

EFEK SINERGIS ALUMINA TRIHYDRATE DAN MELAMINE CYANURATE TERHADAP SIFAT KUAT TARIK GLASS FIBER REINFORCED POLYMER

Ridha Inayah^{1*}, Wiwik Dwi Pratiwi², Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: rdhinayah@gmail.com

Abstract –Glass Fiber Reinforced Polymer, commonly known as GFRP, is that as a train interior component, it must have good mechanical properties. The addition of flame retardant compounds contained in GFRP materials can affect the tensile strength of GFRP materials. In this study, GFRP composed of Alumina Trihydrate (ATH) and Melamine Cyanurate (MCA) powder was mixed into a vinyl ester resin. The method of making GFRP specimens uses the hand lay-up method. GFRP was mixed and tested for material with ASTM D-638 standard tensile test. The results obtained after the addition of 25% ATH, a mixture of 5%, 10%, and 15% MCA at 25% ATH, 25% ATH in the outermost layer, and a mixture of 5% MCA with 25% ATH in the outermost layer to the weight of the resin was a decrease in strength when the percentage of filler powder increases. Tensile strength, strain, and modulus of elasticity of GFRP were optimum at the addition of 25% ATH with 5% MCA to the weight of the resin in the outer layer. The result of tensile strength is 124.37 MPa, strain is 12.76%, and modulus of elasticity is 975.85 MPa. The results show that a mixture of ATH and MCA has a synergistic effect, so that it becomes a recommendation for interior sidewall panels and ceiling panels on trains.

Keyword: Alumina Trihydrate, Burning Test, Hand Lay Up, Melamine Cyanurat, Train

1. PENDAHULUAN

Glass Fiber Reinforced Polymer yang biasa disebut GFRP adalah salah satu material komposit yang banyak digunakan dalam transportasi kereta api. Penggunaan GFRP pada komponen kereta api semakin dikembangkan seiring dengan bertambahnya produksi kereta api jenis baru di Indonesia. Material GFRP pada kereta api banyak digunakan pada *sidewall panel* dan *ceiling panel*. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 69 Tahun 2019 Pasal 9 ayat (1) huruf a mengenai standar spesifikasi teknis kereta api kecepatan tinggi tentang ruang penumpang, sebagaimana yang dimaksud adalah ruang penumpang harus memenuhi persyaratan yaitu menggunakan material tahan rambatan api dan tidak bersifat racun. [1]

GFRP terdiri dari serat kaca sebagai penguat (*reinforcement*) dan resin sebagai pengikatnya (*matriks*). GFRP menawarkan keuntungan besar karena menunjukkan sifat mekanik yang baik seperti kekuatan tarik tinggi, kekuatan bentur tinggi, kekuatan lelah tinggi dan memiliki ketahanan korosi yang baik, serta termasuk material yang ringan. [2]

Penambahan bahan pengisi senyawa kimia *flame retardant* pada GFRP untuk komponen kereta api digunakan untuk memenuhi syarat sifat ketahanan api komponen interior kereta api. Namun, penambahan pengisi senyawa *flame retardant* juga memiliki pengaruh terhadap sifat kuat tarik, serta tetap harus memperhatikan dampak yang akan ditimbulkan pada kesehatan dan lingkungan. [3]

Alumina Trihydrate (ATH) merupakan bahan yang dianggap sebagai penghambat api anorganik klasik dan tidak membahayakan kesehatan, karena memiliki sifat bebas halogen, tidak beracun, tahan panas, dan inert secara kimia. Dewasa ini Melamin Cyanurate (MCA) diakui sebagai penghambat api organik yang efisien. [4] Penambahan penghambat api organik juga dapat mengurangi jumlah penambahan penghambat api anorganik melalui peningkatan hubungan kompatibilitas polimer dengan pengisi zat anorganik. [5] MCA adalah penghambat api nitrogen yang menarik perhatian para peneliti karena dengan keunggulannya seperti biaya yang rendah, non-korosif, dan efisien dalam ketahanan api tinggi, serta MCA produk termasuk dalam senyawa tahan api bebas halogen karena berbasis melamine. [6] [7]

Jumlah penambahan penghambat api anorganik umumnya diperlukan kurang lebih hingga 50%. [4] Dimana penambahan 50% pengisi senyawa *flame retardant* dapat menurunkan sifat kuat tarik GFRP. Hal ini selaras dengan penelitian Hikmiah (2021) yang menunjukkan bahwa penggunaan pengisi penghambat api anorganik berupa Magnesium Hidroksida dengan penambahan lebih 35% terhadap resin tergolong tahan api dengan baik, tetapi mengalami penurunan pada sifat mekanik. [8] Maka dengan pengisi campuran senyawa *flame retardant* ATH dan MCA diharapkan mampu menekan jumlah penambahan senyawa *flame retardant* tersebut, sehingga mendapatkan GFRP yang tahan api dan memiliki sifat kuat tarik yang baik.

Dalam penelitian ini, GFRP menggunakan pengisi *flame retardant* adalah serbuk ATH dan MCA. Analisis yang akan dilakukan pada material GFRP setelah penambahan pengisi *flame retardant* adalah uji tarik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi dalam pemilihan bahan dasar pembuatan material GFRP untuk komponen interior *sidewall panel* dan *ceiling panel* di kereta api.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alumina trihydrate, melamine cyanurate, resin *vinyl ester*, katalis MEPOXE, serat *E-glass woven roving* dan *chopped strand matt*. Alat yang digunakan untuk pembuatan adalah wadah, roll, cetakan, mesin mixer, gerinda, dan jangka sorong. Mesin pengujian yang digunakan sesuai standar ASTM D638 adalah *universal testing machine* (UTM) kapasitas 10 kN.

2.2 Penentuan Komposisi

Penentuan komposisi memiliki peran penting dalam penyusunan komposit. Hal ini dikarenakan komposisi dari masing-masing penyusunnya (penguat, matriks, dan zat pengisi) akan memberikan pengaruh besar pada sifat mekanik material tersebut. Tabel 1 menunjukkan komposisi *flame retardant* terhadap resin.

Tabel 1 Perbandingan *Flame Retardant* Terhadap Resin

Jenis pengisi <i>flame retardant</i>	Kode	Perbandingan pengisi terhadap resin (wt%)
Control	O	0%
ATH	A	25%
ATH+MCA	AM1	25% + 5%
ATH+MCA	AM2	25% + 10%
ATH+MCA	AM3	25% + 15%
ATH+MCA	AMS	25% (Lapisan Terluar)
ATH+MCA	AMS1	25% + 5% (Lapisan Terluar)

Serbuk pengisi ATH dan MCA merupakan bagian dari penguat yang ditambahkan ke dalam matriks dengan presentasi komposisi pada berat matriks.

2.3 Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji dibuat dengan metode *hand lay up*. Dimana terdiri dari empat lapis, lapisan pertama, kedua dan ketiga serat *fiberglass chopped strand matt*, terakhir serat *fiberglass woven roving*. Perbandingan fraksi berat serat dan matriks dibuat konstan sebesar 20:80. Pembuatan spesimen dimulai dengan menimbang bahan, kemudian mencampurkan resin *vinyl ester*, ATH, dan MCA ke dalam wadah, aduk terus-menerus sampai rata menggunakan mesin mixer. Setelah itu ditambah katalis 1% dari berat resin. Olesi cetakan dengan *release agent* kemudian lapisi cetakan dengan *gelcoat*, tunggu sampai *gelcoat* kering.

Setelah *gelcoat* kering dilakukan proses laminasi *fiberglass* dan resin dilakukan sampai empat lapisan, resin dan serat diratakan dan dilakukan penekanan

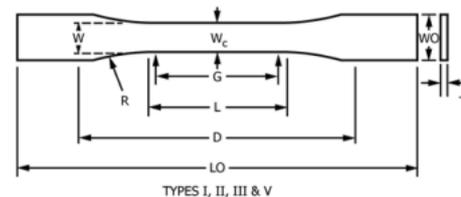
secara manual dengan menggunakan roll atau kuas. GFRP dikeringkan pada temperatur ruangan. Setelah mengeras spesimen dapat diambil dari cetakan dan dilakukan pemotongan sesuai bentuk spesimen pengujian. Proses pembuatan GFRP dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1 Proses *hand lay up*

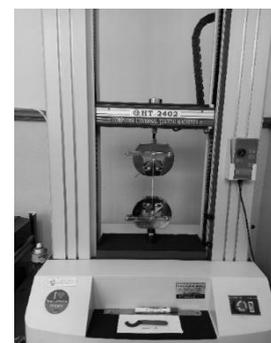
2.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui keuletan, kekuatan dan kekakuan suatu bahan terhadap tegangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Spesimen uji sesuai dengan ASTM D-638 type I. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dan diambil nilai rata-ratanya. Pengamatan yang dilihat setelah pengujian tarik adalah kekuatan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas. Bentuk dari spesimen uji tarik pada Gambar 2 sebagai berikut :



Gambar 2 Standar dimensi spesimen uji bakar

Pengamatan yang dilihat setelah pengujian ketahanan api adalah waktu padam api setelah sumber api meninggalkan spesimen dan luas area permukaan terbakar. Alat yang digunakan pada pengujian bakar dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Alat uji bakar

Besarnya tegangan tarik dari material komposit dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Surdia & Saito, 1999):

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Dimana:

σ = tegangan tarik (MPa)

F = beban tarik maksimum (N)

A = luas penampang spesimen uji (mm²)

Besarnya regangan tarik dapat dihitung dengan persamaan seperti dibawah ini (Surdia & Saito, 1999):

$$\varepsilon = \Delta L/L \quad (2)$$

Dimana:

ε = regangan dalam area elastis

ΔL = penambahan perpanjangan (mm)

L = panjang awal (mm)

Besarnya modulus elastisitas dapat dihitung dengan persamaan (Surdia & Saito, 1999):

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (3)$$

Dimana:

E = modulus elastisitas (MPa)

σ = tegangan tarik (Mpa)

ε = regangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Tarik

Foto spesimen uji tarik sesuai standar ASTM D638, seperti Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4 Spesimen Uji Bakar

Contoh bentuk spesimen setelah dilakukan uji tarik dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5 Spesimen setelah uji ketahanan api

Hasil pengujian tarik pada material GFRP setelah penambahan campuran ATH dan MCA berdasarkan komposisi yang telah ditentukan pada Tabel 1 dapat dilihat pada Tabel 3 yang menunjukkan nilai rata-rata dari semua spesimen GFRP.

Tabel 3 Nilai Rata-Rata Hasil Uji Tarik GFRP

Kode	Kekuatan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
------	----------------------	--------------	---------------------------

O	139,96	12,25	1160,24
A	91,57	9,95	920,29
AM1	115,54	11,13	1040,81
AM2	90,13	11,19	807,02
AM3	87,94	11,04	801,81
AMS	107,23	11,68	903,32
AMS1	124,37	12,76	975,85

3.2 Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Tarik

Hasil dari analisis statistik menggunakan metode *two way* ANOVA terhadap data hasil rata-rata pengujian tarik yang terdapat pada Tabel 4 dapat ditunjukkan pada Tabel 5 sampai 7 sebagai berikut:

Tabel 5 Analisis *Two Way* ANOVA Terhadap Kekuatan Tarik

	F - Value	P - Value	F - Tabel
Pengaplikasian ATH dan MCA	9,73	0,007	3,55
Penambahan ATH dan MCA	35,08	0,000	3,55

Tabel 6 Analisis *Two Way* ANOVA Terhadap Regangan

	F - Value	P - Value	F - Tabel
Pengaplikasian ATH dan MCA	11,65	0,004	3,55
Penambahan ATH dan MCA	3,05	0,050	3,55

Tabel 7 Analisis *Two Way* ANOVA Modulus Elastisitas

	F - Value	P - Value	F - Tabel
Pengaplikasian ATH dan MCA	0,89	0,369	3,55
Penambahan ATH dan MCA	19,19	0,000	3,55

Kriteria :

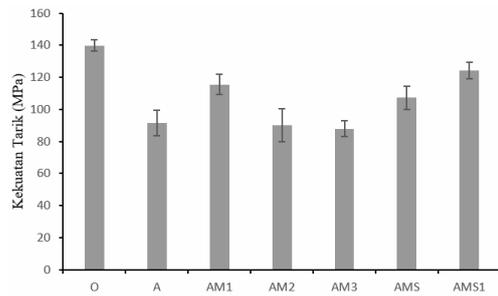
Terima H₀ (tidak ada pengaruh), Jika F hitung < F tabel atau p value > alpha (0,05)

Tolak H₀ (terdapat pengaruh), Jika F hitung > F tabel atau p value < alpha (0,05)

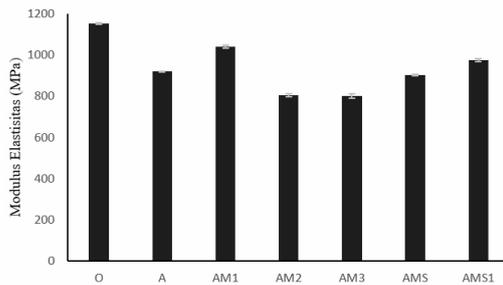
Berdasarkan hasil uji statistik *two way* ANOVA pada Tabel 5 hingga 7 diketahui bahwa penambahan serbuk ATH dan campuran senyawa *fire retardant* ATH dan MCA pada spesimen GFRP memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas, sedangkan regangan material GFRP tidak mengalami pengaruh. Semakin tinggi jumlah penambahan campuran senyawa *fire retardant* ATH dan MCA menyebabkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas material GFRP semakin menurun.

Dapat dilihat dari data Tabel 5 hingga 7 bahwa pengaplikasian serbuk ATH dan campuran serbuk ATH dengan MCA pada GFRP memberikan pengaruh terhadap rata-rata nilai kekuatan tarik dan regangan. Pengaplikasian serbuk flame retardant pada lapisan terluar mengakibatkan kekuatan tarik dan regangan meningkat. Sedangkan pengaplikasian serbuk ATH dan MCA pada lapisan terluar atau menyeluruh tidak mempengaruhi rata-rata nilai modulus elastisitas pada GFRP. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 untuk melihat grafik kekuatan tarik dan

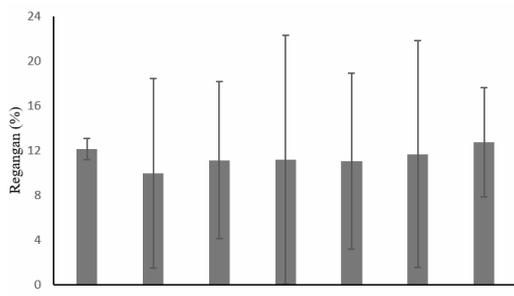
modulus elastisitas. Grafik dari regangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6 Grafik Kekuatan Tarik



Gambar 7 Grafik Modulus Elastisitas



Gambar 8 Grafik Regangan

Pengaplikasian serbuk *flame retardant* hanya pada lapisan terluar dapat meningkatkan rata-rata kekuatan tarik disebabkan oleh bagian inti atau lapisan tengah yang tidak diberi tambahan pengisi serbuk. Sehingga daya ikat antara matrik dan serat relatif kuat dari pada bagian yang diisi oleh serbuk. Hal ini mengakibatkan kekuatan tarik spesimen AMS lebih tinggi dari spesimen A, kekuatan tarik spesimen AMS1 lebih tinggi dari spesimen AM1.

Dalam proses pencampuran serbuk ATH dan MCA ke dalam resin menggunakan mixer, banyak gelembung yang dihasilkan dalam matriks, sehingga meskipun ditekan oleh roller besi, terdapat sisa udara (void) yang terperangkap saat proses pembuatan GFRP. Seperti yang dijelaskan dalam penelitian (Saidah, Susilowati, & Nofendri, 2018) udara yang terperangkap menjadi penyebab munculnya crack, sehingga semakin banyak udara komposit akan semakin rapuh, apabila sedikit udara komposit semakin kuat, karena ketika komposit diberi beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke area kosong yang mengurangi kekuatan komposit tersebut. [9]

Penurunan kekuatan komposit disebabkan oleh interaksi antara matrik dan serat yang lemah. Semakin

bertambahnya pengisi atau *filler* yang ditambahkan, kemampuan matrik untuk mengikat serat berkurang. [10] Sehingga ketika beban diterapkan pada matrik tidak di transfer dengan baik pada serat mengakibatkan kekuatan komposit berkurang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan campuran senyawa *flame retardant* ATH dan MCA pada resin vinyl ester dapat menurunkan kekuatan dan kekakuan material GFRP. Akan tetapi, tidak mempengaruhi kekuatan material GFRP. Pengaplikasian senyawa *flame retardant* ATH dan MCA pada lapisan terluar material GFRP mempengaruhi kekuatan tarik dan regangan, tetapi tidak mempengaruhi modulus elastisitas.
2. Penambahan campuran senyawa *flame retardant* 25% ATH dengan 5% MCA pada lapisan terluar material GFRP memiliki kekuatan tarik 124,37 MPa dan menggunakan pengisi senyawa *flame retardant* dalam jumlah relatif sedikit, sehingga dapat dijadikan sebagai referensi material GFRP pada komponen interior kereta api.

5. PUSTAKA

- [1] Anonim. Available at: https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2019/PM_69_TAHUN_2019
- [2] Girish, S., Devendra, K., & Bharath, K. (2016). Effect of Sodium bicarbonate on Fire behaviour of. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- [3] Shekarchi, M., Farahani, M. E., Yekranginia, M., & Ozbakkaloglu, T. (2020). Mechanical strength of CFRP and GFRP composites filled with APP fire retardant powder exposed to elevated temperature. *Fire Safety Journal*.
- [4] Xu, S., Li, J., Ye, Q., Shen, L., & Lin, H. (2021). Flame-retardant ethylene vinylacetate Composite materials by combining additions of aluminum hydroxide and melamine cyanurate : Preparation and characteristic evaluations. *Journal. of Colloid and Interface Science*, 525-531.
- [5] Shen, Q. Z., Chen, L., Lin, L., Deng, L. C., Zhao, J., & Wang, Z. Y. (2013). Synergistic Effect of Layered Nanofillers in Intumescent Flame Retardant EPDM: Montmorillonite versus Layered Double Hydroxides. *Industrial & Engineering Chemistry Research*.
- [6] Huang, H., Zhang, K., Jiang, J., Li, J., & Liu, Y. (2016). Highly dispersed melamine cyanurate flame- retardant epoxy resin composites. *Society of Chemical Industry*.

- [7] Huang, X., Tian, Z., Zhang, D., Jing, Q., & Li, J. (2019). The synergetic effect of antimony (Sb₂O₃) and melamine cyanurate (MCA) on the flame-retardant behavior of silicon rubber. *Polymer Bulletin*.
- [8] Hikmiah, J. (2021). ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN SENYAWA FIRE RETARDANT TERHADAP SIFAT KETAHANAN API, KEKUATAN, KEULETAN DAN KEKAKUAN GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP). *Tugas Akhir*.
- [9] Saidah, A., Susilowati, S. E., & Nofendri, Y. (2018). PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT SERAT JERAMI PADI EPOXY DAN SERAT JERAMI PADI RESIN YUKALAC 157. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*.
- [10] Nugroho, E. G. (2017). KARAKTERISTIK KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN NaOH DENGAN FRAKSI VOLUME 4%, 6%, DAN 8%.