

PENGARUH RADIASI ULTRAVIOLET (UV) PADA PIPA KOMPOSIT JUTE-EPOKSI TERHADAP BEBAN KOMPRESI

THE EFFECT OF ULTRAVIOLET (UV) RADIATION ON JUTE-EPOXY COMPOSITE PIPES ON COMPRESSION LOAD

G Wawan Saputra¹, I K Adi Atmika¹, I D G Ary Subagia^{1,2*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,
Kampus Bukit Jimbaran Badung-Bali, (80361) Indonesia

²Laboratorium Rekayasa Material, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,
Kampus Bukit Jimbaran Badung-Bali, (80361) Indonesia.

Diterima: 6 April 2022

Direvisi: 11 Mei 2022

Disetujui: 8 Juni 2022

ABSTRAK

Pengaruh radiasi UV pada pipa berbahan komposit serat jute epoksi matriks telah diteliti. Adapun tujuan penelitian ini untuk mengamati pengaruh radiasi UV terhadap sifat mekanik (pembebanan kompresi) pipa berbahan komposit. Percobaan skala laboratorium telah dilakukan dengan membuat benda uji pipa yang terbuat dari komposit. Komposit terbuat dari 3 lapis serat jute dan matriks epoksi. Adapun pembuatan benda uji dilakukan melalui proses cetakan vakum injeksi (VIM). UV (ultraviolet) dikondisikan dengan memadukan lampu Halogen 300W, lampu UVC T5 8W, lampu bohlam reflektor 40W, dan lampu UV GNB BLB 13W sesuai standar ASTM D2166M-16. Proses penyinaran UV pada pipa komposit dilakukan selama 72 jam dengan temperatur tetap 50° C. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan kompresi pada pipa komposit dengan perlakuan radiasi UV, rata-rata sebesar 30% terhadap kontrol. Sedangkan, mode patahan dari pipa komposit setelah pembebanan kompresi melalui analisa SEM didapatkan bahwa UV telah membuat degradasi matriks yang menyebabkan kegetasan dan kerapuhan. Kesimpulannya adalah bahwa radiasi UV berpengaruh terhadap sifat mekanik dan fisik dari pipa komposit.

Kata kunci: pipa komposit, serat alami, ultraviolet, kompresi

ABSTRACT

The effect of UV radiation on pipes made of jute fibers-epoxy matrix composites had been investigated. This study was aimed to investigate the influence of UV radiation on the composite pipes' mechanical properties by compression loading. The research laboratory experiment had been carried out by making pipe test objects made of composite. The composite consisted of 3 layers of jute fiber reinforced and an epoxy matrix. The manufacture of the test object was carried out through a vacuum injection molding (VIM) process. UV (ultraviolet) was conditioned by combining a 300W Halogen lamp, a 8W T5 UVC lamp, a 40W reflector bulb lamp, and a UV GNB BLB 13W according to the ASTM D2166M-16 standard. The UV irradiation process on the composite pipe was carried out for 72 hours at a temperature constant of 50° C. The experimental results showed that there was a decrease in compressive stress in the composite pipe with UV radiation treatment, an average of 30% against without UV radiation. Meanwhile, the fracture mode of the composite pipe after compression loading through SEM analysis, it was found that UV has made matrix degradation which caused brittleness and fragility. It was concluded that UV radiation affects the mechanical and physical properties of the composite pipe.

Keywords: composites, natural fibers, ultraviolet, compression

PENDAHULUAN

Pipa adalah alat yang digunakan untuk mengalirkan berbagai zat cair, dan gas. Pada umumnya, pipa dibuat dari bahan logam dan bahan plastik [1]. Pipa yang terbuat dari logam sangat unggul dalam sifat mekanik dan fisik. Akan

tetapi, pipa berbahan logam tidak tahan korosi [2]. Sementara, pipa dari *Poly-Vinil Chloride* (PVC) cukup baik dari segi mekanik dan fisik dan tahan korosi, *assembly* mudah, serta ringan. Sehingga sangat banyak diaplikasikan sebagai saluran drainase air bersih dan limbah sekarang ini [3]. Akan tetapi, pipa PVC sangat terkondisikan oleh

*Corresponding author :

Email: arsubmt@unud.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbt.v12i1.233>

temperatur panas dan dingin. Selain itu, non-*biodegradable*, dan mudah pecah karena benturan arah tangensial [4].

Dalam dua dekade terakhir, penerapan bahan komposit sebagai bahan pipa mulai dikembangkan. Seperti diketahui bahwa komposit adalah bahan yang terbentuk oleh dua fasa bahan yang berbeda terikat menjadi satu dengan sifat-sifat yang baru sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dalam hal ini bahan penguat dapat berupa partikel atau serat. Sedangkan matriks sebagai pengikat adalah polimer *thermoplastic* dan *thermosetting* cukup banyak dilakukan dalam dua dekade terakhir, seperti yang dilakukan dalam penelitian [5-7]. Keunggulan yang ditampilkan oleh material komposit berpenguat serat dan matriks polimer diantaranya kerapatan (densitas) rendah, tahan korosi yang disebabkan oleh air maupun kimia, dapat diproduksi sesuai kebutuhan pengguna, bersifat *biodegradable*, *non-toxic*, dan ramah lingkungan [8-9].

Sejalan dengan keinginan untuk mengurangi dampak limbah komposit sintetik terhadap lingkungan, pemerintah telah mendorong untuk sedapat mungkin mengaplikasikan bahan alami sebagai bahan dasar komposit. Atas dasar itu, beberapa peneliti dari arah berbeda telah secara intens melakukan studi terhadap bahan alami sebagai pembentuk komposit, khususnya untuk bahan dasar pipa [10-11]. Bahan alami sebagai penguat (*filler*) pada komposit, menurut sumbernya dikelompokkan menjadi bahan penguat dari tumbuhan (*plant-based*) dan penguat dari hewani (*animal-based*) [12]. Penguat yang bersumber dari tumbuhan seperti; serat nanas, sabut kelapa, goni, pisang, rami, dan banyak lagi serat alam lainnya sesuai dengan kemanfaatannya [13-15]. Selanjutnya, penguat dari hewan seperti bulu unggas, serat ulat sutra, wool dan sebagainya [16].

Serat jute (*Corchorus capsularis*), menjadi salah satu yang paling populer karena ketersediaannya berlimpah dan unggul pada sifat mekanik dibanding dengan serat alam lainnya [17-19]. Serat jute adalah kelompok serat alam dari tumbuhan [20-22] dengan ciri utama berupa kandungan zat *cellulose*, *hemicellulose*, *lignin*, *pectin* dan *wax* yang dominan [23-24]. Persentase kandungan zat tersebut pada serat jute masing-masing adalah *cellulose* (58–63%), *hemicellulose* (20–24%) dan *lignin* (12–15%) [25-26]. Sedangkan, *waxes* (0,4–1%), *pectin* (0,2–1,5%) and *ash* (0,5–1,2%) [16]. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan sifat dari serat jute

sebagai komposit seperti dilakukan oleh Sadat [27] yang menjelaskan bahwa Jute (*Corchorus spp.*) merupakan serat emas yang telah diaplikasikan secara luas sejak jaman dahulu dan menjadi serat yang aman secara ekologis dan *eco-friendly*. Raja [12], mempelajari sifat mekanik dari serat jute sebagai bahan penguat dalam struktur komposit, yang diikuti oleh penelitian lainnya [19,28,29]. Dari hasil kajian yang dilakukan, disimpulkan bahwa sifat yang paling menjanjikan dari serat jute yaitu modulus spesifik yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pengganti dari serat gelas sebagai penguat komposit. Di samping keunggulan tersebut, jute juga memiliki keunggulan *inherent* seperti *thermal conductivities* rendah, retensi kelembaban sedang, *biodegradable*, kekuatan tarik tinggi, tahan api dan panas [18,30,31].

Berdasarkan keunggulan komposit, salah satu yang menarik untuk dipelajari saat ini adalah degradasi polimer *thermoplastic* [32] maupun *thermosetting* [33] sebagai bahan matriks dari komposit. Biodegradasi [34], secara umum dipengaruhi oleh adanya panas, cahaya, udara dan air sebagai faktor yang paling signifikan dalam degradasi kimia bahan polimer *thermoplastic* maupun *thermosetting* [35]. Salah satu bentuk degradasi polimer *thermosetting* pada pipa komposit oleh lingkungan adalah efek ultraviolet (UV). UV adalah gelombang elektromagnetik oleh matahari yang mampu mendegradasi polimer karena temperatur yang dihasilkan, sehingga dapat menurunkan sifat mekanis maupun sifat kimia bahan [36]. Paparan UV pada polimer *thermosetting* mengakibatkan penurunan daya tahan dan kinerja secara dramatis yang ditunjukkan oleh ciri - ciri menguning, retak, serta pengurangan sifat mekanik [37]. Di samping itu, pengaruh waktu pemaparan dan intensitas sinar matahari menjadi faktor penentu degradasi epoksi pada komposit [38].

Dalam penelitian ini, pipa komposit berbasis penguat alami jute dan matriks epoksi dengan dan tanpa radiasi UV diuji terhadap beban kompresi. Tujuan penelitian untuk mengamati kekuatan karena radiasi UV terhadap pipa komposit. Pengujian kompresi menggunakan UTM dilakukan pada arah lateral pipa dengan kecepatan tekan (*cross head speed*) 3 mm/min, pembebanan maksimum (*load cell*) 5kN yang dilakukan masing-masing 5 (lima) kali pengujian dari setiap sampel. Analisa SEM dilakukan untuk mengamati perilaku patahan yang terjadi setelah pembebanan kompresi dari pipa komposit.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Gambar 1(a) dan 1(b) menunjukkan anyaman serat jute sebagai penguat, dan epoksi sebagai matriks. Karakteristik serat jute dipaparkan pada Tabel 1. Sementara, epoksi *bisphenol A diglycidyl ether* dengan *hardener* adalah *aliphatic polyamine* (EPH-555) [6] yang karakteristiknya dipaparkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat Serat Jute [16,23,29]

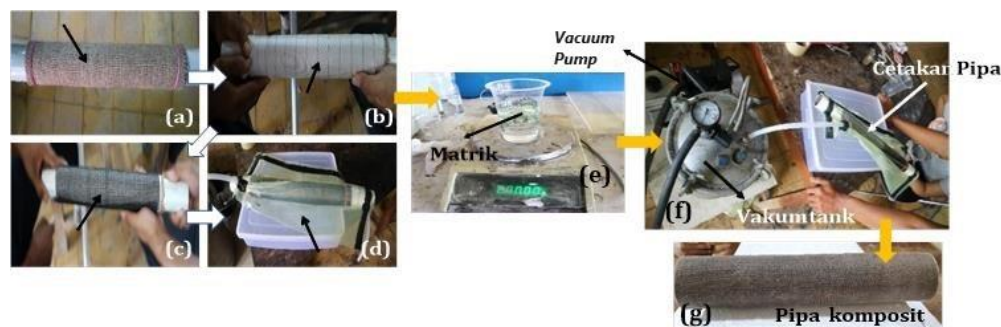
| Elemen (satuan) | Nilai |
|-------------------------------|--------|
| Densitas (g/cm ³) | 1,3 |
| Tegangan tarik (MPa) | 450 |
| Regangan patah (%) | 1,16-8 |
| Modulus Young's (GPa) | 10-55 |

Tabel 2. Sifat Epoksi Resin [40-44]

| Element (satuan) | Nilai |
|-------------------------------|-------|
| Densitas (g/cm ³) | 1,16 |
| Tegangan tarik (MPa) | 63,7 |
| Tegangan kompresi (MPa) | 88,2 |
| Viscosities (Pa.s) | 9-12 |
| Modulus Young's (MPa) | 4,3 |
| Regangan (%) | 3 |



Gambar 1. a) Proses Anyaman Jute, b) Epoksi dan *Hardener*



Gambar 2. Proses Fabrikasi dengan VIM

Proses Manufaktur

Gambar 2 menampilkan tahapan pembuatan pipa dengan bahan komposit. Pada proses ini terbagi menjadi; tahap penempatan serat jute pada cetakan yang ditunjukkan pada Gambar 2 (a)-2(d). Adapun tahapannya dilakukan sebagai berikut; Gambar 2(a) menunjukkan proses penempatan anyaman serat jute pada cetakan (mandril) dengan jumlah 3 (tiga) lapis. Dilanjutkan dengan pelapisan *release fiber* dan *bagging net* sebagai media pelapis dan pendistribusi matriks seperti ditampilkan pada Gambar 2(b) dan 2(c).

Selanjutnya, bahan pipa dibungkus *plastic bag* untuk mengondisikan cetakan menjadi vakum

seperti ditunjukkan pada Gambar 2(d). Tahap kedua adalah tahap pencampuran bahan matriks. Pada penelitian ini matriks yang digunakan adalah *thermosetting* yaitu epoksi. Matriks memiliki campuran menurut rasio fraksi berat yaitu 5:1 wt%. Proses pencampuran ditunjukkan pada Gambar 2(e). Pada proses ini, sebelum diinjeksi ke dalam cetakan terlebih dahulu campuran diaduk, dalam upaya untuk pencampuran yang merata antara pengering dan epoksi serta untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap. Hal ini juga untuk menghindari terjadinya *void* pada hasil cetakan.

Tahap selanjutnya adalah proses injeksi campuran ke dalam cetakan yang ditunjukkan pada Gambar 2(f). Pompa vakum digunakan untuk menghasilkan tekanan vakum di dalam cetakan sebesar -80 cmHg agar campuran epoksi dapat mengalir merata ke seluruh serat jute. Proses injeksi kurang lebih berlangsung selama 45 menit. Gambar 2(g) menunjukkan pipa hasil pencetakan dengan perbandingan antara penguat (laminasi serat jute) dan matriks (epoksi) berdasarkan fraksi berat, dengan berat rata-rata pipa komposit sepanjang 50 cm dan diameter 5 cm adalah 62 gram.

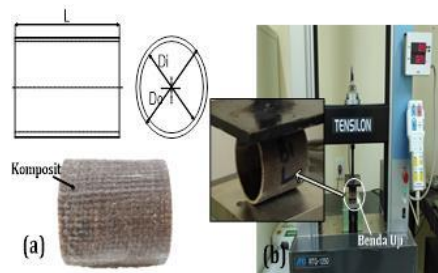
Gambar 3 menunjukkan proses perlakuan radiasi UV terhadap benda kerja (pipa komposit). Pada proses radiasi digunakan lampu seperti halogen 300W, lampu T5 UVC 8W, lampu Philips reflector bulb 40W dan 2 buah lampu UV GNB-BLB 13W. Proses radiasi UV dilakukan selama 72 jam dengan temperatur ruang dipertahankan 50°C. Lampu halogen 300W diproduksi oleh Philips dengan indeks sesuai warna (CRI) adalah 100, suhu warna 2800K dan fluks cahaya nominal 5110 lumens.



Gambar 3. Proses Perlakuan Radiasi UV pada Pipa Komposit

Pengujian Kompresi

Tegangan tekan (*Compressive Stress*) adalah tegangan normal yang dibebankan pada suatu benda dengan arah ke pusat massa, dimana terjadi penyusutan dari ukuran massa awal. Benda uji pada pengujian kompresi memiliki geometri seperti ditunjukkan pada Gambar 4(a). Ukuran spesimen uji kompresi mengikuti standar uji ASTM D 2166 M-16, yaitu: panjang (L) 50 mm, *outside diameter* (Do) 48 mm, *inside diameter* (Di) = 43 mm. *Universal Tensile Machine* (UTM), Tensilon RTG-1250 dengan *cross head speed* 3 mm/min dan *load cell* 5kN digunakan untuk pengujian kompresi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4(b). Pengujian benda kerja dilakukan dengan penekanan arah tangensial (*tangential compression*) sebanyak 5 (lima) kali pengulangan setiap variasi.



Gambar 4. a) Benda Uji, b) Pengujian Kompresi pada UTM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan Kompresi pada Pipa Komposit

Pembebanan tekan (*compression*) dilakukan pada benda kerja sebanyak 5 (lima) kali pengulangan untuk pipa dengan komposit serat jute epoksi matriks baik tanpa maupun dengan perlakuan UV. Penekanan pada arah lateral terhadap benda kerja telah dilakukan. Secara teoritis, pada uji kompresi arah lateral benda kerja mengalami dua perlakuan yaitu tekan dan tarik [45-47]. Tegangan kompresi, defleksi dan Modulus Young telah dihasilkan dalam pengujian untuk setiap perlakuan seperti ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kompresi Pipa Komposit

| Karakteristik | Non Radiasi | Radiasi UV |
|-----------------------|-------------|------------|
| Tegangan (MPa) | 0,274 | 0,190 |
| Defleksi (mm/mm) | 0,128 | 0,159 |
| Modulus Young's (MPa) | 2,534 | 1,740 |

Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata hasil uji kompresi untuk setiap sampel baik tanpa dan dengan radiasi UV. Dari Tabel 3 terlihat bahwa tegangan kompresi pada benda kerja yang terdampak radiasi UV mengalami penurunan sebesar 30,06% dibandingkan terhadap tegangan kompresi tanpa perlakuan radiasi UV. Kondisi ini disebabkan karena degradasi dari gugus polimer yang menyebabkan kerapuhan. Di samping itu karena perubahan ikatan polimer mengakibatkan pemudaran warna dari benda kerja [11-48]. Selanjutnya, pada proses penekanan dari pipa komposit, terjadi pertambahan panjang pada sisi diagonal horizontal, sehingga kegagalan dari pipa terjadi pada titik diagonal arah vertikal dan horizontal. Pipa dengan perlakuan UV memiliki perpanjangan diagonal arah horizontal lebih panjang sebesar 19,49 % daripada tanpa perlakuan

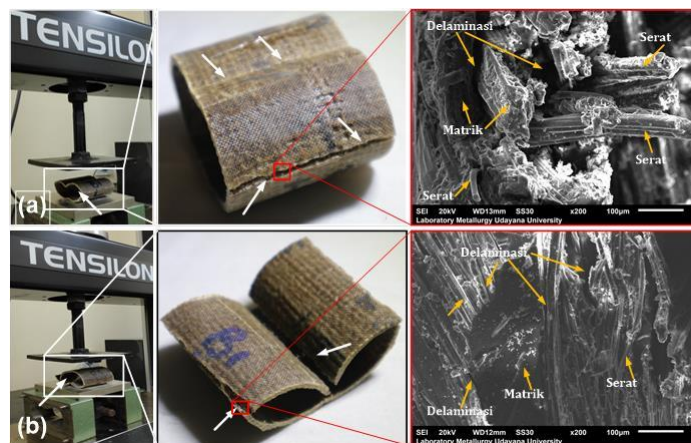
UV. Hal ini menandakan bahwa UV telah mengubah rantai polimer menjadi lebih panjang yang diwujudkan dengan karakteristik polimer menjadi lebih lunak.

Dengan kata lain bahwa UV berpengaruh terhadap tegangan mulur karena polimer menjadi lebih *ductile*. Sebaliknya, nilai modulus elastisitas pipa komposit dengan serat jute matriks epoksi tanpa perlakuan UV lebih tinggi sebesar 31,33% dibandingkan terhadap pipa komposit dengan radiasi UV. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa radiasi UV berpengaruh positif terhadap karakteristik mekanis (beban kompresi). Penelitian terdahulu menyatakan bahwa panjang gelombang UV, waktu paparan dan intensitas UV berpengaruh pada degradasi sifat kompresi dari pipa berbahan komposit [37,49,50].

Patahan pipa komposit

Gambar 5(a) dan 5(b) menunjukkan mode patahan dari pipa komposit setelah pembebanan

tekan (*compression*) baik tanpa dan dengan perlakuan UV. Secara umum, patahan terjadi memanjang pada bidang diagonal dari pipa. Sementara itu, mode patahan getas dihasilkan pada pipa berbahan komposit jute-epoksi yang dikenai radiasi UV, (Gambar 5(b)), dibandingkan dengan pipa tanpa perlakuan UV (Gambar 5(a)). Sifat ini disebabkan oleh adanya degradasi matriks (epoksi). Hasil pengujian tersebut, selaras dengan hasil pengujian yang telah dilakukan oleh [37], bahwa efek UV dalam kurun waktu yang lama dapat mendegradasi ikatan polimer yang dapat menurunkan sifat mekanik. Di samping itu juga dinyatakan bahwa radiasi UV telah menurunkan ikatan matriks terhadap serat penguat sehingga patahan terjadi terkonsentrasi pada titik sumbu diagonal x dan y dan lebih getas. Sifat yang ditunjukkan tersebut, sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Vilimova [51], dan peneliti lainnya; [25,50,52,53].



Gambar 5. a). Patahan Tanpa Perlakuan UV. b). Patahan dengan Perlakuan UV

Penampang patahan dari pipa komposit dengan penguat serat jute dan matriks epoksi setelah pembebanan kompresi, ketika diamati pada SEM untuk material komposit tanpa perlakuan UV. (inset Gambar 5(a)), terdapat beberapa delaminasi antara serat dan matriks. Namun di beberapa bagian terjadi ikatan antar muka serat dan matriks (*interfaces*) yang sangat baik. Di samping itu juga, bentuk patahan yang terbentuk menunjukkan patahan sembarang (*rupture*). Kemudian pada Gambar 5b (inset) ditampilkan pula bentuk patahan dari pipa komposit dengan perlakuan UV. Pada gambar teramati bahwa dengan adanya degradasi matriks karena UV maka delaminasi terjadi cukup banyak.

Selain itu, bentuk patahan terlihat rata, yang menandakan bahwa komposit menjadi lebih getas, dibandingkan dengan yang tanpa perlakuan UV. Namun, ikatan antara serat penguat (serat jute) dengan matriks (epoksi) lebih solid.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian pembebanan tekan pada pipa berbahan komposit dengan radiasi UV telah dilakukan. Hasil pengujian dibandingkan dengan tanpa radiasi UV. Radiasi UV pada pipa berbahan komposit dilakukan dengan simulasi lampu UV. Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah

penurunan kekuatan tekan arah tangensial karena radiasi UV sebesar 30.6% terhadap komposit tanpa radiasi UV. Radiasi UV pada material komposit berpengaruh sangat efektif, dimana akibat paparan UV mengubah ikatan polimer yang menyebabkan menurunnya sifat mekanis dan fisik dari polimer dalam mengikat serat penguat. Demikian patah getas (*brittle*) menjadi ciri dan sangat berbahaya bagi struktur karena dapat patah tanpa informasi terlebih dahulu, sehingga dalam aplikasinya disarankan untuk dilindungi (ditanam) sehingga radiasi UV tidak terjadi.

Saran

Penelitian yang telah dilakukan masih membutuhkan kajian-kajian yang lebih mendalam terutama pada pengaruh paparan UV terhadap laju penyerapan air dari pipa berbasis komposit. Selain itu juga dibutuhkan studi lanjutan terhadap sifat fisik dari pipa komposit terkait dengan radiasi ultraviolet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM-UNUD) dan Tim peneliti di Laboratorium rekayasa material yang telah membantu dalam proses penyelesaian karya ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Amid, A. A. A. Jeddi, M. Salehi, H. Dabiryan, and R. Pejman, "Investigation of Circular Woven Composite Preforms for Composite Pipes," *Autex Research Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 100–108, 2016.
- [2] A. Eyvazian, H. Mozafari, and A. M. Hamouda, "Experimental Study of Corrugated Metal-composite Tubes under Axial Loading," *Procedia Engineering*, vol. 173, pp. 1314–1321, 2017.
- [3] N. Jaćimović, F. D'Agaro, Z. Ivančić, and M. Stamenić, "On thermoplastic piping stress analysis," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 179, p. 104010, 2020.
- [4] S. Hadi, R. N. A. Takwin, and A. Dani, "Uji Kekuatan Tekan dan Kekuatan Lentur Pipa Air PVC," *Jurnal Logic*, vol. 16, no. 1, p. 7, 2016.
- [5] Z. Sun *et al.*, "Enhancing the mechanical and thermal properties of epoxy resin via blending with thermoplastic polysulfone," *Polymers*, vol. 11, no. 3, 2019.
- [6] A. Bajpai, J. R. Davidson, and C. Robert, "Studies on the Modification of Commercial Bisphenol-A-Based Epoxy Resin Using Different Multifunctional Epoxy Systems," *Applied Mechanics*, vol. 2, no. 2, pp. 419–430, 2021.
- [7] S. Matei, M. Stoicanescu, and A. Crisan, "Composites with Short Fibers Reinforced Epoxy Resin Matrix," *Procedia Technology*, vol. 22, pp. 174–181, 2016.
- [8] S. Kumar, A. Manna, and R. Dang, "A review on applications of natural Fiber-Reinforced composites (NFRCS)," *Materials Today: Proceedings*, vol. 50, pp. 1632–1636, 2021.
- [9] A. Ghosh, "Performance modifying techniques for recycled thermoplastics," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 175, p. 105887, 2021.
- [10] Z. Ren *et al.*, "Manufacture and investigation on the shape memory polymer composite subsidy pipe," *Composite Structures*, vol. 274, p. 114331, 2021.
- [11] M. Rahman ANM and R. A. Khan, "Influence of UV Radiation on Mechanical Properties of PVC Composites Reinforced with Pineapple Fiber," *Journal of Textile Science & Engineering*, vol. 08, no. 01, pp. 1–5, 2018.
- [12] T. Raja, P. Anand, M. Karthik, and M. Sundaraj, "Evaluation of mechanical properties of natural fibre reinforced composites - A review," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 8, no. 7, pp. 915–924, 2017.
- [13] F. P. La Mantia and M. Morreale, "Green composites: A brief review," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 42, no. 6, pp. 579–588, 2011.
- [14] T. Hojo, X. U. Zhilan, Y. Yang, and H. Hamada, "Tensile properties of bamboo, jute and kenaf mat-reinforced composite," *Energy Procedia*, vol. 56, pp. 72–79, 2014.
- [15] O. Faruk, A. K. Bledzki, H. P. Fink, and M. Sain, "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010," *Progress in Polymer Science*, vol. 37, no. 11, pp. 1552–1596, 2012.
- [16] H. Singh, J. I. P. Singh, S. Singh, V. Dhawan, and S. K. Tiwari, "A Brief Review

- of Jute Fibre and Its Composites,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 28427–28437, 2018.
- [17] M. E. Alves Fidelis, T. V. C. Pereira, O. D. F. M. Gomes, F. De Andrade Silva, and R. D. Toledo Filho, “The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 149–157, 2013.
- [18] M. K. Gupta, R. K. Srivastava, and H. Bisaria, “Potential of Jute Fibre Reinforced Polymer Composites: A review,” *International Journal of Fiber and Textile and Research*, vol. 5, no. 3, pp. 30–38, 2015.
- [19] Y. G. Thyavihalli Girijappa, S. Mavinkere Rangappa, J. Parameswaranpillai, and S. Siengchin, “Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review,” *Frontiers in Materials*, vol. 6, pp. 1–14, 2019.
- [20] D. Gon, K. Das, P. Paul, and S. Maity, “Jute Composites as Wood Substitute,” *International Journal of Textile Science*, vol. 1, no. 6, pp. 84–93, 2013.
- [21] M. A. Ashraf, M. Zwawi, M. T. Mehran, R. Kanthasamy, and A. Bahadar, “Jute Based Bio and Hybrid Composites and Their Applications,” *Fibers*, vol. 7, no. 9, pp. 1–29, 2019.
- [22] T. S. Bindusara, B. S. Keerthi Gowda, and R. Velmurugan, “A Study on Mechanical Properties of Symmetrical and Asymmetrical Woven Jute Fiber Composite Polymer,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 376, no. 1.
- [23] P. S. S. Kumar and K. V. Allamraju, “A review of natural fiber composites [Jute, Sisal, Kenaf],” *Materials Today: Proceedings*, vol. 18, pp. 2556–2562, 2019.
- [24] B. C. Mitra, “Environment friendly composite materials: Biocomposites and green composites,” *Defence Science Journal*, vol. 64, no. 3, pp. 244–261, 2014.
- [25] A. B. Asha, A. Sharif, and M. E. Hoque, “Interface Interaction of Jute Fiber Reinforced PLA Biocomposites for Potential Applications,” in *Green Energy and Technology*, 2017.
- [26] P. Wang, F. Chen, H. Zhang, W. Meng, Y. Sun, and C. Liu, “Large-scale preparation of jute-fiber-reinforced starch-based composites with high mechanical strength and optimized biodegradability,” *Starch - Stärke*, vol. 69, no. 11–12, p. 1700052, 2017.
- [27] A. Sadat and K. Chakraborty, “Jute-A biological elixir with multifaceted applications: An overview,” *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, vol. 6, no. 4, pp. 323–332, 2015.
- [28] B. Vinod and L. J. Sudev, “Study on Influence of Curing Temperature on Tensile Properties of Jute and Hemp Reinforced Hybrid Polymer Composites,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1240, no. 1, 2019.
- [29] T. Jirawattanasomkul, S. Likitlersuang, N. Wuttiwannasak, T. Ueda, D. Zhang, and T. Voravutvityaruk, “Effects of Heat Treatment on Mechanical Properties of Jute Fiber-Reinforced Polymer Composites for Concrete Confinement,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 32, no. 12, p. 4020363, 2020.
- [30] K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, “A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance,” *Composites: Part A*, vol. 83, pp. 98–112, 2016.
- [31] H. Ku, H. Wang, N. Pattarachaiyakoop, and M. Trada, “A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites,” *Composites: Part B*, vol. 42, pp. 856–873, 2011.
- [32] Y. Wang, M. Lou, W. Dong, and Y. Wang, “Predicting failure pressure of reinforced thermoplastic pipes based on theoretical analysis and experiment,” *Composite Structures*, vol. 270, p. 114039, 2021.
- [33] Y. L. Liu *et al.*, “Mechanical properties and morphology studies of thermosets from a liquid-crystalline epoxy resin with biphenol and aromatic ester groups,” *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 296, no. 1, pp. 83–91, 2011.
- [34] P. Baishya, D. Saikia, M. Mandal, and T. K. Maji, “Biodegradability, flammability, dimensional stability, and UV resistance study of green wood starch gluten nanocomposites,” *Polymer Composites*, vol. 40, no. 1, pp. 46–55, 2019.

- [35] D. Scida *et al.*, “Hygrothermal/UV aging effect on visual aspect and mechanical properties of non-woven natural-fiber composites,” *Journal of Renewable Materials*, vol. 7, no. 9, pp. 865–875, 2019.
- [36] S. Stevens, J. Edwin Raja Dhas, K. Anton Savio Lewise, A. Mohammad, and M. Fahad, “Investigations on chemical behaviours on mechanical properties of natural fiber Composites: An evaluation,” *Materials Today: Proceedings*, no. xxxx, 2022.
- [37] S. Mahzan and M. F. and M. Zaleha, “UV radiation effect towards mechanical properties of Natural Fibre Reinforced Composite material: A Review,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 165, p. 012021, 2017.
- [38] S. I. Hussein, “Effect of UV irradiation and water absorption on mechanical properties of epoxy composites,” *Physics & Astronomy International Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 98–100, 2018.
- [39] Ankit, M. Rinawa, P. Chauhan, D.Suresh, S. Kumar, and R. Santhosh Kumar, “A review on mechanical properties of natural fiber reinforced polymer (NFRP) composites,” *Materials Today: Proceedings*, no. xxxx, 2021.
- [40] Bryan Ellis, *Chemistry and Technology of Epoxy Resins*, Fisrt Edit., vol. 1. 1993.
- [41] K. M. Khan and P. R. V Chavan, “Experimental Investigation on Properties of DGEBA Based Epoxy Resin,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2017.
- [48] F. A. Abdulla, N. M. Moustafa, and A. F. Hussein, “Effect of uv- radiation on fatigue behaviour of natural composite materials,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 8, no. 4, pp. 727–740, 2018.
- [49] M. Shahriar Kabir *et al.*, “Mechanical Properties of Gamma-Irradiated Natural Fiber Reinforced Composites,” *Nano Hybrids and Composites*, vol. 23, pp. 24–38, 2018.
- [52] T. Lisle, C. Bouvet, M. L. Pastor, P. Margueres, and R. Prieto Corral, “Damage analysis and fracture toughness evaluation in a thin woven composite laminate under static tension using infrared thermography,” *Composites Part A: Applied Science and* 06, no. 03, pp. 394–398, 2019.
- [42] N. R. Paluvai, S. Mohanty, and S. K. Nayak, “Synthesis and Modifications of Epoxy Resins and Their Composites: A Review,” *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, vol. 53, no. 16, pp. 1723–1758, 2014.
- [43] S. Rahayu and M. Siahaan, “Karakteristik Raw Material Epoxy Resin Tipe Bqtn-Ex 157 Yang Digunakan Sebagai Matrik Pada Komposit (the Characteristics of Raw Material Bqtn-Ex 157 Epoxy Resin Used As Composites Matrix),” *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 15, no. 2, p. 151, 2018.
- [44] K. P. Unnikrishnan and E. T. Thachil, “Toughening of epoxy resins,” *Designed Monomers and Polymers*, vol. 9, no. 2, pp. 129–152, 2006.
- [45] P. Golewski and T. Sadowski, “An Influence of UV Ageing Process on Tensile Strength and Young’s Modulus of Polymeric Fiber Composite Materials,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 416, no. 1, p. 012057.
- [46] R. Pavan Kumar Reddy, M. Prabhu, and K. S. Ashraff Ali, “A review on investigation of compressive load and buckling load on composite pipe for windmill application,” in *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 51, pp. 1026–1029.
- [47] S. E. Firouzsalar, D. Dizhur, K. Jayaraman, and J. M. Ingham, “Bending behaviour of flax fabric-reinforced epoxy pipes,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 140, p. 106179, 2021.
- [50] Y. Lyu, X. Gu, and Y. Mao, “Green Composite of Instant Coffee and Poly(vinyl alcohol): An Excellent Transparent UV-Shielding Material with Superior Thermal-Oxidative Stability,” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 18, pp. 8640–8648, 2020.
- [51] P. Vilímová, J. Tokarský, P. Peikertová, K. Mamulová Kutláková, and T. Plaček, “Influence of thermal and UV treatment on the polypropylene/graphite composite,” *Polymer Testing*, vol. 52, pp. 46–53, 2016.
- [53] A. Sankaran, A. Kamboj, L. Samant, and S. Jose, “Synthetic and Natural UV Protective Agents for Textile Finishing,” *Innovative and Emerging Technologies for Textile Dyeing and Finishing*, pp. 301–324, 2021.