

Pengaruh Fraksi Berat Serbuk Karbon Hitam dan Jumlah Lapisan Serat *E-glass* Terhadap *Reflection Loss* pada Komposit *E-glass/ripoxy* untuk Aplikasi *Radar Absorbing Structure* (RAS)

Rizal Ramadhan dan Widyastuti

Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jalan Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wiwid@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Saat ini penelitian tentang radar absorbing structure (RAS) dengan menggunakan bahan komposit polimer yang diperkuat serat (FRP) yang ditambahkan dengan serbuk penyerap gelombang elektromagnetik menjadi populer karena sifat elektromagnetik dari material tersebut dapat disesuaikan secara efektif hanya dengan menambahkan beberapa serbuk yang dapat menyerap gelombang elektromagnetik, seperti karbon hitam, ferit, besi karbonil, dan lain-lain ke dalam matrik komposit. RAS bekerja tidak hanya sebagai struktur bantalan beban untuk menopang sistem antenna tetapi juga mempunyai peranan penting dalam menyerap gelombang elektromagnetik yang datang dari energi elektromagnetik sebuah sistem pelacak.

Dalam penelitian ini, komposit serat *E-glass* yang diperkuat dengan resin *ripoxy* dibuat dengan mencampurkan serbuk karbon hitam yang konduktif (Ketjenblack EC300J) dengan matrik komposit dan memaksimalkan koefisien penyerapan lebih dari 90 % (lebih dari -10 dB) dalam jangkauan frekuensi X-Band (8 – 12 GHz). Pengujian yang dilakukan yaitu dengan menggunakan uji konduktivitas listrik (LCR meter) dan Vector Network Analyzer (VNA).

Spesimen yang terbaik untuk diaplikasikan sebagai radar absorbing structure (RAS) adalah komposit *E-glass/ripoxy* dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02 dan jumlah lapisan serat *E-glass* 4 lapis dengan nilai ketebalan sebesar 2,1 mm, nilai konduktivitas listrik $8,33 \times 10^{-6}$ S/m, dan nilai maksimum reflection loss sebesar -27,123 dB.

Kata Kunci—serbuk karbon hitam, komposit *E-glass/ripoxy*, radar absorbing structure

I. PENDAHULUAN

SEJAK diperkenalkannya gelombang radar pada perang dunia II, hal ini menjadi ancaman yang besar bagi pesawat maupun kapal karena bisa terdeteksi oleh radar. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi radar telah meningkat secara drastis dengan menggunakan pemancar *bandwidth* yang tinggi dan bertenaga besar sehingga sekarang ini perkembangan teknologi siluman (*stealth*) untuk menghindari deteksi radar menjadi sangat penting [1].

Keefektifan dari sistem radar untuk dapat mendeteksi target sangat bergantung terutama pada seberapa banyak energi elektromagnetik yang memperjelas target dipantulkan kembali

oleh radar dan hal ini didefinisikan sebagai *radar cross section* (RCS) dari target [2]. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan kinerja dari teknologi siluman, RCS dari target harus diminimalkan sehingga dapat mengurangi peluang terdeteksi oleh radar. Ada beberapa metode untuk mengurangi RCS yaitu bentuk desain pesawat, *radar absorbing material* (RAM), dan *radar absorbing structure* (RAS) [1]. Dari ketiga macam teknologi tersebut, RAS sangatlah efektif untuk kemampuan sebagai bantalan beban dan menyerap gelombang elektromagnetik [3]. RAS bekerja tidak hanya sebagai struktur bantalan beban untuk menopang sistem antenna tetapi juga mempunyai peranan penting dalam menyerap gelombang elektromagnetik yang datang dari energi elektromagnetik sebuah sistem pelacak [4].

Saat ini penelitian tentang RAS dengan menggunakan bahan komposit polimer yang diperkuat serat (*fiber-reinforced polymeric/FRP*) yang ditambahkan dengan serbuk penyerap gelombang elektromagnetik menjadi populer karena sifat elektromagnetik dari komposit FRP dapat disesuaikan secara efektif dengan mencampurkan beberapa serbuk penyerap gelombang elektromagnetik, seperti karbon hitam, ferit, besi karbonil, dan lain-lain ke dalam matrik komposit dengan komposisi tertentu [5].

Dalam penelitian ini, komposit serat *E-glass* yang diperkuat dengan resin *ripoxy* dibuat dengan mencampurkan serbuk karbon hitam yang konduktif dengan matrik komposit. Hasil yang diharapkan adalah memaksimalkan koefisien penyerapan lebih dari 90 % (lebih dari -10 dB) dalam jangkauan frekuensi 8 – 12 GHz (X-Band).

II. URAIAN PENELITIAN

Proses pembuatan komposit *E-glass/ripoxy* diawali dengan pengeringan serbuk karbon hitam ke dalam *drying oven* pada temperatur 80°C selama 24 jam. Proses pengeringan serbuk karbon hitam bertujuan untuk mengurangi kadar air yang ada pada serbuk karbon hitam.

Setelah melalui proses pengeringan selama 24 jam, serbuk karbon hitam tersebut kemudian dicampur dengan resin *ripoxy* sesuai dengan variasi fraksi berat masing-masing dengan

pengaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 25°C selama 1 jam dengan kecepatan 350 rpm sampai menjadi homogen. Kecepatan putaran *magnetic stirrer* dijaga dengan konstan agar serbuk karbon hitam tercampur merata dengan resin *ripoxy* (perubahan warna menjadi hitam). Selama proses pengadukan, gelas beaker ditutup dengan menggunakan aluminium foil agar tidak terjadi kontak dengan udara sekitar sehingga mengurangi terjadinya *void* (rongga).

Perubahan kecepatan pada *magnetic stirrer* mengakibatkan *magnetic bar* mengalami putaran yang tidak stabil. Larutan tersebut kemudian diberi zat *accelerator* berupa *cobalt naphthanate* dan katalis berupa *methyl ethyl ketone peroxide* dengan perbandingan zat *accelerator* dan katalis sebesar 2,5:0,6 dalam 100mL resin *ripoxy*. Pengadukan dilakukan selama 5 menit agar zat *accelerator* dan katalis tercampur merata dengan larutan campuran serbuk karbon hitam dan resin *ripoxy*. Penambahan zat *accelerator* bertujuan untuk bereaksi dengan katalis sehingga menghasilkan panas internal resin untuk mengeringkan atau mengeraskan sedangkan katalis bertujuan untuk memacu terjadinya reaksi panas dengan zat *accelerator*. Ketika mencampurkan resin dengan katalis, jika komposisinya kurang sesuai maka gel time yang terjadi menjadi lebih cepat.

Hasil campuran tersebut kemudian dituang kedalam cetakan yang sudah berisi serat *E-glass* berdimensi 15 cm × 15 cm × 4 cm. Cetakan tersebut sebelumnya sudah dilapisi dengan *release agen* berupa *mirror glaze wax* yang bertujuan agar komposit dengan mudah terlepas dari cetakan.

Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up* dimana larutan campuran serbuk karbon hitam dan resin *ripoxy* dituang ke tiap lapisan yang ada di dalam cetakan sambil ditekan dengan kuas sampai lapisan serat berikutnya. Pada proses pembuatan komposit dengan menggunakan matrik termoset diperlukan waktu *curing* untuk reaksi *crosslinking* termoset. Reaksi *curing* ini merupakan reaksi eksoterm oleh karena itu ketika memegang resin terasa panas. Reaksi *curing* ini memakan waktu yang lama oleh karena itu komposit baru kering setelah satu hari didiamkan.

Setelah hasil komposit menjadi kering kemudian komposit dikeluarkan dari cetakan dan dipotong dengan menggunakan gergaji sehingga komposit tersebut ukurannya menjadi 2,25 cm × 1 cm sesuai dengan dimensi *rectangular waveguide* tipe WR 90 yaitu 2,25 cm × 1 cm.

Hasil akhir dari komposit diukur ketebalan dengan menggunakan jangka sorong analog dengan ketelitian 0,05 mm. Setelah diukur ketebalannya kemudian dilakukan pengujian konduktivitas listrik dengan menggunakan LCR meter. Alat yang digunakan ini sebenarnya tidak bisa didapatkan langsung nilai konduktivitasnya tetapi terlebih dahulu didapatkan nilai hambatan dari sampelnya. Setelah mendapatkan nilai hambatannya kemudian mencari nilai hambatan jenis (resistivitas) sampel dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{R \times A}{L} \tag{1}$$

dimana, *R* adalah hambatan yang dinyatakan dalam Ohm, *ρ* adalah resistivitas yang dinyatakan dalam Ohm.meter, *L* adalah tebal sampel yang dinyatakan dalam meter, dan *A* adalah luas penampang sampel yang dinyatakan dalam m².

Setelah itu didapatkan nilai konduktivitas listrik (*σ*) dari sampel dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{2}$$

dimana, *σ* adalah konduktivitas listrik yang dinyatakan dalam Siemens.meter⁻¹ dan *ρ* adalah resistivitas yang dinyatakan dalam Ohm.meter.

Untuk mendapatkan nilai *reflection loss* dari masing-masing spesimen adalah dengan menggunakan VNA. Spesimen diuji dengan menggunakan jangkauan frekuensi X-band yaitu antara 8 – 12 GHz dengan ukuran dimensi sesuai dengan dimensi *rectangular waveguide* tipe WR 90 yaitu 2,25 cm × 1 cm. Pengujian dilakukan dengan cara masing-masing spesimen diletakkan diantara port 11 dan port 22.

III. HASIL DAN DISKUSI

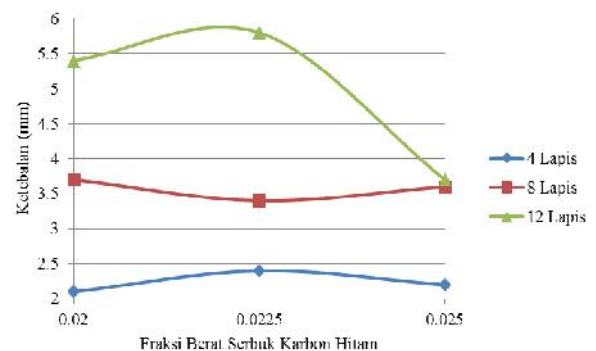
A. Pengaruh Fraksi Berat Serbuk Karbon Hitam Terhadap Reflection Loss pada Komposit E-Glass/Ripoxy

Setelah komposit *E-glass/ripoxy* dengan ukuran 2,25 cm × 1 cm terbentuk maka dilakukan pengukuran ketebalan pada masing-masing spesimen dengan menggunakan jangka sorong analog dengan ketelitian 0,05 mm.

Tabel 1.

Hasil pengukuran ketebalan pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4, 8, dan 12 lapis

Fraksi berat serbuk karbon hitam	Ketebalan (mm)		
	4 lapis serat <i>E-glass</i>	8 lapis serat <i>E-glass</i>	12 lapis serat <i>E-glass</i>
0,02	2,1	3,7	5,4
0,0225	2,4	3,4	5,8
0,025	2,2	3,6	3,7



Gambar 1. Kurva nilai ketebalan terhadap fraksi berat serbuk karbon hitam

Pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4 dan 12 lapis terlihat mengalami kenaikan nilai ketebalan pada saat fraksi berat serbuk karbon hitam meningkat dari 0,02 menjadi 0,0225 dibandingkan dengan spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 8 lapis yang cenderung mengalami penurunan. Sebaliknya, pada saat fraksi berat serbuk karbon hitam meningkat dari 0,0225 menjadi 0,025 nilai ketebalan pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 8 lapis mengalami kenaikan dibandingkan dengan spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4 dan 12 lapis.

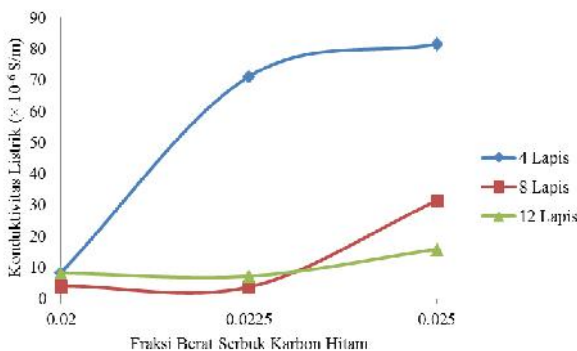
Penyebab terjadinya perbedaan nilai ketebalan pada komposit *E-glass/ripoxy* diakibatkan oleh pemberian gaya penekanan pada kuas yang berbeda-beda pada saat penuangan larutan campuran serbuk karbon hitam dan resin *ripoxy* dengan serat *E-glass* yang ada di dalam cetakan sehingga ketebalan tidak bisa dikontrol.

Pengujian konduktivitas listrik mengindikasikan kemampuan material untuk menghantarkan arus listrik sehingga diketahui spesimen tersebut termasuk dalam kategori konduktor, semikonduktor ataupun isolator. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan LCR meter yang dimana nilai konduktivitas bahan tidak dapat diukur secara langsung tetapi didapatkan terlebih dahulu nilai resistansinya.

Tabel 2.

Hasil uji konduktivitas listrik pada spesimen dengan jumlah lapisan serat E-glass 4, 8, dan 12 lapis

Fraksi berat serbuk karbon hitam	Konduktivitas listrik ($\times 10^{-6}$ S/m)		
	4 lapis serat E-glass	8 lapis serat E-glass	12 lapis serat E-glass
0,02	8,33	4,10	8,19
0,0225	71,11	3,70	7,16
0,025	81,48	31,37	15,81



Gambar 2. Kurva nilai konduktivitas listrik terhadap fraksi berat serbuk karbon hitam

Pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4 lapis terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya fraksi berat serbuk karbon hitam maka nilai konduktivitas listrik juga meningkat dibandingkan dengan spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 8 dan 12 lapis. Pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 8 dan 12 lapis saat fraksi berat meningkat dari 0,02 menjadi 0,0225 nilai konduktivitas listrik mengalami penurunan tetapi kemudian mengalami kenaikan saat fraksi berat meningkat dari 0,0225 menjadi 0,025.

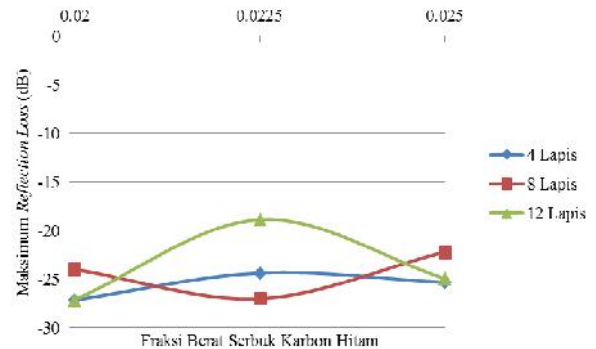
Penyebab terjadinya perbedaan nilai konduktivitas listrik pada komposit *E-glass/ripoxy* diakibatkan oleh jumlah fraksi berat serbuk karbon hitam yang digunakan dan penyebaran serbuk karbon hitam yang tidak homogen didalam matrik dan serat *E-glass*.

Tabel 3.

Hasil uji VNA pada spesimen dengan jumlah lapisan serat E-glass 4, 8, dan 12 lapis

Fraksi berat serbuk karbon hitam	Maksimum reflection loss (dB)		
	4 lapis serat E-glass	8 lapis serat E-glass	12 lapis serat E-glass
0,02	-27,123	-23,966	-27,102
0,0225	-24,346	-26,984	-18,844
0,025	-25,325	-22,171	-24,920

0,02	-27,123	-23,966	-27,102
0,0225	-24,346	-26,984	-18,844
0,025	-25,325	-22,171	-24,920



Gambar 3. Kurva nilai maksimum reflection loss terhadap fraksi berat serbuk karbon hitam

Pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4, 8, dan 12 lapis terlihat bahwa nilai maksimum reflection loss lebih dari -18 dB. Hal ini menunjukkan bahwa nilai koefisien penyerapannya lebih dari 98 % sehingga dapat digunakan untuk aplikasi *radar absorbing structure* (RAS). Material yang memiliki efisiensi penyerapan lebih dari -10 dB dapat digunakan untuk aplikasi *radar absorbing structure* (RAS) [6].

Pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4 dan 12 lapis terlihat bahwa saat fraksi berat meningkat dari 0,02 menjadi 0,0225 nilai maksimum reflection loss mengalami penurunan tetapi kemudian mengalami kenaikan saat fraksi berat meningkat dari 0,0225 menjadi 0,025. Hal yang berbeda terjadi pada spesimen dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 8 lapis yang mana pada saat fraksi berat meningkat dari 0,02 menjadi 0,0225 nilai maksimum reflection loss mengalami kenaikan tetapi kemudian mengalami penurunan saat fraksi berat meningkat dari 0,0225 menjadi 0,025.

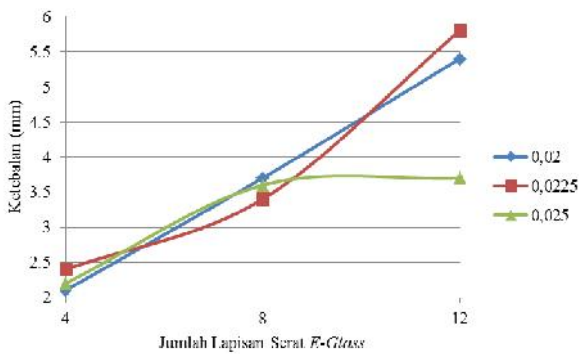
B. Pengaruh Jumlah Lapisan Serat E-Glass Terhadap Reflection Loss pada Komposit E-Glass/Ripoxy

Untuk mengetahui pengaruh jumlah lapisan serat *E-glass* pada komposit *E-glass/ripoxy* terhadap nilai ketebalan maka sama seperti pada pengaruh fraksi berat serbuk karbon hitam yaitu diukur dengan menggunakan jangka sorong analog dengan ketelitian 0,05 mm.

Tabel 4.

Hasil pengukuran ketebalan pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02, 0,0225, dan 0,025

Jumlah lapisan serat E-glass	Ketebalan (mm)		
	0,02	0,0225	0,025
4	2,1	2,4	2,2
8	3,7	3,4	3,6
12	5,4	5,8	3,7



Gambar 4. Kurva nilai ketebalan terhadap jumlah lapisan serat E-glass

Pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02, 0,0225 dan 0,025 terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya jumlah lapisan serat E-glass maka nilai ketebalan komposit E-glass juga meningkat. Nilai ketebalan terendah didapatkan pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02 sedangkan nilai ketebalan tertinggi didapatkan pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,0225.

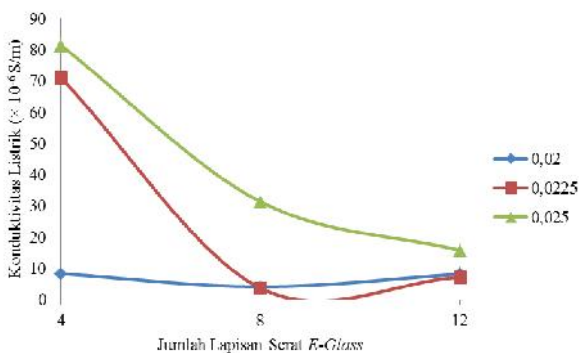
Perbedaan nilai ketebalan yang didapatkan pada komposit E-glass/ripoxy diakibatkan oleh pemberian gaya penekanan pada kuas yang berbeda-beda pada saat penuangan larutan campuran serbuk karbon hitam dan resin ripoxy dengan serat E-glass yang ada di dalam cetakan sehingga ketebalan tidak bisa dikontrol.

Untuk mengetahui pengaruh jumlah lapisan serat E-glass pada komposit E-glass/ripoxy terhadap nilai konduktivitas listrik maka sama seperti pada pengaruh fraksi berat serbuk karbon hitam yaitu diuji dengan menggunakan LCR meter.

Tabel 5.

Hasil uji konduktivitas listrik pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02, 0,0225, dan 0,025

Jumlah lapisan serat E-glass	Konduktivitas listrik ($\times 10^{-6}$ S/m)		
	0,02	0,0225	0,025
4	8,33	71,11	81,48
8	4,10	3,70	31,37
12	8,19	7,16	15,81



Gambar 5. Kurva nilai konduktivitas listrik terhadap jumlah lapisan serat E-glass

Pada spesimen dengan dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02 dan 0,0225 terlihat bahwa saat jumlah lapisan serat

E-glass meningkat dari 4 menjadi 8 maka nilai konduktivitas listrik mengalami penurunan tetapi kemudian mengalami kenaikan saat jumlah lapisan serat E-glass meningkat dari 8 menjadi 12. Pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,025 terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya jumlah lapisan serat E-glass maka nilai konduktivitas listrik komposit E-glass/ripoxy menurun. Nilai konduktivitas listrik terendah didapatkan pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,0225 sedangkan nilai konduktivitas listrik tertinggi didapatkan pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,025.

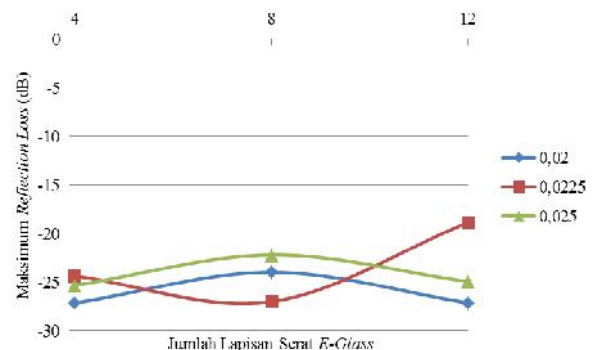
Perbedaan nilai konduktivitas listrik yang didapatkan pada komposit E-glass/ripoxy diakibatkan oleh jumlah fraksi berat serbuk karbon hitam yang digunakan dan penyebaran serbuk karbon hitam yang tidak homogen didalam matrik dan serat E-glass.

Untuk mengetahui pengaruh jumlah lapisan serat E-glass pada komposit E-glass/ripoxy terhadap nilai konduktivitas listrik maka sama seperti pada pengaruh fraksi berat serbuk karbon hitam yaitu diuji dengan menggunakan VNA.

Tabel 6.

Hasil uji VNA pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02, 0,0225, dan 0,025

Jumlah lapisan serat E-glass	Maksimum reflection loss (dB)		
	0,02	0,0225	0,025
4	-27,123	-24,346	-25,325
8	-23,966	-26,984	-22,171
12	-27,102	-18,844	-24,920



Gambar 6. Kurva nilai maksimum reflection loss terhadap jumlah lapisan serat E-glass

Pada spesimen dengan dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02 dan 0,025 terlihat bahwa saat jumlah lapisan serat E-glass meningkat dari 4 menjadi 8 maka nilai maksimum reflection loss mengalami penurunan tetapi kemudian mengalami kenaikan saat jumlah lapisan serat E-glass meningkat dari 8 menjadi 12. Nilai maksimum reflection loss terendah didapatkan pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,0225 sedangkan nilai maksimum reflection loss tertinggi didapatkan pada spesimen dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02.

IV. KESIMPULAN

Peningkatan nilai maksimum *reflection loss* terjadi pada komposit *E-glass/ripoxy* dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4 lapis dan 12 lapis saat fraksi berat serbuk karbon hitam meningkat dari 0,0225 menjadi 0,025 dan 8 lapis saat fraksi berat serbuk karbon hitam meningkat dari 0,02 menjadi 0,0225.

Peningkatan nilai maksimum *reflection loss* terjadi pada komposit *E-glass/ripoxy* dengan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02 dan 0,025 saat jumlah lapisan serat *E-glass* meningkat dari 8 menjadi 12 dan 0,0225 saat jumlah lapisan serat *E-glass* meningkat dari 4 menjadi 8.

Spesimen yang terbaik untuk diaplikasikan sebagai *radar absorbing structure* (RAS) adalah komposit *E-glass/ripoxy* dengan jumlah lapisan serat *E-glass* 4 lapis dan fraksi berat serbuk karbon hitam 0,02 dengan nilai ketebalan sebesar 2,1 mm, nilai konduktivitas listrik $8,33 \times 10^{-6}$ S/m, dan nilai maksimum *reflection loss* sebesar -27,123 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vinoy, K. J. dan R. M. Jha. "Radar Absorbing Materials: From Theory to Design and Characterization". Boston: Kluwer Academic (1996).
- [2] Tennant, A. dan Chambers B. "Adaptive radar absorbing structure with PIN diode controlled active frequency selective surface". *Smart Material Structure* 13: 122 – 125 (2004).
- [3] Kim, Po Chul dan Dai Gil Lee. "Composite sandwich construction for absorbing the electromagnetic waves". *Composite Structures* 87: 161-167.
- [4] Choi, Illbeom, Jin Gyu Kim, Il Sung Seo, dan Dai Gil Lee. "Radar absorbing sandwich construction composed of CNT, PMI foam and carbon/epoxy composite". *Composite Structure* 94: 3002-3008 (2012).
- [5] Seo, Il Sung, Woo Seok Chin, dan Dai Gil Lee. "Characterization of electromagnetic properties of polymeric composite materials with free space method". *Composite Structures* 66: 533 – 542 (2004).
- [6] Jung, Woo-Kyun, Beomkeun Kim, Myung-Shik Won, dan Sung-Hoon Ahn. "Fabrication of radar absorbing structure (RAS) using GFR-nanocomposite and spring-back compensation of hybrid composite RAS shells". *Composite Structures* 75: 571 – 576 (2006).