

KARAKTERISASI KUAT TARIK DAN KUAT TEKAN TABUNG KOMPOSIT *E-GLASS/EPOXY* DENGAN VARIASI PARAMETER *CURING* DAN PARAMETER *POST CURING*

Samsul Nugroho^a, Cahyo Budiyanoro^b, Aris Widyo Nugroho^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia 55183
e-mail: Pamungkasnugroho114@gmail.com

Abstract

Pergantian material logam dalam industri manufaktur saat ini sudah banyak dilakukan, terutama dalam bidang material komposit. Rangka sepeda umumnya terbuat dari material logam, tetapi karena kebutuhan sepeda yang bervariasi maka dibutuhkan material yang memiliki kekuatan tinggi tetapi ringan, sehingga dibuatlah *frame* sepeda dengan material komposit. Penggunaan serat *glass* sebagai material untuk pembuatan *frame* sepeda sudah pernah dilakukan atau dilaporkan sebelumnya, akan tetapi belum mendapatkan hasil kekuatan yang maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan nilai kuat tarik dan kuat tekan yang sesuai dengan menggunakan variasi parameter temperatur *curing* dan variasi parameter temperatur *post curing*. Pembuatan komposit tabung *e-glass/epoxy* menggunakan metode *hand lay-up* yang dilakukan dua pengujian yaitu pengujian tekan mengacu pada ASTM D 2412 dan pengujian tarik mengacu pada ASTM D 638-4. Penelitian ini menggunakan 8 lapisan serat dan variasi parameter *curing* dan *post curing* pada temperatur 110°C, 130°C, 150°C selama 60 menit. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa variasi parameter *curing* dan *post curing* mempengaruhi besar nilai kekakuan tekan dan tarik. Nilai rata-rata kekakuan tekan variasi *curing* tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 230,6 Mpa. Sedangkan nilai rata-rata kekakuan tekan variasi *post curing* tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 308,6 Mpa. Nilai rata-rata kuat tarik variasi *curing* tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 155,08 Mpa, sedangkan untuk nilai rata-rata kuat tarik variasi *post curing* tertinggi diperoleh pada temperatur 150°C sebesar 254,96 Mpa.

Kata kunci: komposit, rangka sepeda, serat *glass*, *curing*, *post curing*.

Abstract

Substitution of metal materials in the manufacturing industry is now widely practiced, especially in the field of composite materials. Bicycle frames are generally made of metal material, but due to the varied needs of bicycles, needed high strength but lightweight materials are, so made frames are bicycle with composite materials. The use of fiberglass as a material for making frames bicycle has been done or reported before, but has not gotten the maximum strength results. The purpose of this research is to increase the tensile strength and compressive strength values that are appropriate by using variations in the temperature parameters curing and variations in the temperature parameters post curing. The making of composite tubes e-glass/epoxy using method hand lay-up was carried out by two tests namely press testing referring to ASTM D 2412 and tensile testing referring to ASTM D 638-4. This study using 8 layers of fiber and variations in parameters curing and post curing at temperatures of 110°C, 130°C, 150°C for 60 minutes. From the results of the study it was found that variations in the parameters of curing and post curing affect the value of the compressive stiffness and tensile strength. The highest average compressive stiffness value of curing was obtained at a temperature of 150°C at 230,6 MPa. While the highest average compressive stiffness of variation post curing was obtained at a temperature of 150°C amounting to 308,6 MPa. The highest average tensile strength value of variation curing was obtained at a temperature of 150°C of 155.08 MPa, while for the highest average tensile strength the variation post curing highest was obtained at a temperature of 150°C of 254.96 MPa.

Keywords: composite, bicycle frame, fiberglass, curing and post curing

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu material dalam industri manufaktur saat ini telah mengalami banyak kemajuan, terutama untuk material logam maupun material non-logam. Material logam mempunyai kekurangan dengan tingkat massa jenis yang relatif tinggi serta tingkat kekakuan dan tingkat kekuatan yang cukup rendah, maka dikembangkan material non logam khususnya material komposit dengan serat (*fiber*). Fiberglass memiliki kelebihan yaitu kuat, ulet dan ringan. Walaupun tidak sekaku dan seringan dari carbon fiber, namun fiberglass lebih ulet dan harganya relatif murah. Dalam aplikasinya fiberglass sering digunakan untuk bahan pembuat pesawat terbang, perahu, body mobil, perpipaan, dinding isolator dan lain-lain. Menurut Nayiroh, (2013) komposit merupakan suatu material baru yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang berbeda baik dari sifat fisik maupun mekanisnya.

Komposit merupakan suatu material yang tersusun dari dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanis masing-masing material berbeda. Dari campuran tersebut terbentuk material baru yang memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari material pembentuknya, (Matthews 1993).

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 1.1 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

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.

Ritonga (2014) proses post curing suatu proses yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat yang dimiliki oleh komposit. Pada saat proses post curing, molekul-molekul material pada kondisi ini menerima lebih banyak energy dan meningkatkan pergerakan molekul-molekul tersebut. Molekul-molekul tersebut tersusun ulang dan membentuk ikatan (crosslink) yang menyebabkan material menjadi lebih fleksibel. Ketika material komposit tersebut dalam keadaan dingin maka mobilitas dari molekul-molekul menjadi turun kembali dan menyebabkan material menjadi kaku kembali.

Glassfiber Reinforced Plastic (GFRP) adalah suatu material komposit yang terbuat dari fiber glass anyaman dengan campuran resin epoxy/polyester yang dibentuk pipa. Pemilihan resin GFRP berpengaruh pada temperature, strength dan elongation. Ekspansi thermal memiliki pengaruh penting dalam stress analysis pada GFRP, karena GFRP dapat berekspansi 2-3 kali lebih panjang dari pada ekspansi pipa metal pada temperatur yang sama.

Penggunaan serat karbon pada rangka sepeda lebih banyak digunakan daripada serat glass karena serat karbon mempunyai nilai kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dari serat glass, namun serat glass mampu menahan goncangan atau memiliki daya redam yang lebih baik karena sifat kekakuannya yang lebih kecil. Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian tentang tabung komposit sebagai bahan alternatif pengganti material logam untuk aplikasi frame sepeda dengan material komposit serat glass sudah pernah dilaporkan atau diteliti sebelumnya, akan tetapi perlu ditingkatkan nilai kekuatannya. Oleh karena itu, penelitian ini membahas pembuatan tabung komposit serat e-glass bermatrik resin epoksi (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 vacum bagging, (Jatmiko 2017). Pembuatan dilakukan dengan menggunakan variasi parameter curing dan parameter post curing agar resin memiliki daya ikat yang tinggi terhadap serat pada 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 e-glass/epoxy sehingga dapat digunakan pada aplikasi rangka sepeda.

2. Metode Penelitian

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

2.1 Proses Pembuatan Komposit

Urutan pembuatan spesimen komposit tabung dapat diuraikan sebagai berikut:

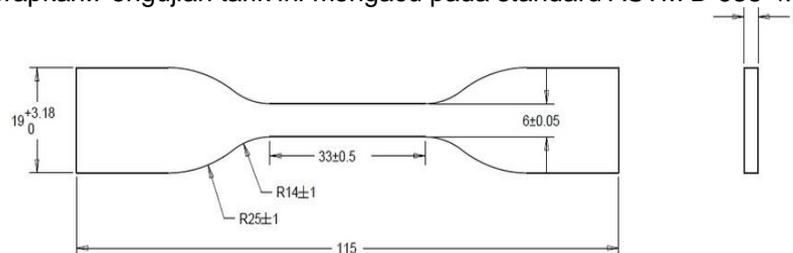
1. Memotong serat *e-glass* anyaman dengan ukuran 11x10,5 cm sebanyak 8 lembar.
2. Mencampur matriks epoksi dan hardener dengan perbandingan 1:1.

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 8 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

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 specimen 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:

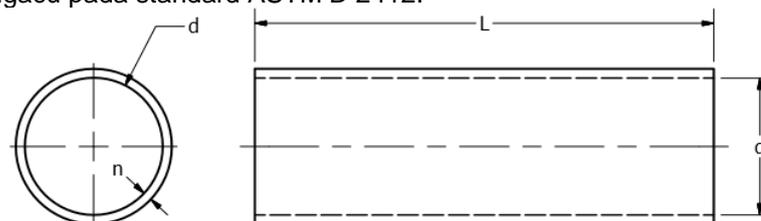
σ = Tegangan normal (Mpa).

ε = Regangan.

E = Modulus elastisitas (Mpa).

2. 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:

$$P_d = \Delta_y / dx \times 100$$

- 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).

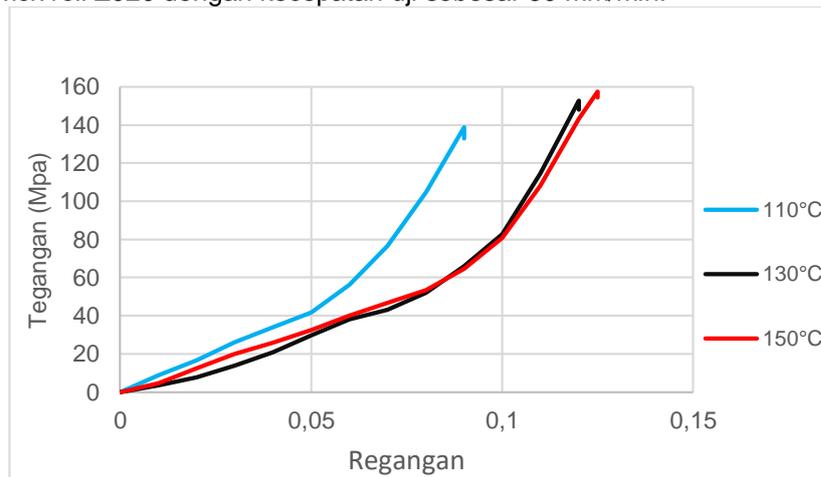
3. Pengujian Makro

Pengujian makro bertujuan untuk mengetahui permukaan komposit yang dapat diamati menggunakan mikroskopik

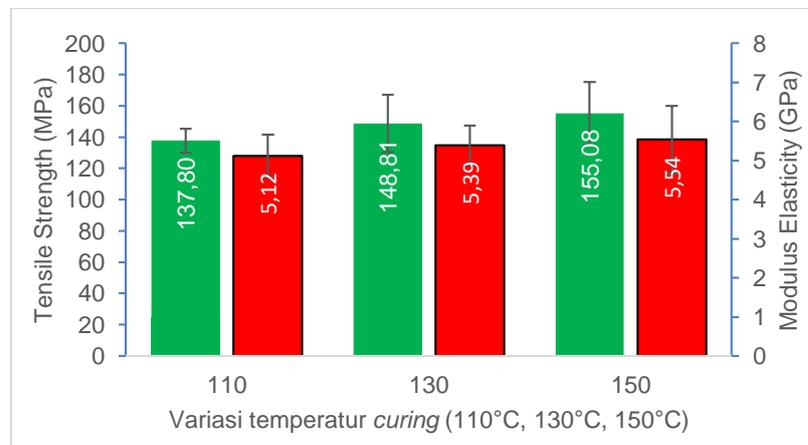
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik komposit tabung *e-glass/epoxy* variasi temperatur *curing* dan temperatur *post curing* diperoleh 3 parameter data kekuatan mekanis komposit seperti kekuatan, regangan dan modulus elastisitas. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *Zwick roll Z020* dengan kecepatan uji sebesar 50 mm/min.

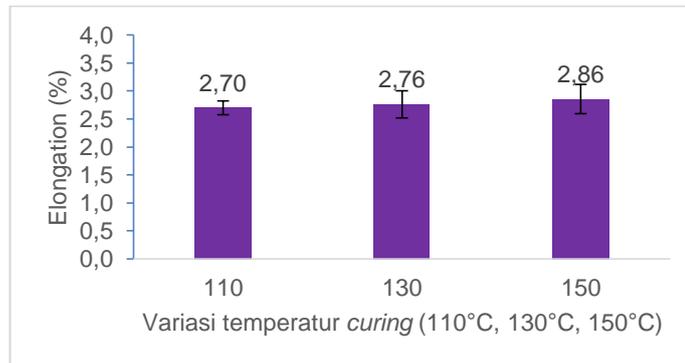


Gambar 3.1 Hubungan tegangan-regangan pada pengujian tarik komposit dengan variasi temperatur curing 110°C, 130°C, 150°C.



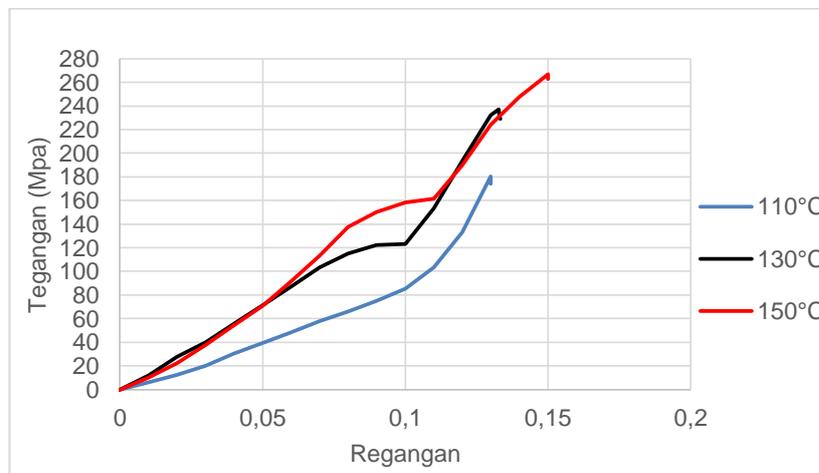
Gambar 3.2 Nilai rata-rata tegangan tarik dan modulus elastisitas pada beberapa variasi temperatur curing.

Gambar 3.2 menunjukkan nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada variasi temperatur *curing* 150°C sebesar 155,08 Mpa. Hal ini disebabkan oleh peningkatan ikatan (terjadi *crosslink*) dari epoksi sebagai matrik seiring dengan naiknya temperatur *curing*. Malau (2010) menjelaskan 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 pematatan matrik. Nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi temperatur *curing* 150°C sebesar 5,54 Gpa. Modulus elastisitas menunjukkan sifat kekakuan atau ketahanan terhadap deformasi elastis, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *curing* maka akan semakin kaku.

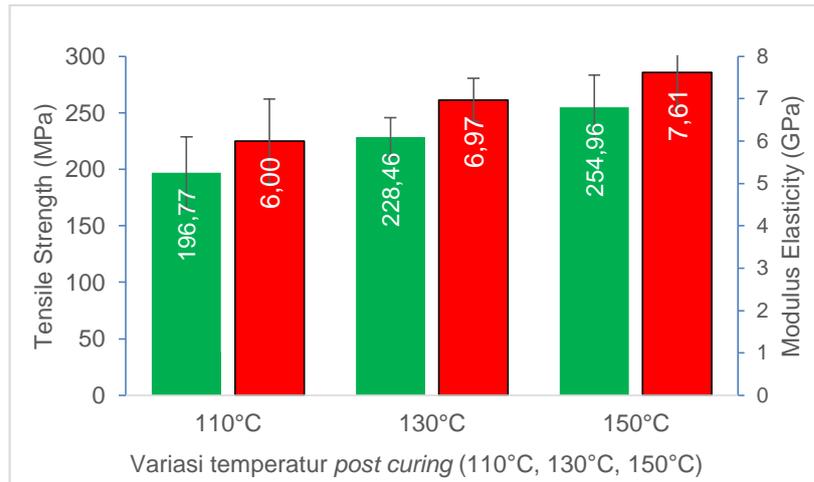


Gambar 3.3 Grafik nilai rata-rata regangan tarik pada beberapa variasi temperatur *curing*.

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa nilai rata-rata regangan tarik tertinggi sebesar 2,86%. Hal ini dikarenakan meningkatnya temperatur *curing* dapat menyebabkan matrik menjadi semakin baik dalam mengikat serat. Emanuel (2017) menjelaskan bahwa nilai regangan dapat dipengaruhi oleh perlakuan temperatur *curing* yang memberikan pengaruh pada matrik untuk semakin baik dalam mengikat serat.

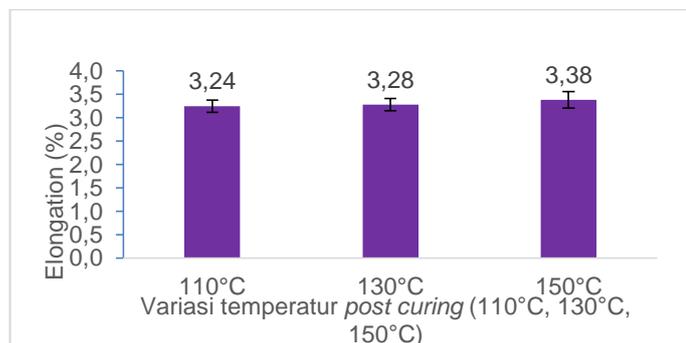


Gambar 3.4 Hubungan tegangan-regangan pada pengujian tarik komposit dengan variasi temperatur *post curing* 110°C, 130°C, 150°C.



Gambar 3.5 Nilai rata-rata kekuatan tarik dan modulus elastisitas pada beberapa variasi temperatur *post curing*.

Gambar 3.5 menunjukkan nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi dan nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi temperatur *post curing* 150°C sebesar 254,96 Mpa untuk kekuatan tarik dan 7,61 Gpa untuk modulus elastisitas. Hal ini dikarenakan seiring meningkatnya temperatur *post curing* dapat menyebabkan meningkatnya pergerakan molekul matrik untuk menyusun ulang agar komposit menjadi semakin padat. Ritonga (2014) menjelaskan bahwa peningkatan temperatur *post curing* dapat menyebabkan molekul-molekul matrik bergerak lebih cepat untuk menyusun ulang dan membentuk ikatan *crosslink* yang lebih besar.



Gambar 3.6 Nilai rata-rata regangan tarik variasi temperatur *post curing*.

Gambar diatas menunjukkan nilai rata-rata regangan tarik tertinggi terdapat pada variasi temperatur *post curing* 150°C sebesar 3,38%.



Gambar 3.7 Spesimen hasil pengujian tarik variasi temperatur *curing*.



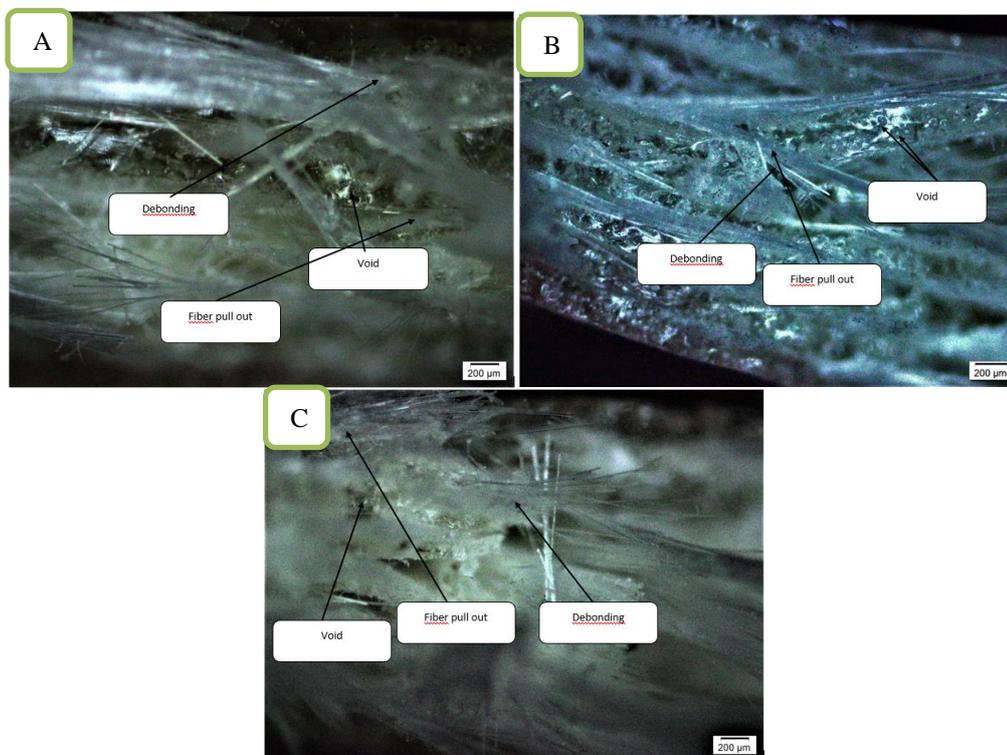
Gambar 3.8 Spesimen hasil pengujian tarik variasi temperatur *post-curing*.

Gambar 3.7 menunjukkan hasil patahan spesimen uji tarik variasi temperatur curing menghasilkan patahan geser. Patah geser ini terjadi ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan interface masih baik, matriks mampu mendukung beban yang diterima dengan cara mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban ke serat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak. Patahan terjadi pada lebih dari satu bidang.

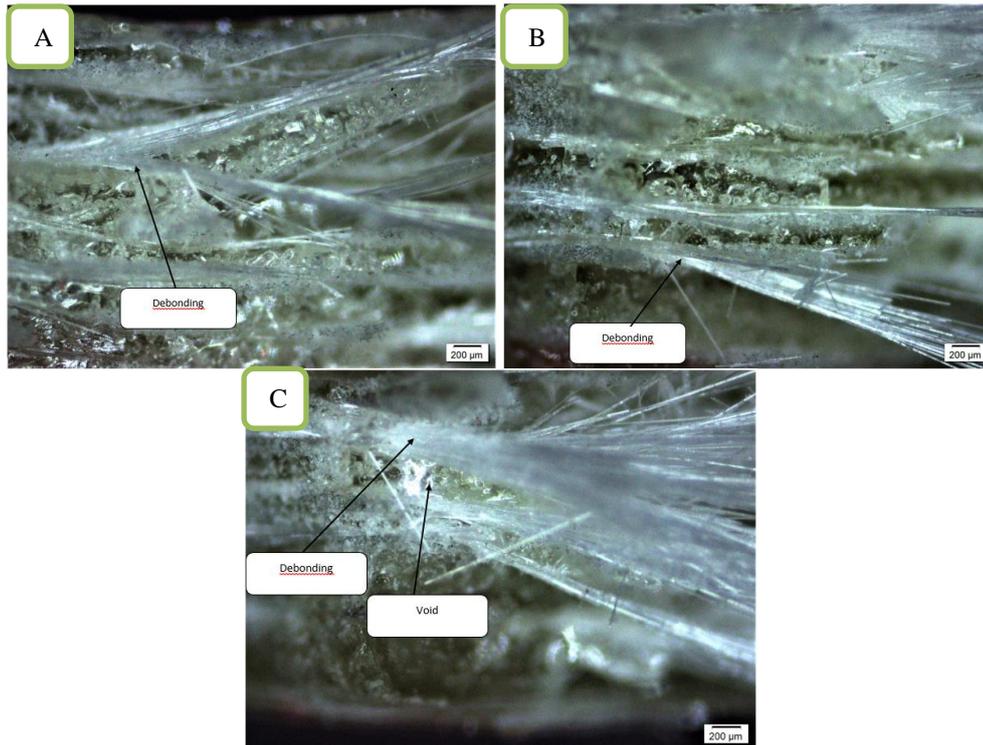
Gambar 3.8 menunjukkan hasil patahan spesimen uji tarik variasi temperatur *post curing* menghasilkan patahan getas. Patah getas ini terjadi karena pada saat serat putus terkena beban tarik, matriks tidak mampu lagi menahan beban tambahan. Selain itu karena material komposit yang kaku karena perlakuan *curing* dan *post curing*.

3.2 Hasil Faktografi Makro Spesimen Uji Tarik

Untuk mengetahui patahan dari struktur permukaan spesimen yang telah diuji tarik. Maka dilakukan uji faktografi dengan menggunakan mikroskop digital.



Gambar 3.9 Hasil makro patahan specimen uji tarik variasi temperatur *curing* (a) 110°C, (b) 130°C dan (c) 150°C.

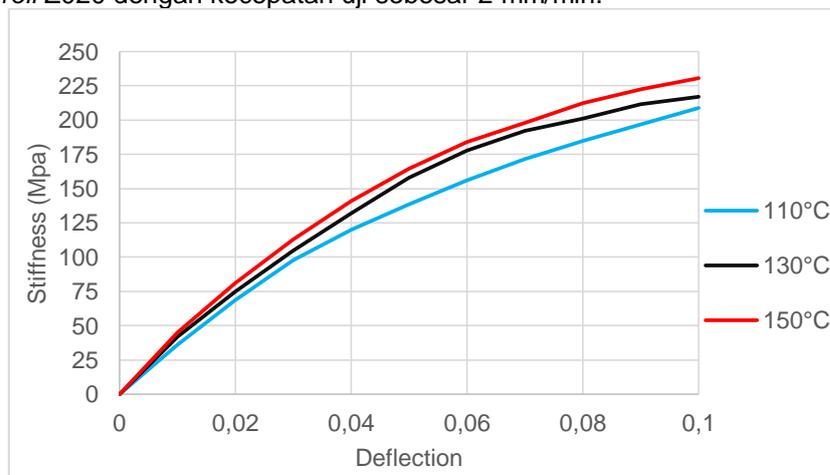


Gambar 3.10 Hasil makro patahan specimen uji tarik variasi temperatur *post curing* (a) 110°C, (b) 130°C dan (c) 150°C.

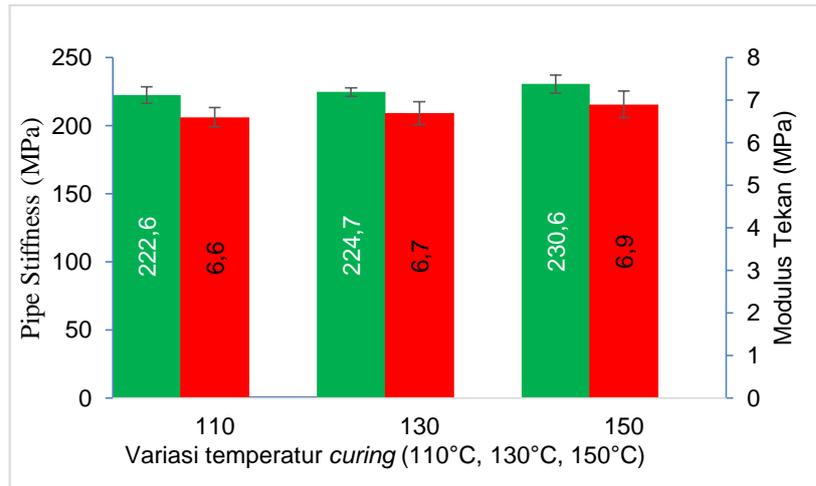
Gambar diatas menunjukkan adanya *void* dan jenis patahan *fiber pull-out* yang terjadi pada permukaan spesimen setelah dilakukan uji tarik. Terbentuknya *void* disebabkan karena udara yang terjebak saat proses fabrikasi komposit sehingga membentuk rongga udara didalam spesimen. Kerusakan *fiber pull out* terjadi karena kurangnya ikatan antara matriks dan serat. Menurut Kusdiyanto (2014) *fiber pull out* merupakan kondisi serat keluar dari patahan yang disebabkan ikatan kurang kuat antara matriks dan serat.

3.3 Hasil Pengujian Tekan

Pengujian tekan komposit tabung *e-glass/epoxy* variasi temperatur *curing* dan temperatur *post curing* diperoleh 3 parameter data sifatmekanis komposit seperti kekakuan, deformasi dan modulus tekan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *Zwick roll Z020* dengan kecepatan uji sebesar 2 mm/min.

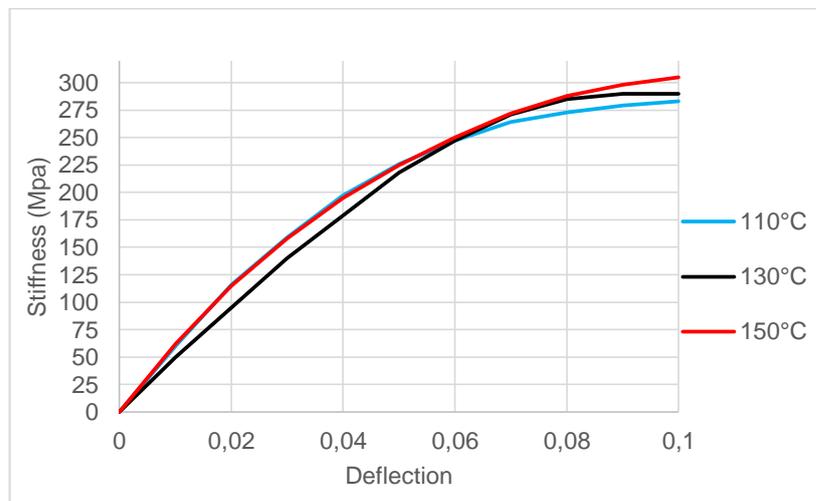


Gambar 3.11 Hubungan kekakuan-deformasi pada pengujian tekan komposit dengan variasi temperatur *curing* 110°C, 130°C, 150°C.

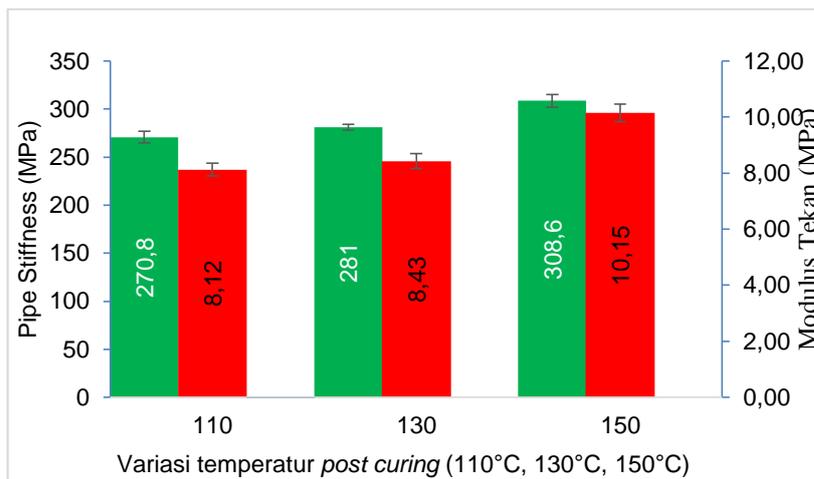


Gambar 3.12 Grafik nilai rata-rata kekakuan tekan dan modulus tekan pada beberapa variasi temperatur curing.

Gambar 3.12 menunjukkan nilai rata-rata kekakuan tekan dan nilai rata-rata modulus tekan tertinggi terdapat pada variasi temperatur curing 150°C sebesar 230,6 Mpa dan modulus tekan 6,9 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 waktu yang digunakan saat curing hanya sebentar sehingga proses terjadinya *crosslink* hanya berlangsung secara singkat. Nilai rata-rata regangan tekan pada ketiga variasi temperatur curing tidak terjadi perubahan, nilai regangan tekan pada ketiga variasi temperatur curing sebesar 33%. Hal ini dikarenakan pembacaan alat uji yang digunakan tidak bisa membaca data *deformation* atau laju penekanannya lebih dari 10 mm.

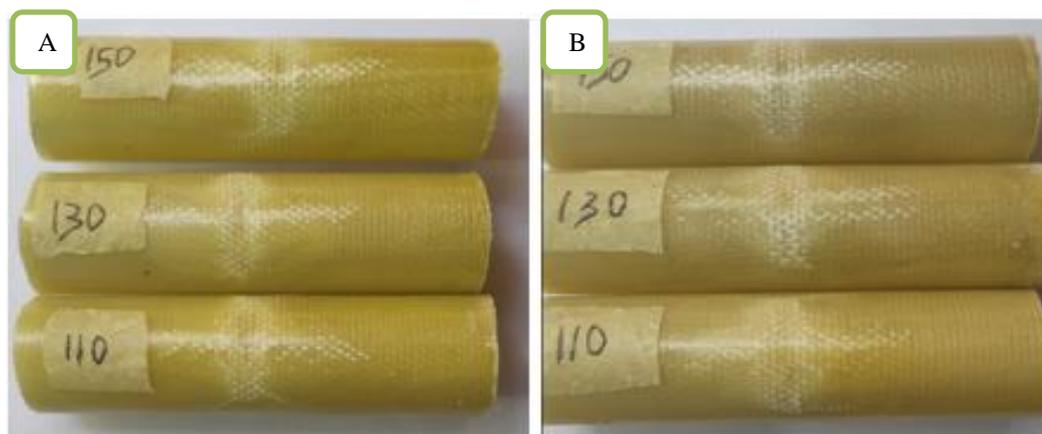


Gambar 3.13 Hubungan kekakuan-deformasi pada pengujian tekan komposit dengan variasi temperatur post curing 110°C, 130°C, 150°C.



Gambar 3.14 Grafik nilai rata-rata kekakuan tekan dan modulus tekan pada beberapa variasi temperatur *post curing*.

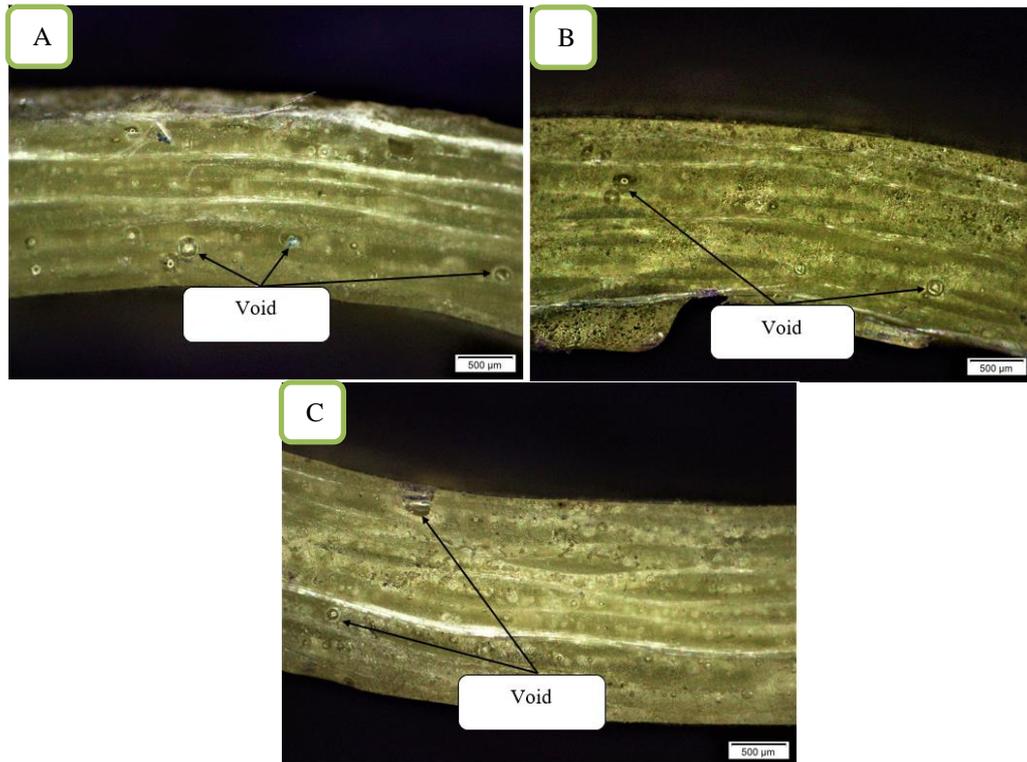
Gambar 3.14 menunjukkan nilai rata-rata tegangan tekan dan modulus tekan tertinggi terdapat pada variasi temperatur *post curing* 150°C sebesar 308,6 Mpa dan modulus tekan 10,15 Mpa. Hal ini dikarenakan terjadi peningkatan ikatan *crosslink* antara serat dan matriks yang membentuk molekul matriks menjadi lebih besar saat proses *post curing* yang membuat komposit menjadi lebih kuat dan kaku. Menurut Prastiyadi (2014) semakin tinggi kristalinitas atau jumlah ikatan *crosslink* komposit tergantung pada temperatur yang digunakan, oleh karena itu komposit mampu menahan beban tekan yang lebih tinggi.



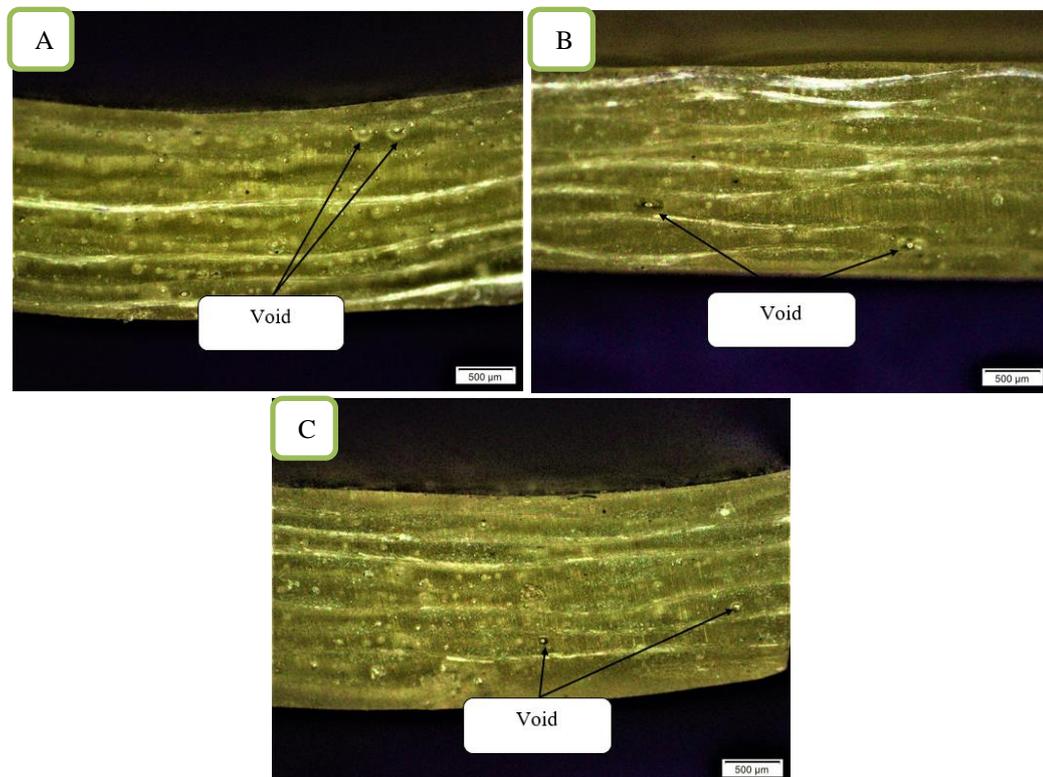
Gambar 3.15 Spesimen hasil pengujian tekan komposit *e-glass/epoxy* (a) variasi temperatur *curing* dan (b) variasi temperatur *post curing*.

3.4 Hasil Pengujian Makro Spesimen Uji Tekan

Untuk mengetahui efek struktur spesimen termasuk dengan adanya *void* yang muncul pada material komposit, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan mikroskop digital.



Gambar 3.16 Hasil makro patahan specimen uji tekan variasi temperatur *curing* (a) 110°C, (b) 130°C dan (c) 150°C.



Gambar 3.17 Hasil makro patahan specimen uji tekan variasi temperatur *post curing* (a) 110°C, (b) 130°C dan (c) 150°C.

Gambar diatas menunjukkan cacat *void* yang terjadi divariasi temperatur *curing* dan *post curing*. Cacat *void* terjadi karena adanya udara yang terjebak selama proses pembuatan komposit. Semakin banyaknya jumlah *void* menunjukkan bahwa spesimen

komposit menghasilkan sifat mekanis yang lebih kecil. Malau (2010) menjelaskan bahwa cacat *void* terjadi karena adanya udara yang terjebak selama proses pembuatan komposit dalam cetakan, dengan adanya rongga udara didalam komposit menyebabkan komposit tidak dapat menahan beban dengan baik.

4. Kesimpulan

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

1. Perlakuan *curing* serat *glass* dapat meningkatkan nilai kuat tarik dan kekakuan tekan. Nilai rata-rata kuat tarik tertinggi diperoleh pada temperatur *curing* 150°C sebesar 155,08 Mpa. Nilai rata-rata kekakuan tekan tertinggi diperoleh pada temperatur *curing* 150°C sebesar 230,6 Mpa.
2. Perlakuan *post curing* serat *glass* dapat meningkatkan nilai kuat tarik dan kekakuan tekan. Nilai rata-rata kuat tarik tertinggi diperoleh pada temperatur *post curing* 150°C sebesar 254,96 Mpa. Nilai rata-rata kekakuan tekan tertinggi diperoleh pada temperatur *post curing* 150°C sebesar 308,6 Mpa.
3. Diperoleh nilai kuat tarik tertinggi pada variasi temperatur *curing* 150°C sebesar 155,08 Mpa dan *post curing* 150°C sebesar 254,96 Mpa. Nilai tersebut dapat digunakan untuk aplikasi *frame* sepeda komposit *e-glass* bagian komponen *frame top tube* yang memiliki nilai standard sebesar 2,6 Mpa. Nilai kekakuan tekan tertinggi pada variasi temperatur *curing* 150°C sebesar 230,6 Mpa dan *post curing* 150°C sebesar 308,6 Mpa. Nilai tersebut dapat digunakan untuk aplikasi *frame* sepeda komposit *e-glass* bagian komponen *frame seat tube* yang memiliki nilai standard sebesar 2,6 Mpa.

Daftar Pustaka

- ASM Handbook, 1997. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance alloys*, Vol. 1, ASM International, Material Park, Ohio.
- 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.
- ASTM Standard D 638 (2014). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International. West Conshohocken.
- Covill, D. 2014. *Parametric Finite Element Analysis Of Bicycle Frame Geometries*, *Procedia Engineering*. Elsevier, Vol. 72, 441–446.
- Emanuel, R. 2017. *Pengaruh Temperatur Curing Pada Sifat Komposit Berpenguat Serat Buah Pinang Dengan Orientasi Serat Acak*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- 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(1), 803-810.
- Kumar, N.L., Madhuri, I.B. 2017. *Design and Fabrication of Bicycle Fame Using Fiber Reinforced Plastic*. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, Vol. 5(6), 2676-2682.
- Lakshmi, S.G., Ramarao, B.S.V., Seshu, M.A., Gurushanker, V. 2015. *Design And Manufacture of Composite Bicycle Frame and Evaluation of Compressive Properties Of $\pm 45^\circ$ E-Glass/Epoxy Composite with Different Introduced Defects*. *International Journal Of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, Vol. 4(8), 2793-2798.
- Malau, V. 2010. *Karakterisasi Sifat Mekanis Dan Fisis Komposit E-Glass Dan Resin Eternal 2504 Dengan Variasi Kandungan Serat, Temperatur Dan Lama Curing*. *MEKANIKA*, Vol. 8(2), 144-149.
- Matthews, F.L. 1993. *Composite Material Engineering And Science*, Imperial College Of Science. *Teknologi and Medicine*, London.
- Nayiroh, N. 2013. *Bahan Ajar Teknologi Material Komposit*. Universitas Islam Negri Malang, Malang.
- Prastyadi, C., Wijanarko, W. 2017. *Pengaruh Variasifraksi Volume, Temperatur, Waktu Curing Dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Polyester Hollow Glass Microspheres*. *JURNAL TEKNIK ITS*. Vol. 6(1), 196-200.
- Rijswijk, K.V. 2002. *Natural Fiber Composites Structure and Materials*. Laboratory Faculty of Aerospace Engineering Delft University of Technology.
- Ritonga, W. 2014. *Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Teperatur Curing Dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres IM30K*. Fakultas Teknologi Industry, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Rochardjo, H.S.B., Junaidi, T. 2017. *Manufaktur Rangka Sepeda Balap Dari Bahan Serat Karbon Dengan Metode Wrapped On Foam*. Departemen Teknik Mesin dan Industri. Vol. 6(1), 60-65.

- Shimamoto, D., Imai, Y., Hotta, Y. 2014. *Kinetic Study of Resin-Curing on Carbon Fiber /Epoxy Resin Composites by Microwave Irradiation. Open journal of composite material.* Vol. 4, 85-96.
- Wiranata, A., Arief, A., Rochardo, H.S.B. 2019. *Study Pengaruh Perubahan Sudut Head Tube dan Top Tube Pada Rangka Sepeda Balap Terhadap Defleksi Pada Fork Dengan Metode Explicit Dynamics Elemen Hingga. Journal of Mechanical Desain and Testing.* Vol. 1(1), 14-22.
- Yudiono, H., Rusdiyanto, Kiswadi. 2017. *Kekuatan Tarik Komposit Lamina Berbasis Anyaman Serat Karung Plastik Bekas (Woven Bag). Jurnal Kompetensi Teknik,* Vol 8(2). 2086-2253.
- Zhu, H., Wu, B., Li, D., Zhang, D., Chen, Y. 2011. *Influence of Void on the Tensile Performance of Carbon/Epoxy Fabric Laminates. Journal of Materials Science and Technology.* Vol. 27(1), 69-73