

DURABILITAS KOMPOSIT EPOKSI-SISAL YANG DIEKSPOSE PADA LINGKUNGAN AGRESIF

Durability of Exposed Epoxy-Sisal Composites in an Aggressive Environment

Jauhar Fajrin*, I Wayan Sugiarta*, Khusnul Khatimah**, Arnie Jasmine Johar**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit No 62, Mataram 83125 Indonesia

**Centre for Sustainable Material and Infrastructure (CSMI),
Fakultas Teknik Universitas Mataram

Email : jauhar.fajrin@unram.ac.id, wayan.sugiarta@unram.ac.id,
khusnulkhatimah999@gmail.com, arniejasmine.johar@gmail.com

Manuscript received: 13 Oktober 2023

Accepted: 19 November 2023

Abstrak

Analisis perilaku fisik maupun mekanik komposit polimer yang sering ditampilkan oleh para peneliti lebih banyak didasarkan pada kondisi lingkungan normal. Sementara penggunaan material komposit seringkali berada pada situasi yang tidak normal atau agresif seperti kelembaban dan temperatur yang selalu berubah. Artikel ini membahas mengenai bagaimana pengaruh lingkungan agresif terhadap sifat fisik dan mekanik komposit polimer epoksi yang diperkuat dengan serat sisal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang datanya dianalisis lebih lanjut secara deskriptif. Pengujian sifat fisik dilakukan dengan cara mengukur perubahan berat selama masa ekspose pada lingkungan agresif. Sementara sifat mekanik komposit ditinjau dari dua parameter; perilaku tarik dan lentur. Pengujian kuat tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM D-3039 dan uji lentur berdasarkan standar ASTM D790, dengan pembebanan menyesuaikan dengan ketentuan pada standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Lingkungan agresif akan memperlemah sifat fisik komposit. Hasil pengukuran perubahan berat komposit mengindikasikan bahwa semua komposit yang diekspose pada 3 jenis lingkungan agresif mengalami pengurangan berat setelah diekspose selama 8 minggu. Selanjutnya sifat mekanik komposit akan mengalami degradasi apabila diekspose pada lingkungan yang agresif. Kuat tarik dan modulus tarik lebih tinggi dimiliki oleh komposit yang tidak diekspose; dengan kuat tarik sebesar 46,165 MPa dan modulus elastisitas tarik sebesar 1742,606 MPa. Kuat tarik terendah ditemukan pada komposit yang diekspose pada ruang terbuka, sebesar 14,628 MPa, dan modulus elastisitas terendah ditemukan pada komposit yang diekspose dengan cara ditanam, yakni sebesar 1502,277 MPa. Temuan yang senada diperlihatkan pada perilaku lentur komposit. Tegangan dan modulus elastisitas lentur tertinggi dimiliki oleh komposit kontrol yang tidak diekspose pada lingkungan agresif, sebesar 83,728 MPa dan 3397,5 MPa. Kuat lentur terendah dimiliki oleh komposit yang diekspose dengan cara ditanam (30,607 MPa), sementara modulus elastisitas terendah dimiliki oleh komposit yang diekspose pada ruangan terbuka, yakni sebesar 3397,5 MPa.

Kata kunci : Komposit, Durabilitas, Lingkungan agresif, Degradasi komposit.

PENDAHULUAN

Riset-riset mengenai kemungkinan penggunaan serat alam sebagai penguat polimer ini masih terus berlangsung. Beberapa penelitian mengenai upaya penggunaan serat lokal Indonesia sebagai penguat polimer juga telah dilaporkan oleh berbagai pihak. Penelitian-penelitian tersebut sejauh ini memperlihatkan bahwa serat alam mempunyai potensi yang baik sebagai pengganti serat-serat konvensional yang telah digunakan sebelumnya. Namun demikian, kesimpulan bahwa serat alam mampu menggantikan peran serat sintesis sebagian besar diambil dari hasil eksperimen dan pengujian jangka pendek, yang artinya sampel-sampel pengujian disiapkan sesaat setelah produk selesai dibuat.

Analisis perilaku fisik maupun mekanik komposit polimer yang sering ditampilkan oleh para peneliti lebih banyak didasarkan pada kondisi lingkungan normal. Padahal dalam kenyataannya, penggunaan material komposit seringkali berada atau dihadapkan pada situasi yang tidak normal atau agresif seperti kelembaban, temperatur yang selalu berubah, atau lingkungan agresif air laut. Beberapa jenis lingkungan agresif yang mempengaruhi kinerja dari material seperti komposit antara lain; kelembaban seperti yang dialami oleh komponen yang tertanam dalam tanah, perubahan temperatur yang dialami oleh komponen yang diekspose pada tempat yang tidak terlindung, dan kandungan zat kimia tertentu seperti ketika material direndam dalam air laut (Alkali) atau cairan kimia lain yang bersifat agresif seperti Sulfat. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh lingkungan agresif terhadap sifat fisik dan mekanik komposit serat sisal dengan matriks resin epoksi.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai penggunaan serat alam sebagai pengganti serat buatan untuk memperkuat polimer telah banyak dilakukan. Diantara berbagai macam alasan mengapa serat alam dijadikan sebagai pengganti serat buatan adalah karena kemampuannya untuk didaur ulang dan ketersediaannya yang tidak perlu merusak lingkungan. Indonesia yang terletak di wilayah tropis sangat kaya dengan berbagai jenis serat alam. Selama ini, selain dikomersialkan dalam bentuk mentah, serat alam dijadikan sebagai bahan baku dalam industri tekstil. Beberapa dekade terakhir, serat alam juga digunakan dalam industri lain seperti industri manufaktur. Diantara sekian banyak serat yang bisa tumbuh dan berkembang dengan baik di Indonesia, serat Sisal adalah yang terbaik karena mempunyai sifat fisik dan mekanik yang bagus. Penggunaan kedua jenis serat tersebut sebagai perkuatan polimer juga telah cukup banyak diteliti. Fajrin dkk melaporkan beberapa penelitian terkait komposit serat alam (Fajrin dkk (2016); Fajrin dkk (2017); Fajrin dkk (2018); dan Fajrin dkk (2018)).

Romanzini dkk (2012) melakukan hibridisasi serat rami dan serat gelas untuk memperkuat resin poliester. Hasil eksperimen mereka menunjukkan bahwa serat dengan panjang 45 mm memberikan hasil yang paling optimum dibandingkan dengan pilihan panjang serat yang lain yakni sebesar 25, 35 dan 55 mm. Selanjutnya, Irawan dkk (2011) melakukan eksperimen untuk menguji kekuatan tarik dan lentur komposit polimer epoxy yang diperkuat dengan serat rami. Rasio serat dengan matriks yang digunakan adalah 40:60 berdasarkan berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit yang dihasilkan adalah 86 MPa dan modulus elastiknya sebesar 9.56 GPa. Sementara kekuatan lentur tertinggi yang dicapai adalah 103 MPa. Punyamurthy dkk (2017) melaporkan hasil penelitian mereka komposit polypropylene yang diperkuat dengan serat pisang Abaka. Dilaporkan bahwa kekuatan tarik, lentur dan dampak dari komposit yang mereka kembangkan dicapai pada proporsi serat 50% berdasarkan berat. Sementara itu, Bledzki dkk (2007) membandingkan sifat mekanik komposit polypropylene yang diperkuat dengan serat abaka, jute dan flax. Salah satu kesimpulan yang diambil adalah bahwa prosentase serat yang optimal adalah sebesar 40% berdasarkan berat. Selanjutnya Shibata dkk (2001) melaporkan hasil penelitian mereka mengenai komposit Polimer Hydroxy-Benzo-Triazole (PHBT) yang diperkuat dengan serat pisang abaka. Dilaporkan bahwa kekuatan dan modulus lentur meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan serat, dengan kuat lentur tertinggi sebesar 40 MPa dan modulus lentur sebesar 110 MPa.

Pada penelitian lain, Zhang dkk (2015) melaporkan hasil eksperimen mereka mengenai komposit polypropilene yang diperkuat dengan serat rami. Pada penelitian tersebut, salah satu aspek yang dianalisis adalah pengaruh proporsi serat, yakni; 10, 20 dan 30 bagian berdasarkan berat. Salah satu kesimpulan yang diambil adalah bahwa degradasi komposit yang disebabkan oleh efek thermal berkurang seiring dengan bertambahnya proporsi serat. Selanjutnya terkait dengan penggunaan serat Kenaf sebagai penguat komposit polimer, Thiruchitarambalam dkk (2012) melakukan review literatur yang cukup komprehensif. Dilaporkan oleh mereka bahwa Nishino dkk (2003) menguji sifat mekanik komposit yang terbuat dari serat Kenaf dan poly-lactic acid matriks. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa serat rami merupakan kandidat yang baik sebagai perkuatan pada komposit polimer. Sebelumnya, Ochi (2008) telah melakukan eksperimen yang serupa, yakni mengkombinasikan serat Kenaf dengan matriks polylactic acid dan menyimpulkan bahwa perilaku lentur komposit meningkat dengan bertambahnya proporsi serat dalam campuran komposit. Untuk aplikasi dalam bidang kelautan, kelembaban adalah faktor utama penyebab degradasi komposit polimer yang diperkuat dengan serat (Padmaraj dkk., 2018). Paparan yang terus menerus komposit fiber pada kelembaban menciptakan fase atau zona baru antara serat dengan matriks. Penyerapan kelembaban menyebabkan terjadinya plastisasi dan pembengkakan (*swelling*) material pengikat yang pada akhirnya akan menurunkan kekuatan ikat antar matriks dengan permukaan serat (Wang dkk, 2016; Mayya dkk, 2021).

Ketika komposit terkena paparan UV, foton UV diserap oleh polimer yang menghasilkan reaksi foto-oksidasi (Joseph dkk, 2002). Selanjutnya, Hang (2015) menyatakan bahwa paparan radiasi UV menyebabkan pengurangan ketebalan bahan karena penguapan volatil dan penyusutan. Sementara efek gabungan dari kelembaban dan sinar UV mempercepat pembentukan microcracks dan pengelupasan lapisan diantara matriks dan serat (Lu dkk, 2018). Dalam referensi lain (Earl dan Sheno, 2004) dikatakan bahwa tantangan utama dalam industri kelautan adalah paparan larutan alkali pada struktur FRP. Adanya hidroksil kelompok dalam bahan matriks mudah bereaksi dengan basa larutan. Larutan alkali berinteraksi dengan bahan matriks dan tidak hanya menyerang polimer tetapi juga mendegradasi struktur interfase serat/matriks. Degradasi ini terutama karena hidrolisis antara matriks dan larutan basa. Paparan suhu tinggi juga merupakan jenis lingkungan agresif yang dihadapi oleh material komposit. Serat sintesis seperti karbon, aramid, dan kaca dikenal sebagai bahan tahan suhu tinggi dan akan mempertahankan sebagian besar sifat mekaniknya pada ketinggian suhu. Karena bahan komposit terdiri dari kombinasi matriks dan serat, paparan tinggi suhu lebih mempengaruhi sifat yang didominasi matriks daripada sifat yang didominasi serat. Paparan polimer dekat dengan suhu transisi gelas dalam masa pakai menyebabkan degradasi sifat mekanik (Wang dkk., 2007). Selanjutnya Kumar dan Singh (2002) menyatakan bahwa paparan sinar ultraviolet (UV) juga termasuk jenis lingkungan agresif yang bisa menghasilkan radikal bebas dalam polimer yang mengakibatkan pengurangan berat molekul dan degradasi ekstensif pada komposit.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dimana hasil-hasil pengujian eksperimen diekspresikan dalam bentuk angka-angka yang kemudian dianalisis lebih lanjut secara deskriptif. Semua proses persiapan sampel maupun pengujian pada penelitian ini berlokasi di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik dan Laboratorium Fisika Fakultas MIPA Universitas Mataram. Bahan serat didatangkan dari PT. Retota Sakti yang berlokasi di Magelang-Jawa Tengah dan PT. Sumbawa Bangkit Sejahtera di Sumbawa-NTB. Sementara bahan lain seperti resin dan kelengkapannya akan disiapkan dari supplier lokal di Mataram.

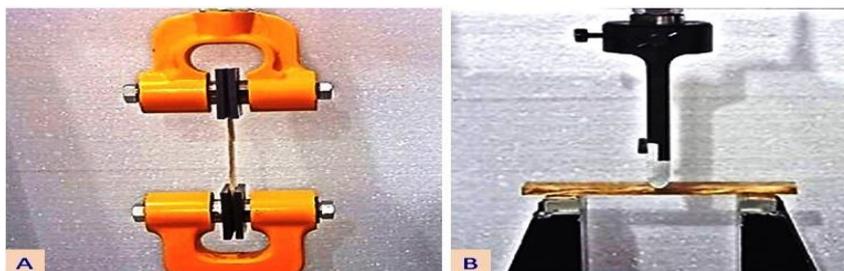
Matriks yang dipilih adalah resin epoxy. Resin ini dikombinasikan dengan hardener yang merupakan cairan untuk mempercepat proses pengeringan (*curing*). Jenis hardener untuk resin epoxy yang digunakan ialah EPH 555, yang dibeli dari supplier lokal - toko Alkaf Putra. Bahan lainnya lagi adalah release agent yang digunakan untuk mempermudah pelepasan komposit yang dibuat menggunakan cetakan kaca. Jenis bahan relase agent yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mirror Glaze. Adapun desain eksperimen yang dilakukan diperlihatkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Desain eksperimen

Perlakuan pada Lingkungan Agresif	Kode Benda Uji	Jenis Pengujian	Spesifik Benda Uji
Diletakkan pada halaman terbuka	KTA	Lentur	KTA 1, KTA 2, dan KTA 3
Ditanam di dalam tanah	KTB		KTB 1, KTB 2, dan KTB 3
Direndam air laut	KTC		KTC 1, KTC 2, dan KTC 3
Diletakkan di suhu ruangan (kontrol)	KTD		KTD 1, KTD 2, dan KTD 3
Diletakkan pada halaman terbuka	KLA	Tarik	KLA 1, KLA 2, dan KLA 3
Ditanam di dalam tanah	KLB		KLB 1, KLB 2, dan KLB 3
Direndam air laut	KLC		KLC 1, KLC 2, dan KLC 3
Diletakkan di suhu ruangan (kontrol)	KLD		KLD 1, KLD 2, dan KLD 3
Jumlah Benda Uji Tarik			12
Jumlah Benda Uji Lentur			12
Total			24

Pengujian Komposit

Pengujian sifat fisik komposit dilakukan dengan cara mengukur perubahan berat komposit ketika diekspose pada lingkungan agresif. Pengujian sifat mekanis komposit meliputi pengujian kuat tarik komposit (ASTM D-3039) dan uji lentur komposit (ASTM D790). Pengujian kuat tarik dilakukan untuk menganalisa sejauh mana ketahanan komposit serat alam terhadap pembebanan statis yang diberikan. Pengujian dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine (UTM)* seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.

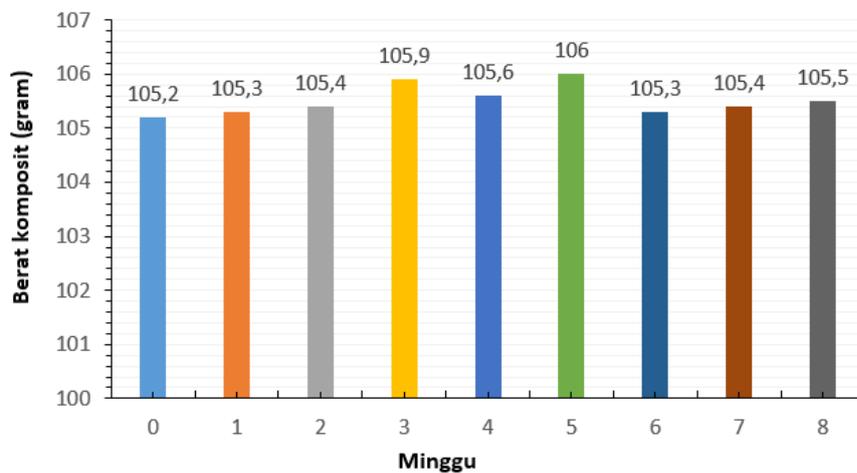


Gambar 1 Proses pengujian tarik dan lentur komposit epoksi-sisal menggunakan alat uji UTM di Laboratorium Fisika Fakultas MIPA Universitas Mataram

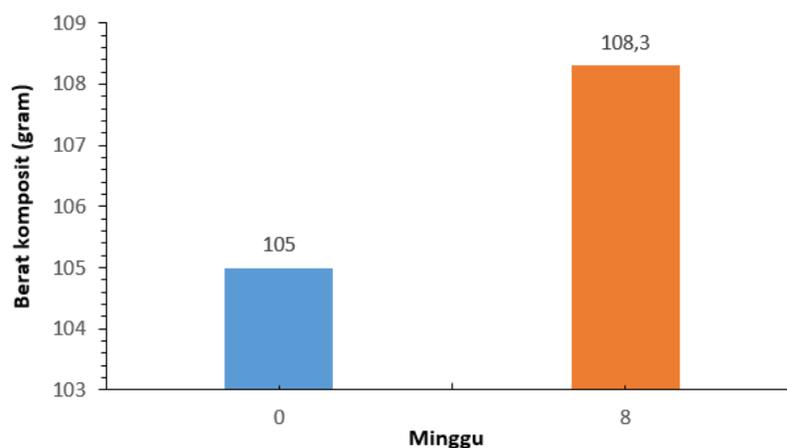
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Lingkungan Agresif Terhadap Perubahan Berat Komposit

Komposit yang diekspose pada ruangan terbuka (Kondisi A) mengalami sedikit perubahan berat pada minggu ke 3, 4 dan 5, tetapi kemudian cenderung stabil pada minggu ke 8, seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2**. Terlihat bahwa berat awal komposit adalah 105,2 gram, mengalami penambahan berat paling besar berat pada minggu ke-5 seberat 106 gram. Namun, pada minggu selanjutnya mengalami penurunan berat sampai pada berat akhir pada minggu ke-8 yaitu 105,5 gram. Perubahan berat komposit yang tidak teratur disebabkan oleh perubahan cuaca pada setiap minggunya dengan intensitas hujan yang tinggi. Penambahan berat komposit disebabkan karena terisinya void pada komposit oleh air hujan, dan pengurangan berat komposit disebabkan adanya penguapan atau dehidrasi dari komposit oleh panas sinar matahari.



Gambar 2 Perubahan berat komposit yang disimpan pada ruangan terbuka (A)

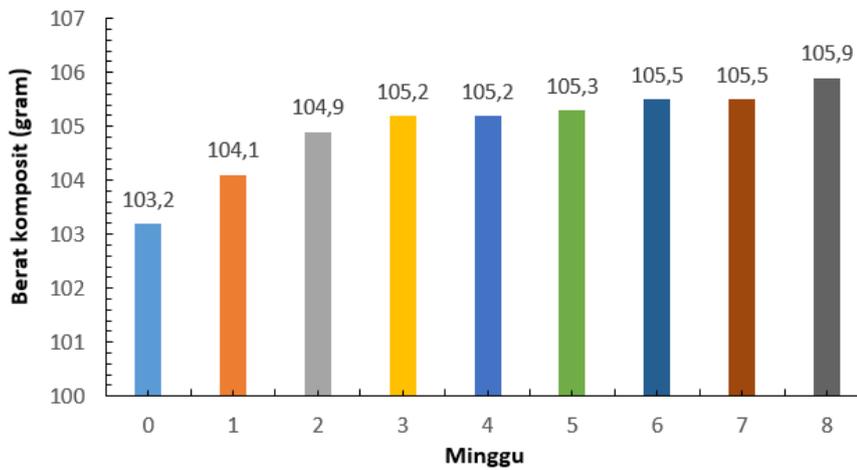


Gambar 3 Perubahan berat komposit yang ditanam dalam tanah

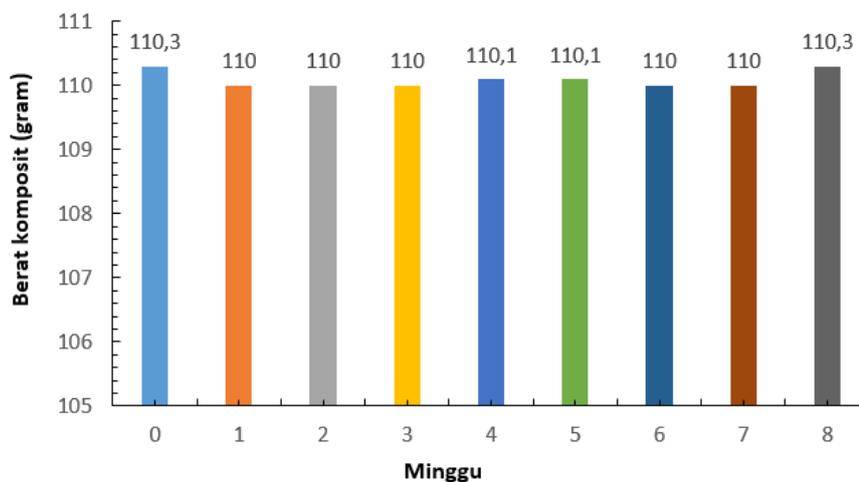
Selanjutnya hasil pengamatan untuk komposit yang diekspose dengan cara ditanam dalam tanah (Kondisi B) diperlihatkan pada **Gambar 3**. Terlihat bahwa berat komposit mengalami penambahan yang cukup signifikan. Berat awal benda uji 105 Gram dan berat akhir setelah minggu ke-8 menjadi 108,3

gram. Untuk metode ekspose ditanam ini, hanya dilakukan pada saat awal (Minggu-0) dan ke-8 saja, dengan pertimbangan kesulitan untuk menggali dan menutup yang kemungkinan menyebabkan sampel tidak terekspose dengan maksimal. Pertambahan berat komposit tersebut disebabkan karena terisinya void atau lubang yang terdapat pada permukaan komposit oleh tanah serta kandungan air yang terdapat dalam tanah tersebut.

Hasil pengamatan terhadap komposit yang pada air laut (Kondisi C) ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat bahwa berat awal komposit yaitu 103,2 gram dan bertambah menjadi 104,1 gram pada minggu pertama. Pertambahan berat komposit yang cukup signifikan terjadi pada minggu ke-1 dan minggu ke-2, dengan pertambahan berat komposit 0,9 gram dan 0,8 gram. Pertambahan tersebut terjadi karena air laut mulai mengisi matrix dan serat melalui void yang ada pada permukaan komposit. Pada minggu-minggu selanjutnya pertambahan berat komposit relatif tidak banyak bahkan pada minggu ke-6 tidak terjadi pertambahan berat komposit. Hal ini karena sebagian besar matrix dan void telah terisi void pada minggu-minggu awal. Hingga pada minggu ke-8 berat akhir komposit yaitu 105,9 gram.



Gambar 4 Perubahan berat komposit yang direndaam air laut



Gambar 5 Perubahan berat komposit yang disimpan dalam ruangan

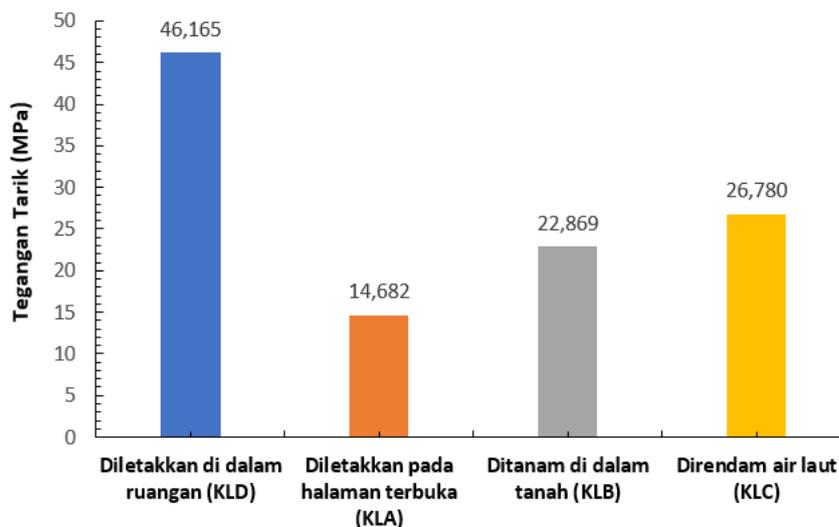
Hasil pengamatan terhadap ketiga kondisi lingkungan agresif A, B dan C, kemudian dibandingkan dengan hasil pengamatan terhadap komposit yang tidak diekspose pada lingkungan agresif, atau

ditempatkan didalam ruangan tertutup dengan kondisi normal (Kondisi A), dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat dengan jelas bahwa tidak ada perubahan pada berat komposit, dimana berat awal komposit sebelum dilakukan perlakuan yaitu 110,3 gram. Kemudian setelah 8 minggu penyimpanan dalam ruangan tidak terjadi pertambahan berat komposit yang signifikan dan berat akhir komposit yaitu 110,3 gram.

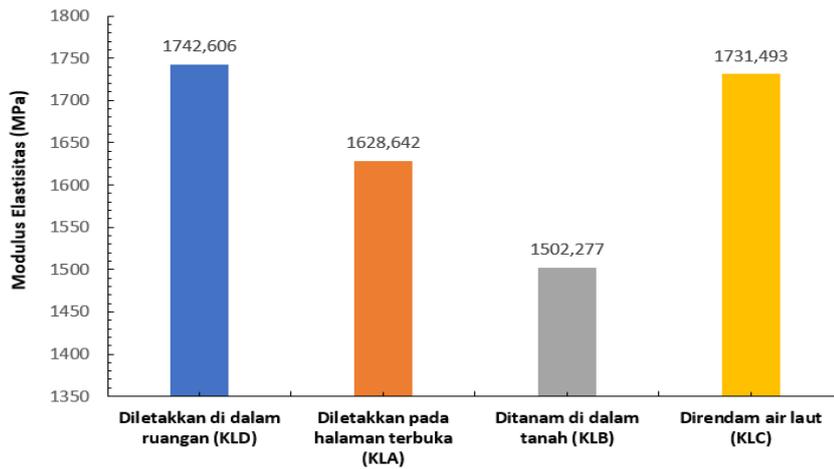
Secara umum dapat dikatakan bahwa komposit yang diberi perlakuan penanaman dalam tanah dan perendaman dalam air laut mengalami perubahan sifat fisik komposit yaitu perubahan berat komposit. Penambahan berat komposit pada dua perlakuan lingkungan agresif tersebut dikarenakan adanya air yang masuk pada lapisan serat dan matrix komposit. Penyerapan air paling banyak terjadi pada komposit yang diberi perlakuan penanaman di dalam tanah yaitu sebesar 3,143% dan penyerapan air pada komposit yang diberi perlakuan perendaman air laut sebesar 2,616%. Hal ini dikarenakan sifat *water absorption* dari komposit serat alam jika berada di udara lembab atau direndam dalam air.

Pengaruh Lingkungan Agresif Terhadap Kekuatan Tarik Komposit

Hasil pengujian kuat tarik komposit epoksi-sisal diperlihatkan pada Gambar 6. Terlihat bahwa nilai tertinggi dimiliki oleh komposit yang tidak diekspose (KLD) yang dalam eksperimen ini dijadikan sebagai kontrol, dengan nilai tegangan tarik 46,165 MPa. Kemudian komposit yang diberi perlakuan diletakkan pada halaman terbuka (KLA), ditanam dalam tanah (KLB) dan direndam dalam air laut (KLC) berturut-turut memiliki nilai tegangan tarik rerata sebesar 14,628 MPa, 22,869 MPa, dan 26,780 MPa. Nilai tegangan tarik terendah terdapat pada komposit yang diekspose pada ruang terbuka (KLA). Hal ini terjadi karena penurunan ikatan interface pada komposit yang disebabkan hilangnya kadar air dalam spesimen yang oleh dehidrasi pada komposit karena paparan sinar matahari. Selanjutnya dibandingkan nilai modulus tariknya (**Gambar 7**). Terlihat bahwa modulus elastisitas tarik tertinggi ditunjukkan oleh komposit control (KLD) dengan nilai modulus elastisitas sebesar 1742,606 MPa. Sedangkan, komposit yang diekspose pada halaman terbuka, ditanam di dalam tanah, dan direndam air laut memiliki nilai modulus elastisitas Tarik berturut-turut sebesar 1628,642 MPa, 1502,277 MPa, dan 17331,493 MPa.

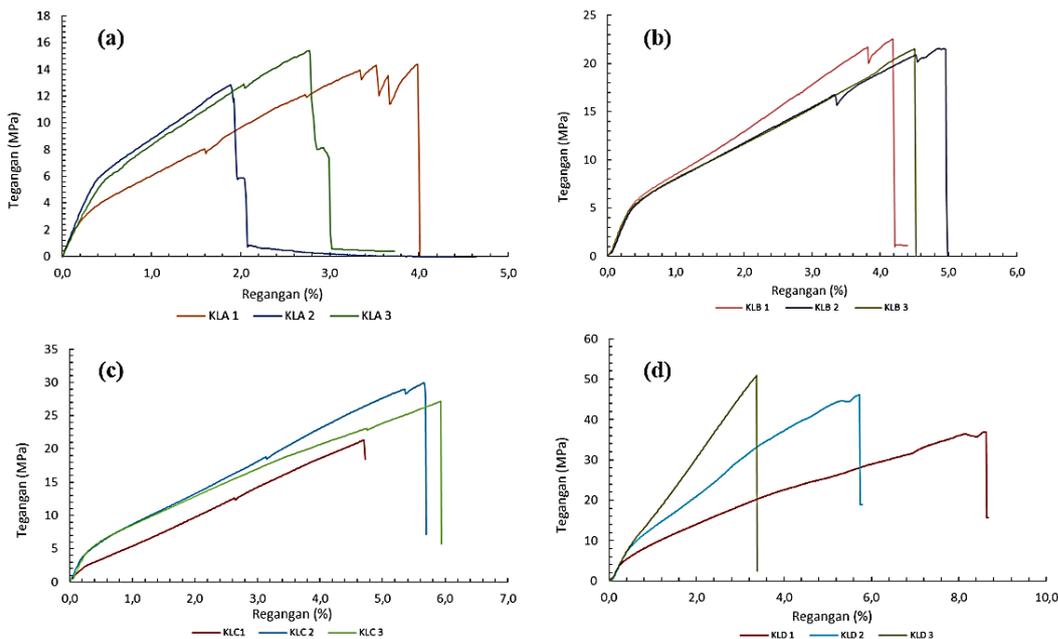


Gambar 6 Perbandingan kuat tarik komposit yang diekspose (KLA, KLB dan KLC) dengan komposit yang tidak diekspose (KLD)



Gambar 7 Perbandingan modulus elastisitas tarik komposit yang diekspose (KLA, KLB dan KLC dengan komposit yang tidak diekspose (KLD)

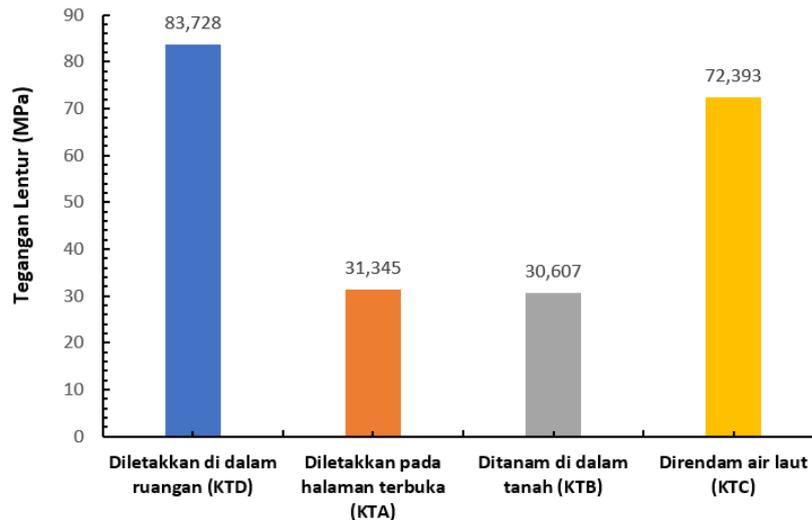
Perbandingan nilai modulus lentur (**Gambar 7**). Terlihat bahwa modulus elastisitas tarik tertinggi ditunjukkan oleh komposit control (KLD) dengan nilai modulus elastisitas sebesar 1742,606 MPa. Sedangkan, komposit yang diekspose pada halaman terbuka, ditanam di dalam tanah, dan direndam air laut memiliki nilai modulus elastisitas berturut-turut adalah 1628,642 MPa, 1502,277 MPa, dan 17331,493 MPa. Selanjutnya dibandingkan kurva tegangan-regangan masing-masing perlakuan. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8, pola hubungan tegangan dan regangan mengindikasikan bahwa semua komposit yang diekspose pada lingkungan agresif bersifat getas karena memiliki regangan dibawah 5%. Regangan rata-rata dari spesimen KLA, KLB, KLC berturut-turut adalah 2,881%, 4,520%, 5,433%. Sementara komposit yang tidak diekspose (KLD) memiliki regangan rata-rata sebesar 5,910%, tidak terlalu getas tetapi tidak bisa juga dikatakan daktail.



Gambar 8 Grafik perbandingan hubungan tegangan dan regangan komposit sisal-epoxy (a) KLA, (b) KLB, (c) KLC, (d) KLD

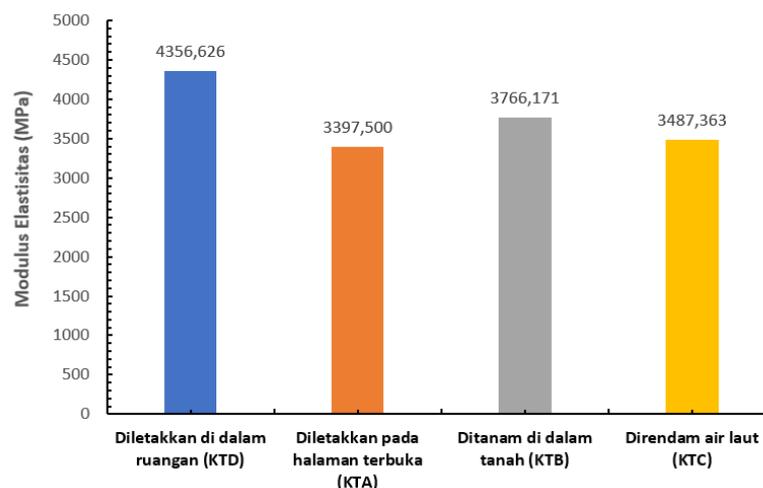
Pengaruh Lingkungan Agresif Terhadap Kekuatan Lentur Komposit

Hasil pengujian kuat lentur komposit epoksi-sisal diperlihatkan pada **Gambar 9**. Terlihat bahwa nilai tertinggi dimiliki oleh komposit yang tidak diekspose (KTD) yang dalam eksperimen ini dijadikan sebagai kontrol, dengan nilai tegangan lentur sebesar 83,728 MPa. Kemudian komposit yang diberi perlakuan diletakkan pada halaman terbuka (KTA), ditanam dalam tanah (KTB) dan direndam dalam air laut (KTC) berturut-turut memiliki nilai tegangan lentur rerata sebesar 31,345 MPa, 30,607 MPa, dan 72,393 MPa. Nilai tegangan lentur terendah terdapat pada komposit yang ditanam yakni sebesar 30,607 MPa.



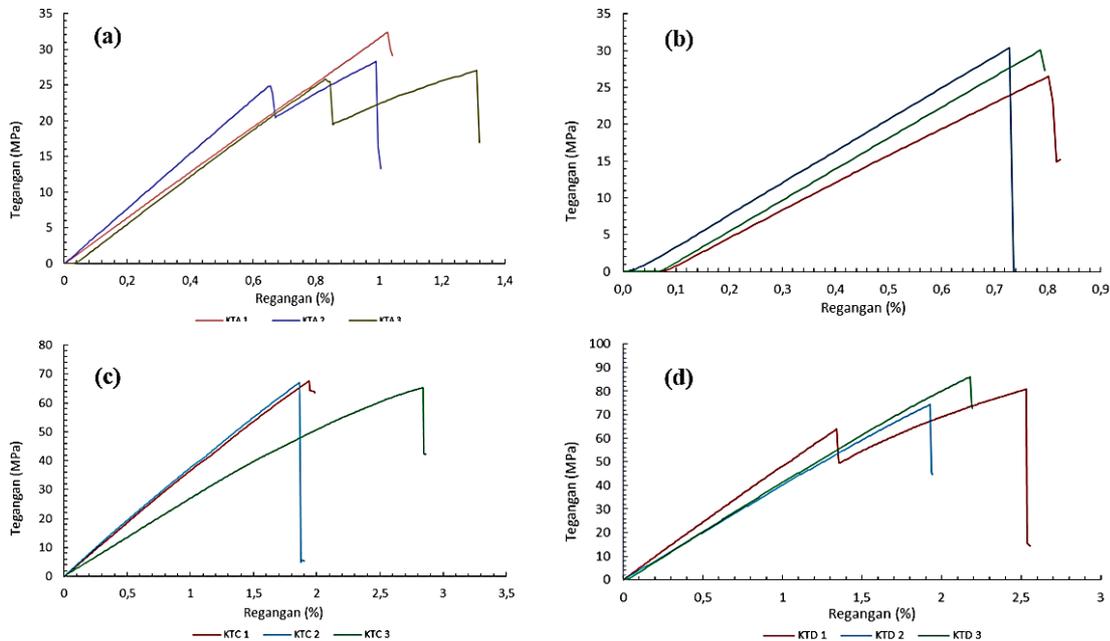
Gambar 9 Perbandingan kuat lentur komposit yang diekspose (KTA, KTB dan KTC dengan komposit yang tidak diekspose (KTD)

Selanjutnya dibandingkan nilai modulus lentur masing-masing perlakuan (Gambar 10). Terlihat bahwa modulus elastisitas lentur tertinggi ditunjukkan oleh komposit control (KTD) dengan nilai modulus elastisitas sebesar 4356,626 MPa. Sedangkan, komposit yang diekspose pada halaman terbuka, ditanam di dalam tanah, dan direndam air laut memiliki nilai modulus elastisitas Tarik berturut-turut sebesar 3397,5 MPa, 3766,171 MPa, dan 3487,363 MPa.



Gambar 10 Perbandingan modulus elastisitas lentur komposit yang diekspose (KTA, KTB dan KTC dengan komposit yang tidak diekspose (KTD)

Pola hubungan tegangan dan regangan lentur seperti yang terlihat pada **Gambar 11**, mengindikasikan bahwa semua komposit memiliki regangan lentur dibawah 5%, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11**. Regangan rata-rata dari komposisi yang diekspose pada lingkungan agresif (KTA, KTB, dan KTC) berturut-turut adalah 1,072%, 0,752%, dan 2,127%%. Sementara komposit yang tidak diekspose (KTD) memiliki regangan lentur rata-rata sebesar 2,170%. Semuanya bersifat getas.



Gambar 11 Grafik perbandingan hubungan tegangan dan regangan komposit epoksi-sisal. (a) KTA, (b) KTB, (c) KTC, (d) KTD

Secara umum dapat dikatakan bahwa kekuatan mekanik komposit (kuat tarik dan kuat lentur) akan mengalami degradasi apabila diekspose pada lingkungan yang agresif. Degradasi sifat mekanik ini disebabkan oleh rusaknya ikatan antara *matrix* dan *reinforcement* akibat ekspose pada lingkungan agresif. Perendaman pada air laut menyebabkan masuknya air mengisi void. Sementara temperatur yang berubah saat diekspose pada ruang terbuka membuat komposit mengalami pengembangan dan penyusutan yang berulang menyebabkan lapisan *matrix* akan mudah retak saat diberi beban. Begitupula pada komposit yang diberi perlakuan penanaman di dalam tanah memiliki nilai sifat mekanik lebih rendah. Hal ini disebabkan berkurangnya kekuatan komposit akibat pengaruh dari tekanan tanah dan kelembapan tanah yang menimbulkan pelapukan pada komposit.

Temuan dari investigasi ini sejalan dengan penelitian yang dilaporkan oleh Bakri, dkk (2015) dimana pengaruh lingkungan terbuka dapat menurunkan kuat lentur dan kualitas dari komposit jika dibiarkan dalam waktu yang lama. Hal yang sama dilaporkan oleh Umar, dkk (2018) yang menguji akselerasi paparan sinar UV sebagai model cuaca selama 1000 jam. Terjadi kerusakan pada material komposit akibat adanya pengaruh paparan tersebut. Berkurangnya kadar air pada komposit menyebabkan *debonding* atau kurang melekatnya serat dengan bahan pengikat atau resin. Sehingga, komposit menjadi cepat rusak dan tidak mampu menahan beban yang tinggi. Selain karena dehidrasi, kerusakan atau penurunan kualitas komposit juga dapat dipengaruhi oleh *water absorption*. Hal ini senada dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Lokantara dan Suardana (2009) yang menyatakan bahwa *water absorption* mempengaruhi kemampuan komposit berpenguat serat alami dalam jangka

waktu yang lama. Secara perlahan air akan menurunkan ikatan *interface* komposit sehingga menyebabkan penurunan properties mekanis seperti kuat tarik dan kuat lentur. Semakin besar fraksi volume serat pada komposit menyebabkan peningkatan *water absorption*. Selain, adanya pengaruh lingkungan agresif hal yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas komposit yaitu terjadi kecacatan pada komposit. Komposit dapat cacat pada saat proses pembuatannya, hal tersebut mengakibatkan komposit menjadi cepat rusak dan kurang mampu bertahan di lingkungan agresif.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kesimpulan utama yang bisa diambil dari penelitian ini adalah lingkungan agresif berpengaruh signifikan pada durabilitas komposit polimer epoksi yang diperkuat dengan serat sisal. Kesimpulan yang lebih detail adalah sebagai berikut:

- 1) Lingkungan agresif akan memperlemah sifat fisik komposit. Hasil pengukuran perubahan berat komposit mengindikasikan bahwa semua komposit yang diekspose pada 3 jenis lingkungan agresif mengalami pengurangan berat setelah diekspose selama 8 minggu.
- 2) Sifat mekanik komposit (kuat tarik dan kuat lentur) akan mengalami degradasi apabila diekspose pada lingkungan yang agresif. Kuat tarik dan modulus tarik lebih tinggi dimiliki oleh komposit yang tidak diekspose; dengan kuat tarik sebesar 46,165 MPa dan modulus elastisitas tarik sebesar 1742,606 MPa. Kuat tarik terendah ditemukan pada komposit yang diekspose pada ruang terbuka, sebesar 14,628 MPa, dan modulus elastisitas terendah ditemukan pada komposit yang diekspose dengan cara ditanam, yakni sebesar 1502, 277 MPa. Temuan yang senada diperlihatkan pada perilaku lentur komposit. Tegangan dan modulus elastisitas lentur tertinggi dimiliki oleh komposit kontrol yang tidak diekspose pada lingkungan agresif, sebesar 83,728 MPa dan 3397,5 MPa. Kuat lentur terendah dimiliki oleh komposit yang diekspose dengan cara ditanam (30,607 MPa), sementara modulus elastisitas terendam dimiliki oleh komposit yang diekspose pada ruangan terbuka, yakni sebesar 3397,5 MPa.

Saran

Ada dua hal yang disarankan untuk penelitian selanjutnya terkait observasi durabilitas komposit,

- 1) Ekspose pada lingkungan agresif perlu dilakukan lebih lama atau perlu menggunakan metode akselerasi degradasi, dan
- 2) Perlu dipastikan bahwa kualitas sampel seragam agar perubahan yang terjadi benar-benar dipastikan berasal dari pengaruh lingkungan agresif, bukan karena variasi kualitas awal sampel yang diamati.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakri, Chandrabakty, S., Alfriansyah, R., & Dahyar, A. (2015). *Potential coir fibre composite for small wind turbine blade application*. International Journal on Smart Material and Mechatronics, 2, 42-44.
- Bledzki A.K., Mamun A.A., Faruk O. (2007). *Abaca Fiber Reinforced PP Composite and Comparison With Jute and Flax Fibre PP Composites*, Express Polymer Letter. 1(11). hal. 755-762.

- Earl J.S. dan Shenoi R.A. (2004). *Hygrothermal ageing effects on FRP laminate and structural foam materials*, Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. 35(11). hal. 1237–1247.
- Fajrin, J. (2016). *Compressive Properties of Tropical Natural Fibers Reinforced Epoxy Polymer Composites*, J. Ilmu Teknol. Kayu Tropis. 14(2). hal. 127-135.
- Fajrin J., Pathurahman, Suparjo, Handayani T. (2017). *Flexural Properties of Tropical Natural Fibres Reinforced Epoxy Composites Prepared Using Vacuum Bagging Method*, Proceeding of 2nd ICST 2017, hal. 243-251.
- Fajrin, J., Sari, N. S. (2018). *Shear properties evaluation of natural fibre reinforced epoxy composites using V-notch shear test*, MATEC Web of Conferences 195, 02004, Proceeding Conference ICRMCE-5, UNS Solo, Indonesia.
- Fajrin, J., Sari, N. S. (2018). *Tensile properties of lignocellulosic composites: A comparison analysis between natural fiber composites (NFCs) and medium density fiber*. Jurnal Spektran. 6(1). hal. 111 – 116.
- Hang T. T. X. (2015). *Effect of silane modified nano ZnO on UV degradation of polyurethane coatings*, Prog. Org. Coatings, Vol. 79. hal. 68–74.
- Irawan A.P., Soemadi T.P., Widjajalaksmi K., Reksoprodjo H.S.(2009). *Komposit Laminat Rami Epoksi Sebagai Bahan Alternatif Socket Prosthesis*. Jurnal Teknik Mesin. 11(1). hal. 41-45.
- Joseph P.V., Rabello M.S., Mattoso L.H.C., Joseph K., Thomas S. (2002). *Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites*. Compos. Sci. Technol, 62(10–11), hal. 1357–1372.
- Lokantara, P., & Suardana, N. P. G. (2009). *Studi Perlakuan Serat Serta Penyerapan Air Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Tapis Kelapa/Polyester*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M, 3(1), 49-56.
- Lu T., Solis-Ramos E., Yi Y., Kumosa M. (2018). *UV degradation model for polymers and polymer matrix composites*, Polym. Degrad. Stab, Vol. 154, hal. 203–210.
- Mayya H B, Dayananda P, Vijaya M. K., Padmaraj N H. (2021). *Effect of Marine Environmental Conditions on Physical and Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Composites—A Review*, J. Inst. Eng. India Ser. C, Vol. 34., hal 234-243.
- Nishino T., Kotera M., Hirao K., Nakamae K. (2003). *Kenaf reinforced biodegradable composite*, Composites Science and Technology. 63(9). hal. 1281-1286.
- Ochi S. (2008). *Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites*, Mechanics of Materials. 40(4). hal. 446-452.
- Padmaraj N. H., Chethan K. N., Utkarsh S., Banerjee S., Utkarsh. (2018). *Influence of marine environment on mechanical properties of glass fiber reinforced composites*. IOP Conf. Ser.Mater. Sci. Eng. 377(1).
- Punyamurthy R., SaMPathkumar D., Ranganagowda R.P.G., Bennehalli B., Srinivasa C.V. (2015). *Mechanical properties of abaca fiber reinforced polypropylene composites: Effect of chemical*. Journal of King Saud University - Engineering Sciences. 29(3), hal. 289-294.
- Romanzini D., Ornaghi H.L., Amico S.C., Zattera A.J. (2012). *Preparation and Characterization of Ramie-Glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites*, Material Research, 15(3).
- Shibata M., Takachiyo K.I., Ozawa K. Yosomiya R, Takeishi H. (2002). *Biodegradable poliester composites reinforced with short abaca fiber*, Journal of applied polymer science, 85(1), hal. 129-138.
- Thiruchitrambalam M, Alavudeen A, Venkateshwaran N. (2012). *Review on Kenaf Fiber Composites*, Rev. Adv. Mater. Sci, Vol 32, hal. 106-112.
- Umar, A. H., Zainudin, E. S., & Sapuan, S. M. (2012). *Effect of accelerated weathering on tensile properties of kenaf reinforced high-density polyethylene composites*. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 2, 198-205.
- Wang Y.C., Wong P.M.H., Kodur V. (2007). *An experimental study of the mechanical properties of fibre reinforced polymer (FRP) and steel reinforcing bars at elevated temperatures*. Compos. Struct., 80(1), hal. 131–140.
- Zhang Y, Wen B., Li L.C.X., Zhang J. (2015). *Preparation And Properties Of Undmodified Ramei Fiber Reinforced Polypropolyne Composites*. Jurnal, Wuhan University of Technology Master.Sci.Ed, Vol 30, hal. 198-202.