

Studi Kekuatan Impact Laminasi Sistem Sisip (Sandwich) Fiberglass Dan Polyurethane Foam

Okvani Heys Saputro¹, Akhmad Basuki Widodo^{2*}

Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Surabaya, Indonesia
e-mail: ¹okvani.saputro@hangtuah.ac.id, ^{2*}akhmad.basuki@hangtuah.ac.id

Abstract

Fiberglass boats are one of the options that are often used as an alternative to wooden boats. However, leaks on fiberglass boats are very difficult to handle at sea, so laminate using a sandwich system on fiberglass material and Polyurethane Foam can be a solution to deal with leaks on fiberglass boats at sea, where Polyurethane Foam can be a solution to prevent the entry of water when the fiberglass material experiences leaks or cracks in fiberglass boats. In this study, tests will be carried out on the laminated system of fiberglass inserts and polyurethane foam with variations of three types of polyol and isocyanate mixture compositions to form polyurethane foam materials, namely 1:1, 1:1.5, 1:2 using the charpy type impact test method with reference to on ASTM D256 93a to determine the impact value, then an analysis of the average value of the test results was carried out and compared with the impact value of fiberglass sandwich composites reinforced with palm fiber and epoxy. From the results of the impact test, the average 1:1 variance is 0.033j/cm³, and the 1:1.5 variance is 0.038j/cm³, 1:2 variance is 0.034j/cm³. From the test results, it was found that the average value of the variance of 1:1.5 was able to exceed the value of fiber composites reinforced with fibers and epoxy which had the same thickness on the skin.

Keywords : fiberglass boat, Polyurethane Foam, laminate, Impact test.

Abstrak

Perahu fiberglass menjadi salah satu pilihan yang sering dijadikan alternatif perahu kayu. Namun, kebocoran pada kapal fiberglass sangat sulit ditangani di laut, sehingga laminasi menggunakan sistem sandwich pada material

fiberglass dan Polyurethane Foam dapat menjadi solusi untuk mengatasi kebocoran pada kapal fiberglass di laut, dimana Polyurethane Foam dapat menjadi solusi untuk mencegah masuknya air ketika material fiberglass mengalami kebocoran atau keretakan pada perahu fiberglass. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian pada sistem laminasi sisipan fiberglass dan busa poliuretan dengan variasi tiga jenis komposisi campuran polioliol dan isosianat untuk membentuk bahan polyurethane foam yaitu 1:1, 1:1.5, 1:2 menggunakan metode charpy type impact test dengan mengacu pada ASTM D256 93a untuk mengetahui nilai impak, Kemudian dilakukan analisis nilai rata-rata hasil pengujian dan dibandingkan dengan nilai tumbukan komposit sandwich fiberglass yang diperkuat dengan serat aren dan epoksi. Dari hasil uji impak rata-rata varians 1:1 adalah 0,033j/cm³, dan varians 1:1,5 adalah 0,038j/cm³, varians 1:2 adalah 0,034j/cm³. Dari hasil pengujian ditemukan bahwa nilai rata-rata varians 1:1,5 mampu melebihi nilai komposit serat yang diperkuat dengan serat dan epoksi yang memiliki ketebalan yang sama pada kulit.

Kata Kunci: Perahu fiberglass, Busa Poliuretan, laminasi, Uji benturan

PENDAHULUAN

Kapal fiberglass saat ini menjadi salah satu pilihan yang sering di gunakan khususnya para nelayan guna mencari alternatif pengganti kapal kayu, karena kayu dan fiberglass memiliki berat yang berbeda yaitu 20 Kg/m² untuk kayu dan 14 Kg/m²

untuk fiberglass. Faktor berat ini sangat mempengaruhi displacement dan stabilitas kapal, dan tentunya Semakin ringan berat kosntruksi maka akan meningkatkan kapasitas angkutannya, (Ardhy, Putra and Islahuddin,

2019). Menurut Rengga Eka Putra Atmananegara, 2016, dalam pembangunan kapal konstruksi Fibre Reinforced Plastic (FRP), terdapat elemen material utama atau material dasar. Material tersebut diantaranya yaitu reinforcement, resin, dan Core material. dan juga besarnya biaya produksi kapal berbahan kayu lebih mahal jika dibandingkan dengan kapal berbahan *fiberglass*, (Pardi and Afriantoni, 2017). Hal itu dikarenakan kapal *fiberglass* memiliki beberapa kelebihan dalam aspek teknis dan ekonomis yakni konstruksinya ringan, biaya produksi murah, proses produksi cepat, galangan kapal tidak memerlukan investasi yang besar, teknologinya sederhana, dan tidak memerlukan kualifikasi tenaga kerja yang tinggi, (Amir Marasabessy, 2016). serta perawatan kapal fiber lebih mudah daripada kapal kayu (Yulianto et al., 2013). tetapi ada beberapa hal yang perlu dikaji atau diteliti berkaitan dengan keselamatan di laut karena kapal *fiberglass* sangat susah ditanggulangi bila terjadi kebocoran di laut, (Boesono, Saraswati and Setiyanto, 2018). untuk menutupi permasalahan kebocoran pada kapal *fiberglass* diperlukan penelitian untuk menemukan solusi guna menutupi permasalahan kebocoran pada kapal berbahan *fiberglass* dan salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai solusi dari permasalahan diatas adalah Penggunaan *Polyurethane Foam*.

Polyurethane Foam adalah campuran antara dua jenis bahan kimia isocyanate dan *Polyol* yang dicampurkan dan memiliki reaksi membentuk busa. menurut (Sardjono et al., 2008) *Polyurethane* merupakan bahan polimer yang mempunyai ciri khas adanya gugus fungsi urethane (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi urethane dihasilkan dari reaksi antara senyawa yang mengandung gugus hidroksil (-OH) yang biasa disebut *Polyol* dengan senyawa yang mengandung gugus isocyanate (-NCO-). *Polyurethane* juga terdapat dalam berbagai bentuk, seperti busa lentur, busa keras, pelapis anti bahan kimia, bahan perekat penyekat, serta elastomers, Busa keras.

Saat ini telah ada beberapa penelitian mengenai penggunaan *Polyurethane Foam* pada bangunan kapal *fiberglass*. Salah satunya penelitian yang dilakukan oleh (Boesono, Saraswati and Setiyanto, 2018) tentang Penggunaan *Polyurethane Foam* pada Kapal *fiberglass* sebagai Daya Apung Cadangan.

dimana hasil dari penelitian tersebut menjelaskan bahwa uji apung dari 15gr *Polyurethane Foam* mampu menahan beban *fiberglass* sebesar 1 kg. Sehingga ketika *Polyurethane Foam* diaplikasikan pada kapal *fiberglass* maka ketika terjadi kebocoran kapal tidak tenggelam karna memiliki daya apung cadangan. Selain itu ada penelitian lain oleh (Sardjono et al., 2008) yang juga menjelaskan tentang keunggulan dari *Polyurethane Foam* adalah bentuknya yang cair mudah diaplikasikan, dimana cairan akan mengering dalam hitungan detik dan bereaksi dengan membentuk *Foam* dan bekerja sebagai penahan kebocoran, dan peredam suara. *Polyurethane Foam* juga memiliki berat jenis yang tidak membebani bangunan sebab berat jenis yang dimiliki hanya 36 g/m³.

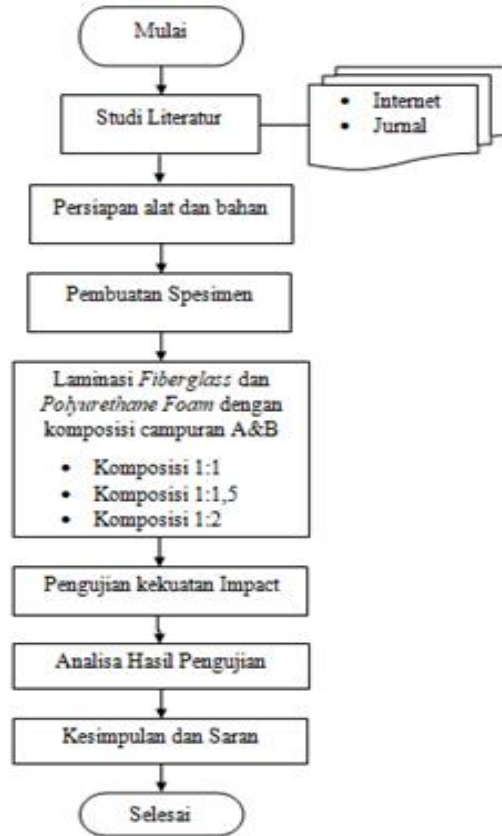
Melihat kecocokan material *Polyurethane Foam* untuk digunakan pada kapal *fiberglass* penulis memiliki inovasi melakukan menggabungkan dua jenis material yaitu laminasi menggunakan sistem sisip (*sandwich*) pada material *fiberglass* sebagai *face* pada bagian atas dan bawah dan menggunakan *Polyurethane Foam* sebagai inti bagian tengah (*core*). Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut (Schwartz, 1984). dimana *Polyurethane Foam* selain bisa menjadi daya apung cadangan juga bisa menjadi solusi untuk menahan masuknya air ketika material *fiberglass* mengalami kebocoran maupun keretakan pada kapal *fiberglass*.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian *impact* dengan acuan standar *American Standar Of Test Material (ASTM D256 93a)* yang diasumsikan pada ketahanan material terhadap benturan gelombang dan benturan lainnya ketika di aplikasikan untuk pembuatan kulit lambung kapal *fiberglass* dengan variasi komposisi campuran *Polyol* dan isocyanate untuk membentuk material *Polyurethane Foam* yang cocok digunakan sebagai inti pada laminasi pada kulit kapal *fiberglass*, dengan harapan *Polyurethane Foam* ini dapat digunakan sebagai alternative permasalahan kebocoran pada kapal *fiberglass* yaitu untuk mengurangi terjadinya kebocoran dan mengantisipasi masuknya air ke bagian lambung pada kapal *fiberglass* ketika terjadi

kebocoran dan kemudian hasil pengujian akan dibandingkan dengan komposit *Sandwich fiberglass* berpenguat serat palm dan epoxy.

METODE PENELITIAN

Metode Pembuatan spesimen penelitian ini dilakukan dengan metode *Hand lay-up*, Pada tahap pembuatan spesimen ini, dilakukan pembuatan laminasi sistem sisip (*sandwich*) *Fiberglass* dengan inti *Polyurethane Foam* Sebanyak tiga laminasi dengan komposisi campuran (A) *Polyol* dan (B) *Isocynate* yang berbeda-beda pada *core* yang hasilnya akan dilakukan uji kekuatan *Impact*.suai dengan Standart yang kemudian akan dilakukan pengujian *Impact* Dengan menggunakan standar pengujian *American Standar Of Test Material* (ASTM D256 93a), dan kemudian dilakukan analisa hasil pengujian menggunakan Metode *One Way Anova* yang akan digunakan pada penelitian ini, Dimana, metode ini merupakan prosedur yang digunakan untuk menganalisa data yang hanya memiliki satu variable independen yang pada dasarnya dilakukan untuk membandingkan nilai rata-rata yang terdapat pada variable terikat di semua kelompok yang dibandingkan. metode pada penelitian ini memiliki sifat percobaan (*experiment*). Adapun diagram alir pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan menjelaskan tentang hasil penelitian dan pengolahan data sekaligus menganalisisnya yang diperoleh dari data hasil uji *Impact* material laminasi *fiberglass* dan *polyurethane foam*. Dalam penelitian ini material dibagi menjadi 3 varian yaitu:

- 1 Varian pertama material dengan campuran *Polyol* dan *Isocyanete* yaitu 1:1
- 2 Varian kedua material dengan campuran *Polyol* dan *Isocyanete* yaitu 1:1,5
- 3 Varian ketiga material dengan campuran *Polyol* dan *Isocyanete* yaitu 1:2.

Kondisi Fisik

Kondisi fisik pada material laminasi *fiberglass* dan *Polyurethane Foam* dari masing-masing kelompok varian akan diuraikan berdasarkan pengamatan secara visual dari kondisi fisik material komposit yang berbentuk spesimen uji dengan dimensi sesuai dengan standart ASTM D256. adapun uraian kondisi fisik pada material tersebut ialah sebagai berikut :



Gambar 2. Spesimen 1:1

1. Material tersebut merupakan varian 1 dengan campuran 1:1 antara *Polyol* dan *Isocyanete*.
2. Proses pembentukan *Foam* lebih cepat mengembang dibandingkan dengan variasi lainnya
3. Material komposit varian 1 memiliki tekstur yang relative keras dengan pori-pori pada *Foam* lebih kecil dibandingkan dengan varian lain.
4. Material komposit *PU Foam* pada varian 1 memiliki sedikit elastisitas.



Gambar 3. Spesimen 1:1,5

1. Material tersebut merupakan varian 2 dengan campuran 1:1,5 antara *Polyol* dan *Isocyanete*.
2. Proses pembentukan *Foam* lebih lambat dari variasi 1:1
3. Material komposit varian 1:1,5 memiliki tekstur yang relative keras dengan pori-pori yg membentuk *Foam* sedikit lebih lebar dibandingkan dengan varian 1:1
4. Material komposit varian 1:1,5 tidak memiliki elastisitas
5. Material komposit varian 1:1,5 memiliki kekerasan lebih baik dari variasi 1:1.



Gambar 4 Spesimen 1:2

1. Material tersebut merupakan varian 3 dengan campuran 1:2 antara *Polyol* dan *Isocyanete*.
2. Proses pembentukan *Foam* lebih lama dari variasi lain.
3. Material komposit varian 1:2 memiliki tekstur yang relative keras dengan diameter sell atau pori-pori yg membentuk *Foam* lebih besar dibandingkan dengan varian lain.
4. Material komposit varian 1:2 tidak memiliki elastisitas.
5. Material komposit varian 1:2 memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi dari variasi lainnya dan getas.

Dari ketiga variasi secara visual terlihat volume *cell* berubah, hal ini disebabkan semakin tingginya campuran variasi *Isocyanete* maka volume *cell* semakin kecil, hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan (Rahmawati, 2006) dimana pada penelitiannya menggunakan semakin tingginya rasio *Polyol* yang digunakan maka rasio ekspansi volume dan diameter sel semakin menurun hal itu dikarenakan semakin banyak *ethylene glycol* yang ditambahkan maka ikatan hidrogen semakin banyak sehingga menyebabkan terhambatnya *Foam* untuk berekspansi.

Hasil Uji Impact

Uji *Impact* dilakukan di laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Hasil uji *Impact* diambil dari tiga varian dengan 3 spesimen setiap varian dengan menggunakan acuan *standart American Standar Of Test Material (ASTM D 256)*.

Tabel 1. Nilai Uji Impact Spesimen 1:1

<i>Code Spesimen</i>	<i>Impact Toughness</i> (J/mm^2)	<i>Absorbed Energy</i> (<i>Joule</i>)
Spesimen 1	0.032	7.2
Spesimen 2	0.038	8.5
Spesimen 3	0.031	7
Nilai Rata- rata	0.034	7.6

Adapun nilai *Impact Toughness* setiap benda uji pada varian 1:1 dari spesimen 1 hingga spesimen 3 adalah 0,035 J/mm^2 , 0,033 J/mm^2 , 0,031 J/mm^2 . Untuk varian 1:1 mempunyai nilai rata-rata *Impact Toughness* 0,033 J/mm^2 , sedangkan untuk nilai rata-rata *Absorbed Energy* 6,43 *Joule*. *Impact Toughness* pada variasi 1:1 didapatkan nilai tertinggi yaitu 0,035/ mm^2 dan nilai terendahnya yaitu 0,031/ mm^2 . Sedangkan *Absorbed Energy* didapatkan nilai tertinggi yaitu 7.8 *Joule* dan nilai terendahnya yaitu 7 *Joule*.

Tabel 2. Nilai Uji Impact Spesimen 1:1,5

<i>Code Spesimen</i>	<i>Impact Toughness</i> (J/mm^2)	<i>Absorbed Energy</i> (<i>Joule</i>)
Spesimen 1	0.037	9.5
Spesimen 2	0.043	11
Spesimen 3	0.035	9
Nilai Rata- rata	0.038	9.8

Adapun nilai *Impact Toughness* setiap benda uji pada varian 1:1,5 dari spesimen 1 hingga spesimen 3 adalah 0,037 J/mm^2 , 0,043 J/mm^2 , 0,035 J/mm^2 . Untuk varian 1:1,5 mempunyai nilai rata-rata *Impact Toughness* 0,038 J/mm^2 , sedangkan untuk nilai rata-rata *Absorbed Energy* 9,8 *Joule*. *Impact Toughness* pada variasi 1:1,5 didapatkan nilai tertinggi yaitu 0,043/ mm^2 dan nilai terendahnya yaitu 0,035/ mm^2 . Sedangkan *Absorbed Energy* didapatkan nilai tertinggi yaitu 11 *Joule* dan nilai terendahnya yaitu 9 *Joule*.

Tabel 3. Nilai Uji Impact Spesimen 1:2

<i>Code Spesimen</i>	<i>Impact Toughness</i> (J/mm^2)	<i>Absorbed Energy</i> (<i>Joule</i>)
Spesimen 1	0.032	7.2
Spesimen 2	0.038	8.5
Spesimen 3	0.031	7
Nilai Rata- rata	0.034	7.6

Adapun nilai *Impact Toughness* setiap benda uji pada varian 1:2 dari spesimen 1 hingga spesimen 3 adalah 0,032 J/mm^2 , 0,038 J/mm^2 , 0,031 J/mm^2 . Untuk varian 1:2 mempunyai nilai rata-rata *Impact Toughness* 0,034 J/mm^2 , sedangkan untuk nilai rata-rata *Absorbed Energy* 7.6 *Joule*. *Impact Toughness* pada variasi 1:2 didapatkan nilai tertinggi yaitu 0,038/ mm^2 dan nilai terendahnya yaitu 0,031/ mm^2 . Sedangkan *Absorbed Energy* didapatkan nilai tertinggi yaitu 8.5 *Joule* dan nilai terendahnya yaitu 7 *Joule*.

Pada table-table diatas menunjukan nilai *Impact* setiap varian kelompok yang berbeda terlihat bahwa nilai pada varian 1:1 memiliki nilai *Impact Toughness* tertinggi pada spesimen 1 yaitu sebesar 0,035 J/mm^2 , sedangkan pada varian kedua 1:1,5 memiliki nilai *Impact* tertinggi pada spesimen 2 yaitu sebesar 0,053 J/mm^2 , dan pada varian ke tiga 1:2 memiliki nilai *Impact* tertinggi pada spesimen 5 yaitu sebesar 0,044 J/mm^2 , dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan nilai kuat impact laminasi *fiberglass* dan *polyurethane foam* belum mampu melebihi nilai *Impact Fiberglass* murni dengan ketebalan yang sama, penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Saduk et al., 2017) menyatakan kekuatan *impact* pada kapal *fiberglass* memiliki nilai rata-rata sebesar 0,833 j/mm^2

Kondisi Fisik Setelah Pengujian Impact

Dari hasil pengujian terlihat pada spesimen variasi 1:1 mengalami sedikit kerusakan dan kerusakan terlihat jelas pada spesimen 1:1,5, 1:2, kerusakan yang terjadi akibat pada bagian ikatan perekat antara *Core* dan *skin* yang kurang kuat sehingga pada saat diberikan beban *Impact* ikatan perekat terlepas.



Gambar 5. Kerusakan Spesimen

Rendahnya daya rekat pada komposisi *Polyol* dan *Isocyanate* variasi 1:1,5 dan 1:2 disebabkan semakin meningkatnya komposisi rasio mol *isocyanate* maka semakin tinggi kekerasan pada lapisan *Polyurethane* dan Semakin tingginya tingkat kekerasan maka komposit akan semakin getas, semakin rendahnya campuran *Polyol* juga mempengaruhi reaksi pertumbuhan volume pada gelembung yang semakin membesar sehingga hasilnya spesimen akan memiliki volume *buble* yang lebih tinggi. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Fajrin, 2016) dimana campuran *Isocyanate* (B) berperan sebagai *cell* yang terjadi dengan adanya gugus isosianat yang berlebih dan bereaksi dengan gugus uretan. *cell* sangat berpengaruh terhadap kekerasan dan kerapuhan polimer yang terbentuk. Semakin besar *cell* yang terjadi, struktur polimer semakin rapat, padat dan kuat, sehingga kuat tarik, kekerasan akan lebih besar tetapi elastisitasnya rendah.. *Isocyanate* mengandung beberapa gugus fungsi dan berperan sebagai peneras, pada pencampuran *Polyol* dan *Isocyanate* terdapat tahap *amine* yang diakhiri reaksi yang menghasilkan *urea* dan berperan sebagai *hard segment*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Laminasi *fiberglass* dan *Polyurethane Foam* memiliki nilai rata-rata *Impact Toughness* pada varian 1 sebesar 0,033 J/mm² dan nilai *Absorbed Energy* didapatkan nilai rata-rata 6,43 *Joule*, pada varian kedua memiliki nilai rata-rata yaitu sebesar 0,038 J/mm² dan nilai *Absorbed Energy* didapatkan nilai rata-rata 9,8 *Joule*, pada varian ketiga memiliki rata-rata yaitu sebesar 0,034 J/mm² dan nilai *Absorbed Energy* didapatkan nilai rata-rata 7,4. Dapat disimpulkan bahwa variasi kedua dengan campuran 1:1,5 memiliki nilai *Impact* tertinggi. Campuran *Isocyanate* (B) yang terlalu banyak dapat menurunkan nilai

impaknya. Hal tersebut dikarenakan reaksi yang terjadi ketika membentuk *Foam bubble* memiliki volume lebih besar karna sedikitnya campuran *Polyol*, Serat yang memiliki nilai kerapatan yang rendah menyebabkan daya rekat pada *face* kecil dan menyebabkan nilai kekuatan impaknya rendah dikarenakan beban tidak bisa diterima merata oleh serat karena banyaknya *void*. Campuran *Isocyanate* (B) yang banyak menghasilkan spesimen yang lebih keras sehingga daya rekat antara skin dan *Core* menjadi lebih rendah akibat getas dan berkurangnya elastisitas. Terjadinya perbandingan Nilai *Impact* matrial yang kecil disebabkan rendahnya ketebalan pada skin dan rendahnya sifat mekanis pada *Core Polyurethane Foam*.

Dalam pembuatan material laminasi perlu perlakuan khusus agar setiap campuran bisa merekat dengan baik dengan meminimalisir adanya *void* yang bisa mempengaruhi nilai kekuatan, Perlu melakukan pengujian *Impact* kembali pada sisi samping spesimen dengan 3 variasi setiap spesimen sesuai standart pengujian. Dapat menggunakan campuran lain yang bisa digunakan pada *Polyurethane Foam* untuk menambah nilai kekuatan. Untuk penelitian selanjutnya perlu memperhatikan komposisi campuran *Polyurethane Foam* yang digunakan sebagai *Core* agar memiliki kemampuan menahan beban tinggi namun berat jenis yang rendah serta penambahan ketebalan dari skin yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir Marasabessy, S. S. (2016) 'Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Yogyakarta, 26 November 2016 ISSN: 1979 – 911X eISSN : 2541 – 528X', (November), pp. 151–158.
- Yulianto, E. S. et al. (2013) 'Desain Perahu *Fiberglass* Bantuan LPPM IPB di Desa Cikahuripan , Kecamatan Cisolok , Sukabumi (*Fiberglass Boat Design LPPM IPB Donation in Cikahuripan Village* , CisolokDistrict , Sukabumi) Oleh ', 21(1), pp. 31–50.
- Ardhy, S., Putra, M. E. E. and Islahuddin, I. I. (2019) 'Pembuatan Kapal Nelayan *Fiberglass* Kota Padang Dengan Metode *Hand Lay Up*', Orang Teknik Journal, 2(1). doi: 10.31869/rtj.v2i1.1103.

- Boesono, H., Saraswati, M. and Setiyanto, I. (2018) 'Analisis Penggunaan *Foam Polyurethane* Pada Kapal Ikan 5 Gt Sebagai Daya Apung Cadangan Di Pt. Jelajah Samudera Internasional Kabupaten Jepara', *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 13(2), pp. 82–88.
- Fajrin, J., Pathurahman, P. and Pratama, L. G. (2016) 'Aplikasi Metode Analysis of Variance (Anova) Untuk Mengkaji Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Mortar', *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 12(1), p. 11. doi: 10.25077/jrs.12.1.11-24.2016.
- Pardi, P. and Afriantoni, A. (2017) 'Fabrikasi Kapal *Fiberglass* Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Kapal Kayu Untuk Meningkatkan Produktifitas Nelayan Di Perairan Bengkalis', *Kapal*, 14(2), p. 53. doi: 10.14710/kpl.v14i2.12670.
- Rahmawati (2006) '*Polyurethane Foam*', *Chemical and Engineering News*, 84(2), p. 48. doi: 10.1201/9780203505991.ch4.
- Schwartz, M. M. (1984) '*Material Komposit Handbook*'.
- Sardjono, K. et al. (no date) 'Analisis Karakteristik Material Gear Sprocket', pp. 17–27.
- Saduk, M. et al. (2017) 'Analisis Kekuatan Bending Dan Kekuatan Impact', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(3), pp. 121–127.

Okvani Heys Saputro, Akhmad Basuki Widodo

Submitted: **20/06/2022**; Revised: **25/10/2022**; Accepted: **31/10/2022**; Published: **31/10/2022**