

Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit *Epoxy - Hollow Glass Microspheres* IM30K

Widyansyah Ritonga, Wahyu Wijanarko, Sutikno, Indra Sidharta, Putu Suwarta
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: widiritonga@yahoo.com

Dewasa ini penggunaan material komposit sudah sangat berkembang. Komposisi dari komposit juga sudah sangat beragam, namun penelitian tentang komposit Epoxy - 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. Dengan keunggulan komposit seperti berikut aplikasi pada penelitian ini dapat digunakan pada bumper atau body kendaraan sehingga berat total kendaraan lebih ringan dan efisiensi bahan bakarnya meningkat.

Penelitian dilakukan dengan mencampurkan epoxy resin dan HGM. Spesimen uji tekan diproduksi sesuai dimensi ASTM D-695 dengan variasi fraksi volume HGM 15% hingga 20%. Spesimen menerima tiga perlakuan yang berbeda. Spesimen I di-curing pada temperatur kamar ($\pm 27^\circ\text{C}$) ditahan selama 24 jam. 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. Spesimen III di-curing pada temperatur 90°C ditahan selama 24 jam. Untuk temperatur curing 90°C setelah 24 jam komposit akan tetap dibiarkan dalam oven hingga temperatur oven sama dengan temperatur ruang. Untuk mempelajari perbedaan sifat mekanik yang terjadi, dilakukan pengujian tekan.

Hasil yang didapatkan adalah kekuatan tekan dan ketangguhan komposit maksimum pada fraksi volume HGM 16% untuk spesimen I sebesar 67,19 MPa dan $6,02 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$, Spesimen II sebesar 89,24 MPa dan $9,13 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$, dan spesimen III sebesar 121,28 MPa dan $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$. Diatas fraksi volume HGM tersebut kekuatan tekannya cenderung turun dengan nilai terendah pada fraksi volume HGM 20%. Terdapat perbedaan yang cukup besar dari ketiga perlakuan dengan fraksi volume HGM yang sama. Komposit yang di-curing temperatur 90°C selama 24 jam memiliki kekuatan tekan yang paling tinggi. Hal ini terjadi karena komposit yang di-curing pada temperatur tinggi memiliki ikatan crosslink lebih banyak sehingga ikatan epoxy dan HGM lebih kuat dan nilai kekuatan tekan pada komposit akan meningkat.

Kata kunci : komposit, hollow glass microspheres, epoxy, 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. Sehingga menuntut tersedianya material komposit dengan sifat yang diinginkan untuk menggantikan material logam yang banyak digunakan.

Salah satunya pengembangan polimer komposit dengan penambahan Hollow Glass Microspheres (HGM). Material

komposit ini diproduksi dengan cara mencampur resin epoxy dengan HGM yang secara teoritis akan meningkatkan modulus elastisitas.

Tahun 2011, Ravi Kumar dan C. Swentha[1] dari India melakukan penelitian variasi fraksi volume HGM dari 0% hingga 60% dengan tiga jenis HGM. Serta menggunakan matrix epoxy dan curing pada temperatur kamar setelah itu akan dilakukan proses *post curing* dengan suhu 60°C selama 1 jam untuk mencari pengaruhnya terhadap kekuatan tekan. Hasil yang didapatkan adalah *pure resin* memiliki kekuatan tekan tertinggi. Penambahan HGM berpengaruh pada penambahan daerah demormasi plastisnya dan menurunkan nilai *density*. Pada tahun 2013, Fahmi Yuni Arista[2] melakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *curing* pada temperatur kamar dan temperatur 90°C dengan waktu 24 jam. Variasi fraksi volume HGM yang digunakan 0% hingga 30%. Dari hasil penelitiannya nilai kekuatan tekan komposit dengan temperatur 90°C pada penambahan 15% HGM memiliki kekuatan tekan yang paling tinggi. Sedangkan komposit dengan temperatur kamar pada penambahan 20% HGM. Komposit yang dicuring pada temperatur lebih tinggi memiliki kekuatan tekan lebih tinggi pula.

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 28.000 Psi dan Epoxy Jenis Adhesive yang memiliki tingkat *abrasive* yang baik. Variasi fraksi volume HGM yang digunakan adalah 15%, 16%, 17%, 18%, 19%, dan 20%.

Masing-masing dari variasi volume fraksi diberi perlakuan *curing* yang berbeda. Variasi pertama dengan *curing* 27°C selama 24 jam, yang kedua *curing* 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan yang ketiga *curing* 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 Epoxy - Hollow Glass Microspheres IM30K.

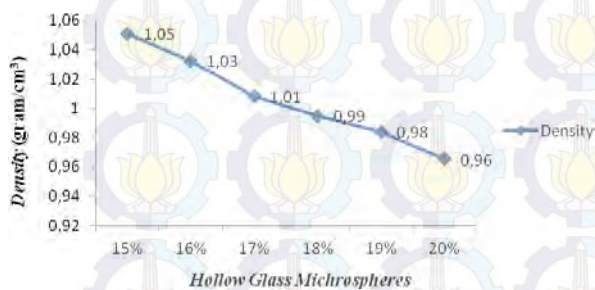
III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penambahan HGM Terhadap Density Komposit

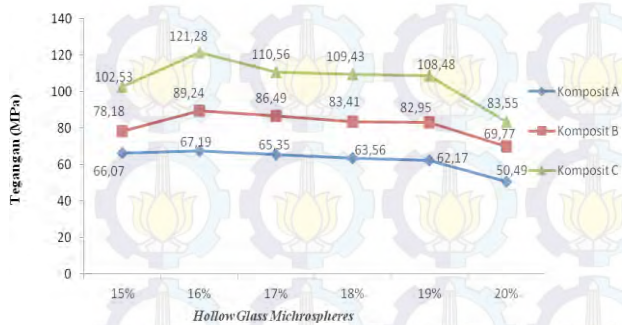
Hasil dari pengujian *density* disimpulkan pada Gambar. 1. menunjukkan bahwa tren grafik *density* yang terus menurun seiring dengan penambahan HGM. Penambahan HGM sebanyak 20% memiliki *density* 0,96 gram/ml dan penambahan HGM sebanyak 15% memiliki *density* 1,05 gram/ml. Hal ini terjadi karena HGM merupakan *buble* berongga dengan *density* yang lebih ringan dibanding *epoxy*. Sehingga semakin banyak jumlah HGM, semakin ringan komposit tersebut.

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

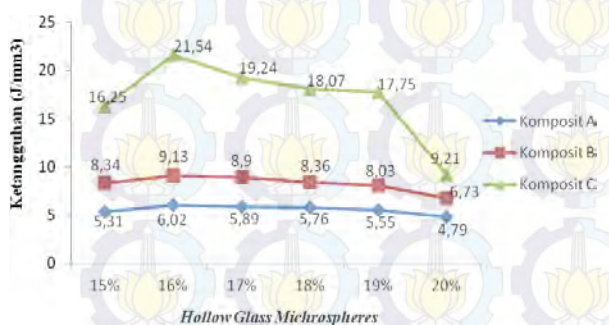
Komposit A merupakan komposit dengan perlakuan curing pada temperatur 27°C selama 24 jam, komposit B merupakan komposit dengan perlakuan curing pada temp-



Gambar. 1. Grafik Berat komposit dengan pengaruh penambahan HGM.



Gambar. 2. Grafik Hasil Uji Tekan Komposit UTS (MPa) VS Fraksi Volume (%) untuk temperatur curing 27°C selama 24 jam, temperatur 27°C selama 24 jam lalu post-curing 90°C selama 5 jam, dan temperatur curing 90°C selama 24 jam.



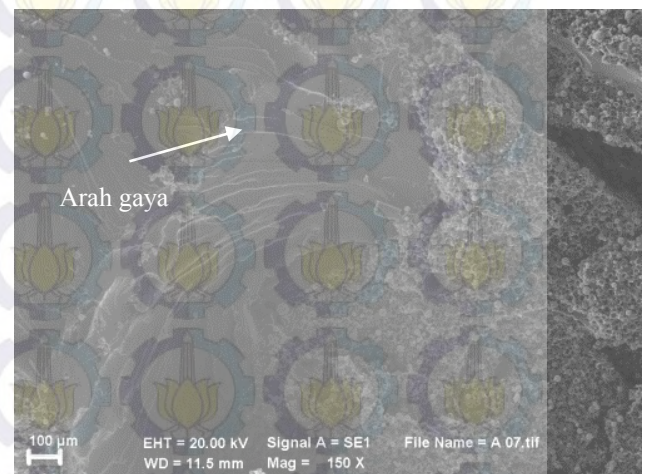
Gambar. 3. Grafik Ketangguhan (J/mm³) VS Fraksi Volume (%) untuk temperatur curing 27°C selama 24 jam, temperatur 27°C selama 24 jam lalu post-curing 90°C selama 5 jam, dan temperatur curing 90°C selama 24 jam.

eratur 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.

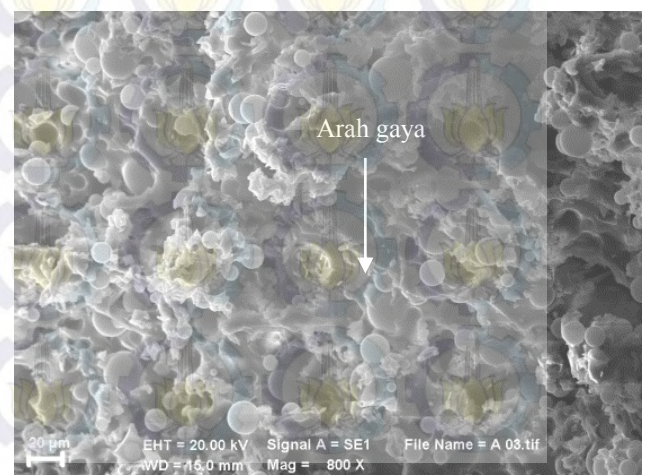
Dari hasil pengujian tekan pada Gambar. 2. pada variasi fraksi volume 16% menunjukkan bahwa komposit dengan perlakuan curing temperatur 90°C selama 24 jam memiliki kekuatan tekan 35,9% lebih tinggi dibandingkan komposit dengan curing pada temperatur 27°C selama 24 jam, lalu post-curing pada temperatur 90°C selama 5 jam. Lalu komposit dengan perlakuan curing temperatur 90°C selama 24 jam memiliki kekuatan tekan 80,5% lebih tinggi dibandingkan komposit curing pada temperatur 27°C selama 24 jam.

Dari data ketangguhan pada Gambar. 3. pada variasi fraksi volume 16% menunjukkan bahwa komposit dengan perlakuan curing temperatur 90°C selama 24 jam memiliki ketangguhan yang lebih tinggi 135,9% dibandingkan komposit curing pada temperatur 27°C selama 24 jam, lalu post-curing pada temperatur 90°C selama 5 jam. Lalu komposit dengan perlakuan curing temperatur 90°C selama 24 jam memiliki ketangguhan 257,8% lebih tinggi dibandingkan ketangguhan komposit curing pada temperatur 27°C selama 24 jam.

Terdapat perbedaan dari pengaruh curing tersebut karena pergerakan molekul-molekul untuk membentuk ikatan polimer yang lebih banyak dipengaruhi oleh tempe-



Gambar. 4. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % curing temperatur 27°C selama 24 jam (perbesaran 150x).



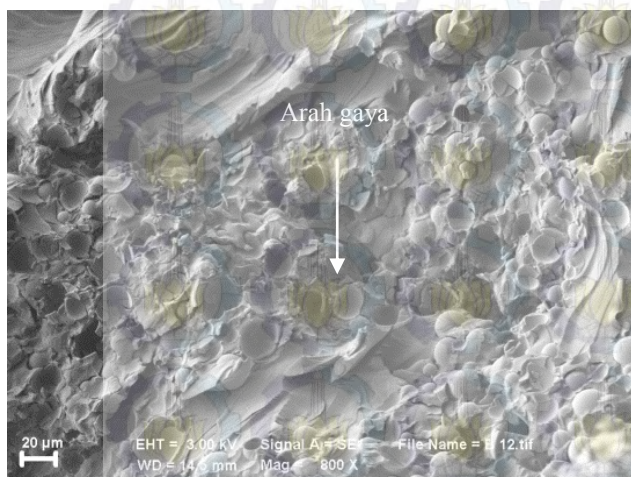
Gambar. 5. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % curing temperatur 27°C selama 24 jam (Perbesaran 800x).

ratur *curing*. Polimer tersebut akan membentuk ikatan *crosslink* untuk mengikat HGM. Sehingga kekuatan tekan meningkat.

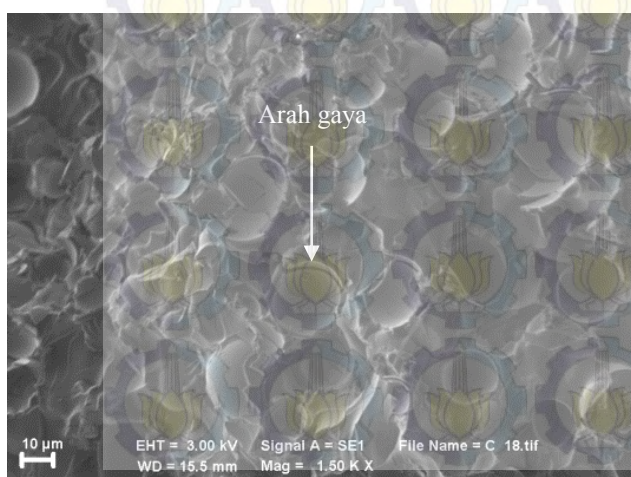
Dari Gambar. 4. hasil SEM pola patahan komposit dengan penambahan HGM 16% untuk semua perlakuan *curing* dapat dilihat bahwa awal retakan akan menjalar dari matrik menuju HGM yang berfungsi sebagai penguat pada matrik tersebut.

Pada Gambar. 5. hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam didominasi oleh adanya HGM yang tidak pecah. 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 matrik ke penguat menjadi tidak maksimal.

Pada Gambar. 6. hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam 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



Gambar. 6. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam (Perbesaran 800x).



Gambar. 7. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 90°C selama 24 jam (Perbesaran 1500x).

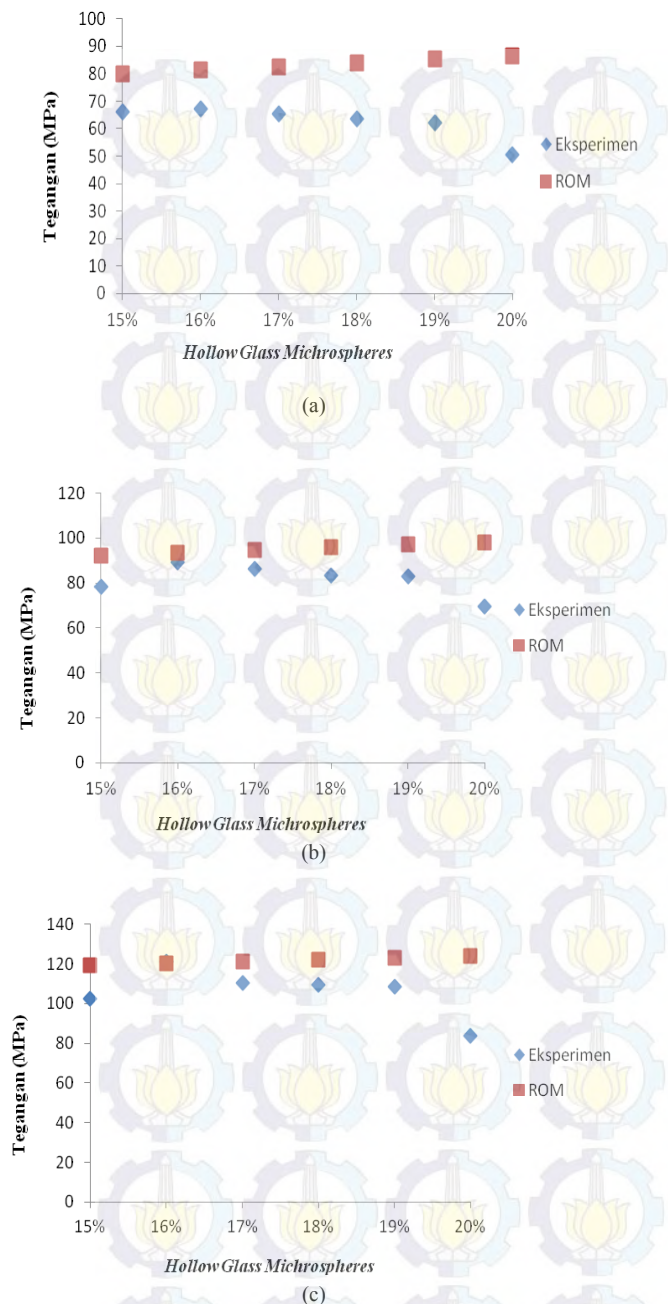
dari matriks karena ikatan yang tidak kuat dan menyebabkan munculnya *debonding* di beberapa bagian. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan tekan pada komposit menjadi kurang optimal karena transfer beban dari matrik ke penguat masih belum maksimal.

Pada Gambar. 7. hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16 % *curing* temperatur 90°C selama 24 jam seluruh HGM mengalami pecah. Tidak ada HGM yang bergeser dari matrix 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.

Dari hasil pengujian tekan pada Gambar. 2. dan Gambar. 3. hasil kekuatan tekan dan ketangguhan maksimal pada fraksi volume 16%. Komposit *curing* temperatur 90°C selama 24 jam mengalami peningkatan kekuatan tekan komposit *Epoxy*-HGM pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16%, hingga 20%. Begitu juga dengan nilai ketangguhan yang mengalami peningkatan nilai ketangguhan pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16%. Kemudian trend grafik menurun pada fraksi volume penambahan HGM 16% hingga 20%. Trend grafik tegangan tekan dan ketangguhan yang menurun setelah penambahan HGM 16% pada ketiga perlakuan disebabkan karena semakin banyak HGM maka akan semakin banyak yang harus diikat oleh *epoxy* sedangkan persebaran HGM yang tidak merata akibat dari perlakuan suhu dan density HGM. Density HGM yang lebih kecil dibandingkan *epoxy* mengakibatkan bagian atas dipenuhi oleh partikel HGM sehingga ruang untuk bagian *epoxy* semakin sedikit dan ikatan antara *epoxy* dan HGM semakin sedikit. Begitu pula dengan fraksi volume HGM dibawah 16% akan mengalami kekuatan tekan yg lebih rendah. Hal ini terjadi karena gaya yang diberikan pada komposit banyak diterima oleh *epoxynya*. Karena peningkatan kekuatan tekan pada komposit disebabkan oleh HGM yang berbentuk bulat dan memiliki *crush strength* tinggi jika dibandingkan kekuatan tekan *pure epoxy* resin. Namun peran *epoxy* sebagai matriks untuk mengikat HGM agar tidak terjadi pergeseran saat pembebanan komposit merupakan faktor penting untuk meningkatkan kekuatan tekan pada komposit tersebut.

Dengan menggunakan persamaan *Rule Of Mixture* (ROM) pada *particulate composite* maka secara teoritis kekuatan tekan komposit naik dengan penambahan *Hollow Glass Microspheres* (HGM) didapatkan nilai seperti Gambar. 8.

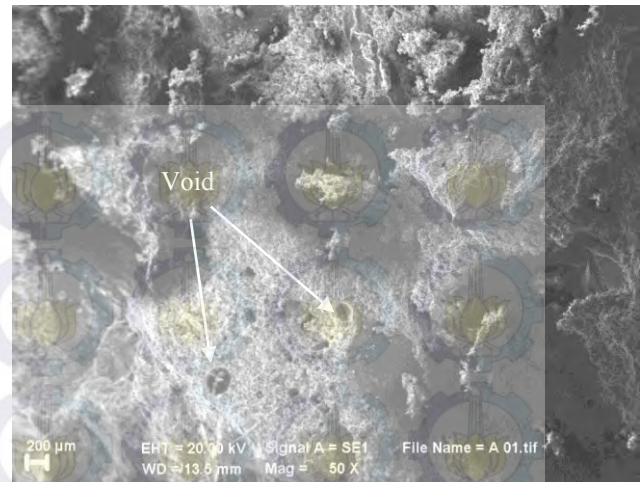
Pada hasil perhitungan teoritis kekuatan tekan komposit naik seiring dengan penambahan fraksi volume HGM. Hal tersebut dikarenakan pada perhitungan teoritis, dianggap kondisi ideal terjadi yaitu adanya ikatan yang kuat antara HGM dan *epoxy*. Namun penambahan fraksi volume HGM akan membuat sedikit ruang *epoxy* untuk mengikat HGM. Sehingga ikatan antara *epoxy* dan HGM semakin kurang yang menyebabkan terjadinya *debonding*. *Debonding* terjadi karena proses dari terbentuknya keretakan dan perambatan keretakan yang menyebabkan kegagalan perlekatan[17].



Gambar. 8. Perbandingan antara Tegangan Hasil Pengujian dengan Tegangan Teoritis Hasil Perhitungan. (a) Temperatur curing 27°C selama 24 jam, (b) Temperatur curing 27°C selama 24 jam lalu post-curing 90°C selama 5 jam, (c) Temperatur curing 90°C selama 24 jam.

Berdasarkan grafik pada Gambar. 8. terjadi perbedaan hasil antara kekuatan tekan secara teoritis dengan kekuatan tekan pada saat pengujian. HGM jenis IM30K memiliki kekuatan tekan sebesar 28000 PSI atau 193,05 MPa. Epoxy resin memiliki kekuatan tekan 60 MPa untuk temperatur curing 27°C selama 24 jam, 74,45 MPa untuk temperatur curing 27°C selama 24 jam lalu post-curing 90°C selama 5 jam, dan 106,58 untuk Temperatur curing 90°C selama 24 jam. Sehingga dengan penambahan fraksi volume HGM pada epoxy akan semakin meningkatkan kekuatan tekannya. Pada hasil perhitungan teoritis kekuatan tekan komposit naik seiring dengan penambahan fraksi volume HGM.

Hal tersebut dikarenakan pada perhitungan teoritis, dianggap kondisi ideal terjadi yaitu adanya ikatan yang ku-



Gambar. 9. Hasil SEM komposit dengan penambahan HGM 16% curing temperatur 27°C selama 24 jam (perbesaran 50x).

at antara HGM dan epoxy. Sedangkan pada hasil pengujian didapatkan penambahan HGM optimal untuk meningkatkan kekuatan tekan adalah 16% fraksi volume HGM untuk ketiga perlakuan suhu. Pada komposit dengan penambahan HGM 16% untuk temperatur curing 27°C selama 24 jam, selisih nilai kekuatan tekan antara hasil pengujian dan teoritis sebesar 13,49 MPa. Nilai kekuatan tekan pengujian dibandingkan dengan hasil ROM terjadi penyimpangan yang disebabkan karena pada praktiknya tidak dijumpai asumsi seperti yang digunakan pada ROM sehingga tidak terjadi kondisi ideal, seperti void yang terjadi pada pembuatan komposit seperti pada Gambar. 9. distribusi penyebaran HGM tidak merata, dan tidak kuatnya ikatan antara Epoxy dan HGM.

IV. KESIMPULAN

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

1. Penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16% pada epoxy dapat meningkatkan kekuatannya. Kekuatan tekan maksimum sebesar 121,2866 MPa didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%.
2. Penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16% pada epoxy dapat meningkatkan ketangguhan. Ketangguhan maksimum sebesar $21,54 \times 10^{-3} \text{ (J/mm}^3\text{)}$ didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%.
3. Peningkatan temperatur curing dapat meningkatkan jumlah ikatan crosslink pada matriks epoxy, komposit dengan penambahan fraksi volume HGM 16% di-curing pada temperatur 90°C selama 24 jam merupakan komposit yang memiliki kekuatan tekan dan ketangguhan yang paling tinggi.
4. Peningkatan jumlah ikatan crosslink pada matriks epoxy akan meningkatkan kekuatan tekan pada komposit dengan fraksi volume HGM yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Swentha.C, Kumar Ravi. 2011. "Quasi-static uni-axial compression behaviour of hollow glass microspheres/epoxy based syntactic foams". departement metallurgical. India

- [2] Fahmi Yuni Arista. 2013. "Studi eksperimental pengaruh variasi fraksi volume epoxy - hollow glass microspheres dan temperatur curing terhadap karakteristik tekan komposit". Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS. Indonesia
- [3] ASM International, "Characterization and Failure Analysis of Plastics", page 117, December 2003
- [4] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46,48-50
- [5] <http://www.ecvv.com/product/3822975.html>
- [6] A. Brent Strong, "Controlling Polyester Curing – A Simplified View", Brigham Young University, undated
- [7] The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structure, SP-systems, undated.
- [8] Ismoyo,1990. "Pengujian merusak tekan material"
- [9] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46,48-50.
- [10] A. Brent Strong, "Controlling Polyester Curing – A Simplified View", Brigham Young University, undated.
- [11] www.princhenton.com
- [12] ASM International, "Characterization and Failure Analysis of Plastics", page 117, December 2003
- [13] The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structure, SP-systems, undated.
- [14] Ismoyo,1990. "Pengujian merusak tekan material"
- [15] Simon Peter, Cibulkova Zuzana, "Measurement of heat capacity by differentiation scanning calorimetry", Department of physical chemistry, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Slovak Republic.
- [16] Callister, Jr.William.D, 2007, "Material Sciene And Engineering An Introduction." United State of America.Quebeecor Versailles.
- [17] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/process-faqs/faq-what-is-the-difference-between-debonding-and-delamination-in-adhesive-joints-coatings-and-composites-and-other-defects-found/>