

Pengaruh Penambahan Filler Al_2O_3 dan TiO_2 pada Resin Polyester terhadap Sifat Fisik dan Mekanik

Ahmad Hasnul Fajri Arsyah¹, Ilhamdi^{2*}, Ismet Hari Mulyadi³, Jon Affi⁴

¹²³⁴Program Studi Magister Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
ilhamdi@eng.unand.ac.id

Abstract

Polyester composites have been developed to have high strength and light density, but the fracture occurs due to very little plastic deformation or low strain values, pre-failure detection is difficult in these composites due to the rapid propagation of cracks in the composite system. To increase the strength and delay failure, the addition of filler in the form of Al_2O_3 and TiO_2 particles is carried out. The use of particles as fillers in polymer composite materials is increasingly being developed. In this study, Al_2O_3 and TiO_2 particles (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% vol.) were added in polyester matrix BQIN EX 157. by casting method; the liquid homogeneous mixture was carefully poured into a simple mould to be air dried. The composites were cut to serve as specimens for density test, mechanical tests such as tensile and compressive tests. The results showed a density of 1.23 g/cm^3 , a maximum strength of 47 MPa for 2% additional Al_2O_3 filler, (tensile, decreasing~11%) and 120 MPa (compressive) for a maximum of 2% additional Al_2O_3 (compressive, decreasing~3%) with TiO_2 filler. The decrease in strength was caused by uneven particle dispersion, voids and agglomeration that occurred during the casting process.

Keywords: Particulates, composites, polyester resin, Al_2O_3 , TiO_2

Abstrak

Komposit polyester telah dikembangkan sehingga memiliki kekuatan tinggi dan massa jenis yang ringan, namun patahan yang terjadi karena deformasi plastis yang sangat sedikit atau nilai regangan yang rendah, deteksi pra-kegagalan sulit dilakukan pada komposit tersebut dikarenakan retakan yang menjalar secara cepat pada sistem komposit tersebut. Untuk meningkatkan kekuatan dan menunda kegagalan, dilakukan penambahan filler berupa partikel Al_2O_3 dan TiO_2 . Penggunaan partikel sebagai filler pada material komposit polimer semakin banyak dikembangkan. Dalam penelitian ini, partikel Al_2O_3 dan TiO_2 (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% vol.) ditambahkan dalam matriks polyester BQIN EX 157.dengan metode pengecoran; campuran homogen cair dengan hati-hati dituangkan ke dalam cetakan sederhana untuk dikeringkan di udara. Komposit dipotong untuk dijadikan spesimen uji densitas, uji mekanik seperti uji tarik dan tekan. Hasilnya menunjukkan densitas $1,23 \text{ g/cm}^3$, kekuatan maksimum 47 MPa untuk 2% tambahan filler Al_2O_3 , (tarik, menurun~11%) dan 120 MPa (tekan) maksimal tambahan 2% Al_2O_3 (tekan, menurun~3%) dengan filler TiO_2 . Penurunan kekuatan disebabkan oleh dispersi partikel yang tidak merata, void dan aglomerasi yang terjadi saat proses pengecoran.

Kata kunci: Partikulat, komposit, resin polyester, Al_2O_3 , TiO_2

1. Pendahuluan

Inovasi kendaraan berbahan bakar bensin dipengaruhi oleh dua isu utama yaitu pemanasan global dan deposit sumber daya alam, bahkan baru-baru ini diperketat dengan faktor ekonomi yaitu kenaikan harga bahan bakar. Isu pemanasan global salah satunya terkait dengan emisi gas buang CO_2 yang berasal dari kendaraan berbahan bakar bensin [1]. Isu pengurangan besar-besaran dan pembatasan pengisian jenis bahan bakar menjadi faktor utama dalam langkah strategis terkait sumber daya alam berbasis minyak bumi,

yang menjadi populer sejak krisis tahun 1970-an [2]. Isu-isu ini secara tidak langsung menuntut penggunaan minyak bumi yang lebih efisien untuk kendaraan. Para insinyur telah mengembangkan dan melakukan penelitian terkait kendaraan yang lebih ringan untuk memenuhi permintaan ini. Idealnya, pengurangan bobot kendaraan harus sedikit mengorbankan aspek mekanis dari material kendaraan. Tampaknya logam ringan atau material komposit dapat memenuhi tujuan ini. Hal ini disebabkan oleh komposit memiliki

sifat fisik dan mekanik yang lebih fleksibel dibandingkan logam [3], dan dapat dikategorikan sebagai material hijau [4].

Logam yang memiliki sifat yang keras dan kuat, sangat diminati, tapi memiliki massa yang berat serta rentan terhadap korosi, komposit menjadi bahan yang sangat menunjang untuk bahan keperluan struktural seperti pada kendaraan otomotif dan aero [5]. Di negara kepulauan yang memiliki wilayah sempit, pulau kecil, kawasan hutan dan perairan, kendaraan udara ringan lebih disukai daripada pesawat biasa. Salah satu kendaraan aero ringan adalah kendaraan pesawat tanpa awak, UAV. UAV ini berguna untuk tujuan pengawasan hutan, pertanian dan mitigasi bencana [6]. Oleh karena itu, UAV yang mampu menempuh jarak tempuh yang lebih panjang dan waktu tempuh lebih lama dengan cakupan area yang lebih luas lebih disukai.

Istilah ringan dalam komposit berasal dari bahan matriks berbasis polimer yang secara alami merupakan bahan ringan. Polimer komposit dibuat dari serbuk partikel (sebagai pengisi) dan matriks polimer. Umumnya komposit memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan komposit konvensional. Keunggulan ini tergantung pada struktur, komposisi dan sifat filler dan matriks[7].

Dalam penelitian ini, serbuk Al_2O_3 dan TiO_2 persentase volume Al_2O_3 dan TiO_2 (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% vol.) dimasukkan ke dalam resin polyester. Pada penelitian selanjutnya serbuk ini akan digunakan sebagai bahan pengisi pada komposit, sehingga kandungannya tidak boleh dalam jumlah yang banyak yaitu kurang dari 10%. Al_2O_3 dan TiO_2 banyak digunakan karena sifat mekanik, optik, dielektrik, anti korosi dan biokompatibilitasnya [8, 9]. Epoxy memiliki stabilitas dimensi yang baik, modulus tinggi, ketahanan termal dan kimia yang lebih baik dari polimer lain seperti polyester atau vinil ester, tetapi bahannya relatif rapuh dan mahal [8]. Menarik untuk mengetahui karakteristik komposit ini, sebelum dikembangkan sebagai bahan terapan pada kendaraan pesawat amfibi.

2. Metode penelitian

2.1 Material dan spesimen

Komposit terbuat dari polyester dengan tambahan serbuk Al_2O_3 dan TiO_2 . Fraksi volume Al_2O_3 dan TiO_2 adalah (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% vol.) Untuk mempercepat proses curing resin, sejumlah volume katalis ditambahkan, dengan perbandingan 1:100, kemudian diaduk secara manual sampai katalis tercampur merata dengan resin. Kemudian serbuk dituangkan ke

dalam resin, dan diaduk sampai campuran homogen (selama sekitar 30 menit).

Di sisi lain, permukaan bawah cetakan diolesi wax untuk mencegah resin menempel. Campuran resin dan katalis di atas kemudian dituangkan ke dalam cetakan di atas permukaan yang datar. Panel komposit yang kering sempurna setelah 1x24 jam, dikeluarkan dari cetakan, lalu dihaluskan dengan kertas amplas untuk menghilangkan cacat permukaan dan ketebalan disisakan pada 7 mm.

Panel komposit kemudian dipotong untuk membuat spesimen (1) uji densitas dengan ukuran penampang $10 \times 10 \text{ mm}^2$, (2) uji tarik sesuai standar ASTM D638 dengan panjang total 165 mm dan lebar 19 mm, dan (3) uji tekan sesuai standar ASTM D695-96 dengan panjang total 25,4 mm dan lebar 12,7 mm.

Seperti penjelasan di atas penambahan filler diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan material. Penelitian ini menyelidiki tentang pengaruh penambahan filler Al_2O_3 dan TiO_2 terhadap komposit polyester.

2.2 Eksperimental

Pengukuran densitas dilakukan dengan densitometer. Spesimen ditimbang sebelum dan selama perendaman dalam air yang diletakkan di atas pelat densitometer. Prosedur dan perhitungan nilai densitas komposit dilakukan sesuai dengan pekerjaan Ilhamdi et al [4].

Pengujian sifat mekanik dari komposit polyester dengan tambahan *filler* dilakukan di Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas. dengan UTM Carson Tech dengan kecepatan crosshead 2 mm/menit dengan temperatur kamar. Pengujian tekan dilakukan dengan UTM dengan kondisi yang sama dengan pengujian tarik. Pengaturan untuk proses pengujian tarik ditunjukkan pada Gambar 1. Semua pengujian dilakukan sebanyak 3 kali.



Gambar 1. Proses uji tarik komposit

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Densitas

Densitometer menunjukkan nilai densitas polyester ada pada 1,22 g/cm³, dan penambahan serbuk menyebabkan komposit menjadi lebih berat. Nilai densitas komposit polyester bervariasi dari 1,23-1,28 g/cm³ oleh penambahan Al₂O₃, dan 1,23-1,29 [9] lebih kecil dari massa jenis logam ringan semisal aluminium alloy (2,7 g/cm³) atau magnesium alloy (1,7 g/cm³) [4]. Detail peningkatan nilai densitas tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil rata-rata pengujian densitas komposit polyester dengan filler serbuk Al₂O₃ dan TiO₂

Penambahan Partikel Al ₂ O ₃	ρ Komposit Rata-rata Al ₂ O ₃ (g/cm ³)	Penambahan Partikel TiO ₂	ρ Komposit Rata-rata TiO ₂ (g/cm ³)
0%	1.2217	0%	1.2217
2%	1.2321	2%	1.2347
4%	1.2417	4%	1.2546
6%	1.2546	6%	1.2527
8%	1.2675	8%	1.2753
10%	1.2782	10%	1.2916

Tabel 2. Hasil Analisis Of Varian (ANOVA)

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI		T-Value	Adjusted P-Value
			Lower	Upper		
2 - 0	0,01304	0,00760	(-0,00265; 0,02874)		1,72	0,099
4 - 0	0,02657	0,00760	(0,01088; 0,04226)		3,49	0,002
6 - 0	0,03101	0,00760	(0,01532; 0,04670)		4,08	0,000
8 - 0	0,03971	0,00760	(0,02401; 0,05540)		5,22	0,000
10 - 0	0,06989	0,00760	(0,05420; 0,08559)		9,19	0,000
4 - 2	0,01353	0,00760	(-0,00216; 0,02922)		1,78	0,088
6 - 2	0,01797	0,00760	(0,00228; 0,03366)		2,36	0,027
8 - 2	0,02667	0,00760	(0,01097; 0,04236)		3,51	0,002
10 - 2	0,05685	0,00760	(0,04116; 0,07254)		7,48	0,000
6 - 4	0,00444	0,00760	(-0,01125; 0,02013)		0,58	0,565
8 - 4	0,01314	0,00760	(-0,00256; 0,02883)		1,73	0,097
10 - 4	0,04332	0,00760	(0,02763; 0,05902)		5,70	0,000
8 - 6	0,00870	0,00760	(-0,00700; 0,02439)		1,14	0,264
10 - 6	0,03888	0,00760	(0,02319; 0,05458)		5,11	0,000
10 - 8	0,03019	0,00760	(0,01449; 0,04588)		3,97	0,001

Simultaneous confidence level = 66,17%

Berdasarkan hasil uji ANOVA pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai *simultaneous confidence* (SC) level 66,17%. Untuk bisa diterima secara mutlak nilai SC harus sekurang-kurangnya 95%. Deviasi nilai SC ini nampak jelas disebabkan nilai P-value yang besar pada saat perbandingan persentase (1) 6% dengan 4 % sebesar 0,565; (2) 8% dengan 6% sebesar 0,264. Secara statistik nilai P-value

maksimal 0,02 untuk bisa dikatakan memiliki pengaruh signifikan pada variasi komposisi komposit.

Secara makro, hal ini kemungkinan disebabkan oleh kecacatan yang ada pada material karena proses produksi, atau karena dispersi partikel tidak merata atau kalibrasi alat uji yang kurang.

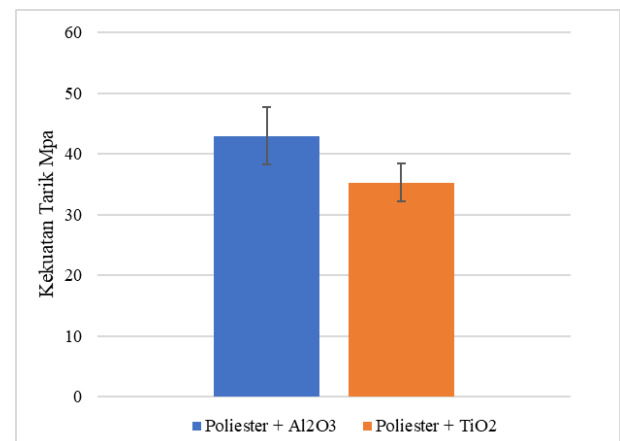
3.2 Pengujian Tarik

Kekuatan Tarik komposit mengalami peningkatan dengan penambahan 2% filler Al₂O₃, tetapi mengalami penurunan kekuatan komposit pada penambahan lanjutan, namun hanya sampai penambahan 6% yang mengalami penurunan kekuatan menjadi 31,38 MPa dari 2% penambahan filler yaitu 47,32 MPa dengan modulus elastisitas hanya mencapai di angka 100 MPa. Tetapi penurunan perpanjangan saat putus berbanding dengan penurunan kekuatan. Nilai kekuatan tarik ini lebih tinggi dari penelitian yang dilakukan oleh Sabilil Falah, yaitu sebesar 46,08 MPa [9].

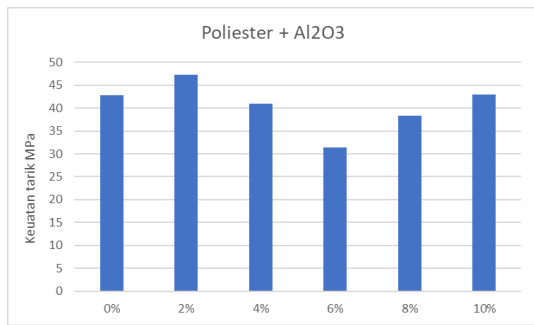
Tabel 3. Hasil uji tarik polyester Al₂O₃

Penambahan Partikel	Rata-rata Hasil Uji Tarik (MPa)	
	Polyester + Al ₂ O ₃	Polyester + TiO ₂
0 %	42.80 ± 6.15	42.80 ± 6.15
2 %	47.31 ± 4.24	36.37 ± 3.99
4 %	40.95 ± 2.38	36.54 ± 2.48
6 %	31.38 ± 3.84	39.35 ± 1.89
8 %	38.33 ± 4.26	30.98 ± 2.52
10 %	42.98 ± 7.31	35.29 ± 1.66

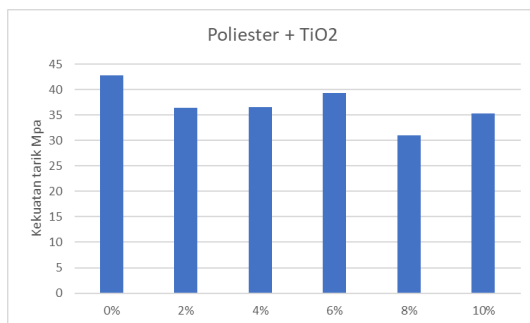
Kekuatan tarik komposit menurun dengan penambahan persentase filler melebihi 2%



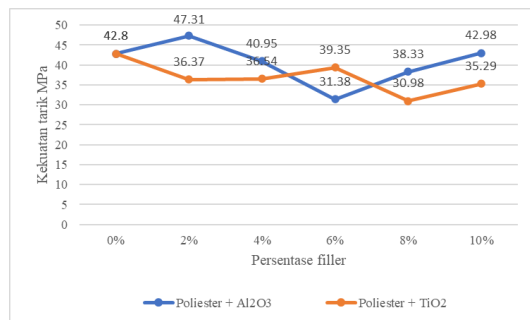
Gambar 2. Kekuatan tarik



Gambar 3. Regangan tarik komposit dengan 3 kali pengulangan pengujian untuk tambahan filler Al₂O₃

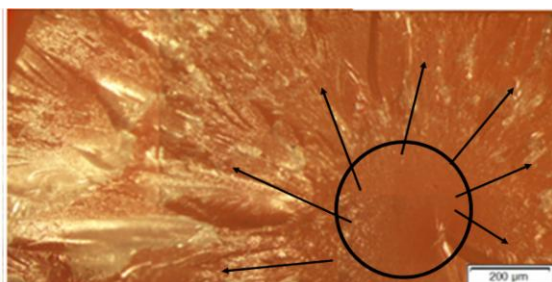


Gambar 4. Regangan tarik komposit dengan 3 kali pengulangan pengujian untuk tambahan filler TiO₂

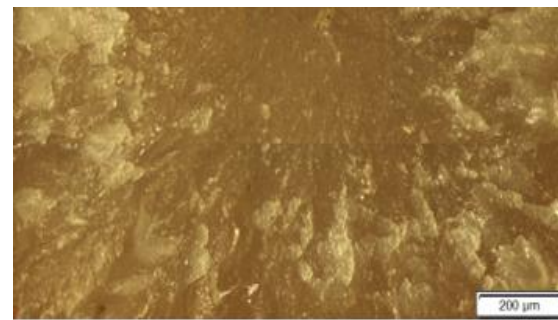


Gambar 5. Perbandingan antara kekuatan tarik polyester dengan penambahan filler Al₂O₃ dan TiO₂

Kekuatan tekan komposit juga mengalami kenaikan pada persentase 2%, namun mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase filler yang ditambahkan pada komposit. Gambar 5 secara rata-rata kekuatan tekan antara komposit berpenguat filler Al₂O₃ nilai dengan penambahan 2% filler dari 118,71 MPa menjadi 120,01 MPa. Nilai ini semakin menurun dengan kenaikan persentase filler, dikarenakan menurut Maryanti [10]. Adanya dispersi dan aglomerasi dari partikel yang ditambahkan.



(a)



(b)

Gambar 6. Hasil pemotretan dengan mikroskop stereo dengan pembesaran 200 μm (a) Hasil pemotretan permukaan patahan tanpa tambahan filler, (b) dengan 2% tambahan filler.

Gambar 6.a menunjukkan bahwa patahan permukaan uji tarik polyester yang dimulai dari daerah pada lingkaran bulat, dan merambat melalui arah panah yang telah dibuat, dan berkembang ke arah radial menjauhi titik awal dengan pola Chevron. Perkembangan patahan dengan permukaan relatif mulus jejak garis radial menandakan retak menjalar semakin cepat. Ini menandakan bahwa komposit patah dengan nilai deformasi plastis yang relatif kecil.

Penambahan serbuk Al₂O₃ tidak mengubah pola patahan secara menyeluruh pada Gambar 6.b, namun memberikan permukaan patahan yang lebih kasar karena penjalaran retak melewati serbuk. Secara makro ini akan menahan retak lebih lambat sehingga deformasi plastis lebih tinggi, yang dikonfirmasi oleh nilai regangan patah sebesar 11 %.

3.3 Pengujian Tekan

Tabel 4. Kekuatan tekan polyester Al₂O₃

Jenis Komposit	Beban Maksimum (kN)	Kekuatan Tekan (MPa)
Polyester Al ₂ O ₃ 0%	9,21 ± 0,15	118,71 ± 1,65
Polyester Al ₂ O ₃ 2%	9,57 ± 0,36	120,01 ± 4,87
Polyester Al ₂ O ₃ 4%	8,63 ± 0,28	103,40 ± 6,23
Polyester Al ₂ O ₃ 6%	8,03 ± 0,87	97,29 ± 9,63
Polyester Al ₂ O ₃ 8%	7,58 ± 0,87	91,72 ± 7,94
Polyester Al ₂ O ₃ 10%	8,32 ± 0,43	98,60 ± 4,52

Tabel 4 melihat bahwa hasil rata-rata pengujian tekan dimana dengan penambahan 2% menaikkan kekuatan dari 118,71 MPa menjadi 120,01 MPa dan penambahan lanjutan mengalami penurunan kekuatan, disebabkan oleh dispersi partikel yang tidak merata sehingga terjadi konsentrasi tegangan yang menyebabkan terjadinya awal kegagalan. Nilai ini lebih besar dari penelitian Alfin Nur, menggunakan matrik epoksi dengan tambahan 4% serbuk TiO₂ dengan selisih kekuatan tarik maksimal 27,83 MPa dari penelitian oleh [11].

Tabel 5 Kekuatan tekan polyester TiO₂

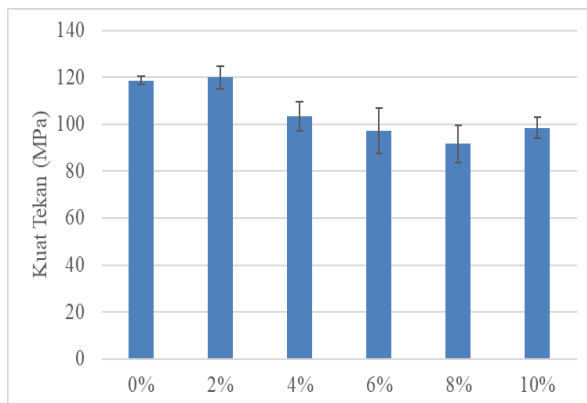
Jenis Komposit	Beban Maksimum (kN)	Kekuatan Tekan (MPa)
Polyester TiO ₂ 0%	9,21 ± 0,15	118,71 ± 1,65
Polyester TiO ₂ 2%	8,95 ± 0,45	115,48 ± 2,42
Polyester TiO ₂ 4%	7,55 ± 0,21	108,31 ± 17,19
Polyester TiO ₂ 6%	7,22 ± 0,19	105,39 ± 10,67
Polyester TiO ₂ 8%	7,22 ± 0,33	97,17 ± 4,24
Polyester TiO ₂ 10%	8,69 ± 0,50	111,10 ± 8,75

Tabel 5 melihat hasil rata-rata pengujian tekan dari komposit polyester dengan tambahan TiO₂, dengan penambahan filler ini kekuatan tarik mengalami penurunan seraya dengan penambahan filler yang diberikan. Ini disebabkan oleh sifat dari filler TiO₂ yang cenderung ulet. Pada gambar 7 dapat dilihat bentuk patahan dari spesimen.

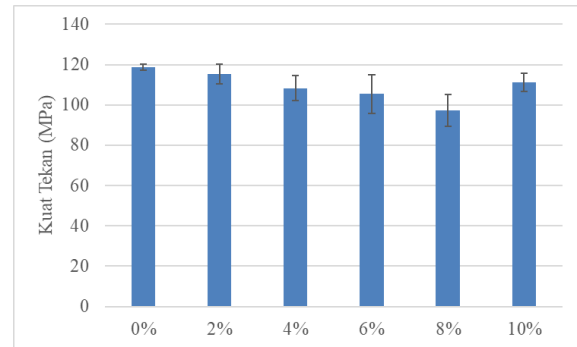


Gambar 7. Patahan spesimen dengan tambahan partikel TiO₂

Gambar 7 memperlihatkan bahwa bentuk patahan spesimen polyester dengan tambahan filler TiO₂ terlihat permukaan patah yang tidak rata menandakan bahwa ikatan antarmuka antara resin dengan TiO₂ terjadi secara homogen.

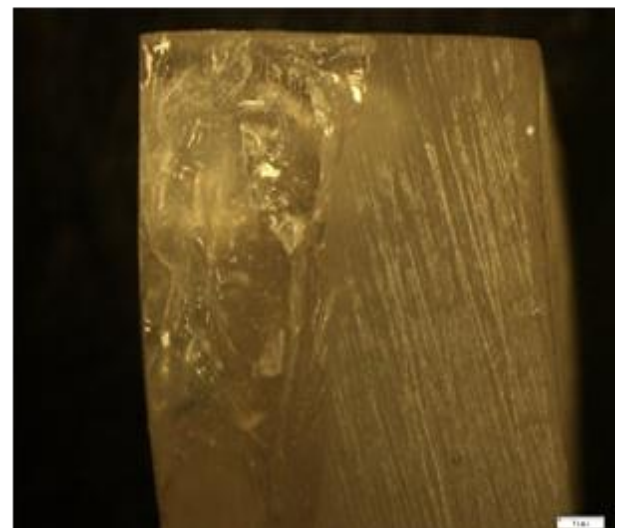


Gambar 8. Grafik pengujian tekan komposit dengan tambahan filler Al₂O₃

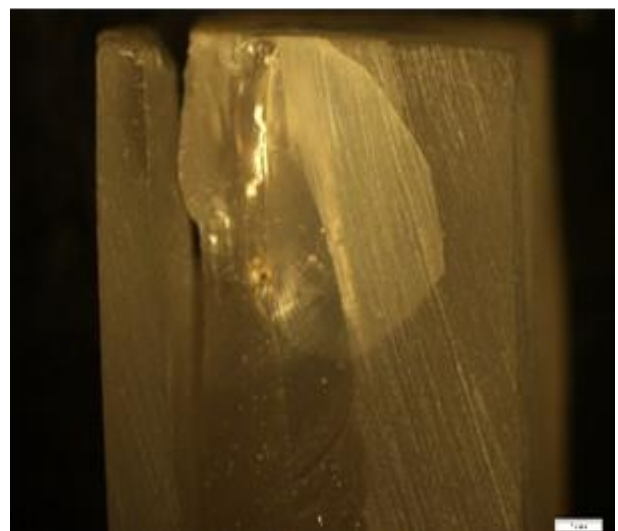


Gambar 9. Grafik pengujian tekan komposit dengan tambahan filler TiO₂

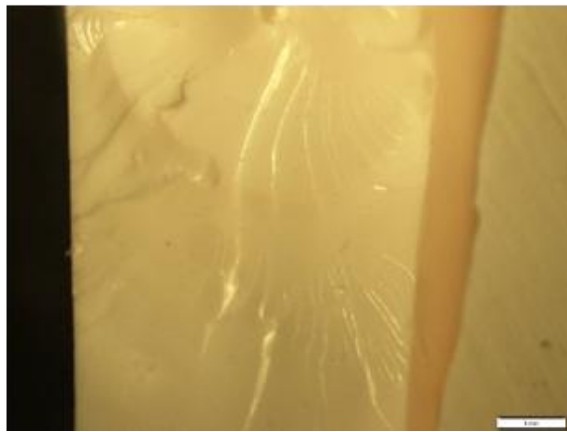
Dari grafik di atas sesuai dengan penjelasan Tabel 6, bahwa hasil rata-rata dari pengujian tekan komposit polyester dengan tambahan filler Al₂O₃ dan TiO₂ bentuk patahan dari penambahan kedua filler dilihat pada Gambar 10.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 10. Bentuk kegagalan spesimen dengan tambahan filler Al_2O_3 dan TiO_2 (a) dan (b) dilihat dari dua sisi dengan tambahan filler Al_2O_3 , (c) dan (d) dilihat dari dua sisi yang berbeda.

4. Kesimpulan

Penambahan TiO_2 dan Al_2O_3 menghasilkan kekuatan yang berbeda-beda dengan penambahan Al_2O_3 kekuatan mekanik uji Tarik tertinggi dihasilkan pada vol 2% dengan kekuatan 47,32 MPa dan kekuatan tekan pada vol 2% dengan nilai 120,01 MPa dan penambahan TiO_2 didapatkan kekuatan terbesar pada vol 6% dengan nilai 39,35 MPa dan kekuatan tekan pada vol 4% dengan nilai 106,66 MPa. Di masa depan, porositas dapat dikurangi dengan teknik produksi yang lebih baik. Ketangguhan patahan dengan modulus tarik sangat sangat efektif untuk mendapatkan ketangguhan dari material komposit[12]. Menurut penelitian sebelumnya oleh Sajjadi, dengan peningkatan persen berat dan penurunan ukuran partikel menyebabkan peningkatan luas permukaan dalam kontak dengan udara. Hal ini dapat menimbulkan cacat porositas[13]

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Dosen pembimbing Dr. Eng. Ilhamdi. Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Ismet Hari Mulyadi, Ph.D dan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah memberi izin pemakaian fasilitas untuk kelancaran proses pembuatan karya tulis ini.

REFERENSI

- [1] C. O. Ijagbemi, B. I. Oladapo, H. M. Campbell, and C. O. Ijagbemi, Design and simulation of fatigue analysis for a Vehicle Suspension System (VSS) and its effect on global warming, *Procedia Eng.*, vol. 159, no. June, pp. 124–132, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.135.
- [2] J. D. G. R. William D. Callister, *Materials Science and Engineering an Introduction*. 2018.
- [3] K. S. Kumar, H. Van Swygenhoven, and S. Suresh, Mechanical behavior of nanocrystalline metals and alloys, *Acta Mater.*, vol. 51, no. 19, pp. 5743–5774, 2003, doi: 10.1016/j.actamat.2003.08.032.
- [4] Ilhamdi, D. Hidayat, and D. E. Sepriyani, Hole Introduction Effect on the E-Glass WR 185 Fibre Reinforcement Polyester, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1062, no. 1, pp. 6–13, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1062/1/012027.
- [5] D. Yulianto, Mechanical properties of unsaturated polyester resin, *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 2113–2117, 2010.
- [6] N. Lailatul Muzayadah *et al.*, Effect of Immersion into Seawater and Freshwater to Mechanical Properties of Vinyl ester Carbon Composite, *J. Teknol. Dirgant.*, vol. 20, no. 1, pp. 9–24, 2022.
- [7] Ilhamdi, A. Nugroho, D. Hidayat, and R. A. Nur, Physical and Mechanicals Characteristic of the Nano Particulate TiO_2 -Epoxy Composite, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1062, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1062/1/012028.
- [8] V. Kumar *et al.*, Can productivity and profitability be enhanced in intensively managed cereal systems while reducing the environmental footprint of production? Assessing sustainable intensification options in the breadbasket of India, *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 252, no. October 2017, pp. 132–147, 2018, doi: 10.1016/j.agee.2017.10.006.
- [9] S. Falah, *Pengaruh Penambahan Partikel Al_2O_3 Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Pada Komposit Matriks Polyester*. Indonesia, 2023.
- [10] Maryanti, Understanding the effect of nanoparticles TiO_2 , Al_2O_3 and SiO_2 on damage mechanisms of a polymer composite, *Ceram. Int.*, vol. 49, no. 3, pp. 4160–4167, 2023, doi: 10.1016/j.ceramint.2022.09.298.
- [11] R. A. Nur, *Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Pada Komposit Matriks Epoxy Dan Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) Metode Open Molding Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Material*. 2121.
- [12] D. Title and R. History, “Document Title Document Title, *Memory*, no. April, pp. 1–4, 2004.

- [13] L. Mohammed, M. N. M. Ansari, G. Pua, M. Jawaid,
and M. S. Islam, A Review on Natural Fiber
Reinforced Polymer Composite and Its Applications,

International Journal of Polymer Science, vol. 2015.
Hindawi Limited, 2015. doi: 10.1155/2015/243947.