

Pengaruh *Curing Time* Terhadap Sifat Mekanis Komposit *Epoxy/Carbon Fiber* dan *Epoxy/ Glass Fiber* dengan Metode Manufaktur *Bladder Compression Moulding*

M. I. Putra* dan G. Nugroho

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
Jl. Grafika No.2, Kompleks UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia,
Telp. (0274) 521673
e-mail: bungidris010@gmail.com

Abstrak

Material komposit banyak diminati karena memiliki keunggulan yang dibutuhkan dalam bidang *engineering*. Metode manufaktur komposit secara umum terbagi dua yaitu metode cetakan terbuka (*open mould*) dan metode cetakan tertutup (*close mould*). *Bladder compression moulding* merupakan metode manufaktur komposit cetakan tertutup yang mengaplikasikan tekanan dan pemanasan dalam kerjanya. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh waktu optimum pada manufaktur komposit dengan metode *bladder compression moulding* serta mempelajari pengaruh variasi *curing time* terhadap sifat mekanis produk komposit yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan dua jenis material serat yaitu serat karbon dan serat gelas. Sebanyak 6 lapis Serat karbon dan 6 lapis serat gelas dibentuk dalam sebuah cetakan (*mould*) dengan resin epoksi sebagai matriksnya pada tekanan 7 Bar dan temperatur 120°C dengan variasi *curing time* 10 menit sampai dengan 70 menit dengan kenaikan tiap 10 menit. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan tertinggi komposit epoksi/serat karbon yaitu pada *curing time* 40 menit (351MPa) dan komposit epoksi/serat gelas diperoleh pada *curing time* 30 menit (279 MPa). Kesimpulan penelitian yaitu produktifitas komposit dapat dimaksimalkan dengan diperolehnya waktu optimum pada pembentukan komposit dengan metode *bladder compression moulding*.

Kata kunci : *Bladder compression moulding, sifat mekanis, epoksi/serat karbon, epoksi/serat gelas.*

Abstract

Composite material has many advantages was needed in engineering. Generally, composite manufacturing are divided in two methods, openmould and close mouldsystems. Bladder compression moulding is a method of close mould composite manufacturing involves pressure and heating system in the process. The purpose of this study is to obtain the optimum time in composite manufacturing using bladder compression molding method and to study the effect of curing time variations on the mechanical properties of composite products produced at 7 KPa and 120° C. This study uses two types of fiber, namely carbon fiber and glass fiber. Total of 6 layers carbon fiber and 6 layers glass fiber were formed in a mold which epoxy resin is the matrix with variations of holding time at 10 to 70 minutes with curing variations every 10 minutes. Tensile test results showed that the highest strength of carbon fiber / epoxy composites was at a curing time of 40 minutes (351MPa) and glass fiber/ epoxy obtained at a curing time of 30 minutes (279 MPa). The conclusion of this study was that the productivity of composite manufacturing can be maximized with optimum time for composite forming by bladder compression moulding method.

Keywords : *Bladder compression moulding, mechanical properties, carbon fiber/epoxy, glass fiber/ epoxy.*

1. PENDAHULUAN

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua material atau lebih yang secara spesifik memiliki sifat mekanik yang berbeda dan tidak saling melarutkan sehingga saat digabungkan masih dapat dibedakan secara makroskopik dan akan membentuk material yang mewakili material penyusunnya. Karakteristik setiap bahan penyusun akan mempengaruhi karakter komposit yang dibentuk. Perkembangan ruang lingkup komposit saat ini merangkul hampir semua bahan *engineering* termasuk plastik, logam, keramik, kopolimer dan lain-lain (Jones, 1999).

Komposit memiliki beberapa keunggulan diantaranya ringan, kuat dan tahan korosi. Komposit banyak diminati karena sifatnya yang mampu menjawab kebutuhan masyarakat modern yaitu kuat namun tetap ringan. Pesatnya perkembangan dalam bidang material dan manufaktur menjadikan komposit mampu digunakan dalam beragam aplikasi seperti struktur pesawat terbang dan otomotif yang memerlukan bahan-bahan ringan namun tetap kuat (Mallick, 2007).

Metode pembentukan komposit yang umum ditemui diantaranya adalah *hand lay up*, *spray lay up*, *vacuum bagging*, *Resin transfer moulding* dan lain-lain. Jenis perlakuan dalam proses pembentukan komposit pada umumnya melibatkan pemanasan dan penekanan. *Bladder compression moulding* merupakan metode pembentukan komposit yang masih tergolong baru namun efektif dalam pembentukan komposit karena dapat membuat produk berongga dan kontur tertutup lainnya. Kualitas produk komposit yang dibentuk dengan *bladder compression moulding* sangat dipengaruhi oleh tiga variabel yaitu besarnya tekanan (*pressure*), suhu (*temperature*), dan waktu (*time*) (Anderson & Altan, 2012).

Ismadi (2018) meneliti pengaruh tekanan pada pembentukan komposit epoksi/serat karbon menggunakan metode *bladder compression moulding* dengan *curing time* selama 12 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan optimum yang dapat dijadikan referensi dalam proses pembentukan komposit dengan metode *bladder compression moulding* adalah 7 Bar. Penelitian lain menjelaskan bahwa temperatur optimum pada pembentukan komposit dengan metode *bladder compression moulding* adalah 120°C dengan *curing time* selama 60 menit (Setyoko, 2018). Komposit epoksi/serat karbon maupun komposit epoksi/serat gelas yang dihasilkan menggunakan sistem pemanas rata-rata memiliki kinerja mekanis yang lebih tinggi dibandingkan komposit yang dibentuk pada *room temperature* (Singh dkk, 2018).

Curing time merupakan salah satu parameter penting yang perlu diperhatikan dalam proses manufaktur komposit karena *curing* yang tidak sempurna atau terlalu cepat dapat mengakibatkan berkurangnya ketahanan termal, transisi temperatur, ketahanan lembab, ketahanan fatik, kekuatan matriks, sifat-sifat kekakuan dan *curing time* yang terlalu lama tidak menguntungkan dalam sebuah proses manufaktur (Mazumdar, 2002).

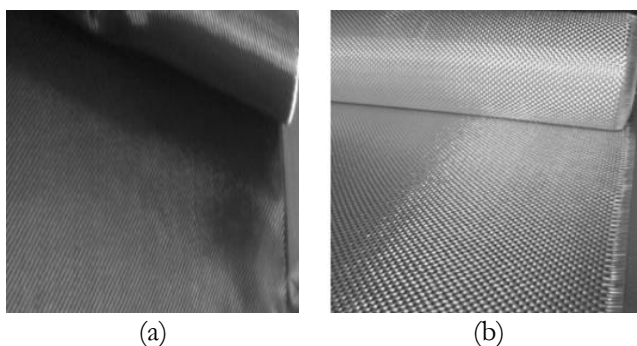
Belum ada informasi spesifik tentang *curing time* optimum yang dapat dijadikan acuan pada pembentukan komposit dengan metode *bladder compression moulding*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh waktu optimum pada pembentukan komposit dengan metode *bladder compression moulding* menggunakan sistem pemanas internal serta mengetahui pengaruh variasi *curing time* terhadap sifat mekanis khususnya kekuatan tarik dari produk komposit yang dihasilkan dengan metode *bladder compression moulding*.

2. METODE PENELITIAN

Bladder compression moulding merupakan proses pembentukan komposit dengan menggunakan *bladder* di dalam cetakan tertutup. Cetakan berfungsi memberi bentuk akhir pada bagian luar produk dan umumnya terbuat dari bahan logam. Sedangkan *bladder* berfungsi meneruskan

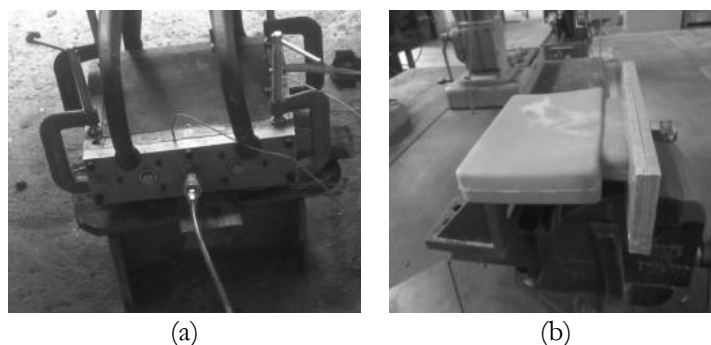
tekanan yang diterima dari kompresor ke sisi dalam untuk memadatkan bahan komposit selama proses *curing*. *Bladder* dibuat menyerupai bentuk produk komposit. Pembuatan *bladder* dapat dilakukan dengan memanfaatkan cetakan menggunakan *female mould*. *Bladder* dapat terbuat dari bahan *lateks* atau *silicon rubber*. Berbeda dengan *bladder moulding* konvensional yang mana proses *curing* sering dipanaskan menggunakan sumber panas eksternal seperti oven, *bladder compression moulding* menggunakan sistem pemanasan internal dalam *mould*. Selain itu, kelebihan metode ini yaitu mampu menahan tekanan tinggi sehingga menghasilkan komposit yang kuat dengan fraksi serat tinggi (Anderson & Altan, 2014). Penggunaan sistem pemanas internal pada metode *bladder compression moulding* memiliki nilai efektifitas yang lebih baik dalam hal konsumsi energi dibandingkan sistem pemanasan eksternal (Budi, 2020).

Jenis serat yang digunakan pada penelitian ini adalah serat karbon *woven roving* (WR 240) dan serat gelas *woven roving* (WR 200) sebagai penguat serta resin epoksi tipe *Bisphenol A-Epichlorohydrin* dengan *hardener* jenis *epoxy hardener* EPH 555 tipe *Cycloaliphatic Anine* sebagai matriks dengan perbandingan resin dan *hardener* yang digunakan yaitu 1: 1. Serat penguat komposit ditunjukkan pada Gambar 1.



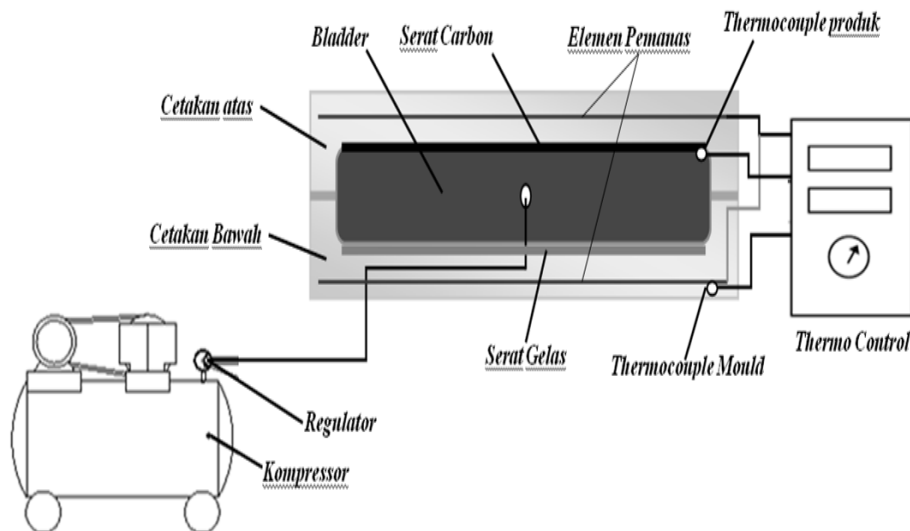
Gambar 1. (a). Serat karbon (b). Serat gelas

Manufaktur komposit dilakukan dengan metode *bladder compression moulding* menggunakan sistem pemanasan dan penekanan dalam proses kerjanya. Cetakan komposit yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari bahan Aluminium seri 6 yang terdiri dari dua bagian dengan dimensi total saat tertutup 322 mm x 240 mm x 80 mm. Pada setiap *mould* juga dibuat ruang untuk pemanas dan *thermocontrol system* sebagai pengatur temperatur. Jenis *bladder* yang digunakan adalah *synthetic rubber* dengan ekspansi total 30%. *Mould* dan *bladder* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a). Cetakan (b). *Bladder*

Produk komposit pada penelitian ini dihasilkan dari masing-masing 6 lapis serat karbon dan 6 lapis serat gelas pada tekanan 7 Bar dan temperatur 120°C dengan *curing time* 10 menit hingga 70 menit dengan variasi *curing time* tiap 10 menit. Seluruh alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini dirangkai dalam suatu *eksperimental setup* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

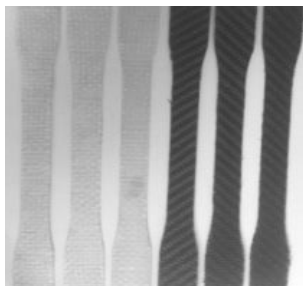
Gambar 3. *Experimental Set up*

Proses pembuatan produk komposit dengan metode *bladder compression moulding* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Pertama, Permukaan *cavity* dibasahi dengan *release gel*, kemudian dioleskan resin epoksi yang telah dicampurkan dengan *hardener* pada masing-masing *cavity mould*. Satu lapis serat karbon *woven* diletakkan pada salah satu *cavity (mould atas)* dan satu lapis serat gelas pada bagian *cavity* yang lain (*mould bawah*). lalu oleskan kembali resin epoksi di atas lembaran serat karbon dan serat gelas. Proses diulangi hingga lapisan serat karbon dan lapisan serat gelas berjumlah masing-masing 6 lapis.

Kedua, *bladder* diletakkan di atas bahan komposit pada cetakan bawah dan bagian *mould* yang lain di cetakan atas lalu *mould* ditutup. tekanan *bladder* dinaikkan hingga 7 Bar lalu *mould* dipanaskan hingga mencapai temperatur 120°C. Pada tekanan dan temperatur ini (7 Bar, 120°C) ditahan selama 10 menit. Setelah itu pemanasan dihentikan dan *mould* didinginkan serta tekanan *bladder* diturunkan dan produk komposit dapat dilepas dari *mould*. Langkah sebelumnya juga dilakukan untuk variasi *curing time* yang lain pada 20 menit hingga 70 menit.

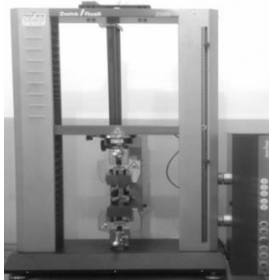
Produk komposit yang dihasilkan kemudian dipotong dalam bentuk spesimen uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik material. Standar uji tarik yang digunakan yaitu ASTM D-638 type III dengan dimensi panjang total 165 mm dan lebar 19 mm. Spesimen uji tarik komposit ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen uji tarik ASTM D-638

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekuatan tarik komposit yang dihasilkan diuji dengan mengikuti *standard ASTM D-638* (ASM Handbook, 2000). Pengujian tarik menggunakan *universal testing machine* (UTM) merk Zwick/Roll dengan kapasitas 20 KN seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. *Universal Testing Machine* (UTM) merk Zwick/Roll

Hasil pengujian tarik material komposit epoksi/serat karbon dan komposit epoksi/serat gelas diperoleh hasil berupa gaya yang dibutuhkan, kekuatan tarik dan modulus tarik seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik Komposit

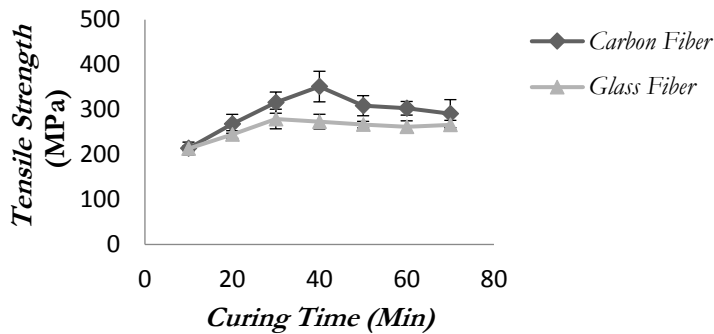
Komposit Epoksi/Serat Karbon							
No	Time [min]	Force [N]	σ_M [MPa]	E_t [MPa]	h [mm]	b [mm]	A0 [mm ²]
1	10	3976,95	214	4000	1.3	14.17	18.89
2	20	5447,90	268	5680	1.4	13.4	20.33
3	30	5453,44	316	6920	1.31	13.13	17.29
4	40	5975,92	351	6860	1.26	13.4	17.02
5	50	6098,33	308	4860	1.3	13.5	18.11
6	60	5753,33	303	7400	1.3	13.5	19.02
7	70	5904,15	315	6390	1,3	13,7	20,1
Komposit Epoksi/Serat Gelas							
No	Time	Force	σ_M	E_t	h	b	A0

	[min]	[N]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm ²]
1	10	2960,14	213	3690	1,2	13,61	13.88
2	20	3472,21	245	4180	1,04	13,56	14.19
3	30	3769,39	279	4360	1,0	13,66	13.53
4	40	3834,04	273	4530	1,02	13,75	14.03
5	50	3786,77	267	4442	1,02	13,85	14.22
6	60	3872,80	262	4613	1,04	13,83	14.25
7	70	3758,18	266	4400	1,04	13,95	14,81

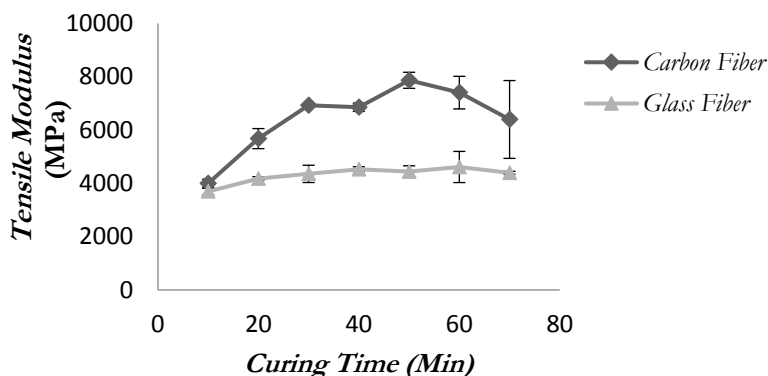
Hasil pengujian tarik menunjukkan kekuatan komposit epoksi/serat karbon meningkat dari *curing time* 10 menit (214 MPa) hingga mencapai nilai kekuatan tarik tertinggi pada 40 menit (351 MPa) dengan modulus tarik 6860 MPa. Meningkatnya nilai kekuatan tarik karena dipengaruhi oleh perilaku ikatan antar muka resin dan serat pada setiap variasi *curing time* yang semakin meningkat. Pemanasan pada temperatur proses 120°C memudahkan mobilisasi resin dalam laminasi serat dan menjadikan semakin banyak ikatan silang (*crosslinking*) yang terjadi. Semakin banyak ikatan silang (*crosslinking*) maka kekuatan tarik komposit akan semakin meningkat (Singh dkk, 2018). Kemudian pada *curing time* berikutnya kekuatan tarik cenderung konstan (308 MPa) pada waktu tahan 50 menit dan 60 menit (303 MPa) dengan modulus tarik 7400 MPa. Pengujian tarik pada komposit epoksi/serat gelas juga menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dari *curing time* 10 menit (213 MPa) dan 20 menit (245 MPa) hingga mencapai kekuatan tarik tertinggi pada 30 menit (279 MPa) dengan modulus tarik 4360 MPa. Setelah itu kekuatan tarik komposit epoksi/serat gelas juga menunjukkan tren yang sama dengan komposit epoksi/serat karbon dimana kekuatan tarik cenderung konstan dengan nilai kekuatan tarik 267 MPa.

Nilai kekuatan tarik yang tidak mengalami perubahan signifikan setelah *curing time* 30 hingga 70 menit memberikan petunjuk bahwa pada *curing time* 30 menit, matriks telah mengalami fase *final cure*, yaitu keadaan dimana campuran resin dan *hardener* telah mengalami solidifikasi sempurna sehingga lamanya waktu penekanan dengan temperatur yang sama tidak lagi memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hasil penelitian ini juga didukung oleh (Kwak dkk, 2015), yang memanfaatkan sistem pemanasan eksternal pada pembentukan komposit epoksi/serat karbon dimana nilai kekuatan tarik komposit yang dihasilkan cenderung konstan setelah *curing time* 30 menit. Berdasarkan hasil yang dilaporkan oleh setyoko, penelitian ini dapat mengoptimalkan waktu pembentukan komposit khususnya pada metode *bladder compression moulding* hingga 50% *curing time*.

Hubungan kekuatan tarik dan variasi *curing time* ditunjukkan pada Gambar 6. Adapun hubungan modulus tarik dan variasi *curing time* juga menunjukkan modulus tarik komposit epoksi/serat karbon rata-rata lebih tinggi dibanding komposit epoksi/serat gelas pada semua variasi *curing time* seperti pada Gambar 7.



Gambar 6. Hubungan kekuatan tarik (MPa) dan variasi *curing time* (menit).

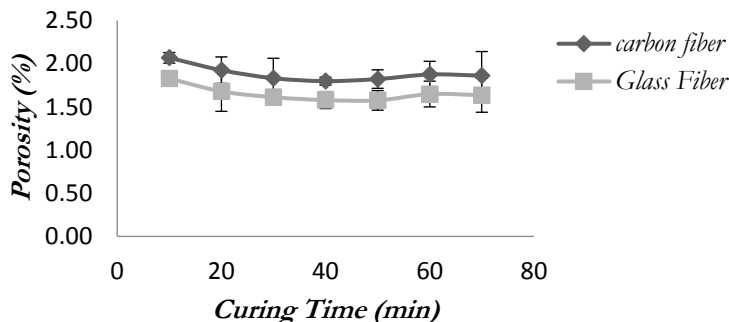


Gambar 7. Hubungan Modulus tarik (MPa) dan variasi *curing time* (menit)

Selanjutnya, dilakukan pengujian porositas untuk mengetahui pengaruh *curing time* terhadap porositas serta hubungannya dengan kekuatan tarik komposit. Porositas dapat diakibatkan oleh udara yang terperangkap saat proses *hand lay up* dan tidak berhasil keluar dari laminasi selama proses pembentukan komposit.

Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa pada komposit epoksi/serat karbon porositas menurun dari *curing time* 10 menit (2,1%) menjadi 1,83% pada *curing time* 30 menit. Selanjutnya nilai porositas tidak mengalami perubahan yang signifikan hingga *curing time* 70 menit dengan nilai porositas rata-rata 1,8%. Adapun pada komposit epoksi/serat gelas, porositas cenderung menurun dari *curing time* 10 hingga 70 menit. porositas tertinggi komposit epoksi/serat gelas pada *curing time* 10 menit (1,83%). Porositas komposit yang dihasilkan pada pembentukan komposit dengan metode *bladder compression molding* pada tekanan 7 Bar dan temperatur 120°C lebih rendah jika dibandingkan dengan metode *compression* dengan sistem pemanasan eksternal menggunakan oven yaitu 2,97% - 3,8% (Diptikanta dkk, 2019). Hasil pengujian porositas menunjukkan hubungan porositas dengan kekuatan tarik komposit yaitu semakin rendah porositas komposit maka kekuatan tarik semakin meningkat.

Grafik hubungan porositas komposit dan variasi *curing time* pada pembentukan komposit dengan temperatur 120°C ditampilkan pada Gambar 8



Gambar 8. Hubungan Porositas (%) dan variasi *curing time* (menit)

4. KESIMPULAN

Beberapa poin yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kekuatan tarik tertinggi komposit epoksi/serat karbon diperoleh pada *curing time* 40 menit (351 MPa) dan pada *curing time* 30 menit komposit epoksi/serat gelas dengan nilai kekuatan tarik 279 MPa).
2. Waktu optimum pada pembentukan komposit epoksi/ serat karbon dan komposit epoksi/serat gelas dengan metode *bladder compression moulding* pada temperatur 120°C dan tekanan 7 Bar yaitu 30 menit.
3. Pemanasan dan penekanan diatas waktu optimum tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik komposit sehingga tidak menguntungkan dalam suatu proses manufaktur.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. & Altan, M. C., 2014, Bladder Assisted Composite Manufacturing (BACM): Challenges and Opportunities, Polymer Processing Society Europe-Africa Conference, 134, hal 2-13.
- Anderson, J., & Altan, M. 2012, Properties of Composite Cylinders Fabricated by Bladder Assisted Composite Manufacturing, Journal of Engineering Materials and Technology 134, hal 1-7.
- Antonius Dwi Setyoko, 2018, Pengaruh Temperatur Curing Terhadap Sifat Mekanik Pada Manufaktur Komposit Serat Karbon/Epoksi dengan Metoda Pembentukan Bladder Compression Moulding, Tesis, Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- ASM Handbook, 2000, Mechanical Testing and Evaluation, ASM Handbook Vol. 8. Materials Park, 44073-0002.
- Budi Purwanto Antameng, 2020, Desain Cetakan yang Efektif dalam Konsumsi Energi untuk Manufaktur Produk Hollow Composite dengan Metode Bladder Compression Molding. Tesis, Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Diptikanta Das, Sandeep Kumar Pradhan, Ramesh Kumar Nayak, Basanta Kumar Nanda, Bharat Chandra Routara 2019, Influence of Curing Time on Properties of CFRP

- Composites: A Case Study, *Materials Today: Proceedings*, Volume 26, Part 2, Hal. 344-349.
- Ignatius Henry Ismadi, 2018, Pengaruh Tekanan Terhadap Sifat Mekanik Pada Manufaktur Komposit Serat Karbon/Epoksi dengan Metoda Bladder Compression Moulding. Tesis, Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Jones, R. M., 1999, *Mechanics of Composite Materials*, Taylor & Francis Group, Philadelphia.
- Kwak, M., Robinson, P., Bismarck, A., & Wise, R., 2015, Microwave Curing of Carbon–Epoksi Composites: Penetration Depth and Material Characterisation. *Composites: Part A*, Volume 75, 18-27.
- Mallick, P.K. 2007, *Fiber Reinforced Compositesmaterials, Manufacturing and Design*, Michigan, CRC Press.
- Mazumdar, S.K., 2002, *Composite Manufacturing , Materials, Product, and Process Engineering*. New York, CRC Press.
- S.B. Singh, Sudhir Vummadisetti, Himanshu Chawla. 2018, Influence of Curing on the Mechanical Performance of FRP Laminates, *Journal of Building Engineering*, vol. 16 1–19.