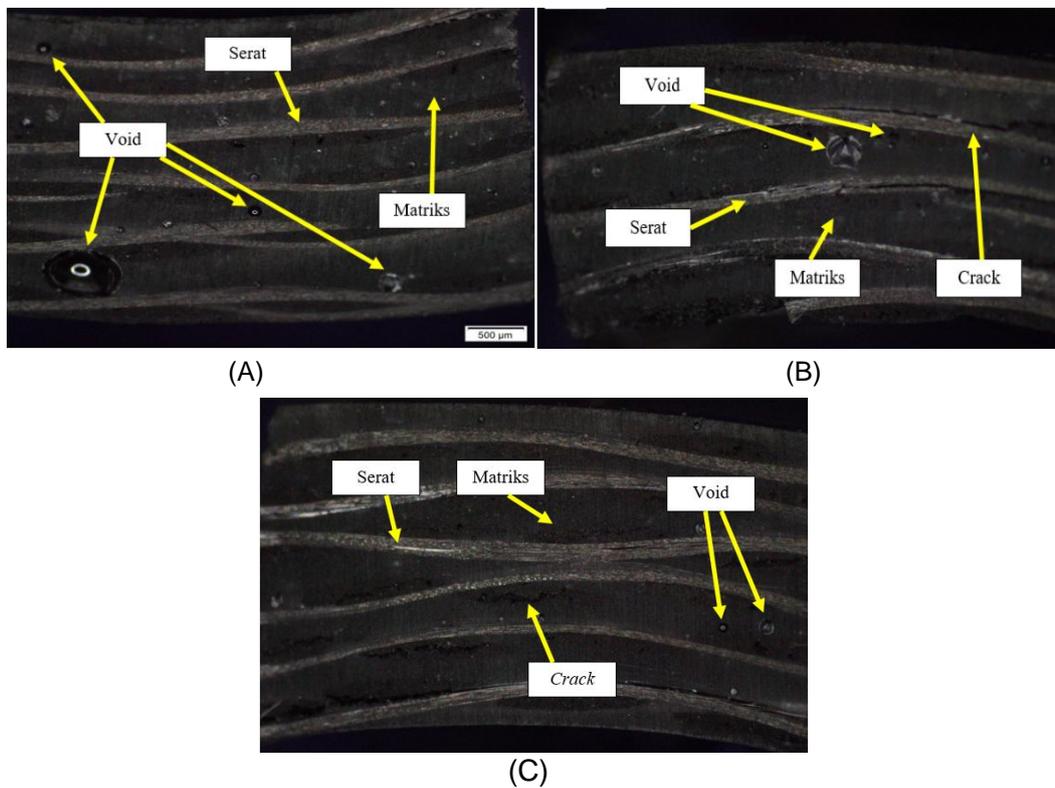
Diketahui pada gambar 3.9 (A) dijelaskan dari hasil data variasi *curing* pengujian tekan terjadi peningkatan pada tegangan tekan dan modulus elastisitas tekan. Nilai rata-rata tegangan tekan dan modulus elastisitas terbesar terdapat pada variasi 150°C sebesar 519,4 Mpa dan modulus elastisitas sebesar 15,73 Mpa. Hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan ikatan crosslink seiring naiknya temperatur *curing*. Namun peningkatan tegangan tekan tidak terlalu signifikan pada proses curing, hal ini karena tidak adanya peningkatan waktu pada proses *curing*.

Pada gambar 3.9 (B) dijelaskan dari hasil data variasi *post curing* pengujian tekan mengalami peningkatan pada nilai tegangan tekan dan nilai modulus elastisitas. Nilai rata-rata tegangan tekan dan modulus elastisitas terbesar terjadi pada variasi 150°C sebesar 555,4 Mpa dan modulus elastisitas 16,83 Mpa. Hal ini dikarenakan terjadi peningkatan ikatan *crosslink* antara serat dan matriks yang membentuk molekul matriks menjadi lebih besar pada saat proses *post curing* yang membuat komposit menjadi lebih kuat dan kaku.

3.5 Hasil Makro Pengujian Tekan



Gambar 3.10 Spesimen hasil pengujian makro variasi temperatur curing (a) 100°C (b) 120°C (c) 150°C.



Gambar 3.11 Spesimen hasil pengujian makro variasi temperatur *post curing* (A)100°C (B) 120°C (C) 150°C

Diketahui dari hasil pengujian bahwa setiap variasi temperatur pada spesimen terdapat rongga (void) yang akan mengakibatkan penurunan sifat mekanis tekan. Ada beberapa penyebab void pada spesimen yaitu tidak adanya tekanan ke spesimen pada waktu proses *curing*, proses pengadukan resin *epoxy* dan *hardener* menciptakan banyak rongga (void), dan proses *hand lay-up* juga menciptakan banyak void. Pada gambar 3.10 (A) menunjukkan hasil makro spesimen serat *carbon aramid/epoxy* variasi temperatur 100°C terdapat banyak rongga (void), begitu pula dengan variasi temperatur curing 120°C dan 150°C yang ditunjukkan pada gambar 3.10 (B) dan gambar 3.10 (C). Selain itu, terdapat patahan (*crack*) yang di ditunjukkan pada gambar 3.10 (B) dan gambar 3.10 (C) di variasi *curing* dan pada gambar 3.11 (B) dan gambar 3.11 (C) di variasi *post-curing*. Patahan (*crack*) terjadi dikarenakan pada waktu pengujian tekan matriks dan serat tidak terikat sempurna sehingga terjadilah patahan (*crack*). Akan tetapi, setiap kenaikan temperatur *curing* mengurangi jumlah rongga (void) pada spesimen. Menurut Emanuel (2017) bahwa kenaikan temperatur *curing* lebih besar dari suhu kamar dapat menimbulkan terjadinya peningkatan kecepatan *curing* yang diikuti dengan kenaikan kekuatan ikatan antar bahan pembentuknya, kondisi ini akan memberi *crosslinking* pada komposit yang diikuti dengan pemadatan matrik yang dapat mengurangi terjadinya void sehingga dapat menghasilkan kekuatan yang lebih optimal.

Pada variasi temperatur *post curing* jumlah rongga (void) lebih sedikit dari pada variasi temperatur *curing* yang di tunjukkan pada gambar 3.11 (A), gambar 3.11 (B) dan gambar 3.11 (C). Hal ini dikarenakan peningkatan temperatur *post curing* akan menyebabkan molekul-molekul matrik bergerak lebih cepat untuk menyusun ulang dan membentuk ikatan *crosslink* yang lebih besar dan mengurangi void (Ritonga, 2014).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan hasil pengujian pengaruh parameter *curing* dan *post curing* pada komposit tabung *carbon aramid/epoxy* terhadap kuat tarik dan kuat tekan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi parameter *curing* serat *carbon aramid* meningkatkan besar nilai kuat tarik dan kuat tekan. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada variasi temperatur *curing* 150°C sebesar 328,13 Mpa. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi temperatur *curing* 150°C sebesar 558 Mpa.
2. Variasi parameter *post curing* serat *carbon aramid* meningkatkan besar nilai kuat tarik dan kuat tekan. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada variasi temperatur *post curing* 150°C sebesar 413,88 Mpa. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi temperatur *post curing* 150°C sebesar 598 Mpa.
3. Berdasarkan hasil penelitian tegangan uji tarik dan uji tekan komposit serat *carbon aramid/epoxy* layak untuk diaplikasikan untuk frame sepeda akan tetapi untuk hasil nilai modulus elastisitas belum memenuhi standart untuk diaplikasikan pada *frame* sepeda.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook. 1997. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance alloys*, Vol. 1, ASM International, Material Park, Ohio.
- [2] ASTM. D 2412– 02 (2008). *Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading*. ASTM International. West Conshohocken.
- [3] ASTM Standard D 638 (2014). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International. West Conshohocken.

- [4] Bere, P., Nemes, O., Dudescu, C. 2013. *Design and Analysis of Carbon/Epoxy Composite Tubular Part*. Technical University of Clu-Napoca. Romania.
- [5] Covill, D. 2014. *Parametric Finite Element Analysis Of Bicycle Frame Geometries*, *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 72, 441–446.
- [6] Emanuel, R. 2017. *Pengaruh Temperatur Curing Pada Sifat Komposit Berpenguat Serat Buah Pinang Dengan Orientasi Serat Acak*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- [7] Jatmiko, A., Handayani, I.P., Indra, W.F., Suhendi, A., Hadi, S. 2017. *A Simple Controlable Wet Lay Up Instrument And The Analysis Of Lay Up Process To The Mechanical Properties Of Composite Material*. *E-Proceeding of Engineering*, Vol. 4.
- [8] Malau, V. 2010. *Karakterisasi Sifat Mekanis Dan Fisis Komposit E-Glass Dan Resin Eternal 2504 Dengan Variasi Kandungan Serat, Temperatur Dan Lama Curing*. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [9] Ritonga, W. 2014. *Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing Dan Post Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres IM30K*. Fakultas Teknologi Industry, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [10] Salman, S., Leman, Z. 2015. *Experimental Comparison between Two Types of Hybrid Composite Material in Compression Test*. Universitas Putra Malaysia, Malaysia.
- [11] Surdia, T., Saito, S. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [12] Yakub, A. 2013. *Optimasi Desain Rangka Sepeda Berbahan Baku Komposit Berbasis Metode ANOVA*. Universitas Presiden. Cikarang.