

PENGARUH PERSENTASE KATALIS TERHADAP SIFAT MEKANIS KOMPOSIT BERMATRIK RESIN *POLYESTER*

Ade Sieva Perwara

Jurusan Teknik Pesawat Udara, Fakultas Teknik Penerbangan, Politeknik Penerbangan Surabaya
Jl. Jemur Andayani I/73, Surabaya 60236
Email: adesievaperwara@ymail.com

Abstrak

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material sehingga memberikan sifat yang lebih baik dari material penyusunnya. Komposit dibuat menggunakan Resin *Polyester* Yukalac C-108 B Justus sebanyak 90%, dengan campuran katalis MEPOXE sebanyak 1%, 2% dan 3%, serta serat yang digunakan adalah serat *fiberglass* dengan orientasi serat anyam sebanyak 10%, dan dikeringkan di *room temperature* selama 1x24 jam. Ketika spesimen telah benar-benar kering, spesimen akan di bentuk sesuai dengan standar yang telah ditentukan, untuk spesimen uji tarik dibuat sesuai standar ASTM D638 sedangkan spesimen uji impak sesuai standar ASTM A370. Pada pengujian tarik mendapatkan hasil bahwa kekuatan tarik rata-rata tertinggi dihasilkan dari persentase katalis 3%, dan regangan rata-rata tertinggi dari persentase katalis 2%. Pada pengujian impak, nilai ketahanan patah dan keuletan rata-rata tertinggi didapatkan dari spesimen dengan persentase katalis 3%, dan terendah 1%.

Kata Kunci: Komposit, uji tarik, uji impak, variasi persentase katalis

Abstract

Composite is a combination of two or more materials so as to provide better properties than the constituent materials. The composite was made using 90% Yukalac C-108 B Justus Polyester Resin, with a mixture of 1%, 2% and 3% MEPOXE catalyst, and the fiber used was fiberglass with 10% woven fiber orientation, and dried at room temperature for 1x24 hours. When the specimen is completely dry, the specimen will be shaped according to the specified standard, for the tensile test specimen it is made according to the ASTM D638 standard while the impact test specimen is according to the ASTM A370 standard. The tensile test showed that the highest average tensile strength was obtained from the percentage of 3% catalyst, and the highest average strain was from the percentage of 2% catalyst. In the impact test, the highest average fracture resistance and ductility values were obtained from specimens with a catalyst percentage of 3%, and the lowest was 1%.

Keywords: Composite, tensile test, impact test, variation of catalyst percentage

PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi dalam hal material mengundang perhatian khusus bagi beberapa negara. Komposit menjadi salah satu material yang sedang naik daun saat ini karena keunggulannya dibidang industri, khususnya kedirgantaraan. Sifat komposit yang kuat, dan ringan mampu menggantikan peran logam diberbagai macam keperluan industri

(Djunaedi, 2018). Komposit merupakan gabungan dari unsur matrik dan penguat (*reinforcement*) yang memiliki sifat lebih baik daripada unsur penyusunnya. Matrik merupakan unsur pengikat yang menjadi bahan utama dan menjadi fraksi terbesar dalam pembuatan komposit. Sedangkan *reinforcement* (penguat) berfungsi untuk memberikan penguatan pada komposit yang sedang dibentuk (Adjiantoro, 2014).

Umumnya bahan penguat (*reinforcement*) yang biasa digunakan dalam pembuatan komposit ialah serat *fiberglass*. Dan matrik sebagai bahan pengikat yang biasa digunakan ialah resin yang dicampur dengan katalis. Pemilihan digunakannya serat *fiberglass* dalam penelitian ini adalah karena sifatnya yang ringan, mudah untuk dibentuk, tahan terhadap korosi, mempunyai sifat sebagai pengantar isolator dan harganya yang terjangkau. Penambahan jumlah persentase katalis pada resin berfungsi agar komposit dapat menjadi cepat kering, namun jika terlalu banyak dapat menimbulkan panas berlebih pada saat proses pengerasan. Oleh sebab itu, penelitian ini akan membahas tentang “Pengaruh Persentase Katalis Terhadap Sifat Mekanis Komposit Bermatrik Resin *Polyester*”. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai maksimal komposit bermatrik resin *polyester* pada nilai kekuatan tarik dan impak dengan proses pembuatan komposit menggunakan campuran katalis sebanyak 1%, 2% dan 3%, serta untuk mengetahui sifat pengaruh persentase katalis pada pembuatan komposit terhadap uji tarik dan uji impak.

METODE

Perhitungan komposisi komposit dibuat dengan 10% serat *fiberglass*, 90% resin *polyester* dan 1% katalis dari total resin. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan volume total cetakan sebagai berikut:

- a. Volume Cetakan (V_c) = Volume Komposit Total (V_{komp})

$$\begin{aligned} V_{komp} &= p \times l \times t \\ &= 22 \times 17 \times 0,4 \\ &= 149,6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- b. Volume Serat (V_s)

$$V_s = 10\% \times V_{komp}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{10}{100} \times 149,6 \text{ cm}^3 \\ &= 14,96 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- c. Massa serat *fiberglass* (M_s)

$$\text{Massa Jenis Serat } E\text{-Glass } (\rho) = \frac{m}{v},$$

$$\text{dengan Masa Jenis Serat } E\text{-Glass } (\rho) = 2,54 \text{ gr/cm}^3 \text{ (Calliser, 2007)}$$

Maka, massa serat yang digunakan

$$\begin{aligned} M_s &= \rho \times V_s \\ &= 2,54 \times 14,96 \text{ cm}^3 \\ &= 37,99 \text{ gr} \end{aligned}$$

- d. Volume matrik (V_m)

$$\begin{aligned} V_m &= 90\% \times V_{komp} \\ &= \frac{90}{100} \times 149,6 \text{ cm}^3 \\ &= 134,64 \text{ cm}^3 = 134,64 \text{ ml} \end{aligned}$$

- e. Volume katalis (V_k)

- Presentase katalis 1%

$$\begin{aligned} V_k &= 1\% \times V_m \\ &= \frac{1}{100} \times 134,64 \text{ cm}^3 \\ &= 1,3 \text{ cm}^3 = 1,3 \text{ ml} \end{aligned}$$

- Presentase katalis 2%

$$\begin{aligned} V_k &= 2\% \times V_m \\ &= \frac{2}{100} \times 134,64 \text{ cm}^3 \\ &= 2,6 \text{ cm}^3 = 2,6 \text{ ml} \end{aligned}$$

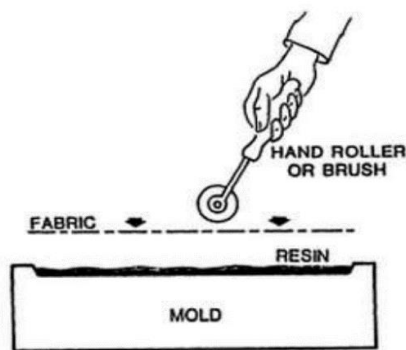
- Presentase katalis 3%

$$\begin{aligned} V_k &= 3\% \times V_m \\ &= \frac{3}{100} \times 134,64 \text{ cm}^3 \\ &= 4 \text{ cm}^3 = 4 \text{ ml} \end{aligned}$$

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya Resin *Polyester* Yukalac C-108 B Justus, katalis MEPOXE,

serat *fiberglass* dengan orientasi serat anyam, dan *release agent* yang digunakan sebagai bahan pengoles cetakan agar spesimen dapat dikeluarkan dengan mudah dari cetakan setelah kering. Adapun alat yang diperlukan untuk pembuatan benda uji ini adalah cetakan kaca dengan ukuran 22 cm × 17 cm × 0,4 cm, timbangan digital untuk menimbang resin dan serat yang akan digunakan, gelas ukur, *vernier caliper*, gunting, sarung tangan, dan suntikan.

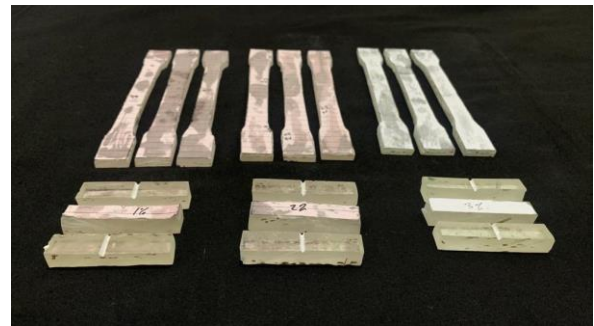
Metode yang digunakan untuk proses pembuatan spesimen ialah metode *hand lay-up*, dan dikeringkan menggunakan *room temperature* selama 1x24 jam. Metode *hand lay-up* merupakan cara sederhana yang dapat digunakan dalam proses pembuatan komposit dan termasuk dalam metode terbuka proses fabrikasi komposit, dapat dilihat pada Gambar 2. Adapun beberapa keunggulan digunakannya metode ini ialah karena prosesnya yang mudah, dapat digunakan pada material yang besar, serta volumenya yang rendah.



Gambar 1. Metode *Hand Lay-up*

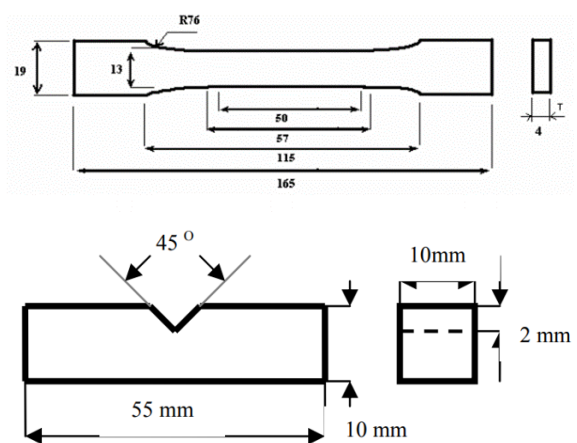
Pada penelitian ini, digunakan variasi pada persentase katalis sebanyak 1%, 2% dan 3% agar dapat membandingkan nilai kekuatan spesimen dari tiap persentase katalis tersebut. Setiap kenaikan persentase katalis, dibuat 3 spesimen untuk mengantisipasi apabila terdapat cacat atau hasil pengujian yang kurang baik pada spesimen. Total spesimen yang dibuat adalah 9 spesimen untuk uji tarik, dan 9 spesimen untuk uji impak, dengan

rincian untuk uji tarik 3 spesimen dengan persentase katalis 1%, 3 spesimen dengan persentase katalis 2%, dan 3 spesimen dengan persentase katalis 3%, dan hal yang sama berlaku untuk uji impak, 3 spesimen dengan persentase katalis 1%, 3 spesimen dengan persentase katalis 2%, dan 3 spesimen dengan persentase katalis 3%.



Gambar 2. Spesimen uji tarik dan impak

Standar yang digunakan pada pengujian ini untuk uji tarik yaitu ASTM D638 dengan panjang 165 mm, ketebalan 4 mm, dan lebar 13 mm, dan untuk uji impak menggunakan ASTM A370 dengan panjang 55 mm, ketebalan 10 mm, lebar 10 mm, serta kedalaman takikan 2 mm dengan sudut 45°.

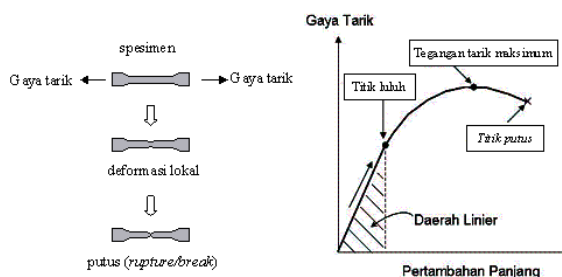


Gambar 3. ASTM D638 dan ASTM A370

Tahapan yang harus dilakukan dalam proses pembuatan spesimen yaitu hitung komposisi bahan komposit yang akan digunakan terlebih dahulu, siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan, gunting serat sesuai dengan

ukuran pada cetakan, oleskan cetakan kaca dengan *release agent (wax)*, bersihkan menggunakan majun hingga tidak ada *release agent* yang menggumpal pada cetakan, campurkan resin dengan katalis sesuai dengan persentase yang akan diujikan kedalam suatu wadah terpisah dan aduk hingga rata, tuang campuran resin dan katalis kedalam cetakan kaca hingga setengah bagian, letakkan serat diatasnya, tuang kembali sisa campuran resin dan katalis seluruhnya, ratakan dan tekan-tekan menggunakan kuas atau rol hingga tidak terjadi *void* atau tidak ada udara yang terperangkap pada komposit, dan keringkan dengan suhu ruang selama 1x24 jam. Setelah komposit telah sepenuhnya kering, keluarkan komposit dari cetakan, dan bentuk komposit sesuai dengan standar yang telah ditentukan menggunakan gerinda.

Spesimen yang telah terbentuk, selanjutnya akan diuji tarik dan uji impak. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimal material apabila ditarik secara perlahan sampai material itu mendekati patah. Beban pada mesin uji tarik ditambahkan sedikit demi sedikit sehingga menimbulkan perpanjangan yang sebanding, dan akan terus bertambah hingga titik *propotionality limit*, lihat pada gambar 4. Tujuan dilaksanakannya uji tarik ini ialah untuk mendapatkan ilustrasi mengenai sifat dan kondisi material serta bahan penyusunnya.



Gambar 4. Pertambahan Panjang Spesimen

Spesifikasi mesin uji tarik yang digunakan memiliki kapasitas beban 5 ton, dengan motor

listrik 1 phase, 1,5 Kw, dan 2 HP, seperti yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 5. Mesin Uji Tarik

Berdasarkan hasil uji tarik yang telah dilakukan terhadap semua spesimen, selanjutnya setiap spesimen dihitung nilai kekuatan tarik dan regangannya menggunakan perhitungan sebagai berikut:

Luas penampang matrik (A) = Lebar × Tebal

$$\text{Kekuatan tarik} = \frac{\text{beban}}{A}$$

Dari pertambahan panjang yang diperoleh, regangan dapat dicari sebagai berikut:

$$\text{Regangan} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Dengan: ΔL = pertambahan panjang

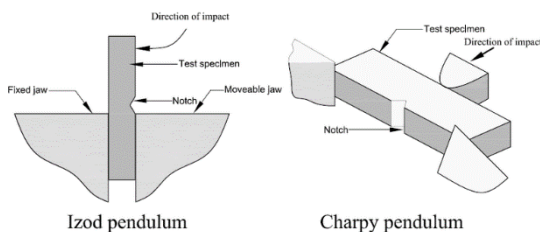
L_0 = panjang mula-mula vb

Dan untuk pengujian impak, adapun spesifikasi mesin uji impak memiliki panjang batang pendulum 800 mm, panjang pendulum 230 mm, berat pendulum 11 kg, sudut pendulum yang digunakan 45°, posisi awal pemukul 140°, serta dimensi alat uji 800 x 400 x 1000 mm, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Mesin Uji Impak

Ada 2 (dua) macam pengujian impak yang dapat dilakukan, yaitu dengan metode *charpy* dan *izod*. Perbedaan dari kedua metode ini hanyalah dari peletakkan spesimen ke tempat uji. *Charpy* akan diletakkan secara horizontal, sedangkan *izod* akan diletakkan secara vertikal, dapat dilihat pada Gambar 7. Pada penelitian ini, metode *charpy* adalah metode yang akan digunakan pada pengujian impak.



Gambar 7. Uji Impak *Charpy* dan *Izod*

Pada uji impak, ketangguhan pada kompositlah yang akan diujikan. Nilai ketangguhan ini berupa nilai energi yang diperlukan, sampai titik dimana material yang sedang diujikan mengalami kerusakan atau patah. Pengujian ini dilakukan juga untuk mengetahui apakah spesimen bersifat getas atau fisis.

Pada perhitungan pengujian impak untuk mencari energi dan harga impak dengan menggunakan rumus:

$$E = W \times R [\cos(\beta) - \cos(\alpha)]$$

Dengan: E = Energi (*joule*)
 W = *Weight of hammer*
 R = Panjang lengan bandul
 β = Sudut akhir bandul
 α = Sudut awal bandul

Harga impak dapat dihitung dengan rumus:

$$HI = E \times A0$$

Dengan:
 HI = Harga impak (*joule*)
 E = Energi untuk mematahkan material
 $A0$ = Luas penampang terkecil takik (cm^2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian tarik terhadap spesimen dengan persentase katalis 1%, 2%, dan 3% didapatkan hasil sebagai berikut:

No.	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	Beban P (kg)	σ_u (kg/mm ²)	L_0	ΔL	ϵ (%)
1	4,2	13	54,6	242	4,432	50	0,32	0,64
2	4,2	13	54,6	224	4,102	50	0,43	0,86
3	4,3	13	55,9	243	4,347	50	0,38	0,76
Rata-rata					4,293	Rata-rata		0,75

Tabel 1. Uji Tarik Persentase Katalis 1%

No.	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	Beban P (kg)	σ_u (kg/mm ²)	L_0	ΔL	ϵ (%)
1	4,2	13	54,6	251	4,597	50	0,45	0,90
2	4,3	12	51,6	250	4,844	50	0,47	0,94
3	4,2	13	54,6	244	4,468	50	0,47	0,94
Rata-rata					4,636	Rata-rata		0,92

Tabel 2. Uji Tarik Persentase Katalis 2%

No.	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	Beban P (kg)	σ_u (kg/mm ²)	L_0	ΔL	ϵ (%)
1	4,0	13	52	263	5,057	50	0,45	0,90
2	4,0	13	52	251	4,826	50	0,45	0,90
3	4,2	13	54,6	242	4,290	50	0,47	0,94
Rata-rata					4,724	Rata-rata		0,91

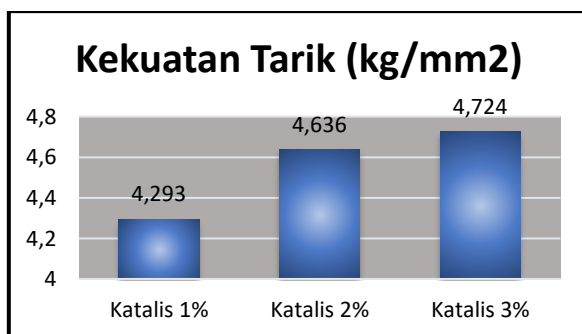
Tabel 3. Uji Tarik Persentase Katalis 3%

Sesuai hasil yang diperoleh pada pengujian tarik, penambahan katalis pada pengujian ini berpengaruh pada nilai kekuatan komposit tersebut. Hasil pengujian tarik rata-rata pada persentase katalis 1%, 2% dan 3% mendapatkan kesimpulan bahwa spesimen

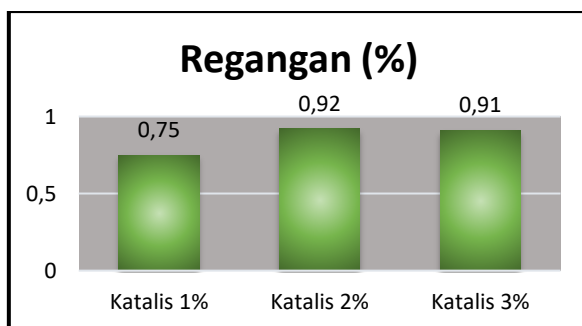
yang dibuat dengan persentase katalis 3% memiliki kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 4,724 kg/mm², dan kekuatan tarik terendah dihasilkan dari persentase katalis 1% sebesar 4,293 kg/mm². Sedangkan untuk regangan rata-rata tertinggi dihasilkan dari persentase katalis 2% sebesar 0,92%, dan regangan rata-rata terendah dihasilkan dari persentase katalis 1% sebesar 0,75%. Faktor yang mempengaruhi nilai kekuatan pada komposit ialah adanya void yang terperangkap didalam komposit, distribusi serat yang kurang merata, serta pembentukan spesimen yang kurang presisi.

No.	Persentase Katalis	Kekuatan Tarik (σ) rata-rata (kg/mm ²)	Regangan (ϵ) rata-rata (%)
1	1%	4,293	0,75
2	2%	4,636	0,92
3	3%	4,724	0,91

Tabel 4. Hasil Rata-rata Pengujian Tarik



Gambar 8. Grafik Kekuatan Tarik Rata-rata



Gambar 9. Grafik Regangan Rata-rata

Pada hasil pengujian dampak dengan persentase katalis 1%, 2% dan 3% didapatkan hasil sebagai berikut:

No	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	α	β	Tenaga Patah (Joule)	Harga Keuletan (Joule/mm ²)
1	8,4	10,05	84,42	140	138	5,329	0,0631
2	8,3	9,9	82,17	140	137	5,349	0,0651
3	8,4	9,9	83,16	140	129	5,532	0,0665
Rata-rata						5,403	0,0649

Tabel 5. Uji Impak Persentase Katalis 1%

No	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	α	β	Tenaga Patah (Joule)	Harga Keuletan (Joule/mm ²)
1	8,4	9,9	83,16	140	127	5,634	0,0677
2	8,4	10,1	84,84	140	121	5,878	0,0693
3	8,4	10,3	86,52	140	126	5,644	0,0652
Rata-rata						5,718	0,0674

Tabel 6. Uji Impak Persentase Katalis 2%

No	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	α	β	Tenaga Patah (Joule)	Harga Keuletan (Joule/mm ²)
1	8,2	10,2	83,64	140	111	6,654	0,0796
2	8,4	10,2	85,68	140	117	6,349	0,0741
3	8,5	10,3	87,55	140	108	6,868	0,0784
Rata-rata						6,623	0,0773

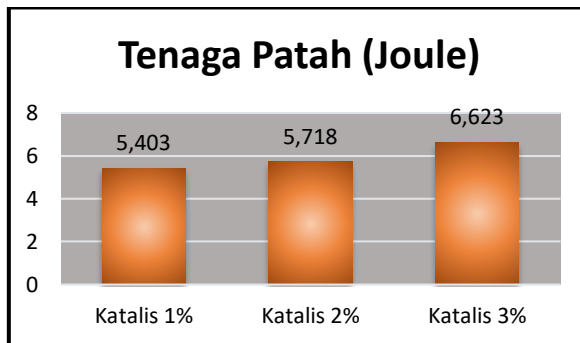
Tabel 7. Uji Impak Persentase Katalis 3%

Pada uji dampak, penambahan katalis berpengaruh pada nilai tenaga patah rata-rata dan keuletan rata-rata. Nilai kekuatan pada komposit sebanding dengan persentase katalisnya. Namun komposit yang dibuat dengan persentase katalis yang terlalu banyak akan membuat nilai kekuatan komposit tersebut menurun, dikarenakan sifat komposit akan menjadi sangat getas. Sedangkan komposit yang dibuat dengan persentase katalis yang terlalu sedikit juga akan membuat komposit tersebut menjadi sangat lunak dan elastis. Hasil pengujian dampak dengan tenaga patah rata-rata tertinggi dihasilkan dari persentase katalis 3% yaitu sebesar 6,623 Joule, dan terendah dari persentase katalis 1% yaitu sebesar 5,403 Joule, sama halnya dengan keuletan rata-rata, hasil tertinggi ditunjukkan dari persentase katalis 3% yaitu sebesar 0,0773 Joule/mm², dan keuletan rata-rata

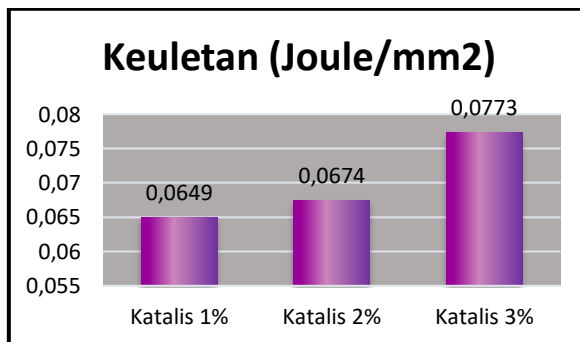
terendah dihasilkan dari persentase katalis 1% yaitu sebesar 0,0649 Joule/mm².

No.	Persentase Katalis	Tenaga Patah Rata-rata (Joule)	Keuletan Rata-rata (Joule/mm ²)
1	1%	5,403	0,0649
2	2%	5,718	0,0674
3	3%	6,623	0,0773

Tabel 8. Hasil Rata-rata Pengujian Impak



Gambar 10. Grafik Tenaga Patah Rata-rata



Gambar 11. Grafik Keuletan Rata-rata

PENUTUP

Kesimpulan

Pengaruh persentase katalis pada pengujian tarik dan impak ini terletak pada nilai kekuatannya. Besaran jumlah persentase katalis yang digunakan pada pembuatan komposit menjadikan komposit semakin kuat pada sifat mekanisnya, karena fungsi dari katalis itu sendiri yang dapat membantu resin agar cepat kering dan keras. Namun jika terlalu banyak, akan membuat komposit menjadi melemah karena komposit akan menjadi sangat getas.

Nilai maksimal dari pengujian tarik yang telah dilakukan yaitu sebesar 4,724 kg/mm² yang dihasilkan dari persentasi katalis 3% dan untuk pengujian impak memiliki nilai maksimal tenaga patah sebesar 6,623 Joule yang dihasilkan dari persentasi katalis 3%. Sedangkan nilai terendah untuk pengujian tarik dihasilkan dari persentase katalis 1% yaitu sebesar 4,293 kg/mm². Dan nilai terendah untuk pengujian impak dihasilkan dari persentase katalis 1% juga yaitu sebesar 5,403 Joule.

Saran

Adapun beberapa saran yang dapat penulis sampaikan demi kesempurnaan pengujian komposit selanjutnya seperti bahan yang akan digunakan harus ditakar terlebih dahulu sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan, sahakan resin dan katalis tercampur rata pada saat proses pengadukan, gunakan serat dalam beberapa lapis, dan pastikan serat dalam kondisi bersih serta bebas dari unsur minyak, air, ataupun partikel pengotor lainnya, pada saat memasukkan serat kedalam cetakan, serat perlu ditekan-tekan agar tidak terjadi void pada komposit, pembentukkan spesimen harus dilakukan secara teliti agar semua spesimen berukuran sama rata, dan hati-hati saat melakukan pemasangan spesimen ke alat pengujian agar spesimen tetap dalam keadaan baik dan mendapatkan hasil maksimal sesuai dengan keadaan spesimen yang telah dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Federal Aviation Administration. (2018). Aviation Maintenance Technician Handbook-Airframe. Volume 1.
- [2] Hestiawan, Hendri, Jasmari, & Kusmono. (2017). Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Sifat Mekanis Resin Poliester Tak Jenuh. Teknosia, Vol. III, No.01.

- [3] Hidayat, Taufik, Alamsyah & Arif Nur Iskandar. (2020). Pengaruh Perbandingan Resin dan Katalis Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass-Polyester Untuk Pembuatan Bahan Kapal. *Zona Laut*. Vol. 1 No. 2, Eissn:2721-5717
- [4] Jamasri, Kusmono & Hendri Hestiawan. (2017). Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Sifat Mekanis Resin Poliester Tak Jenuh. *Teknosia*, Vol. III No.1
- [5] Kristianto, Laurensius. (2018). Pengaruh Persentase Serat Fiberglass Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Matriks Polimer Polyester
- [6] Lakidang, C.D., Kristomus B., & Dominggus G.H.A. (2014). Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Buah Lontar. *Jurnal Teknik Mesin Undana*, Vol. 01, No.01.
- [7] Prabowo, Lukas. (2007). Pengaruh Perlakuan Kimia Pada Serat Kelapa (Coil Fiber) Terhadap Sifat Mekanis Komposit Serat Dengan Matrik Polyester
- [8] Rahbini, Heryanto Budiono Soemardi, dkk. (2018). Pengaruh Prosentase Campuran Resin dan Katalis Dengan Serat Pelepah Pisang Kepok Terhadap Kekuatan Tarik. Vol.4, ISSN:2476-9983
- [9] Roberto, Emanuel. (2017). Pengaruh Temperatu Curing Pada Sifat Komposit Berpenguat Serat Buah Pinang Dengan Orientasi Serat Acak.
- [10] Rosyadi, A.A., (2016). Pengaruh Kadar Partikel Aditif Montmorillonite Terhadap Sifat Mekanik Siklus Termal Komposit Polyester Serat Kayu Kopi. *Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, Vol. 01, No.01, ISSN:2528-6382.
- [11] Salindeho, R.D., Soukotta, J., & Poeng, R. (2013). Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material. *Jurnal Teknik Mesin Unsrat*, Vol. 2, No.2.
- [12] Structure Training Manual. (2010). XSA2: Basic Composite Repair For Technicians ATA 51 Chapter 1
- [13] Structure Training Manual. (2010). XSA2: Basic Composite Repair For Technicians ATA 51 Chapter 2
- [14] Wardani, Dhien Kusuma. (2015). Pengaruh Rasio Resin dan Hardener Terhadap *Sifat Mekanik Matrik Bahan Komposit Serat Rambut Manusia*.