Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Print) xxxx-xxxx | ISSN (Online) xxxx-xxxx |

Artikel Penelitian

Kaji Eksperimental Karakteristik Fatik Komposit Polyester Partikulat Al_2O_3

Devi Chandra[a], Muhammad Miraatil Hayat[a], Iskandar R[a]

[a] *Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Kampus Limau Manis Universitas Andalas, Padang, 25163*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 15 Juni 2023
Revisi Akhir: 29 Juni 2023
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2023

KATA KUNCI

Fatik

Komposit

Polyester

Al_2O_3

KORESPONDENSI

E-mail:

devichandra@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

This research investigates the fatigue characteristics of Al_2O_3 particulate polyester composite, including fatigue limit, fatigue life, and fracture surface morphology in the test specimens. Fatigue test specimens with variations of Al_2O_3 filler of 4%, 6%, 8%, and 10% were tested using a rotary bending fatigue testing machine under varying loads to determine the number of cycles until failure. The research results indicate that the polyester composite with 4% and 6% Al_2O_3 filler had a fatigue limit of 1.9 MPa and could withstand 1.000.000 cycles. Meanwhile, the polyester composite with 8% and 10% Al_2O_3 filler had a fatigue limit of 0.9 Mpa and also endured 1.000.000 cycles. The average fatigue life was 28.957 cycles, 22.725 cycles, 98.572 cycles and 66.352.5 cycles for 4% mass fraction, 6% mass fraction, 8% mass fraction, and 10% mass fraction respectively. The fracture surface morphology of the test specimens varied significantly, mainly due to multiple origins, where multiple initiation points of fracture simultaneously occurred, leading to surface erosion or tearing before the specimen ultimately failed or fractured.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan material komposit saat ini sudah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang industri dan manufaktur seperti dalam industri otomotif, penerbangan, perkapalan, konstruksi, dan lain sebagainya. Selain itu, material ini juga terus dikembangkan sehingga dapat menghasilkan manfaat yang lebih baik dan efisiensi yang lebih tinggi dari produk yang telah ada [1].

Salah satu permasalahan yang terjadi pada industri dan manufaktur adalah terjadinya kegagalan pada komponen mesin yang sedang beroperasi. Penyebab kegagalan pada suatu komponen tersebut bisa diakibatkan oleh beban berulang atau beban fatik. Beban berulang atau beban fatik ini bisa menyebabkan komponen patah pada waktu tertentu dan terjadi secara tiba-tiba karena umumnya tidak dapat terdeteksi [2]. Tentunya hal ini dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan karena proses produksi atau manufaktur yang dilakukan menjadi terhenti.

Komposit dapat mengganti material logam karena komposit memiliki sifat mekanik yang baik, tahan korosi, ramah lingkungan dan juga cukup ringan karena memiliki densitas yang lebih rendah dari material logam [3]. Komposit merupakan gabungan dua material atau lebih untuk menghasilkan material baru yang lebih baik dari unsur asalnya. Hasil gabungan material ini memiliki sifat berbeda dari unsur asalnya [1].

https://doi.org/10.25077/xxxxx
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Salah satu material pengisi komposit adalah Al_2O_3 yang memiliki kekerasan serta *stiffnes* yang tinggi, getas, dan tahan terhadap keausan, sehingga banyak digunakan pada rekayasa modern [4]. Material ini sering dipakai pada struktur pesawat karena sangat keras dan kuat serta juga dipakai sebagai bahan isolator listrik karena memiliki konduktivitas listrik yang sangat rendah [5]. Penambahan Al_2O_3 pada komposit dapat meningkatkan *modulus young* dan menurunkan elastisitas serta kekuatan 7able pada komposit [6]. Selain itu, Al_2O_3 juga bisa meningkatkan nilai porositas [7], tahan pada temperatur tinggi, keras dan kuat [8]. Sifat fatik pada material merupakan salah satu faktor penting yang sangat berpengaruh terhadap masa pakai suatu komponen mesin sehingga perlu diadakannya penelitian yang terkait dengan hal ini.

Pada penelitian ini akan dikaji tentang karakteristik sifat fatik komposit *polyester* partikulat Al_2O_3, meliputi fatik limit, umur fatik, dan bentuk patahan permukaan. Penelitian dilakukan menggunakan mesin uji fatik tipe *rotary bending* dengan memvariasikan amplitudo tegangan pada spesiemen uji.

2. METODOLOGI

Tahap awal dilakukan identifikasi masalah kemudian studi literatur untuk mempelajari karakteristik sifat mekanik dari komposit *polyester* partikulat Al_2O_3. Selanjutnya dilakukan penyiapan alat dan bahan yang digunakan seperti mesin uji fatik tipe *rotary bending*, cetakan spesimen dengan wax, resin *polyester*, katalis dan filler Al_2O_3 sesuai persentase yang ditetapkan yaitu 4%, 6%, 8% dan 10%. Setelah itu, dilanjutkan dengan pencetakan sampel spesimen menggunakan cetakan yang telah disiapkan. Spesimen yang telah dicetak kemudian dibubut sesuai dengan dimensi dan geometri yang telah ditetapkan, setelah itu spesimen diamplas untuk meratakan permukaan spesimen. Kemudian dilakukan pengujian fatik terhadap sepesimen menggunakan mesin uji fatik. Berikutnya data-data yang telah diperoleh dikumpulkan untuk dianalisis secara fraktografi sehingga didapatkan kurva S-N yang memberikan gambaran nilai *endurance limit* dari material komposit ini.

2.1. Bahan Komposit

2.1.1. Matrik

Pada penelitian ini digunakan *unsaturated polyester resin* yang berfungsi sebagai pengikat (matriks) spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *unsaturated polyester resin yukalac 157@BTQN-EX*

Sifat	Nilai	Satuan	Keterangan
Berat Jenis	1215	Kg/mm^3	
Suhu distorsi panas	70	^oC	
Penyerapan air	0,188	%	24 jam
	0,466	%	7 hari
Kekuatan Tarik	5,5	Kg/mm^2	
Kekuatan *Flexural*	9,4	Kg/mm^2	
Modulus Elastisitas	300	Kg/mm^2	
Elongation	1,6	%	

2.1.2. Katalis/Hardener

Katalis yang digunakan merupakan produksi PT. Justus Kimia raya, jenis *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (Mekpo) berbentuk cair dan berwarna bening. Katalis dibatasi sampai 1 % dari volume resin yang akan digunakan.

2.1.3. Filler

Filler yang digunakan adalah *Aluminum oxide* atau Al_2O_3. Spesifikasi dari Al_2O_3 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi dari Al_2O_3 (Alumina) [11].

Isolasi listrik	$1x10^{14}$sampai$1x10^{15}\Omega$cm
Kekuatan mekanik	300 sampai 630 Mpa
Kekuatan tekan	2.000 sampai 4.000 Mpa
Nilai kekerasan	15 Sampai 19 Gpa
Konduktivitas termal	20 sampai 30 W/Mk
Densitas	3,75 sampai 3,95 g/cm^3
Suhu operasi tanpa beban mekanis	1.000 sampai 1500^oC

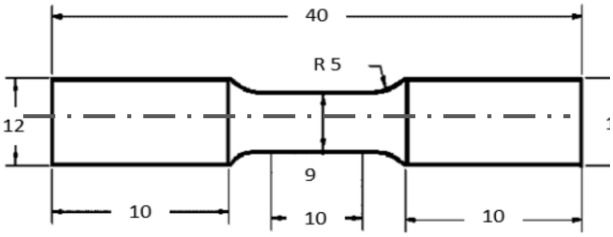
2.2 Pembuatan Spesimen

Resin polyester dengan filler alumina (Al_2O_3) dan katalis dicampur dan diaduk dalam sebuah wadah sesuai dengan perbandingan fraksi massa yang telah ditetapkan. Kemudian, campuran ini dituang ke

dalam cetakan yang telah disiapkan sebelumnya dan ditunggu sampai mengeras. Setelah itu spesimen dikeluarkan dari cetakan dan kemudian di *machining* menggunakan mesin bubut dan di amplas untuk meratakan permukaannya sehingga mendapatkan bentuk spesimen uji fatik seperti terlihat pada Gambar 1. Spesimen pengujian fatik material komposit dengan metode *rotary bending*, tidak memiliki standar ukuran [10]. Dengan mempertimbangkan mesin uji fatik yang dipakai pada Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas, maka bentuk dan ukuran spesimen uji adalah seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Spesimen uji fatik



Gambar 2. Dimensi 8able8en uji fatik

2.3 Pengujian Fatik

Pengujian fatik dilakukan dengan Mesin Uji Fatik *Rotating Bending* di Laboratorium Konstruksi Mesin Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas seperti terlihat pada Gambar 3. Spesimen yang akan diuji dipasangkan pada mesin uji fatik, lalu beban pada mesin diatur sesuai dengan variasi beban yang telah ditetapkan. Kemudian, mesin uji fatik dihidupkan sehingga spesimen mengalami tegangan tarik-tekan berulang akibat beban bending putar yang bekerja pada spesimen. Saat spesimen mengalami kegagalan (patah) atau telah mencapai batas nilai *endurance limit*, mesin uji dimatikan dan data pada (counter) mesin dicatat dan diolah untuk mendapatkan nilai jumlah siklus pembebanan yang bekerja pada spesimen uji tersebut.



Gambar 3. Mesin Uji Fatik Rotary Bending

2.4 Pengamatan Permukaan Patahan

Pengamatan permukaan patahan pada spesimenen uji fatik menggunakan kamera digital. Pengamatan tersebut bertujuan untuk mengetahui bentuk dan mekanisme kegagalan fatik pada material komposit *polyester* partikulat Al_2O_3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kekuatan Fatik Komposit

Setelah spesimen selesai disiapkan selanjutnya dilakukan pengujian fatik dengan memvariasikan beban pada mesin uji fatik dengan variasi beban yang sama untuk setiap fraksi massa yang ada. Spesimen diuji sampai gagal atau mencapai nilai *endurance limit* yaitu jumlah siklus yang telah lebih dari 10^6 atau ≥3704 pada skala yang terdapat pada *counter* alat uji fatik. Berdasarkan pembebanan tersebut juga didapatkan nilai tegangan yang bekerja langsung pada spesimen uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada Table 3.

Pada Table 3 dapat dilihat bahwa pada fraksi massa 4% dan 6% memiliki *endurance limit* dengan pembebanan sebesar 0,2 kg atau tegangan yang bekerja sebesar 1,9 Mpa dengan jumlah siklus masing-masingnya sebesar 1.008.990 siklus dan 1.033.830 siklus. Kemudian untuk fraksi massa 8% dan 10% memiliki *endurance limit* dengan pembebanan sebesar 0,1 kg atau tegangan sebesar 0,9 Mpa dengan jumlah siklus yang didapatkan telah mencapai 1.003.320 siklus dan 1.101.870 siklus. Grafik hubungan antara tegangan dan jumlah siklus atau grafik S-N dapat dilihat pada Gambar 4.

 https://doi.org/10.25077/xxxxx

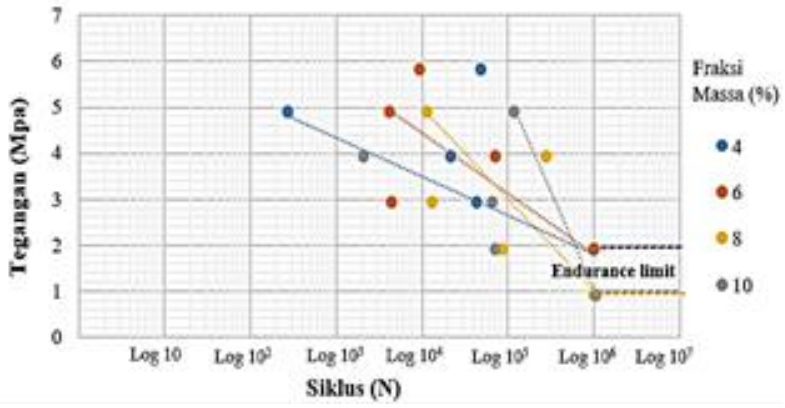
Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Print) xxxx-xxxx | ISSN (Online) xxxx-xxxx |

Tabel 3. Hasil pengujian fatik komposit *polyester* partikulat Al_2O_3

Fraksi Massa (%)	Spesimen	Beban (kg)	Counter	Siklus (N)	Tegangan (Mpa)	Siklus Rata-Rata (N)
4	1	0,2	3.737	1.008.990	1,9	28.957,5
	2	0,3	168	45.360	2,9	
	3	0,4	82	22.140	3,9	
	4	0,5	1	270	4,9	
	5	0,6	178	48.060	5,8	
6	1	0,2	3.829	1.033.830	1,9	22.725
	2	0,3	14	4.500	2,9	
	3	0,4	268	72.360	3,9	
	4	0,5	16	4.320	4,9	
	5	0,6	36	9.720	5,8	
8	1	0,1	3.716	1.003.320	0,9	98.572,5
	2	0,2	332	89.640	1,9	
	3	0,3	51	13.770	2,9	
	4	0,4	1.035	279.450	3,9	
	5	0,5	409	11.430	4,9	
10	1	0,1	4.081	1.101.870	0,9	66.352,5
	2	0,2	273	73.710	1,9	
	3	0,3	251	67.770	2,9	
	4	0,4	8	2.160	3,9	
	5	0,5	451	121.770	4,9	



Gambar 4. Kurva S-N hasil pengujian fatik komposit *polyester* partikulat Al_2O_3

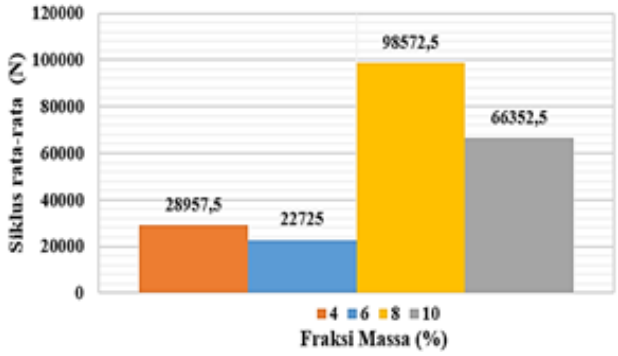
https://doi.org/10.25077/xxxxx
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Print) xxxx-xxxx | ISSN (Online) xxxx-xxxx |

Berdasarkan Gambar 4 bisa dilihat nilai umur fatik pada setiap pembebanan yang diberikan memiliki nilai yang bervariasi sehingga pengaruh fraksi massa terhadap pembebanan yang diberikan tidak jelas terlihat. Tetapi, secara umum peningkatan fraksi massa akan menyebabkan kemampuan material untuk menahan tegangan juga semakin besar sehingga umur fatik dari spesimen juga akan semakin tinggi [2]. Hal ini terlihat pada siklus rata-rata umur fatik setiap fraksi massa pada Gambar 5 dimana fraksi massa 8% dan 10 % memiliki nilai umur fatik rata-rata yang lebih tinggi dari fraksi massa 4% dan 6%.

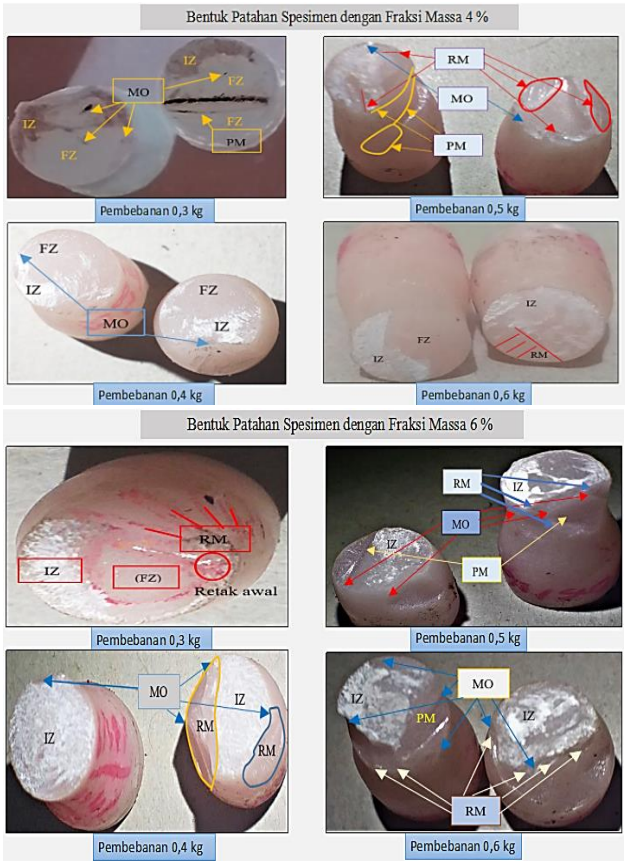


Gambar 5. Siklus rata-rata setiap fraksi massa komposit *polyester* partikulat Al_2O_3

3.2 Permukaan Patahan

Bentuk patahan spesimen uji fatik dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Dari gambar 6 dan 7 terlihat proses fatik pada spesimen dimulai pada daerah *Multiple Origins (MO)* di permukaan dan di dalam spesimen yang terdiri dari beberapa titik awal retak. Proses penjalaran retak terjadi secara lambat yang ditandai dengan adanya daerah *Fatigue Zone (FZ)* yang menandakan bahwa spesimen mampu untuk menahan pembebanan yang diberikan. Kemudian, apabila pada spesimen terdapat P*rogression Marks (PM)* yang tumbuh secara seragam di sepanjang penjalaran retak yang terjadiyang menandakan bahwa tidak terjadi perubahan gaya pada spesimen saat pengujian dilakukan. Jika gaya pada spesimen berubah selama pengujian, bentuk P*rogression Marks (PM)* juga akan berubah.

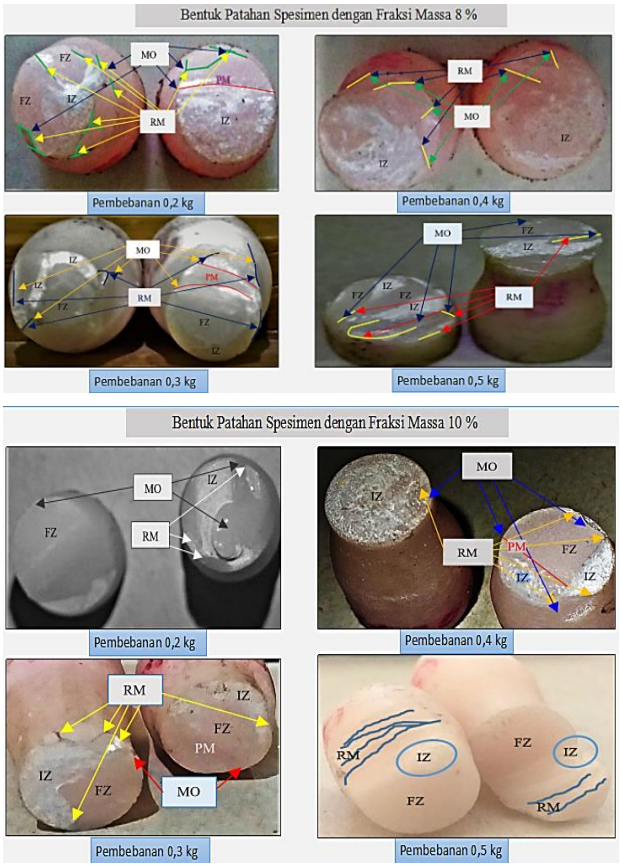
Selain itu, kegagalan pada spesimen juga bisa disebabkan oleh *Rachet Marks (RM)* yang merupakan beberapa titik asal kegagalan sekaligus. Daerah ini memiliki garis-garis batas yang jelas dan bisa dilihat secara langsung pada spesimen yang gagal sehingga menyebabkan proses kegagalan pada spesimen menjadi lebih cepat. Kemudian, *River Marks (RM)* yang terlihat seperti banyak anak sungai kecil mengalir ke sungai biasa, analogi pertumbuhan retakan yang terjadi seperti saat air mengalir ke hilir sungai. *River Marks* terjadi ketika retakan ada di beberapa bidang dan secara bertahap bekerja bersama-sama, sehingga hal ini dapat menunjukkan arah perambatan retak yang terjadi.



https://doi.org/10.25077/xxxxx
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Gambar 6. Bentuk patahan specimen uji fatik dengan fraksi massa filler Al_2O_3 4% dan 6%

Proses akhir penjalaran retak umumnya ditandai dengan munculnya daerah *Instantaneous Zone (IZ)* yang menyebabkan proses retak atau kegagalan spesimen terjadi secara cepat. Adanya daerah FZ dan IZ pada spesimen menunjukkan kegagalan disebabkan oleh kelelahan atau beban fatik. Adanya perubahan kekasaran permukaan pada spesimen menunjukkan bahwa retak tumbuh pada kecepatan yang berbeda.



Gambar 7. Bentuk patahan specimen uji fatik dengan fraksi massa filler Al_2O_3 8% dan 10%

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan yaitu :

1. Nilai fatik limit (endurance limit) untuk fraksi massa alumina 10% dan 8% adalah 0,9 MPa. Sementara itu, untuk fraksi massa 6% dan 4% adalah 1,9 MPa.
2. Nilai siklus rata-rata untuk setiap fraksi massa adalah sebesar 66.352 siklus untuk farksi massa alumina 10% , 98.572 siklus untuk fraksi massa 8 %, 22.725 siklus untuk fraksi massa 6 % dan 28.957 siklus untuk fraksi massa 4 %.
3. Faktor utama penyebab kegagalan pada spesimen adalah Multiple Origins (MO) atau terdapatnya banyak titik asal retakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas atas fasilitas alat uji fatik dan peralatan lain yang digunakan di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. William D. Callister, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007.

[2] D. Chandra, R. Mulia, and D. Gasni, “METAL : Jurnal Sistem Mekanik dan Termal Pengaruh Fraksi Massa Serat Terhadap Kekuatan Fatik Material Komposit Berpenguat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit,” vol. 02, pp. 61–69, 2018.

[3] J. C. Williams and E. A. Starke, “Progress in structural materials for aerospace systems,” *Acta Mater.*, vol. 51, no. 19, pp. 5775–5799, Nov. 2003, doi: 10.1016/j.actamat.2003.08.023.

[4] H. Fahmi, “Analisa Kekerasan Dan Fracture Toughness,” *Anal. Kekerasan Dan Fract. Toughness Alumina Diperkuat Serbuk Alum. Dan Tembaga*, vol. V, pp. 42–48, 2015.

[5] J. Li, Y. Pan, C. Xiang, Q. Ge, and J. Guo, “Low temperature synthesis of ultrafine α-Al2O3 powder by a simple aqueous sol–gel process,” *Ceram. Int.*, vol. 32, no. 5, pp. 587–591, Jan. 2006, doi: 10.1016/J.CERAMINT.2005.04.015.

[6] A. T. Pramulista and H. Ardhyananta, “Pengaruh Penambahan Serbuk Aluminium Terhadap Sifat Mekanik Dan Konduktivitas Listrik Komposit Poli(dimetilsiloksan)/ Aluminium Sebagai Pelat Bipolar Polimer

Elektrolit Membran Fuel Cell," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2013.

[7] K. Putri and A. P. Bayuseno, "Pengaruh Variasi Temperatur Penuangan Al-Si / Al2O3 Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Material Sepatu Rem Menggunakan Pengecoran Hpdc," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 4, pp. 68–71, 2013.

[8] W. Dianita and S. Pratapa, "Identifikasi Fasa pada Sintesis Al2O3 dengan Metode Logam-Terlarut Asam," *Sains Dan Seni Pomits*, vol. 3, no. 2, pp. 22–23, 2014.

[9] "Oxide Ceramics – Aluminum Oxide (Al2O3)." https://www.ceramtec-industrial.com/en/materials/aluminum-oxide?gclid=Cj0KCQjw-4SLBhCVARIsACrhWLXoLw_c7Qs9PtKgKTeGs8fmda5626tiYpSrQxNHsIhyx1B-C9vRH-kaAryyEALw_wcB (accessed Oct. 10, 2021).

[10] S. A. Mutasher, B. B. Sahari, A. M. S. Hamouda, and S. M. Sapuan, "Experimental Study of Bending Fatigue Characteristics of a Hybrid Aluminum/Composite Drive Shaft:," *http://dx.doi.org/10.1177/0021998307075440*, vol. 41, no. 18, pp. 2267–2288, Jul. 2016, doi: 10.1177/ 0021998307075440.