

Analisis Pengaruh Penambahan Senyawa *Fire Retardant* terhadap Sifat Ketahanan Api, Kekuatan, Keuletan, dan Kekakuan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Jasillatul Hikmiyah^{1*}, Wiwik Dwi Pratiwi², Rizal Indrawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1*,3}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia²

E-mail: jasillatulhikmiyah@student.ppns.ac.id^{1*}

Abstract – *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* is one type of material is widely used in manufacturing land transportation components, especially is train. The requirement of material for the train must be fire resistance. But in the other hand the GFRP material is still have weakness in high temperature. So, in this case it can provide an opportunity to take experiment about the GFRP material. The experimental method to improvement of GFRP material is adding additive fire retardant as a filler. The additive fire retardant used as a filler is magnesium hydroxide. The method for making specimens of GFRP fire retardant using hand layup method. GFRP which has been added with magnesium hydroxide is tested for fire resistance according to the ORE B 106.2 standart and the tensile strength according to the ASTM D-638 standart. The results show that after adding 30%, 35%, 40%, 45%, and 50% magnesium hydroxide by weight of polyester resin can increase the fire resistance of GFRP. The addition of magnesium hydroxide in the polyester resin caused reducing the tensile strength and modulus of elasticity. Fire resistance, tensile strength, elongation, and modulus of elasticity obtained optimum at the addition 35% magnesium hydroxide by weight of polyester resin. The result show that the carbonized surface of 68,67 cm², time afterburn was 3,6 second after the flame has been extinguished, tensile strength of 70,86 MPa, elongation of 11,92%, and modulus of elasticity is 5,96 MPa. Therefore, GFRP with the addition 35% of magnesium hydroxide can be fire resistance, but it can't be used as an interior of the train because the tensile strength is less than standart.

Keyword: *Burning Test, Hand Lay Up, Magnesium Hydroxide, Tensile Test, Train.*

1. PENDAHULUAN

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) merupakan salah satu jenis komposit yang sering digunakan untuk industri transportasi darat, laut dan udara karena memiliki kekuatan yang tinggi, ringan, kaku, serta tahan terhadap korosi. Salah satu jenis transportasi darat tersebut adalah kereta api. Komponen kereta api seperti interior gerbong, *mascara (Mask)*, *panel box* listrik, dan lain-lain banyak dibuat dengan menggunakan GFRP (Kuntari & Surasno, 2009). Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 69 tahun 2019 tentang standart spesifikasi teknis kereta api kecepatan tinggi, ruang penumpang diatur dalam pasal 9 ayat (1) dimana harus memenuhi persyaratan seperti menggunakan material tahan rambat api dan tidak beracun. Namun dilain sisi material GFRP juga masih memiliki kelemahan dilingkungan dengan temperatur tinggi.

Material GFRP merupakan jenis komposit yang terdiri dari serat kaca sebagai penguat dan resin sebagai matriknya. Menurut pendapat Tang Hao, et al (2013), resin merupakan bahan yang mudah terbakar dan menghasilkan banyak panas, asap, dan gas selama proses pembakaran. Oleh karena itu GFRP memiliki sifat tidak tahan terhadap panas yang tinggi. Penggunaan resin

dengan type FR (*fire retardant*) pada GFRP yang dijual secara komersial masih belum bisa diklasifikasikan sebagai material tahan api sehingga diperlukan alternatif lain dengan penambahan aditif *flame retardant* lainnya (Siregar, Setyawan, & Marasabbesy, 2016). Sebagai alternatif lain yang bisa dilakukan adalah dengan menambahkan senyawa kimia bersifat *fire retardant* sebagai pengisi/*filler* pada GFRP.

Senyawa kimia yang digunakan sebagai pengisi/*filler* untuk meningkatkan ketahanan api pada GFRP kereta api harus tetap memperhatikan dampak bagi lingkungan dan kesehatan. Menurut pendapat Faturrahman (2017), Halogen merupakan salah satu senyawa paling umum digunakan untuk ketahanan api, namun halogen memiliki dampak negatif bagi kesehatan manusia. Sehingga pemilihan pengisi/*filler* dengan senyawa halogen tidak cocok untuk digunakan pada GFRP kereta api. Senyawa kimia lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan api sebagai pengganti halogen adalah logam hidroksida. Magnesium hidroksida (Mg(OH)₂) merupakan salah satu dari logam hidroksida yang banyak digunakan sebagai penghambat nyala api karena jumlahnya

melimpah, tidak beracun dan sifatnya ramah lingkungan (Rakotomala, et al, 2010).

Melihat kelemahan yang dimiliki material GFRP terhadap temperatur tinggi, maka salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan penelitian terhadap material GFRP dengan ditambahkan dengan senyawa kimia bersifat *fire retardant*. Dalam penelitian ini, penyusun komposit terdiri dari serat *E-glass* sebagai *reinforcement*, matriks yang digunakan adalah resin jenis *polyester* dan jenis *filler*/pengisi *fire retardant* adalah serbuk Magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$). Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji ketahanan api dan uji kekuatan tarik. Analisis yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh setelah penambahan variasi persentase *filler fire retardant* pada GFRP terhadap sifat ketahanan api, kekuatan, keuletan, dan kekakuan material. Luaran dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif GFRP *fire retardant* pada kereta api sehingga dapat mengurangi jumlah korban kecelakaan akibat kebakaran dan keselamatan dari penumpang bisa terjamin.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnesium hidroksida, resin *polyester*, Katalis MEPOXE, *release agent*, Serat *E-glass woven roving* dan *chopped strand matt*. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital, gerinda tangan, jangka sorong, cetakan plat, masker dan sarung tangan, *stopwatch*, pengaduk/mixer, roll besi/kuas, wadah, *universal testing machine* (UTM) dan alat uji bakar.

2.2 Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji dibuat dengan metode *hand layup*. Dimana terdiri dari tiga lapis, lapisan pertama dan kedua serat *fiberglass chopped strand matt*, dan yang ketiga serat *fiberglass woven roving*. Perbandingan fraksi berat serat dan matriks dibuat konstan sebesar 20:80. Pembuatan spesimen dimulai dengan mencampurkan resin *polyester* dan magnesium hidroksida kedalam wadah, dengan perbandingan berat magnesium hidroksida 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50% terhadap berat resin. Kemudian aduk terus-menerus sampai rata. Setelah itu ditambah katalis 1% dari berat resin. Olesi cetakan dengan *release agent* kemudian semprotkan *gelcoat* kedalam cetakan, tunggu sampai *gelcoat* kering. Kemudian proses laminasi *fiberglass* dan resin dilakukan sampai tiga lapisan, resin dan serat diratakan dan dilakukan penekanan secara manual dengan menggunakan *roll* atau kuas. GFRP dikeringkan pada temperatur ruangan. Setelah mengeras

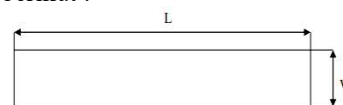
spesimen dapat diambil dari cetakan dan dilakukan pemotongan sesuai bentuk spesimen pengujian. Proses pembuatan GFRP dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Proses *hand lay up*

2.3 Pengujian Ketahanan Api

Pengujian ketahanan api atau pengujian bakar dilakukan sesuai dengan standar ORE B 106.2 “*Test Method for Determining The Reaction to Fire of Rigid Materials*”. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan, sebagai akurasi data dan nantinya akan diambil nilai rata-rata. Spesimen uji memiliki ukuran panjang (L) sebesar 400 mm dan lebar (W) sebesar 160 mm. Bentuk dari spesimen uji bakar pada Gambar 2 sebagai berikut :



Gambar 2. Standar dimensi spesimen uji bakar

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



Gambar 3. Alat uji bakar

Pengukuran luas area yang terbakar dapat menggunakan alat *planimeter* atau dengan menggunakan pendekatan *software* Image-J. Untuk pengambilan keputusan merujuk pada standart ORE B 106.2, dengan kategori

keberterimaan dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1: Standart Keberterimaan ORE B 106.2

Luas area (S) / Waktu Padam (P)	P ≤ 2 (s)	2 (s) < P ≤ 10 (s)	P > 10 (s)
S ≤ 100 (cm ²)	A	B	C
100 (cm ²) < S ≤ 150 (cm ²)	B	B	C
S > 150 (cm ²)	C	C	C

Keterangan:

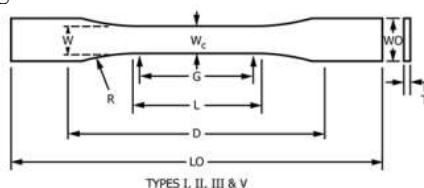
Kode A = Ketahanan Api Baik

Kode B = Ketahanan Api Cukup Baik

Kode C = Tidak Tahan Api

2.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan sesuai dengan standar ASTM D-638 type I, pengujian dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine*. Mesin uji tarik dapat dilihat pada Gambar 5. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan, dan nantinya akan 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 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Bentuk spesimen uji tarik



Gambar 5. Universal testing machine

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

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

Keterangan:

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):

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

Keterangan:

ϵ = regangan

ΔL = penambahan perpanjangan (mm)

L = panjang awal (mm)

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

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

Keterangan:

E = modulus elastisitas (MPa)

σ = tegangan tarik (MPa)

ϵ = regangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Pembahasan Uji Ketahanan Api/Uji Bakar

Foto spesimen uji ketahanan api sesuai standar ORE B 106.2, seperti Gambar 6 berikut ini :



Gambar 6. Spesimen uji ketahanan api

Contoh bentuk spesimen setelah dilakukan uji ketahanan api dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Spesimen setelah uji ketahanan api

Hasil pengujian ketahanan api/uji bakar pada material GFRP setelah penambahan 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50% magnesium hidroksida ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2: Hasil rata-rata pengujian ketahanan api

Variasi Mg(OH) ₂	Jeda api padam/P (s)	Luas area terbakar (cm ²)	Kategori
0%	231,67	222,67	C
30%	13,3	79,56	C

35%	3,6	68,67	B
40%	5,3	72,62	B
45%	1,67	76,29	A
50%	1,33	84,24	A

Keterangan:

Kode A = Ketahanan Api Baik

Kode B = Ketahanan Api Cukup Baik

Kode C = Tidak Tahan Api

Hasil dari analisis statistik menggunakan metode *one way* ANOVA terhadap data hasil rata-rata pengujian ketahanan api yang terdapat pada Tabel 2 dapat ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil *one way* Anova pengujian ketahanan api

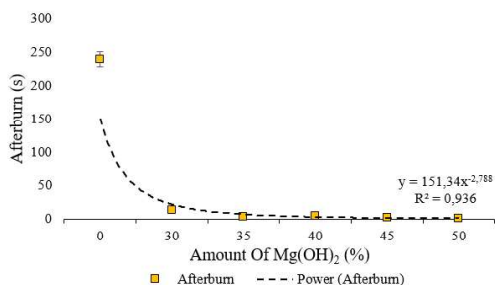
	Jeda api padam	Luas area terbakar
F Hitung	1110,4	112,180
P value	1,4715E-15	1,20517E-09
F Tabel	3,106	3,106
Kriteria	Tolak H0	Tolak H0

Keterangan:

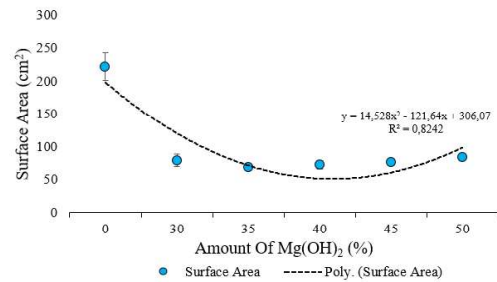
Terima H0 (tidak ada pengaruh), Jika F hitung < F tabel atau p value > alpha (0,05)

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

Dapat dilihat dari data Tabel 2 bahwa material GFRP mulai dikatakan tahan terhadap api sesuai standart ORE B 106.2 pada variasi penambahan 35% sampai 50% serbuk Mg(OH)₂ terhadap berat resin. Berdasarkan hasil uji statistik pada Tabel 3 diketahui bahwa penambahan serbuk Mg(OH)₂ pada spesimen GFRP memberikan pengaruh terhadap waktu padam api dan luas area yang terbakar. Waktu padam api dan luas area yang terbakar pada GFRP dengan magnesium hidroksida akan mengalami penurunan jika dibandingkan dengan GFRP tanpa magnesium hidroksida. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 yang merupakan grafik dari waktu padam api dan luas area terbakar.



Gambar 8. Grafik waktu padam api

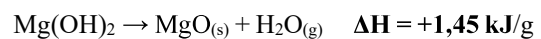


Gambar 9. Grafik luas area terbakar

Semakin banyak persentase penambahan serbuk Mg(OH)₂ pada resin dapat memperbaiki sifat ketahanan api yang dimiliki material GFRP, dikarenakan resin akan membentuk ikatan silang akibat penambahan Mg(OH)₂ yang dapat menyebabkan laju pembakaran terhambat. Hal tersebut sesuai dengan penelitian dari (Siregar, Setyawan, & Marasabessy, 2016) yang menyatakan bahwa penambahan *aditif fire retardant* dapat menghambat proses pembakaran dikarenakan adanya ikatan silang resin.

Resin *polyester* merupakan salah satu jenis matriks *thermosetting* yang menghasilkan *volatile* dengan berat molekular rendah dan dapat melayang dari permukaan komposit kemudian memasuki api (Hartanto, 2008). Penggunaan resin *polyester* akan berkurang dengan semakin tinggi persentase penambahan serbuk Mg(OH)₂ pada material GFRP, sehingga *volatile* yang dibentuk semakin berkurang.

Serbuk Mg(OH)₂ merupakan salah satu hidroksida tahan api dimana ketika proses pembakaran akan mengalami reaksi dekomposisi endotermik. Reaksi dekomposisi Mg(OH)₂ seperti dibawah ini (L.A.Hollingbery & T.R.Hull, 2010):



Pada reaksi dekomposisi endotermik terjadi proses penyerapan panas yang banyak dan akan melepaskan air sehingga dapat menunda dan memperlambat dalam penyalaan api. Air yang dilepaskan pada reaksi tersebut digunakan untuk mengencerkan gas yang mudah untuk terbakar (L.A.Hollingbery & T.R.Hull, 2010).

3.2 Hasil dan Pembahasan Uji Tarik

Foto spesimen uji tarik sesuai standar ASTM D-638, seperti Gambar 10 berikut ini :



Gambar 10. Spesimen uji Tarik

Contoh bentuk spesimen setelah dilakukan uji ketahanan api dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini:



Gambar 11. Spesimen setelah uji Tarik

Hasil pengujian tarik pada material GFRP setelah penambahan 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50% magnesium hidroksida ditunjukkan pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4: Hasil rata-rata pengujian tarik

Variasi Mg(OH) ₂	Kekuatan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
0%	84,64	10,34	8,3
30%	73,81	10,73	7,07
35%	70,86	11,92	5,96
40%	67,70	12,46	5,49
45%	62,21	13,87	4,5
50%	54,56	9,39	6

Hasil dari analisis statistik menggunakan metode *one way* ANOVA terhadap data hasil rata-rata pengujian ketahanan api yang terdapat pada Tabel 4 dapat ditunjukkan pada Tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5: Hasil *one way* Anova pengujian kekuatan tarik

	Kekuatan Tarik	Regangan	Modulus Elastisitas
F Hitung	22,776	2,4147	6,0123
P value	9,685 E-06	0,0979	0,0052
F Tabel	3,106	3,106	3,106
Kriteria	Tolak H ₀	Terima H ₀	Tolak H ₀

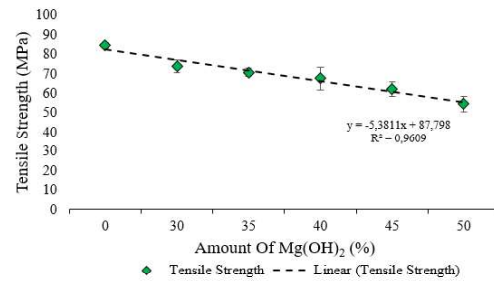
Keterangan:

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

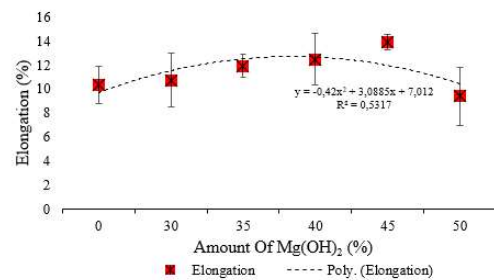
Tolak H₀ (terdapat pengaruh), Jika F hitung > F tabel atau p value < alpha (0,05)

Berdasarkan hasil uji statistik pada Tabel 5 diketahui bahwa penambahan serbuk Mg(OH)₂ pada spesimen GFRP memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas, sedangkan regangan material GFRP tidak mengalami pengaruh. Dapat dilihat dari data Tabel 4 bahwa semakin tinggi persentase penambahan serbuk Mg(OH)₂ pada resin menyebabkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas material GFRP semakin menurun. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 14 untuk melihat grafik kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Sedangkan dengan bertambahnya persentase serbuk Mg(OH)₂ tidak memberikan pengaruh pada nilai regangan dari

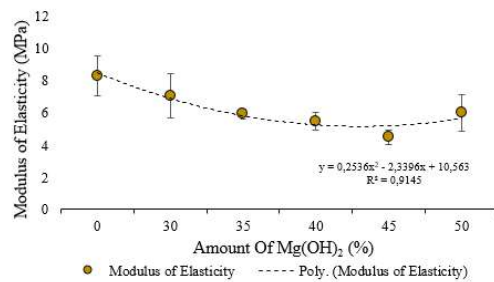
material GFRP. Grafik dari regangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Grafik kekuatan Tarik



Gambar 13. Grafik regangan



Gambar 14. Grafik modulus elastisitas

Pada saat proses pencampuran serbuk Mg(OH)₂ kedalam resin dengan menggunakan mesin pengaduk (*mixer*) dapat menimbulkan banyak gelembung dalam matriks, sehingga pada saat proses pembuatan GFRP masih terdapat sisa udara yang terperangkap (*void*) meskipun sudah dilakukan penekanan dengan menggunakan roll besi. Dengan adanya *void* pada hasil cetak GFRP mengakibatkan kurang sempurnanya ikatan serat dan matriks, hal yang terjadi serat akan mudah lepas dari matriks.

Banyaknya serbuk Mg(OH)₂ yang ditambahkan pada resin akan menyebabkan berkurangnya kemampuan resin untuk mengisi daerah antar butir, sehingga daya ikat antara matrik dan serat menurun. Selain itu komposisi dari serat yang relatif sedikit akan menyebabkan matriks lebih dominan dalam menentukan kekuatan yang dimiliki dari material GFRP.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian (Devendra & Rangaswarny, 2013) bahwa dengan meningkatnya konsentrasi bahan aditif dapat mengurangi kekuatan ikatan *interface*. Dengan ikatan *interface* yang rendah akan menyebabkan komposit memiliki kecenderungan untuk patah

pada saat ditarik. Pada penelitian (Andhika, 2012) juga menyatakan bahwa dengan penambahan suatu partikel akan menyebabkan efek stress konsentrasi atau pembentukan antar muka yang lemah.

4. KESIMPULAN

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

1. Berdasarkan standar pengujian ketahanan api ORE B 106.2 penambahan $Mg(OH)_2$ pada resin dapat meningkatkan ketahanan api material GFRP. Penambahan 30% berat $Mg(OH)_2$ pada resin tidak tergolong tahan api atau kategori C, penambahan 35% dan 40% berat $Mg(OH)_2$ pada resin tergolong tahan api cukup baik atau kategori B, penambahan 45% dan 50% berat $Mg(OH)_2$ pada resin tergolong tahan api baik atau kategori A.
2. Penambahan 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50% berat $Mg(OH)_2$ pada resin dapat menurunkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas, artinya kekuatan dan kekakuan material GFRP mengalami pengaruh setelah penambahan $Mg(OH)_2$. Sedangkan regangan material GFRP tidak mengalami perubahan, artinya keuletan tidak dipengaruhi.
3. Penambahan 35% $Mg(OH)_2$ pada resin merupakan hasil yang efektif untuk dijadikan sebagai material GFRP tahan api, namun belum bisa digunakan sebagai bahan interior kereta api karena kekuatan tarik tidak memenuhi standar. Berdasarkan penelitian terdahulu nilai kekuatan tarik material interior kereta api adalah 87,33MPa, sedangkan dari penelitian ini 70,86 MPa.

5. PUSTAKA

- [1] American Standart Testing and Material. *Standart Test Method for Tensile Properties of Plastic, D638*. West Conshohocken, PA.
- [2] Anonim. http://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2019/PM_69_TAHUN_2019.pdf
- [3] Devendra, K., & Rangaswarny, T. (2013). Strength characterization of e-glass fiber reinforced epoxy composites with filler materials. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering 1*, 353-357.
- [4] Fathurrahman, F. (2017). Sintesis dan karakterisasi fire retardant composite non-halogen dengan resin epoksi dan kombinasi aditif $Al(OH)_3/Mg(OH)_2$.
- [5] Hao, T., Xiao-bai, Z., & Xiao-lu, L. (2013). Effect of Magnesium Hydroxide on the Flame Retardant Properties of Unsaturated Polyester Resin. *Procedia Engineering*, 341.
- [6] Kuntari, & Surasno. (2009). *Komposit Resin Epoxy dan Serat Gelas untuk Komponen Kereta*. Bandung: Balai Besar Bahan dan Barang Teknik.
- [7] L.A.Hollingbery, & T.R.Hull. (2010). The Fire Retardant Behaviour of Huntite and Hydromagnesite. *Polymer Degradation and stability*.
- [8] Petersen, M. R., An Chen, Roll, M., Jung, S., & Yossef, M. (2015). Mechanical properties of fire-retardant glass fiber-reinforced polymer materials with alumina tri-hydrate filler. *Composite Part B Engineering*, 109-121.
- [9] Rakotomalala M., Wagner S., & Doring M. (2010). Recent Developments in Halogen Free Flame Retardant For Epoxy Resins For Electrical Applications. *Journal of Material 3*, 4300-4327.
- [10] Siregar, A. H., Setyawan, A. B., & Marasabbessy, A. (2016). Komposit Fiber Reinforced Plastic Sebagai Material Bodi Kapal Berbasis Fiberglass Tahan Api. *BINA TEKNIKA Vol.12 No.2*, 261-266.
- [11] Surdia, T., & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik (4th Ed.)*. Jakarta: Pradnya Paramita.