

ANALISIS SIFAT MEKANIK KOMPOSIT DIPERKUAT SERAT PINANG MENGUNAKAN METODE PENGUJIAN BENDING STATIK

Fadly Ahmad Kurniawan Nasution

Fakultas Teknik dan Komputer Universitas Harapan Medan, Jl. H.M. Joni No 70 C Medan,
fadlie.ahmad@gmail.com

Muhammad Arifin

Fakultas Teknik dan Komputer Universitas Harapan Medan, Jl. H.M. Joni No 70 C Medan,
arfiin91@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang menggunakan metode pengujian bending statik. Komposit diperkuat serat pinang adalah bahan yang menunjukkan potensi sebagai alternatif yang menarik dalam aplikasi teknik dan material berbasis serat alam. Metode pengujian bending statik digunakan untuk mengevaluasi modulus elastisitas, kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan keuletan komposit. Pada tahap preparasi sampel, serat pinang diatur dengan baik dalam matriks resin untuk membentuk sampel komposit. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban pada titik tengah sampel secara bertahap hingga terjadi patah atau deformasi yang signifikan. Selama pengujian, regangan, gaya, dan perubahan bentuk sampel diukur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit diperkuat serat pinang memiliki nilai modulus elastisitas, kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan keuletan yang signifikan. Faktor-faktor seperti orientasi serat, komposisi serat-matriks, dan interaksi antara serat dan matriks dapat mempengaruhi karakteristik mekanik komposit. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang, yang dapat digunakan untuk pengembangan dan aplikasi material tersebut. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk perbandingan dengan komposit diperkuat serat lainnya atau material lain yang digunakan dalam aplikasi serupa.

Keywords:

Komposit diperkuat serat pinang; metode pengujian bending statik; kekuatan lentur; modulus elastisitas; kekuatan tarik.

Abstract

This study aims to analyze the mechanical properties of areca nut fiber reinforced composites using static bending testing methods. Areca nut fiber reinforced composites are materials that show potential as an attractive alternative in engineering applications and natural fiber-based materials. Static bending testing methods are used to evaluate the modulus of elasticity, tensile strength, flexural strength, and ductility of composites. At the sample preparation stage, areca nut fibers are well arranged in a resin matrix to form a composite sample. The test is performed by applying a load on the midpoint of the sample gradually until a significant fracture or deformation occurs. During the test, the strain, force, and change in shape of the sample are measured. The test results show that areca nut fiber reinforced composites have significant values of modulus of elasticity, tensile strength, flexural strength, and ductility. Factors such as fiber orientation, fiber-matrix composition, and interactions between fibers and matrices can affect the mechanical characteristics of composites. This research provides a better understanding of the mechanical properties of areca nut fiber reinforced composites, which can be used for the development and application of such materials. The results of this study can also be used as a basis for comparison with other fiber-reinforced composites or other materials used in similar applications.

Kata Kunci:

Composite reinforced areca nut fiber; static bending testing methods; bending strength; modulus of elasticity; tensile strength.

1. PENDAHULUAN/INTRODUCTION

Komposit diperkuat serat telah menjadi fokus utama dalam penelitian material karena kombinasi kekuatan serat dengan keuletan matriks resin yang memberikan sifat mekanik yang superior dibandingkan dengan material tunggal. Salah satu jenis serat alam yang menarik perhatian adalah serat pinang. Serat pinang, yang diperoleh dari daun tanaman pinang, memiliki karakteristik yang menjanjikan sebagai penguat dalam komposit.

Penggunaan serat pinang sebagai penguat dalam komposit menawarkan beberapa keuntungan. Pertama, serat pinang berasal dari sumber alami yang melimpah dan terbarukan, sehingga memiliki potensi sebagai bahan ramah lingkungan. Selain itu, serat pinang memiliki kekuatan mekanik yang baik, kekakuan yang tinggi, dan berat yang relatif ringan. Hal ini membuatnya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi kekuatan dan keuletan, seperti industri otomotif, konstruksi, dan industri perkapalan.

Namun, sebelum serat pinang dapat diimplementasikan secara luas sebagai penguat dalam komposit, perlu dilakukan analisis menyeluruh terhadap sifat mekaniknya. Analisis ini diperlukan untuk memahami kinerja komposit diperkuat serat pinang dalam berbagai kondisi beban dan lingkungan. Salah satu metode pengujian yang umum digunakan adalah pengujian bending statik.

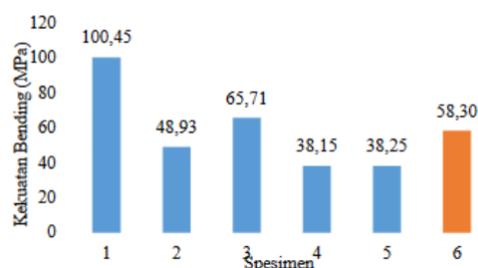
Pengujian bending statik memungkinkan evaluasi yang komprehensif terhadap sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang. Dalam pengujian ini, sampel komposit diberi beban pada titik tengahnya dan kemiringan atau regangan yang dihasilkan diukur. Dengan menggunakan hubungan antara beban dan regangan, dapat dihitung modulus elastisitas, kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan keuletan komposit. Penelitian ini di latar belakang oleh komposit diperkuat serat pinang adalah bahan yang menunjukkan potensi sebagai alternatif yang menarik dalam aplikasi teknik dan material berbasis serat alam.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang menggunakan metode pengujian bending statik. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik mekanik komposit ini, kita dapat memperoleh wawasan yang berharga untuk pengembangan material baru dan meningkatkan aplikasi komposit diperkuat serat pinang dalam berbagai industri.

Penelitian ini memiliki relevansi yang tinggi karena dapat memberikan kontribusi pada pengembangan bahan berbasis serat alam yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada bahan sintesis berbasis minyak bumi. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan wawasan tentang potensi aplikasi komposit diperkuat serat pinang dalam industri yang membutuhkan kekuatan dan keuletan tinggi. Dalam lanjutan laporan penelitian ini, akan dijelaskan secara rinci tentang metodologi yang digunakan, hasil pengujian dan analisis, serta implikasi dari hasil penelitian ini dalam konteks pengembangan dan aplikasi komposit diperkuat serat pinang.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

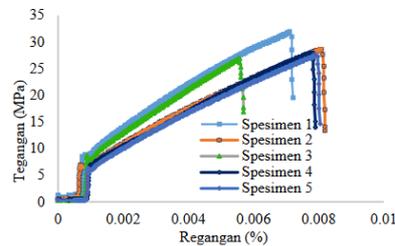
2.1 Grafik Kekuatan Bending



Gambar 1. Grafik Hubungan Campuran Resin dan Serat Buah Pinang Terhadap Kekuatan Bending

Gambar 5 menunjukkan bahwa antara campuran resin dengan serat buah pinang menghasilkan kekuatan bending yang berbeda-beda. Kekuatan bending tertinggi terjadi pada spesimen 1 dengan nilai kekuatan bending sebesar 100,45 MPa. Hal ini terjadi karena nilai elastisitas bahan yang tinggi akan menghasilkan kekuatan yang tinggi. Kajian yang serupa pun dengan perbandingan filler 10% dan matriks 90% mendapatkan kekuatan bending sebesar 49 N/mm² [12]. Pada kajian ini juga dijumpai spesimen yang hampir sama yakni spesimen 2 dengan nilai kekuatan bending sebesar 48,93 MPa (N/mm²).

2.2 Grafik Tegangan-Regangan



Gambar 2. Grafik Tegangan-Regangan Resin dan Serat Buah Pinang

Gambar 4 memperlihatkan bahwa tegangan dan regangan pada masing-masing spesimen memiliki nilai yang berbeda-beda. Beberapa hal yang menyebabkan perbedaan yang dihasilkan seperti pengaruh suhu ruangan pada saat pengujian dan perbedaan ukuran serat per helai pada spesimen serta ukuran spesimen yang tidak seragam. Tegangan maksimum tertinggi pada pengujian tarik ini terjadi pada spesimen 1 dengan nilai 31, 951 Mpa dan tegangan maksimum terendah didapatkan oleh spesimen 3 dengan nilai 26,895. Regangan maksimum tertinggi didapatkan oleh spesimen 2 (0,008044%) dan regangan maksimum terendah didapatkan oleh spesimen 3 (0,005580%). Bila dibandingkan dengan kajian dengan standar spesimen yang sama yakni ASTM D638-03, nilai tegangan tarik pada kajian ini jauh lebih tinggi [11].

2.3 Komposit

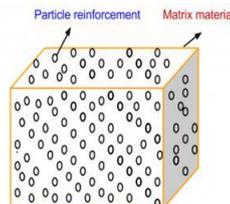
Komposit merupakan suatu jenis material yang terdiri dari dua atau lebih material dimana pada setiap material tersebut memiliki bahan yang berbeda antara satu dengan yang lainnya baik itu dari sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut. Sifat material pada komposit memiliki struktur mikro berupa matrik dan penguat, keunggulan pada material ini adalah ringan, kaku, dan kuat, dan kelemahannya pada harga mahal dan mengalami *delamination*.

2.4 Jenis Penguat / Pengisi (*Filler*) pada Material Komposit

Penguat/pengisi (*filler*) merupakan suatu material yang diisikan kedalam matriks dan berfungsi untuk membentuk bahan komposit. Menurut Kartini, R., Darmasetiawan, H., Karo, A. K., & Sudirman, S. (2018), sifat pada bahan komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi unsur penyusun, serta interaksi pada keduanya. Dan parameter lain yang mempengaruhi sifat pada bahan komposit yaitu bentuk, orientasi, ukuran, serta distribusi dari penguat (*filler*) dan berbagai ciri matriks. Penguat-penguat pada material komposit dibedakan menjadi:

1. Partikel

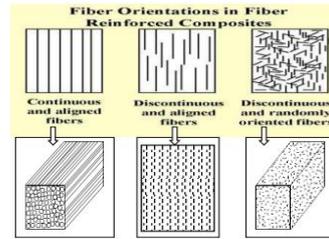
Penguat pada partikel memiliki ukuran partikel $1\mu\text{m}$. Konsentrasi yang dapat dicampurkan pada matriks mencapai (20-40) %. Pada material komposit yang disusun dengan penguat partikel memiliki kekuatan yang sama pada berbagai arah, digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan pada material dengan cara menghalangi pergerakan dislokasi.



Gambar 3. Bentuk partikel

2. Serat (*fiber*)

Pada penguat serat *fiber* memiliki ukuran 0,001 inci. Konsentrasi yang dapat dicampurkan pada matriks bisa mencapai 70% fraksi volume. Pada penguat serat dapat di bedakan menjadi serat pendek dan random (*discontinuous and randomly oriented fiber*), serat pendek searah (*discontinuos and aligned fiber*), dan serat panjang dan searah (*continuos and aligned fiber*).



Gambar 4. Jenis serat fiber

3. Komposit berlapis (*structural composit*)

Pada komposit berlapis terdiri dari dua material berbeda yang diertakan bersama. Pada proses pelapisan dilakukan dengan cara mengkombinasikan aspek terbaik pada masing-masing lapisan untuk memperoleh bahan yang berguna. Salah satunya yaitu *sandwich* merupakan suatu komposit yang memiliki susunan yang terdiri dari 3 lapisan yang terdiri dari kulit permukaan (*skin*), flat komposit (*metal sheet*), serta material inti (*core*) berada dibagian tengahnya. *Core* yang biasa digunakan yaitu seperti *polyuretan* (PU), *polyvnyl clorida* (PVC), dan *honeycomb*. Komposit sandwich dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, tetapi tetap memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah dipasang core. Jenis-jenis material inti (*core*) yang biasa digunakan pada komposit *sandwich*.

1) *Polyuretan Foam* (PU)

Polyuretan foam merupakan suatu bahan sintesis yang berstruktur seluler dan berpori, *polyuretan* terbuat dari reaksi isosianat dan reaksi polioliol. *polyuretan* dapat dibuat dengan cara mereaksikan dua bahan kimia reaktif yaitu isosianat dengan polioliol, dan ditambahkan aditif untuk mengontrol proses reaksi dan memodifikasi produk akhir. Isosianat merupakan suatu molekul yang memiliki kandungan gugus radikal isosianat (-NCO).

Berdasarkan struktur selnya *polyuretan foam* diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu sel terbuka dan sel tertutup. Sel tertutup merupakan sel-sel yang terpisah sehingga fase gas pada satu sel tidak berhubungan dengan sel yang lainnya.



Gambar 5. Polyuretan Foam

2) *Polyvnyl clorida* (PVC)

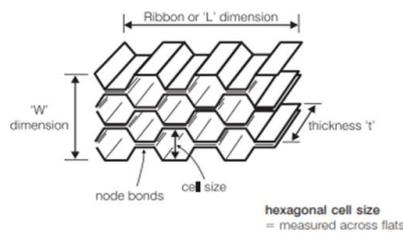
Polyvnyl clorida (PVC) merupakan suatu jenis polimer yang paling sering digunakan karena stabilitasnya rendah, pada umumnya bahan PVC digunakan dalam konstruksi perpipaan, atap, bangunan, insulasi kabel. PVC juga merupakan salah satu bahan polimer yang menggunakan baan baku minyak bumi terendah di antara jenis polimer yang lainnya. PVC dapat dihasilkan melalui proses yang di sebut polimerisasi dengan adisi HCl yang dapat menghasilkan polimer dengan rantai lurus dengan ikatan ganda.



Gambar 6. Polyvnyl Clorida

3) *Honeycomb*

Honeycomb merupakan salah satu jenis *core* yang sering digunakan pada rancangan dan konstruksi sistem transportasi ringan seperti yang digunakan pada satelit, kereta cepat, dan pesawat terbang. Pada konstruksi *sandwich* dengan *core* jenis *honeycomb* memberikan efisiensi struktural yang cukup baik, yaitu rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi (Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N, 2019).



Gambar 7. Struktur Honeycomb

2.4. Komposit Diperkuat Serat

Komposit diperkuat serat adalah material yang terdiri dari serat sebagai penguat dan matriks sebagai bahan pengikat. Serat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan, sedangkan matriks bertindak sebagai media yang mentransfer beban antar serat. Komposit diperkuat serat memiliki keunggulan kombinasi kekuatan serat dengan keuletan matriks, yang menghasilkan sifat mekanik yang superior dibandingkan dengan material tunggal.

2.5. Serat Pinang

Serat pinang diperoleh dari daun tanaman pinang. Serat ini memiliki beberapa karakteristik yang menarik sebagai penguat dalam komposit. Serat pinang memiliki kekuatan mekanik yang baik, kekakuan yang tinggi, dan berat yang relatif ringan. Selain itu, serat pinang juga merupakan sumber alami yang melimpah dan terbarukan, sehingga memiliki potensi sebagai bahan ramah lingkungan.



Gambar 8. Pohon Pinang

Serat pinang adalah jenis serat alami yang diperoleh dari daun kelapa sawit (*Areca catechu*). Serat ini memiliki karakteristik yang menarik untuk digunakan sebagai penguat dalam komposit. Beberapa ciri-ciri serat pinang adalah sebagai berikut:

1. **Kekuatan Mekanik:** Serat pinang memiliki kekuatan mekanik yang baik. Serat ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, yang berarti serat pinang dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekuatan komposit. Kekuatan tarik serat pinang biasanya berkisar antara 400-600 MPa.
2. **Kekakuan:** Selain kekuatan, serat pinang juga memiliki kekakuan yang baik. Modulus elastisitas serat pinang, yang mengukur kemampuannya untuk menahan deformasi elastis, berkisar antara 30-45 GPa. Kekakuan serat pinang ini berkontribusi pada kekakuan komposit secara keseluruhan.
3. **Berat Jenis:** Serat pinang memiliki berat jenis yang relatif rendah, sehingga dapat membantu mengurangi berat komposit secara keseluruhan. Dengan menggunakan serat pinang sebagai penguat, komposit dapat memiliki kekuatan yang tinggi dengan berat yang relatif ringan.
4. **Ketersediaan dan Biodegradabilitas:** Serat pinang mudah ditemukan dan memiliki ketersediaan yang baik di daerah tropis. Selain itu, serat pinang juga memiliki sifat biodegradabel, sehingga komposit yang diperkuat serat pinang memiliki keunggulan dari segi ramah lingkungan.
5. **Kompatibilitas dengan Matriks:** Pada umumnya, serat pinang memiliki kompatibilitas yang baik dengan matriks polimer seperti poliester atau polimer epoksi. Hal ini memungkinkan adhesi yang kuat antara serat pinang dan matriks, sehingga meningkatkan transfer beban antara kedua fase dan sifat mekanik komposit.

Penggunaan serat pinang sebagai penguat dalam komposit telah diteliti dalam berbagai aplikasi, termasuk industri otomotif, konstruksi, dan produk tahan lama. Keberhasilan penggunaan serat pinang dalam komposit tergantung pada desain komposit, pemrosesan, dan adhesi antara serat dan matriks.

Namun, penting untuk diingat bahwa karakteristik serat pinang dapat bervariasi tergantung pada kondisi pertumbuhan, pemrosesan serat, dan faktor lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan karakterisasi dan analisis yang cermat terhadap serat pinang yang akan digunakan dalam komposit untuk memahami dan memanfaatkan sifat-sifatnya dengan baik.

2.6. Metode Pengujian Bending Statik

Metode pengujian bending statik digunakan untuk mengevaluasi sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang. Dalam pengujian ini, sampel komposit diberi beban pada titik tengahnya secara bertahap dan kemiringan atau regangan yang dihasilkan diukur. Dengan menggunakan hubungan antara beban dan regangan, dapat dihitung sifat mekanik seperti modulus elastisitas, kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan keuletan komposit.

2.7. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan material. Dalam pengujian bending statik, modulus elastisitas komposit diperkuat serat pinang dapat dihitung dari gradien garis lurus pada diagram regangan-beban pada tahap elastis.

- Kekuatan Tarik:** Kekuatan tarik merupakan kemampuan komposit diperkuat serat pinang untuk menahan tekanan dan tegangan sebelum terjadi patah atau kegagalan. Dalam pengujian bending statik, kekuatan tarik dapat dihitung dari beban maksimum yang dapat ditahan oleh sampel sebelum patah.
- Kekuatan Lentur:** Kekuatan lentur adalah kemampuan komposit diperkuat serat pinang untuk menahan tekanan dan tegangan saat diberi beban pada titik tengahnya. Kekuatan lentur dapat dihitung dari beban maksimum yang dapat ditahan oleh sampel dan parameter geometri sampel yang digunakan dalam pengujian.
- Keuletan:** Keuletan adalah kemampuan komposit diperkuat serat pinang untuk menahan deformasi atau perubahan bentuk sebelum terjadi patah. Keuletan dapat diperoleh dari perubahan bentuk sampel pada tahap plastis dalam pengujian bending statik

2.8. Sifat Mekanik

Penggunaan serat pinang sebagai penguat dalam komposit dapat memberikan kontribusi terhadap sifat mekanik komposit. Berikut ini adalah beberapa aspek yang dapat dianalisis dalam konteks sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang:

2.8.1 Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik merupakan kemampuan komposit untuk menahan gaya tarik sebelum terjadi kegagalan. Analisis sifat kekuatan tarik melibatkan pengujian tarik pada spesimen komposit diperkuat serat pinang. Hasil pengujian dapat memberikan informasi tentang kemampuan komposit dalam menahan beban tarik dan kemampuan serat pinang dalam mentransfer beban ke matriks.

2.8.2 Kekuatan Lentur (*Flexural Strength*)

Kekuatan lentur mengukur kemampuan komposit untuk menahan beban lentur atau beban yang bekerja pada arah tegak lurus terhadap serat. Pengujian bending statik digunakan untuk menganalisis sifat kekuatan lentur komposit diperkuat serat pinang. Hal ini memberikan pemahaman tentang kekuatan komposit dalam situasi pemuatan lentur dan kontribusi serat pinang terhadap kekuatan lentur komposit.

2.8.3 Modulus Elastisitas (*Elastic Modulus*)

Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan material dan kemampuannya untuk mengembalikan bentuk asal setelah deformasi. Pengujian modulus elastisitas dapat dilakukan untuk menganalisis kontribusi serat pinang dalam meningkatkan kekakuan komposit. Serat pinang yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi dapat meningkatkan modulus elastisitas komposit secara keseluruhan.

2.8.4 Ketahanan Terhadap Patah (*Fracture Toughness*)

Ketahanan terhadap patah menggambarkan resistensi komposit terhadap perambatan retak dan kegagalan. Pengujian ketahanan terhadap patah dapat memberikan informasi tentang kemampuan komposit diperkuat serat pinang untuk menahan deformasi dan retakan. Analisis ini penting untuk memahami kinerja komposit dalam situasi pemuatan yang kompleks.

Selain pengujian langsung, analisis sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang juga dapat melibatkan simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga. Dengan memodelkan geometri komposit dan memasukkan sifat material serat pinang dan matriks, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam terhadap sifat mekanik komposit dalam berbagai kondisi beban.

Dalam melakukan analisis sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang, penting juga untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti adhesi antara serat pinang dan matriks, orientasi serat, dan distribusi serat dalam matriks. Semua faktor ini dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit secara keseluruhan.

Dengan menganalisis sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang, dapat dipahami potensi penggunaan serat pinang sebagai penguat dalam komposit dan memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan aplikasi komposit yang lebih baik.

2.9. Jenis Pengujian

Untuk melakukan pengujian sifat mekanik komposit diperkuat serat pinang menggunakan metode pengujian bending statik, Anda akan membutuhkan beberapa peralatan berikut:

1. Mesin Uji Tarik dan Lentur: Peralatan utama yang digunakan adalah mesin uji tarik dan lentur yang dilengkapi dengan sistem pengujian statik. Mesin ini digunakan untuk mengaplikasikan beban pada spesimen komposit dan mencatat responsnya. Mesin uji tarik dan lentur harus memiliki kemampuan untuk mengukur beban yang diterapkan dan deformasi yang terjadi pada spesimen.
2. Spesimen Komposit: Spesimen komposit diperlukan untuk pengujian. Spesimen ini harus dipersiapkan sesuai dengan standar yang berlaku, seperti ASTM atau ISO. Untuk pengujian bending statik, spesimen yang umum digunakan adalah spesimen berbentuk balok dengan dimensi yang telah ditentukan.
3. Alat Pengukur Deformasi: Pengukuran deformasi pada spesimen komposit selama pengujian sangat penting. Anda dapat menggunakan alat pengukur deformasi seperti extensometer atau strain gauge untuk mengukur perubahan panjang atau regangan pada spesimen. Data deformasi ini akan membantu dalam analisis sifat mekanik komposit.
4. Alat Pemotong dan Pemangkas: Peralatan ini diperlukan untuk memotong dan mempersiapkan spesimen komposit sebelum pengujian. Alat pemotong yang tepat akan membantu dalam memperoleh spesimen dengan dimensi yang sesuai dan permukaan yang rata.
5. Mikroskop: Penggunaan mikroskop optik atau mikroskop elektron (SEM) dapat membantu dalam analisis morfologi serat pinang dan interaksi antara serat pinang dan matriks. Mikroskop ini dapat memberikan gambaran yang lebih rinci tentang struktur dan distribusi serat dalam komposit.
6. Perangkat Lunak Analisis: Perangkat lunak analisis seperti perangkat lunak pemrosesan data atau perangkat lunak elemen hingga dapat digunakan untuk memproses dan menganalisis data pengujian. Perangkat lunak ini memungkinkan pengolahan data yang lebih efisien dan analisis sifat mekanik komposit yang lebih mendalam.

3. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan maka dapat diambil kesimpulan yaitu Kesimpulan dari kajian ini adalah perbedaan sifat mekanis (uji tarik, bending, dan dampak) disebabkan oleh susunan serat dan diameter serta ukuran spesimen yang tidak seragam. Perlu dilakukan variasi perbandingan serat dan matriks pada kajian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perermentan, Tentang Pedoman Teknis Pembangunan Kebun Sumber Benih Pinang. 2014: Jakarta.
- [2] Kavitha, S., J. Srinivasan, and G. Prabu, Low cost biodegradable arecahusk fibre for the removal of direct dye from effluent. *Latest Trends in Textile and Fashion Designing*, 2019: p. 634-639.
- [3] Suryadi, G.S., Kajian Mikrostruktur, Sifat Termal, Mekanik, dan Permukaan Biokomposit Berpenguat Tandan Kosong Kelapa Sawit. Tesis. Bogor : Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor; 2017.
- [4] Muralidhar, N., et al., A study on areca nut husk fibre extraction, composite panel preparation and mechanical characteristics of the composites. *Journal of The Institution of Engineers*, 2019. 100(2): p. 135-145.
- [5] Kencanawati, C.I.P.K., et al., A study on biocomposite from local balinese areca catechul. husk fibers as reinforced material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017. 201: p. 012002.
- [6] Rajesh, M. and J. Pitchaimani, Mechanical properties of natural fiber braided yarn woven composite: comparison with conventional yarn woven composite. *Journal of Bionic Engineering*, 2017. 14(1): p. 141-150.
- [7] Hassan, M.M., et al., Physico-mechanical performance of hybrid betel nut (areca catechu) short fiber/seaweed polypropylene composite. *Journal of Natural Fibers*, 2010. 7(3): p. 165-177.
- [8] Merajul Haque, M. and M. Hasan, Mechanical properties of betel nut and glass fibre reinforced hybrid polyethylene composites. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 2016. 13(3): p. 3763-3772.
- [9] Dhanalakshmi, S., P. Ramadevi, and B. Basavaraju, A study of the effect of chemical treatments on areca fiber reinforced polypropylene composite properties. *Science and Engineering of Composite Materials*, 2017. 24(4).
- [10] Rahman, M.M., M. Mondol, and M. Hasan, Mechanical properties of chemically treated coir and betel nut fiber reinforced hybrid polypropylene composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018. 438: p. 012025.
- [11] Fahmi, H., S. Hadi, and F.M. Kapur, Analisis kekuatan komposit resin diperkuat serat pinang. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, 2016. 2(6).

- [12] Chakrabarty, J., M.M. Hassan, and M.A. Khan, Effect of surface treatment on betel nut (areca catechu) fiber in polypropylene composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 2012. 20(2): p. 501-506