

Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, Waktu *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit *Polyester - Hollow Glass Microspheres*

Chandra Prastyadi dan Wahyu Wijanarko

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: wahyu_w_m43@yahoo.com

Abstrak—Dewasa ini penggunaan material komposit sudah sangat berkembang. Komposisi dari komposit juga sudah sangat beragam, namun penelitian tentang komposit *Polyester - Hollow Glass Microspheres* (HGM) dengan variasi temperatur curing dan post-curing untuk karakteristik tekan masih sangat terbatas. Keunggulan yang dimiliki HGM antara lain memberikan bobot yang ringan, konduktivitas termal rendah, dan ketahanan terhadap tegangan kompresi yang tinggi. Komposit Polyester-HGM dapat diaplikasikan antara lain pada bumper atau body kendaraan sehingga dapat mereduksi berat total kendaraan dan meningkatkan efisiensi kendaraan.

Penelitian dilakukan dengan mencampurkan polyester resin dan HGM. Spesimen uji tekan dibuat dengan dimensi sesuai ASTM D-695 dengan variasi fraksi volume HGM 10% hingga 17%. Spesimen menerima tiga perlakuan yang berbeda yaitu: (1) Spesimen I di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^\circ\text{C}$) ditahan selama 24 jam; (2) Spesimen II di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^\circ\text{C}$) ditahan selama 24 jam lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam; dan (3) Spesimen III di-curing pada temperatur 90°C ditahan selama 24 jam. Untuk mempelajari perbedaan sifat mekanik yang terjadi, dilakukan pengujian tekan.

Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa kekuatan tekan dan ketangguhan maksimum terjadi pada komposit dengan fraksi volume HGM 17%. Semakin tinggi temperatur curing akan meningkatkan nilai kekuatan tekan dan ketangguhan dari komposit polyester-HGM. Hal ini terjadi karena komposit yang di-curing pada temperatur tinggi memiliki ikatan crosslink lebih banyak sehingga ikatan polyester dan HGM lebih kuat dan nilai kekuatan tekan pada komposit akan meningkat.

Kata kunci: komposit, hollow glass microspheres, polyester, curing, post-curing, uji tekan.

I. PENDAHULUAN

BERKEMBANGNYA teknologi industri dibidang otomotif dan dirgantara mendorong material komposit banyak digunakan pada aplikasi produk. Hal ini dikarenakan material komposit memiliki keunggulan antara lain kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi dari material logam lainnya. Hal ini menuntut tersedianya material komposit dengan sifat yang diinginkan untuk menggantikan material logam yang banyak digunakan.

Salah satu pengembangan polimer komposit adalah dengan penambahan *Hollow Glass Microspheres* (HGM). Material komposit ini diproduksi dengan cara mencampur resin *polyester* dengan HGM yang secara teoritis akan meningkatkan modulus elastisitas.

Tahun 2012, Irwan Nugraha Saputra[1] melakukan penelitian pengaruh variasi fraksi volume HGM dari 0% hingga 30%. Serta menggunakan matrix *polyester* dan *curing* pada temperatur kamar 27°C selama 1 jam untuk mencari pengaruhnya terhadap kekuatan tarik. Hasil yang didapatkan adalah penambahan fraksi volume HGM 15% memiliki kekuatan tarik tertinggi. Penambahan HGM berpengaruh pada penambahan daerah demormasi plastisnya dan menurunkan nilai *density*. Pada tahun 2014, Widyansyah Ritonga[2] melakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *curing* pada temperatur kamar dan temperatur 90°C dengan waktu 24 jam, kemudian *curing* temperatur kamar selama 24 jam kemudian *post-curing* 90°C selama 5 jam. Variasi fraksi volume HGM yang digunakan 15% hingga 20%. Dari hasil penelitiannya nilai kekuatan tekan komposit *epoxy* dengan temperatur 90°C pada penambahan 16% HGM memiliki kekuatan tekan yang paling tinggi. Sedangkan komposit dengan *curing* temperatur kamar pada penambahan 20% HGM memiliki kekuatan tekan yang paling rendah. Komposit yang dicuring pada temperatur tinggi memiliki kekuatan tekan yang paling tinggi.

Oleh karena penelitian terdahulu belum spesifik membahas variasi fraksi volume yang detail serta pengaruh curing pada komposit, maka penelitian ini dilakukan. Sehingga nantinya penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan dalam bidang otomotif, bidang industri, bidang dirgantara dan sumbangan data bagi ilmu pengetahuan.

II. METODE PENELITIAN

Material komposit akan dibuat dengan mencampurkan *Hollow Glass Microspheres* jenis IM30K yang memiliki kekuatan *injection molding* sampai 193,05 MPa dan resin *Polyester Jenis Adhesive* yang memiliki tingkat *abrasive* yang baik. Variasi fraksi volume HGM yang digunakan adalah 10%, 11%, 12% 13%, 14%, 15%, 16%, dan 17%.

Masing-masing dari variasi volume fraksi diberi perlakuan *curing* yang berbeda. Variasi pertama dengan *curing* temperatur kamar 27°C selama 24 jam, yang kedua *curing* temperatur kamar 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan yang ketiga *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

Pengujian spesimen uji tekan berdasarkan standar dari "Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics" D-695 yang dikeluarkan oleh ASTM[3].

Hasil yang di dapatkan merupakan nilai kekuatan tekan dan ketangguhan dari polimer komposit *polyester – Hollow Glass Microspheres* IM30K.

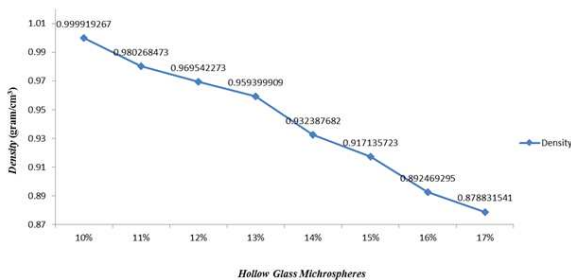
Pengujian *density* dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume penambahan HGM terhadap *density* komposit.

Selain itu, dilakukan pengamatan pola patahan dan pecahan setelah spesimen dilakukan uji tekan. Kemudian mikrostruktur diamati dengan menggunakan pengujian foto SEM, untuk mendukung analisa dan pembahasan.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap Density Komposit

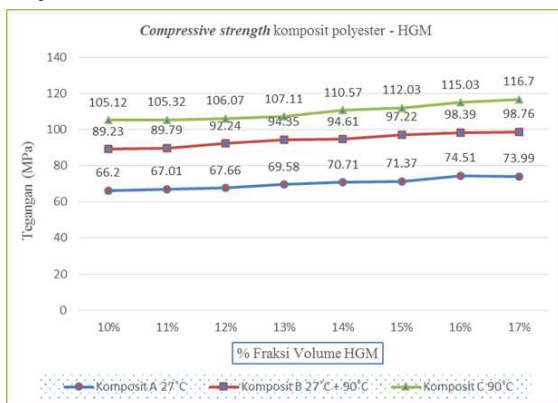
Hasil pengujian *density* menunjukkan bahwa tren grafik *density* terus menurun seiring dengan penambahan HGM, seperti ditampilkan pada Gambar 1.



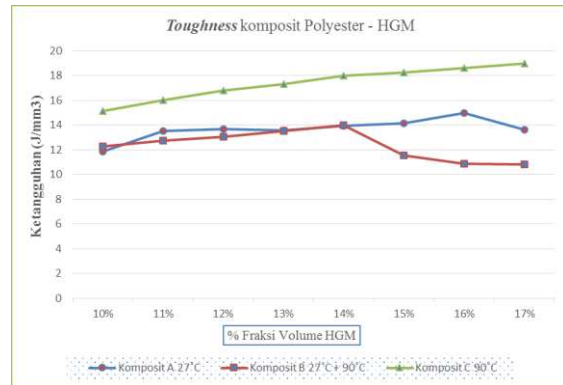
Gambar 1. Grafik Berat komposit dengan pengaruh penambahan HGM.

B. Hasil Kekuatan Tekan dan Ketangguhan Komposit Dengan Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM

Komposit A merupakan komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, komposit B merupakan komposit dengan perlakuan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* pada temperatur 90°C selama 5 jam, dan komposit C merupakan komposit dengan perlakuan *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Tekan Komposit UTS (MPa) VS Fraksi Volume (%) untuk ketiga temperatur *curing*.



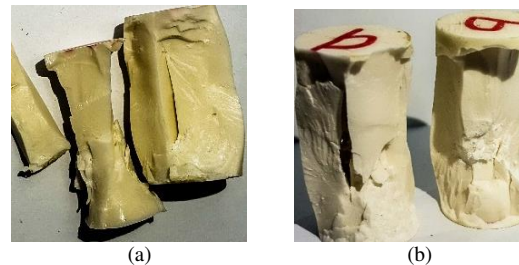
Gambar 3. Grafik Ketangguhan (J/mm³) VS Fraksi Volume (%) untuk ketiga temperatur *curing*.

Dari hasil pengujian tekan pada Gambar 2, variasi fraksi volume 17% menunjukkan bahwa komposit C memiliki kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan komposit B dan komposit C memiliki kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan komposit A.

Dari data ketangguhan pada Gambar 3, variasi fraksi volume 16% menunjukkan bahwa komposit C memiliki ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan komposit B dan komposit C memiliki ketangguhan yang lebih tinggi jika dibandingkan ketangguhan komposit A.

Terdapat perbedaan dari pengaruh *curing* tersebut karena pergerakan molekul-molekul untuk membentuk ikatan polimer yang lebih banyak dipengaruhi oleh temperatur *curing*. Polimer tersebut akan membentuk ikatan *crosslink* untuk mengikat HGM. Sehingga kekuatan tekan meningkat.

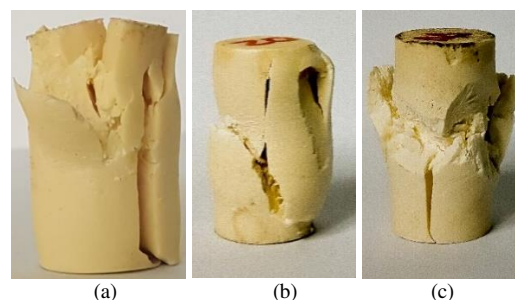
C. Pengamatan Pola Patahan



Gambar 4. Foto pecahan spesimen uji tekan komposit *curing* temperatur 27°C selama 24 jam (a) penambahan HGM 10%, (b) HGM 17%



Gambar 5. Foto pecahan spesimen uji tekan komposit *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, *post-curing* 90°C 5 jam penambahan HGM 17%.



(a) (b) (c)

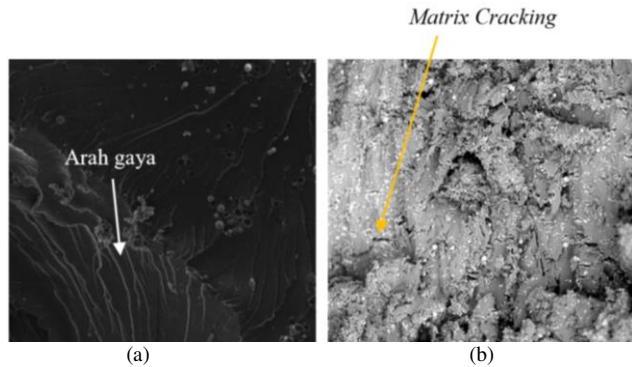
Gambar 6. Foto pecahan spesimen uji tekan komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam (a) HGM 17%, (c) HGM 20%, (d) HGM 30%

Hasil uji tekan resin *polyester* menunjukkan bahwa pola patahan *columnar* muncul seperti pada gambar 4 yaitu patahan yang menyebabkan spesimen uji terbelah. Pola patahan yang sama juga terjadi pada komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 10% hingga 17% *curing* 27°C selama 24 jam.

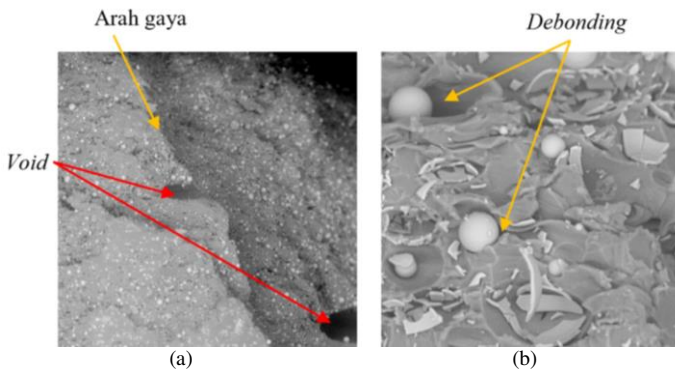
Pola patahan hasil pengujian tekan komposit *curing* 27°C selama 24 jam *postcuring* 90°C 5 jam seperti gambar 5, dan pola patahan hasil pengujian tekan komposit *curing* 90°C selama 5 jam seperti gambar 6 terlihat bahwa kedua spesimen memiliki pola patahan *shear* (geser). Spesimen uji tekan mengalami patahan tanpa membelah spesimen searah aksial.

D. Analisa Mikrostruktur pada pola patahan

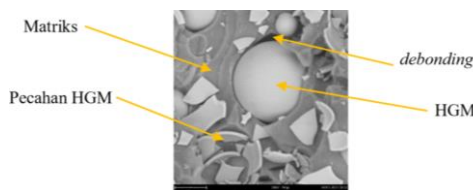
Pada pengamatan mikrostruktur pola patahan komposit pada pengujian tekan, menunjukkan bahwa mekanisme kegagalan komposit yang hampir sama pada tiap spesimen, dimana ditemukan matriks yang retak dan terjadinya *debonding* antara *polyester* dan *Hollow Glass Microspheres*.



Gambar 7. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 10% *curing* temperatur 27°C selama 24 jam dengan pembesaran (a)150x, (b)500x



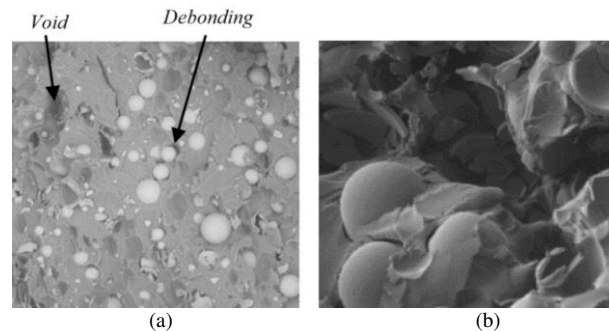
Gambar 8. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 17% *curing* temperatur 27°C selama 24 jam dengan pembesaran (a) 240x, (b) 2850x



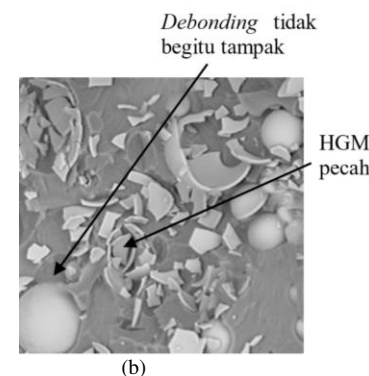
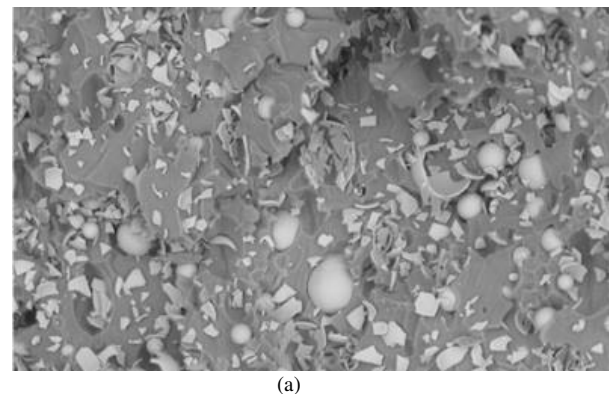
Gambar 9. Fenomena *debonding* pada komposit *curing* 27°C selama 24 jam (SEM) perbesaran 5000x.

Pada hasil SEM pola patahan komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 10% dan 17% yang

ditunjukkan pada gambar 7 dan 8. Terdapat beberapa void berupa titik - titik hitam pada perbesaran 240x dan adanya *matrix cracking* yang terjadi akibat ketidakmampuan dari matriks untuk menahan regangan yang ada sehingga timbul retakan. *Void* terjadi akibat terperangkapnya udara pada proses pembuatan komposit. Pada perbesaran 2850x terjadi *debonding* Antara HGM dan matriks sehingga menyebabkan bekas pada matriks berupa lingkaran yang semula menjadi tempat melekatnya HGM. Penampakan *debonding* lebih jelas terlihat pada gambar 8 dengan perbesaran 5000x. Ketika komposit mendapat beban tekan, banyak HGM yang bergeser dari matrix karena ikatan yang tidak kuat dan menyebabkan munculnya *debonding*. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan tekan pada komposit menjadi rendah karena transfer beban dari matriks ke penguat menjadi tidak maksimal.



Gambar 10. Hasil SEM komposit penambahan HGM 17 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam - *postcuring* 90°C selama 5 jam dengan perbesaran (a)1000x, (b) 6000x.



Gambar 11. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 17 % *curing* temperatur 90°C selama 24 jam (a) 1800x, (b) 3000x

Pada Gambar 10 terlihat komposit didominasi oleh adanya HGM yang pecah. Namun masih ada beberapa HGM yang tidak pecah. Hal ini terjadi karena adanya proses *post-curing* yang memperbaiki dan meningkatkan pergerakan molekul-molekul untuk menyusun ulang membentuk ikatan *crosslink*.

Ketika komposit mendapat beban tekan, beberapa HGM bergeser dari matriks karena ikatan yang tidak kuat dan menyebabkan munculnya *debonding* di beberapa bagian. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan tekan pada komposit menjadi kurang optimal karena transfer beban dari matriks ke penguat masih belum maksimal.

Pada gambar 11 dapat dilihat pada komposit perbesaran 3000x hampir tidak tampak void (udara yang terperangkap pada proses pembuatan komposit) yang berupa titik-titik hitam. Selain itu terlihat hampir seluruh HGM mengalami pecah. Tidak ada HGM yang bergeser dari matriks dan mengalami *debonding*. Oleh sebab itu, ketika komposit mendapat beban tekan, seluruh HGM akan menerima energi. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan tekan pada komposit sangat optimal.

E. Analisa dan Pembahasan Hasil Pengujian Tekan

Dari grafik hasil pengujian tekan dapat dilihat bahwa peningkatan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* dalam matriks *polyester* akan meningkatkan nilai kekuatan tekannya. Karena penambahan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* pada matriks *polyester*, maka dapat meningkatkan *glass transition temperature* (T_g) dari komposit. Peningkatan T_g tersebut tergantung dari banyaknya jumlah *Hollow Glass Microspheres* yang diberikan kepada komposit. Semakin banyak jumlah fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* yang diberikan maka semakin tinggi suhu transisi (T_g) dari komposit tersebut. Ini berarti bahwa material komposit mampu bekerja pada kondisi suhu yang lebih tinggi dari pada *polyester* murni. Untuk mengubah material kaca menjadi cairan kental (*viscous*) fase pencairan *Hollow Glass Microspheres* memerlukan lebih banyak panas, seperti penelitian yang dilakukan oleh Soo jin park [4]. Dimana semakin banyak fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* yang diberikan maka dapat mempengaruhi reaksi endotermiknya, sehingga *Hollow Glass Microspheres* menyerap panas lebih banyak. Penyerapan panas yang diserap oleh *Hollow Glass Microspheres* memiliki efek yang kurang baik pada saat proses *curing* terjadi.

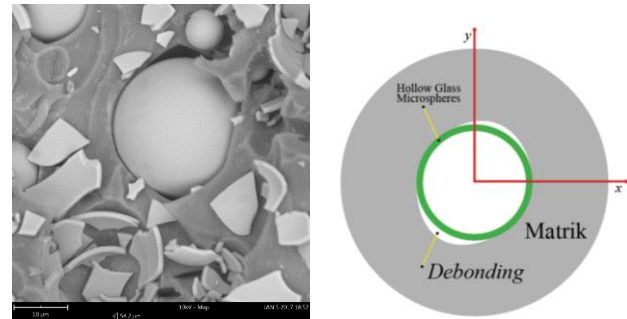
Hollow Glass Microspheres berfungsi sebagai penghalang untuk perpindahan panas antara *polyester* dan penguat, oleh karena itu presentase terjadinya proses kristalinitas pada matriks *polyester* tidak hanya tergantung pada fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* saja tetapi juga bergantung kepada nilai temperatur *curing* yang diberikan.

Dengan jumlah fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* yang sama pada komposit, presentase kristalinitas atau jumlah ikatan *crosslink* yang terjadi pada komposit tergantung pada suhu *curing* yang diberikan. Semakin tinggi suhu *curing*, molekul *polyester* akan bergerak lebih aktif dan akan terbentuk ikatan yang kuat antar molekul – molekul tersebut.

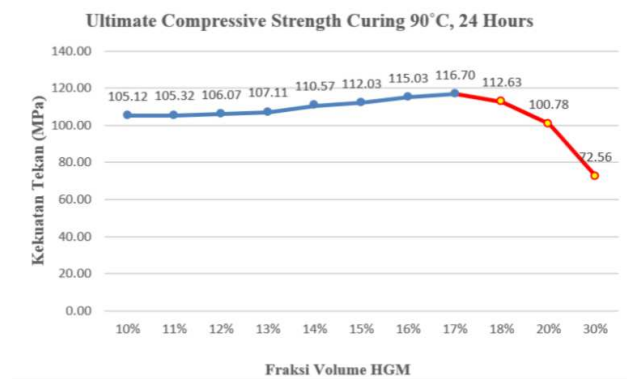
Semakin tinggi presentase kristalinitas atau ikatan *crosslink* pada komposit, maka nilai kekuatan dan ketangguhan akan meningkat. Oleh karena itu komposit mampu menerima beban tekan yang lebih tinggi. Memodifikasi komposit agar memiliki ikatan kristalinitas antar molekul yang tinggi dapat meningkatkan sifat mekanik komposit tersebut, terutama terhadap nilai kekuatan tekan. Untuk fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* sebanyak 17% dengan *curing* 90°C waktu penahanan selama 24 jam terbukti dapat meningkatkan kekuatan tekan hingga 50%

karena memiliki presentase kristalinitas atau ikatan *crosslink* yang lebih tinggi.

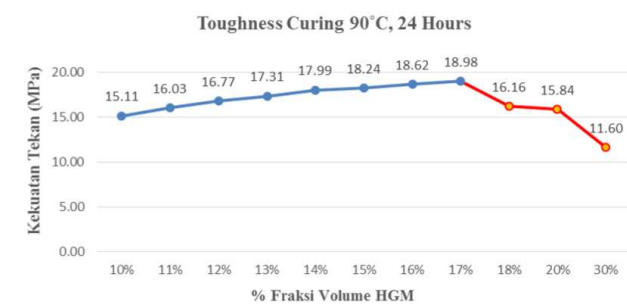
Penambahan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* sebanyak 17% pada *polyester* dapat meningkatkan kekuatan tekan. Hal ini disebabkan karena *Hollow Glass Microspheres* ditutupi oleh matriks resin *polyester*, sehingga posisi *Hollow Glass Microspheres* relatif stabil untuk menahan beban tekan.



Gambar 12. Komposisi komposit *polyester* - *hollow glass microspheres*.



Gambar 13. Grafik hasil uji tekan terhadap nilai kekuatan komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.



Gambar 14. Grafik hasil uji tekan terhadap nilai ketangguhan komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

Gambar 12 menunjukkan *Hollow Glass Microspheres* sebagai suatu konstruksi atau rangka tempat melekatnya matriks *polyester*. Sedangkan *polyester* sebagai material yang mengikat dan melindungi *Hollow Glass Microspheres*. Semakin banyak jumlah *Hollow Glass Microspheres* yang melekat pada komposit, maka semakin sedikit matriks yang mengikat *Hollow Glass Microspheres*. Ini dapat mengurangi nilai kekuatan tekan dan ketangguhan dari komposit tersebut. Oleh karena itu, untuk penambahan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* lebih dari 17%, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13 dan 14 bahwa nilai kekuatan dan ketangguhan komposit mengalami penurunan.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian dan analisa data yang telah dilakukan pada komposit *Polyester - Hollow Glass Microspheres*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan fraksi volume HGM 16% hingga 17% pada *polyester* dapat meningkatkan kekuatannya. Kekuatan tekan maksimum komposit sebesar 116.7 MPa didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebanyak 17%.
2. Penambahan fraksi volume HGM 16% hingga 17% pada *polyester* dapat meningkatkan ketangguhan. Ketangguhan maksimum sebesar $18,98 \times 10^{-3}$ (J/mm³) didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebanyak 17%.
3. Peningkatan temperatur *curing* dapat meningkatkan jumlah ikatan *crosslink* pada matriks *polyester*. Komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 17% yang di-*curing* pada temperatur 90°C dengan waktu penahanan selama 24 jam merupakan komposit yang memiliki kekuatan dan ketangguhan tekan yang paling tinggi.
4. Peningkatan jumlah ikatan *crosslink* pada matriks *polyester* akan meningkatkan kekuatan tekan pada komposit dengan fraksi volume HGM yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Irwan Nugraha Saputra. 2012. “Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur dan Waktu Terhadap Karakteristik Tarik Komposit Polyester Partikel Hollow Glass Microspheres”. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [2] Widyansyah Ritonga. 2014. “Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy - Hollow Glass Microspheres IM30K”. Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [3] ASM International, “*Characterization and Failure Analysis of Plastics*”, page 117, December 2003
- [4] Park, Metals. Composites. ASM International Handbook Vol. 1. 1987