



Vinyl Ester Composite Synthesis Reinforced with Banana Tree Fiber with the Nanofiller Addition

Darmansyah, Adellia Novaringga[✉], Restu Damaru, dan Simparmin Br. Ginting

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Lampung, 35141, Indonesia

Info Artikel

Diterima Juni 2021

Disetujui Agustus 2021

Dipublikasikan September 2021

Keywords:

Komposit

Serat alam

Nanofiller

Vinyl ester

Hand lay-up

Abstrak

Indonesia memiliki potensi kekayaan serat alam yang sangat berlimpah dan bervariasi macamnya, sehingga merupakan peluang yang sangat menarik dalam pengembangan komposit polimer dengan memanfaatkan serat alam dari gedebok (pohon) pisang. Untuk mendapatkan material komposit yang memiliki sifat mekanik yang kuat yaitu dengan menambahkan material lain seperti nanofiller (Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2) yang dipadukan dengan resin vinil ester dan serat alam gedebok pisang dan menggunakan metode *hand lay-up* sehingga dihasilkan komposit yang memiliki sifat mekanik yang lebih kuat dari *fiberglass*. Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit vinil ester berpenguat serat gedebok pisang dengan penambahan nanofiller yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh jenis nanofiller dan konsentrasi nanofiller terhadap sifat mekanik komposit serta bagaimana daya ikat komposit lewat pengamatan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk nanofiller Al_2O_3 kekuatan tarik tertinggi dengan fraksi 5% dengan nilai 74,81 MPa dengan elongation 1,07%, untuk nanofiller SiO_2 kekuatan tarik tertinggi dengan fraksi 0,05% dengan nilai 89,57 MPa dengan elongation 1,20%, dan untuk nanofiller TiO_2 kekuatan tarik tertinggi dengan fraksi 1% dengan nilai 75,33 MPa dengan elongation 1,05%. Serta hasil SEM menunjukkan daya ikat matriks yang cukup baik.

Abstract

Indonesia has the potential for natural fiber wealth which is very abundant and varied therefore it is a very interesting opportunity in the development of polymer composites using natural fiber from a banana tree. To get a composite material that has strong mechanical properties, that is by adding other materials such as nanofiller (Al_2O_3 , SiO_2 , and TiO_2) combined with vinyl ester resin and banana tree fiber using the hand lay-up method to produce a composite that has stronger mechanical properties than fiberglass. In this research vinyl ester composite synthesis reinforced with banana tree fiber with the addition of nanofiller which aims to determine how the effect of nanofiller type and nanofiller concentration on the mechanical properties of composite and how the bonding strength of composites through SEM analysis. The results showed that for the Al_2O_3 nanofiller, the highest tensile strength was with a fraction of 5% with a value of 74,81 MPa with an elongation of 1,07%, for SiO_2 nanofiller the highest tensile strength was with a fraction of 0,05% with a value of 89,57 MPa with an elongation of 1,20%, and for TiO_2 nanofiller the highest tensile strength was with a fraction of 1% with a value of 75,33 MPa with an elongation of 1,05%. The results of SEM analysis show a fairly good matrix bond.

Pendahuluan

Bidang material komposit akhir-akhir ini mendapatkan perhatian yang serius dari para ilmuwan (Hardiyawarman, *et al.*, 2008). Penggunaan material logam pada proses produksi suatu produk sudah semakin berkurang (Husni & Thaib, 2014). Salah satu material yang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit (Hartanto, 2009). Komposit adalah kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda baik dari bentuknya, komposisi kimianya, dan antar materialnya tidak saling melarutkan dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsure-unsurnya (Maryati, *et al.* 2011). Saat ini bahan komposit yang diperkuat dengan serat merupakan bahan teknik yang banyak digunakan karena kekuatan dan kekakuan spesifik yang jauh di atas bahan teknik pada umumnya (Jones, 1975). Serat alam memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan serat sintetis, seperti beratnya lebih ringan, dapat diolah secara alami dan ramah lingkungan, merupakan bahan terbarukan, mempunyai kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi dan tidak menyebabkan iritasi kulit (Lokantara & Suardana, 2010). Pisang merupakan tanaman perkebunan yang selama ini hanya dimanfaatkan buah dan daunnya, sedangkan gedebok pisang hanya menjadi limbah bagi masyarakat. Oleh karena itu diperlukan adanya proses teknologi sehingga terjadi *disversifikasi* pemanfaatan lahan pertanian yang ada, salah satunya dengan pembuatan komposit serat gedebok pisang. Salah satu upaya untuk meningkatkan nilai ekonomis itu dengan cara menjadikan gedebok pisang sebagai penguat/*reinforcement* pada material komposit. Gedebok pisang sebagian besar mengandung *selulosa*. Selulosa ditemukan pada dinding sel tumbuhan (Lehninger, 1993). Kandungan Selulosa memiliki karakteristik kekuatan tarik yang tinggi. Karakteristik selulosa antara lain muncul karena adanya struktur kristalin dan amorf serta pembentukan mikrofibril dan fibril yang pada akhirnya menjadi serat selulosa. Selain menggunakan serat alam sebagai filler pada saat ini sudah banyak dikembangkan komposit dengan nanofiller untuk meningkatkan sifat mekanik dan sifat termal. Nanopartikel adalah partikel dalam ukuran nanometer yaitu sekitar 1-100 nm (Hosokawa, *et al.*, 2007)

Penelitian komposit dengan bahan serat alam dan nanofiller telah banyak dikembangkan oleh beberapa peneliti seperti penelitian (Darmansyah, 2010) yang melakukan penelitian komposit serat/resin berbahan dasar serat nata de coco. Dari penelitian tersebut didapat kekuatan tarik serat nata de coco sebesar 390,39 Mpa. Kemudian (Ojahan, *et al.*, 2015) melakukan penelitian komposit dengan nata de coco serat pelepah pisang dan matriks *unsaturated* resin poliester. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu fraksi volume serat (10%, 16%, 22%, 28%, dan 34%). Variasi dari penelitian ini adalah perlakuan alkalisasi menggunakan NaOH terhadap serat (variasi konsentrasi NaOH: 0%, 2%, 5%, dan 8% masing-masing selama 1 jam). Dari hasil penelitian ini, didapat dengan alkalisasi NaOH 5% selama 1 jam menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik paling optimum yaitu sebesar 97,356 MPa.

Dari uraian diatas, penulis tertarik untuk meneliti sifat mekanik dari komposit vinil ester berpenguat serat gedebok pisang dengan penambahan nanofiller pemilihan vinil ester ini di karenakan vinil ester memiliki ketahanan yang baik terhadap zat-zat kimia dan juga sedikit larut dalam air jika dibandingkan dengan *unsaturated polyester*. Dan pada saat yang sama, vinil ester menawarkan kecepatan dan kemudahan dalam proses *curing* dibandingkan dengan epoksi resin. Vinil ester dapat mengalami *curing* pada temperatur kamar dan juga memiliki sifat yang hampir sama dengan epoksi resin. material yang di tambahkan pada penelitian yaitu nanofiller (Al_2O_3 , SiO_2 dan TiO_2). Alumina adalah salah satu partikel yang biasa digunakan dalam industri komposit. Alumina dapat digunakan sebagai nanofiller karena memiliki stabilitas, kekerasan tinggi, dan stabilitas dimensi tinggi (Omar, 2017). Nanopartikel SiO_2 bisa digunakan sebagai nanofiller untuk memperbaiki sifat mekanik dan termal suatu bahan (Peng, *et al.*, 2007). Titanium dioksida (TiO_2) merupakan material oksida yang memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki sifat optik yang baik, aktivitas fotokatalis yang baik, superhidrofilik, ramah lingkungan serta stabilitas mekanik tinggi (Akifah, *et al.*, 2017).

Metode

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Kimia Terapan Universitas Lampung. Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut: Resin vinil ester, serat alam gedebok pisang, dan jenis jenis nanofiller (Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2).

Preparasi Serat Gedebok Pisang

Dipilih gedebok pisang yang masih bagus, dipotong menjadi ukuran bagian tipis dengan ukuran masing-masing 0,5 m (50 cm), dilakukan pembantingan terhadap gedebok pisang hingga keadaan lunak, dikeringkan dibawah sinar matahari selama 5 hari, kemudian gedebok pisang yang telah kering dicuci, dijemur kembali seratnya hingga kering (Suprayogi, 2018).

Pembuatan Komposit

Tahap awal menyiapkan bahan baku yaitu resin vinil ester, serat gedebok pisang, dan jenis-jenis nanofiller (Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2). Dicampurkan resin vinil ester dengan serat gedebok pisang 25% W/V dan masing-masing jenis nanofiller (Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2) dengan konsentrasi 0.05%, 1%, dan 5% W/V pada alat pencetak, selanjutnya dilakukan pembuatan specimen uji kuat tarik, uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*), serta analisis data.

Pembuatan benda uji material komposit diawali dengan mempersiapkan serat gedebok pisang, kemudian mencampurkan berbagai variasi konsentrasi nanofiller dengan resin vinil ester, lalu diaduk selama kurang lebih 5 menit hingga homogen. Campuran bahan yang sudah homogen tersebut kemudian dituang ke dalam cetakan dan didiamkan hingga mengering. Material komposit yang dihasilkan berupa gagang/stik komposit dengan ukuran panjang 16 cm dan lebar 2 cm sebanyak 9 buah dengan komposisi yang sama.



Gambar 1. Benda uji berbentuk gagang/stik 16×2 cm

Untuk menentukan variasi konsentrasi dan jenis nanofiller terbaik yang dipilih untuk digunakan dalam pembuatan komposit serat gedebok pisang pada tahap selanjutnya, dilakukan uji mekanik kuat tarik *Ultimate Tensile Machine* (UTM) Chun Yen 10 kN. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari komposit, pengujian kuat tarik ini dilakukan sesuai dengan standar ASTM-D368 dengan kecepatan 1,27 mm/menit. Kemudian Spesimen hasil uji tarik dengan nilai kuat tarik tertinggi dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm untuk kemudian dijadikan specimen pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dengan perbesaran 2500 kali.

Hasil dan Pembahasan

Hasil uji kuat tarik material komposit serat gedebok pisang tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tarik Material Komposit

No.	Nama Sampel	Konsentrasi Nanofiller (%)	Max Load (N)	Max Strain (%)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1.	Resin Vinil	0,05	3787,3282	0,53	63,12	0,53
	Ester Nanofiller	1	4063,8754	0,76	67,73	0,76
	Al_2O_3	5	4488,5037	1,07	74,81	1,07
2.	Resin Vinil	0,05	5374,57	1,20	89,57	1,20
	Ester Nanofiller	1	4881,00	0,88	81,35	0,88
	SiO_2	5	3121,20	0,79	52,02	0,79
3.	Resin Vinil	0,05	3796,154	0,97	63,27	0,97
	Ester Nanofiller	1	4519,885	1,05	75,33	1,05
	TiO_2	5	4161,9423	0,92	69,36	0,92

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap seluruh sampel uji, diperoleh data yang selanjutnya dianalisis sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan pada bagian metode sehingga diperoleh parameter-parameter yang diinginkan. Dari Tabel 1, hasil uji kuat tarik material komposit hasil uji kuat tarik ini dapat dilihat bahwa komposit resin vinil ester diperkuat serat gedebok pisang dengan penambahan nanofiller Al_2O_3 yang memiliki kuat tarik paling tinggi yaitu pada variasi konsentrasi 5% dengan nilai *tensile strength* sebesar 74,81 MPa ini membuktikan bahwa hasil kuat tarik nanofiller Al_2O_3 mengalami peningkatan mekanik seiring dengan penambahan nanofiller Al_2O_3 hasil ini sesuai dengan pernyataan yang ada bahwa dimana kekuatan komposit meningkat seiring dengan bertambahnya nanofiller hingga batas tertentu (Zhang, 2010).

Penambahan fraksi volume Al_2O_3 pada komposit resin vinil ester serat-nanofiller Al_2O_3 berpengaruh pada kekuatan komposit. Pengaruh ini timbul karena nanofiller sebagai pengisi berikatan dengan matriks sehingga meningkatkan kekuatan mekanik komposit tersebut. Kekuatan tarik secara bertahap meningkat dengan meningkatnya % berat partikel Al_2O_3 , perilaku ini menunjukkan bahwa pengaruh pemindahan beban dari matriks ke partikel cukup baik, Semakin banyak jumlah partikel Al_2O_3 yang dimasukkan kekuatan dari komposit juga bertambah tapi peningkatan sifat mekanik (sebagai efek dari penambahan Al_2O_3) ini tidak terjadi terus-menerus. Kekuatan mekanik material akan sampai pada titik kritisnya kemudian turun. Berdasarkan teori yang ada penambahan kadar fraksi volume nanofiller Al_2O_3 kekuatan tarik mengalami kenaikan, hasil studi ini sesuai dengan literatur yang menyatakan kekuatan terhadap tarik naik perlahan seiring dengan penambahan fraksi volume penguat.

Untuk komposit serat–nanofiller–resin dengan penambahan nanofiller SiO_2 yang memiliki kuat tarik paling tinggi yaitu pada variasi konsentrasi nanofiller SiO_2 0,05% dengan nilai *tensile strength* sebesar 89,57 MPa dan kuat tarik terendah pada konsentrasi nanofiller SiO_2 5% dengan nilai *tensile strength* sebesar 52,02 MPa, ini membuktikan bahwa semakin tingginya konsentrasi nanofiller, maka semakin turun nilai *tensile strength*-nya. Hal ini dikarenakan nanofiller untuk SiO_2 memiliki sifat kecenderungan yang sangat kuat untuk menggumpal. Jika semakin besar jumlah konsentrasi nanofiller SiO_2 yang ditambahkan menyebabkan penyebaran partikel semakin sulit dan tidak merata. Sehingga nanofiller akan menggumpal pada satu titik dan mengakibatkan kerapuhan pada material komposit. Penggumpalan terjadi disebabkan karena kurangnya gaya tarik-menarik antara molekul nanofiller dengan molekul resin. Selain itu turunnya nilai *tensile strength* pada material komposit dapat terjadi oleh adanya *void*. *Void* akan menimbulkan ruang kosong pada material komposit. Pada waktu komposit ditarik maka bagian yang berongga menjadi tempat konsentrasi tegangan titik awal retak sehingga kekuatan tariknya menurun.

Sedangkan untuk komposit serat–nanofiller–resin dengan penambahan nanofiller TiO_2 yang memiliki kuat tarik paling tinggi yaitu pada variasi konsentrasi nanofiller 1% namun kuat tarik turun pada konsentrasi nanofiller 5%. Peningkatan kekuatan ini sesuai dengan yang disimpulkan oleh (Firmansyah & Astuti, 2013) dan (Wazzan, 2006). bahwa kekuatan mekanik akan mencapai optimum pada batas tertentu namun akan menurun setelah penambahan lebih dari batas tertentu. Kekuatan tarik komposit vinil ester serat-nanofiller TiO_2 semakin bertambah seiring dengan penambahan berat nanofiller TiO_2 sebagai pengisi namun penambahan nanofiller lebih lanjut justru menurunkan kuat tarik komposit. Hal ini menandakan bahwa matriks sudah melewati batas maksimum dalam penambahan nanofiller sehingga sifat mekanik komposit menurun. (Budiartha, *et al.*, 2004) menyimpulkan bahwa tingkat kehomogenan yang rendah dari campuran dapat menyebabkan menurunnya nilai kuat tarik suatu material.

Perbandingan Kuat Tarik Komposit Resin Serat-Nanofiller

Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis partikel nanofiller, yang mana masing-masing variasi tersebut memiliki nilai kuat tarik yang berbeda-beda. Kuat tarik dari material komposit serat – nanofiller dengan resin juga mengalami peningkatan kekuatan yang cukup signifikan, bila dibandingkan dengan kuat tarik resin murni, yaitu sekitar 4,81–19,57 MPa. Dimana komposit serat–nanofiller–resin yang memiliki kuat tarik terbaik adalah komposit serat– SiO_2 –vinil ester yang kekuatan tariknya sebesar 89,57 MPa. Nilai kuat tarik masing-masing komposit serat-resin terhadap nanofiller dapat dilihat di Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kuat tarik dari komposit resin vinil ester serat-nanofiller SiO_2 yang besarnya 89,57 MPa lebih baik bila dibandingkan dengan komposit vinil ester serat-nanofiller Al_2O_3 yang besarnya 74,81 MPa dan dengan komposit vinil ester serat-nanofiller TiO_2 yang besarnya 75,33 MPa. komposit serat dengan nanofiller SiO_2 memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar daripada komposit serat-nanofiller Al_2O_3 dan serat-nanofiller TiO_2 , ini disebabkan karena ukuran partikel SiO_2 lebih seragam daripada partikel nanofiller yang lain. padahal dari sifat mekanik *neat* Al_2O_3 sendiri memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibanding sifat mekanik dari *neat* SiO_2 . Nilai kekuatan tarik yang bervariasi pada tiap komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti proses pengadukan yang dilakukan secara manual, sehingga kecepatan dan jumlah pengadukan yang dilakukan tidak dapat dikendalikan dengan sempurna hal itu dapat menyebabkan tingkat kehomogenan yang rendah dari suatu campuran memungkinkan menghasilkan aglomerat atau penggumpalan di dalam matriks polimer. Wujud aglomerat atau penggumpalan akan mengurangi luas permukaan seterusnya melemahkan interaksi diantara pengisi dan matriks dan mengakibatkan menurunnya nilai kuat tarik suatu material.

Kemudian dari hasil pengujian kuat tarik seperti pada Tabel 1 didapatkan nilai elongasi/tarik mulur. Elongasi ini merupakan kemampuan suatu material untuk bertambah panjang ketika diberi beban atau daya tarik. Dari Tabel 1 di atas dapat dilihat untuk nilai masing-masing dari nanofiller. Untuk nanofiller Al_2O_3 memiliki nilai elongasi sebesar 1,07% kemudian untuk nanofiller SiO_2 memiliki nilai elongasi tertinggi

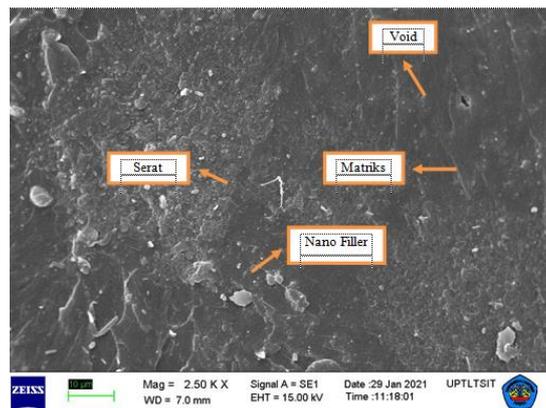
sebesar 1,20% dan untuk nilai elongasi dari nanofiller TiO_2 yaitu sebesar 1,05%. Untuk nilai elongasi resin jenis vinyl ester sudah berada dalam range karakteristik dimana nilai elongasinya yaitu 1-12%.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahan pengisi mempunyai peranan penting dalam memodifikasi sifat-sifat dari berbagai bahan polimer sebagai contoh, dengan cara menambahkan pengisi akan meningkatkan sifat mekanik, elektrik, termal, optik, dan sifat-sifat pemrosesan polimer, dan dapat juga mengurangi biaya produksi. Peningkatan sifat-sifat tergantung pada banyak faktor-faktor termasuk aspek rasio dari bahan pengisi.

Serat komposit untuk produk otomotif memiliki standar yang harus dicapai, mulai dari standar keamanan (*safety*) maupun standar ekonomis produk tersebut. Untuk nilai kuat tarik tersebut sudah memenuhi standar kuat tarik bahan komposit untuk industri di bidang otomotif seperti dashboard, instrumen panel, bumper, hingga helm pengganti dari *fiberglass* yaitu dengan nilai kuat tarik 74 MPa (Phillips & Craelius, 2005). Ditinjau dari segi ketersediaan bahan baku serat maka serat gedebok pisang memiliki potensi ekonomis yang baik karena merupakan limbah pertanian yang belum banyak dimanfaatkan sehingga cukup memenuhi kebutuhan akan bahan baku dalam pembuatan produk otomotif. Lalu jika ditinjau dari segi kekuatan tarik maka komposit resin vinyl ester berpenguat serat serat gedebok pisang dengan nanofiller (Al_2O_3 , SiO_2 dan TiO_2) sudah mampu menandingi kekuatan tarik dari *fiberglass* (serat kaca) yaitu dengan nilai kuat tarik 74 MPa untuk memenuhi standar keselamatan (*safety*) (Phillips & Craelius, 2005). Artinya penelitian ini membuktikan bahwa serat gedebok pisang dengan penambahan nanofiller berpotensi untuk dapat digunakan sebagai material *high strength* pengganti dari material seperti *fiberglass* (serat kaca).

Hasil Uji Morfologi dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Gambar 2 menunjukkan hasil uji SEM pada sampel spesimen dengan hasil kuat tarik tertinggi yaitu komposit vinil ester serat-nanofiller SiO_2 . Sampel sebelumnya dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm untuk kemudian dijadikan spesimen pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dengan perbesaran 2500 kali. Uji SEM menunjukkan hasil analisis morfologi dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dari komposit vinil ester serat-nanofiller SiO_2 terlihat jelas adanya nanofiller SiO_2 yang terdistribusi secara merata pada permukaan komposit. Ini menandakan bahwa proses penambahan nanofiller ke dalam komposit berjalan dengan baik. Daya ikat komposit mempengaruhi kekuatan komposit dalam menahan beban yang diberikan serta dapat dijelaskan bagaimana peningkatan kekuatan tarik komposit vinil ester berpenguat serat gedebok pisang dengan penambahan nanofiller. Hal ini disebabkan ikatan antara matriks sebagai pengikat dan serat sebagai penguatnya serta nanofiller sebagai pengisinya cukup baik karena nanofiller tersebar merata di permukaan matriks, meskipun masih ada *void* (rongga udara) di dalam material tersebut. *Void* ini dapat mempengaruhi kekuatan komposit. Pada waktu komposit ditarik, maka bagian yang berongga menjadi tempat konsentrasi tegangan titik awal retak.



Gambar 2. Pengamatan SEM Komposit Vinil Ester

Simpulan

Penambahan nanofiller pada komposit vinil ester yang diperkuat gedebok pisang menghasilkan komposit yang memiliki sifat lebih kuat dari *fiberglass* yaitu dengan nilai kuat tarik 89,57 MPa karena nilai kuat tarik tersebut sudah memenuhi standar kuat tarik bahan komposit untuk industri di bidang otomotif seperti dashboard, instrumen panel, bumper, hingga helm. Penelitian ini membuktikan bahwa serat gedebok pisang dengan penambahan nanofiller berpotensi untuk dapat digunakan sebagai material *high strength* pengganti dari material seperti *fiberglass* (serat kaca) yang kuat tarik dari *fiberglass* yaitu 74 MPa.

Daftar Referensi

- Akifah, N., Subaer & Muris. 2017. Pengaruh Penambahan Nano-TiO₂ Terhadap Sifat Mekanik dan Karakteristik Mikro Komposit Geopolimer Sebagai Material Self-Cleaning, *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*. 13(1):282-286
- Budiarto, Parikin, & Dani M. 2004. Optimasi Ukuran Partikel dan Komposisi dalam Pembuatan Tegel Komposit Partikulat Granit. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 6(1):53-58.
- Darmansyah, 2010, Evaluasi Sifat Fisik dan Mekanik Material Komposit Serat Resin Berbahan Dasar Serat Nata de coco dengan Penambahan Nanofiller. *Thesis tidak dipublikasikan*. Universitas Indonesia.
- Firmansyah & Astuti. 2013. Sintesis dan Karakteristik Sifat Mekanik Bahan Nanokomposit Epoxy-Titanium Dioksida. *Jurnal Fisika Unand*, 2(2):72-80.
- Hardiyawarman, Rijjal A., Nuryadin, B.W., Abdullah, M., & Khairurrujal. 2008. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(1):14-21.
- Hartanto, L. 2009, Studi Perlakuan Alkali dan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Bending Tarik dan Impak Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Polyester BTQN 157, *Tugas Akhir Tidak Dipublikasikan*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Husni, S. & Thaib, S. 2014. *Material Komposit*. Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin, Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- Jones R.M. 1975. *Mechanics of Composite Materials*. Washington DC: Scripta Book Company.
- Lehninger. 1993. *Dasar-dasar Biokimia*. Jilid 1,2,3 (Alih bahasa oleh; M. Thenawidjaja). Jakarta: Erlangga.
- Lokantara, P. & Suardana, N.P.G. 2010. Analisis dan Perlakuan Serat Tapis serta Rasio Epoxy Hardener terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM*, 1(1): 15-21.
- Maryanti, B., Sonief, A.A & Wahyudi, S. 2011. Pengaruh Alkilasi Komposit Serat Serat Kelapa – Poliester Terhadap Kekuatan Tarik, *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(2): 123-129.
- Ojahan, T. & Hansen Aditia M.S. 2015. Analisis Fraksi Volume Serat Pelepah Batang Pisang Bermatriks Unsaturated Resin Polyester (UPR) Terhadap Kekuatan Tarik dan SEM, *Jurnal Mechanical*, 6(1):43-48.
- Peng, Z.I.F., Berke, B.A., Zhu, Y., Lee, W.H., Chen, W., Wu, C.F. 2007. Temperature-dependent developmental plasticity of *Drosophila* neurons: cell-autonomous roles of membrane excitability. *Journal of Neuroscience*, 27(46): S12611--12622.
- Phillips, S.L. & Craelius, W. 2005. Material Properties of Selected Prosthetic Laminates. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 17(1): 27-32.
- Suprayogi, M.R. 2018. *Analisis Suara dan Kuat Tarik Komposit Beton Serat Gedebok Pisang*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Yousri, O.M., Abdellatif, M.H. & Bassioni, G. 2018. Effect of Al₂O₃ Nanoparticles on the Mechanical and Physical Properties of Epoxy Composite. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 43:1511–1517. <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2955-7>
- Zhang, H. 2010. The effect of Alumina Nanofillers and Mechanical Properties of Hight-Performance Epoxy Resin. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10:1-7.