

# Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Dan *Microcrystalline Cellulose* (MCC) Terhadap Kekuatan Tarik Pada Komposit *Polyester* Berpenguat Serat Sisal

Jeremy Novan Listando, I Putu Lokantara, dan I Made Astika  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali*

---

## Abstrak

*Perkembangan teknologi material telah mendorong inovasi komposit berbasis serat alam, termasuk penggunaan serat sisal (Agave sisalana) dan Microcrystalline Cellulose (MCC) sebagai material alternatif dengan sifat mekanis unggul. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat sisal terhadap kekuatan tarik komposit polyester dengan penambahan Microcrystalline Cellulose (MCC) sebesar 5%. Serat sisal (Agave Sisalana) berperan sebagai penguat alami yang ramah lingkungan, sementara MCC digunakan sebagai bahan pengisi untuk meningkatkan sifat mekanis dengan memperbaiki ikatan antara serat dan matriks polimer, serta mengurangi rongga pada komposit. Pembuatan spesimen menggunakan metode hand lay-up dengan resin polyester Yukalac 157 BQTN-EX, serat sisal sepanjang 10 mm yang telah dialkalisasi NaOH 5%, dan MCC sebesar 5% terhadap volume total. Variasi fraksi volume serat sisal yang digunakan adalah 25%, 30%, dan 35%. Uji tarik dilakukan menggunakan standar ASTM D3039.*

*Kata kunci : komposit, serat sisal, microcrystalline cellulose, hand lay-up, uji tarik*

## Abstract

*The development of material technology has driven innovations in natural fiber-based composites, including the use of sisal fiber (Agave sisalana) and Microcrystalline Cellulose (MCC) as alternative materials with superior mechanical properties. This study aims to determine the effect of varying sisal fiber volume fractions on the tensile strength of polyester composites with the addition of 5% MCC. Sisal fiber (Agave sisalana) serves as an eco-friendly natural reinforcement with favorable mechanical properties, while MCC is used as a filler to improve mechanical performance by enhancing the bond between the fiber and the polymer matrix, as well as reducing voids within the composite. Specimens were fabricated using the hand lay-up method with Yukalac 157 BQTN-EX polyester resin, 10 mm sisal fibers treated with 5% NaOH, and MCC amounting to 5% of the total volume. The sisal fiber volume fractions used were 25%, 30%, and 35%. Tensile testing was conducted in accordance with ASTM D3039 standards.*

*Keywords : composite, sisal fibre, microcrystalline cellulose, hand lay-up, tensile test*

---

## 1. Pendahuluan

Percepatan kemajuan teknologi saat ini telah menjangkau hampir seluruh bidang kehidupan, termasuk material. Hal ini memicu munculnya material baru serta perpaduan dari material yang telah ada, contohnya material komposit [9]. Komposit sendiri dapat memadukan bahan sintesis dan alami sebagai komponen utamanya, variasi matriks sintesis berperan sebagai perekat dan serat alam sebagai penguat. Dibandingkan serat sintesis, komposit berbasis serat alam dipandang sebagai alternatif yang lebih unggul [1].

Serat alam sebagai alternatif penguat untuk berbagai komposit polimer dikarenakan mudah didapatkan dengan biaya yang murah, memiliki sifat termal yang baik, densitas rendah, energi yang terkandung rendah, dapat terurai secara alami sehingga ramah lingkungan. Serat sisal merupakan salah satu serat alam yang menjanjikan dikarenakan memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, memiliki modulus

elastisitas yang cukup baik, serta kekuatan tekan dan lentur yang memadai [6]. Namun pengaplikasian serat sisal dalam komposit masih memiliki keterbatasan dalam konteks struktural, dimana terdapat masalah keterikatan antara serat dan matriks polimer, serta variabilitas sifat mekanik yang dapat mempengaruhi kinerja komposit [4].

*Microcrystalline Cellulose* (MCC) merupakan bentuk selulosa murni, digunakan sebagai bahan pengisi dan pengikat dalam berbagai aplikasi. Dalam komposit berbasis serat, MCC dapat meningkatkan sifat mekanis dengan memperbaiki ikatan serat-matriks, serta meningkatkan kekuatan tarik dan dapat meminimalisir luas rongga yang harus diisi matriks maupun serat. Maka dari itu densitas komposit pun menjadi lebih tinggi [12]. Perlakuan alkali NaOH dan penambahan MCC dapat mengurangi void sehingga densitas meningkat [8].

Selain itu variasi fraksi volume serat sisal dalam komposit memiliki dampak signifikan terhadap kinerja mekanik, dan pemilihan rasio yang tepat sangat penting untuk mencapai sifat material yang diinginkan. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas tarik komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah serat yang berfungsi sebagai penguat, mengurangi proporsi matriks yang dapat menyebabkan kelemahan ikatan [10].

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai pengaruh variasi fraksi volume serat sisal dan *microcrystalline cellulose* terhadap kekuatan tarik pada komposit *polyester* berpenguat serat sisal dan *microcrystalline cellulose*. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian tarik penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam pengembangan penelitian komposit serat alam.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Komposit

Komposit didefinisikan sebagai material hasil kombinasi dua atau lebih material dengan sifat berbeda, sehingga menghasilkan material baru dengan sifat unggul tanpa mengubah struktur dasar material penyusunnya. Umumnya, komposit terdiri dari matriks (pengikat), dan filler (penguat). Komposit diklasifikasikan berdasarkan elemen penguat dan berdasarkan matriks. Berikut klasifikasi berdasarkan elemen penguat :

1. *Particulate Composites* (Komposit Partikel)
2. *Fibrous Composites* (Komposit Serat)



Gambar 1. Komposit Serat

3. *Structural Composites* (Komposit Berlapis)
- Klasifikasi berdasarkan matriks :

1. *Metal Matrix Composites (MMC)*
2. *Ceramic Matrix Composites (CMC)*
3. *Polymer Matrix Composites (PMC)*

### 2.2. Matriks

Dalam material komposit, matriks berfungsi sebagai fase utama dengan proporsi volume terbesar. Peran utamanya mencakup penyaluran tegangan ke serat, menciptakan

ikatan koheren pada permukaan antarmuka, melindungi serta memisahkan serat, melepas ikatan, dan mempertahankan kestabilan struktur pasca proses manufaktur. Resin poliester tak jenuh (*unsaturated polyester*) merupakan matriks dari komposit yang tergolong ke dalam kageteri resin *thermoset*. Dalam pengaplikasiannya komposit resin poliester ditambahkan penguat (*reinforced*) berupa serat. Karakteristik mekanik resin *unsaturated polyester* memiliki densitas sebesar 1,2-1.5 g/cm<sup>3</sup> [11]. Resin yang akan digunakan adalah resin poliester Yukalac 157 BQTN-EX dengan nilai densitas sebesar 1,215 g/cm<sup>3</sup> [5].

### 2.3. Serat Agave Sisalana

Serat berperan sebagai bahan penguat dalam material komposit. Fungsi utamanya ialah untuk meningkatkan sifat mekanis material matriks secara signifikan, seperti kekuatan ataupun modulus yang tinggi. Serat sisal memiliki keunggulan dibandingkan serat sintesis terutama sifat *biodegradable* yang memungkinkan terurai secara alami, sehingga lebih ramah lingkungan. Serat sisal memiliki struktur kimia yang kompleks, terdiri dari 43-88% selulosa, 7-24% hemiselulosa, 3-9% lignin, serta sejumlah kecil wax dan abu. Variasi komposisi kimia serat sisal dipengaruhi oleh perbedaan asal, umur, dan metode pengukurannya.

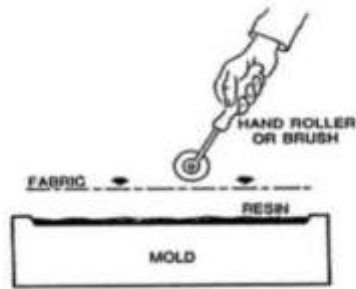
### 2.4. Microcrystalline Cellulose (MCC)

*Microcrystalline cellulose* (MCC) merupakan bahan serat alami yang berasal dari selulosa yang telah mengalami proses pemurnian dan pengolahan yang memecah rantai selulosa menjadi partikel-partikel kecil berukuran mikroskopis. MCC dihasilkan dengan menghilangkan daerah amorf melalui proses hidrolisis asam sehingga memiliki potensi besar sebagai penguat selulosa untuk material polimer [2]. MCC digunakan sebagai filler pada matriks polimer, baik *thermoplastik* maupun *thermoset*. Sifat mekanik seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketangguhan material komposit dapat ditingkatkan dengan penambahan MCC dikarenakan struktur MCC yang berukuran mikroskopis membantu mendistribusikan beban secara merata pada komposit. MCC membantu menutup void yang ada sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik komposit [12].

### 2.5. Metode Hand Lay-up

Metode *hand lay-up* tergolong sederhana, praktis dan ekonomis. Prosesnya dilakukan secara manual menggunakan peralatan roller atau kuas [3]. Pembuatan komposit dimulai dengan menuangkan resin ke serat, partikel atau lembaran, kemudian

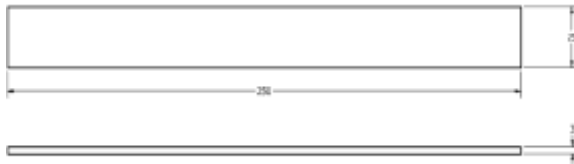
diberikan tekanan dan diratakan dengan menggunakan roller atau kuas.



Gambar 2. Metode *Hand Lay-up*

## 2.6. Metode *Hand Lay-up*

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari suatu material. Dari pengujian ini dapat diketahui karakteristik dan beberapa sifat mekanik dari material. Pengujian dan perhitungan ini mengacu pada standar ASTM D3039 yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini dalam ukuran mm :



Gambar 3. Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D3039

Dari hasil pengujian tarik ini, nilai kekuatan tarik maksimum dan regangan dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

1. Tegangan Maksimum :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

2. Regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

3. Modulus Elastis :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Keterangan :

- $\sigma$  = Tegangan Tarik (MPa)
- $\varepsilon$  = Elastisitas atau Regangan (%)
- P = Beban (N)
- $A_0$  = Luas Penampang Awal Spesimen (mm<sup>2</sup>)
- $L_0$  = Panjang Awal Spesimen Sebelum Pengujian (mm)
- $\Delta L$  = Pertambahan Panjang Spesimen Setelah Pengujian (mm)
- E = Modulus Elastisitas (GPa)



Gambar 4. Alat Uji Tarik

## 2.7. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah alat yang memanfaatkan berkas elektron terfokus untuk menghasilkan gambar yang menampilkan morfologi serta komposisi relatif suatu sampel [7]. SEM-EDX ini digunakan untuk menganalisis jenis kegagalan material yang terjadi pada patahan spesimen komposit hasil uji tarik pada penelitian ini. Daun *Sansevieria* memiliki banyak kelebihan, banyak mengandung unsur karbon (C), nitrogen (N), dan oksigen (O) dengan kandungan air yang sedikit[7]. Dalam pemrosesan serat daun *Sansevieria trifasciata* relatif mudah untuk didapat dan bahan yang terbarukan.

## 3. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

### 3.1. Alat

1. Alat cetak: Menggunakan Cetakan berbentuk segi empat yang terbuat dari akrilik karena polyester tidak menempel pada akrilik sehingga mudah untuk melepas spesimen dari cetakan.
2. Alat ukur: Penggaris, timbangan digital, gelas ukur, timer (*stop watch*), jangka sorong, piknometer.
3. Alat bantu: Gunting, pengaduk elektrik/magnetic stirrer, sendok, klem/penjepit, selotip, amplas.
4. Alat pembersih: Tissue, lap.
5. Alat Uji Tarik Tensilon RTG-1250 dengan ASTM D3039.
6. Scanning Electrone Microscopy (SEM).

### 3.2. Bahan

1. Matrik: Yukalac 157 BQTN-EX dan Mekpo.
2. Penguat: Serat Sisal (Agave Sisalana) dan Microcrystalline Cellulose.

3. NaOH dan Aquadest untuk proses alkalisasi.
4. Acetone sebagai cairan pembersih cetakan.
5. Sealent untuk menyatukan cetakan agar resin tidak merembes keluar saat proses penuangan resin ke dalam cetakan.



**Gambar 5. Cetakan Komposit (mm)**

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Data hasil uji tarik merupakan hasil dari pengujian tarik komposit *polyester* yang diperkuat serat sisal dan *microcrystalline cellulose* (MCC). Variasi fraksi volume serat sisal yang digunakan adalah 25%, 30%, dan 35%, serta penambahan MCC sebesar 5%. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji mekanik Tensilon RTG 1250 dan mengacu pada standar ASTM D3039 untuk ukuran spesimen uji. Data hasil pengujian dari mesin akan diolah menggunakan aplikasi Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum, regangan, dan modulus elastisitas.

**Tabel 1. Hasil Uji Tarik**

| Fraksi Volume 70%Matriks 25%Serat 5%MCC |                |              |                           |
|-----------------------------------------|----------------|--------------|---------------------------|
| No                                      | Tegangan (MPa) | Regangan (%) | Modulus Elastisitas (GPa) |
| A1                                      | 20.089         | 1.068        | 2.843                     |
| A2                                      | 22.539         | 1.267        | 2.758                     |
| A3                                      | 21.605         | 1.432        | 2.668                     |
| Rata-rata                               | 21.411         | 1.255        | 2.756                     |
| Fraksi Volume 65%Matriks 30%Serat 5%MCC |                |              |                           |
| B1                                      | 26.088         | 1.373        | 3.142                     |
| B2                                      | 29.346         | 1.749        | 2.824                     |
| B3                                      | 25.797         | 1.339        | 2.997                     |
| Rata-rata                               | 27.077         | 1.487        | 2.988                     |
| Fraksi Volume 60%Matriks 35%Serat 5%MCC |                |              |                           |
| C1                                      | 37.643         | 2.547        | 2.668                     |
| C2                                      | 34.216         | 1.948        | 2.900                     |
| C3                                      | 41.99          | 2.429        | 2.751                     |

| Rata-rata                         | 37.95  | 2.308 | 2.773 |
|-----------------------------------|--------|-------|-------|
| Fraksi Volume 75%Matriks 25%Serat |        |       |       |
| D1                                | 18.417 | 1.467 | 1.821 |
| D2                                | 20.25  | 1.526 | 2.057 |
| D3                                | 21.887 | 1.631 | 2.246 |
| Rata-rata                         | 20.185 | 1.541 | 2.041 |
| Fraksi Volume 70%Matriks 30%Serat |        |       |       |
| E1                                | 26.782 | 1.526 | 2.69  |
| E2                                | 24.704 | 1.326 | 2.871 |
| E3                                | 23.674 | 1.291 | 2.903 |
| Rata-rata                         | 25.053 | 1.381 | 2.821 |
| Fraksi Volume 65%Matriks 35%Serat |        |       |       |
| F1                                | 27.685 | 1.878 | 2.460 |
| F2                                | 29.186 | 2.277 | 2.412 |
| F3                                | 29.097 | 1.819 | 2.365 |
| Rata-rata                         | 28.656 | 1.991 | 2.413 |

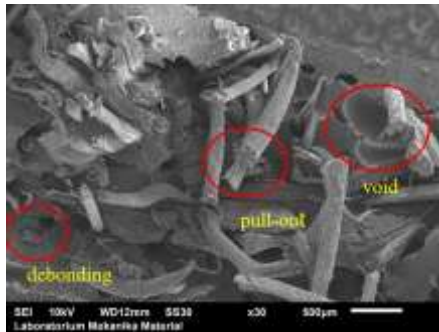
Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan nilai tegangan tarik pada komposit *polyester*-serat sisal sangat dipengaruhi oleh penambahan fraksi volume serat serta keberadaan *Microcrystalline Cellulose* (MCC) sebagai *filler*. Berdasarkan hasil uji tarik, terlihat bahwa semakin bertambah fraksi volume serat, maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin tinggi.

Hasil memperlihatkan nilai tegangan tertinggi terdapat pada variasi fraksi 35% Serat-5% MCC sebesar 37.95 MPa, sedangkan nilai terendah pada fraksi volume 25% serat-0% MCC sebesar 20.185 MPa. Penambahan MCC memberikan kontribusi tambahan dalam meningkatkan tegangan tarik, disebabkan oleh fungsi MCC sebagai *filler* mikro mampu menghambat perambatan retak dan membantu dalam mentransfer tegangan antara serat dan matriks [14].

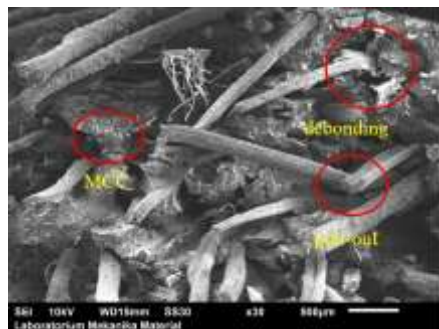
Perilaku regangan menunjukkan peningkatan seiring penambahan fraksi volume serat. Nilai regangan tertinggi terdapat pada fraksi 35% Serat-5% MCC sebesar 2.308%, sedangkan nilai terendah pada fraksi volume 25% serat-5% MCC sebesar 1.255%. Peningkatan regangan pada fraksi 35% dikarenakan MCC memperbaiki ikatan serat-matriks sehingga struktur komposit lebih seimbang antara fleksibilitas dan kekuatan. Pada fraksi 25%, menunjukan bahwa penambahan MCC pada kadar serat rendah menyebabkan struktur komposit menjadi lebih kaku dan rapat [14].

Nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada fraksi 30% Serat-5% MCC sebesar 2.998 GPa, sedangkan nilai terendah pada fraksi 25% Serat-0% MCC. Penambahan MCC berkontribusi dalam memperkuat ikatan antara serat sisal dan resin *polyester*, hal ini dapat dilihat dari peningkatan modulus elastisitas. Dengan adanya penambahan MCC menunjukkan bahwa MCC dapat mengisi celah-

celah antar fase dan meningkatkan adhesi antar permukaan, sehingga struktur komposit menjadi lebih kaku dan kuat terhadap deformasi elastis.



Gambar 6. Fraksi 25% Serat-0% MCC



Gambar 7. Fraksi 25% Serat-5% MCC

Patahan pada spesimen uji tarik komposit fraksi volume 25% tanpa MCC (Gambar 6) menunjukkan adanya void dan *fibre pull-out*, dengan bentuk patahan datar dan halus, menandakan ketidakmampuan menahan beban berlebih [13].

Pada (Gambar 7), terlihat beberapa butiran MCC berikatan cukup baik dengan matriks, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik. Meski demikian, masih tampak *fibre pull-out*, menandakan ikatan antar muka belum cukup optimal.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian mengenai pengaruh variasi fraksi volume serat sisal dan penambahan Microcrystalline Cellulose (MCC) terhadap sifat mekanik komposit berbasis resin polyester, khususnya pada uji tarik, dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi fraksi volume serat sisal dan penambahan MCC berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan kekuatan tarik komposit.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] A. Fitrayudha, J. Fajrin, dan B. Anshari, "Analisis Sifat Mekanis Komposit Polyester Sisal Menggunakan Metode Anova Universitas Mataram," vol. 14, no.

7, hal. 2817–2824, 2020.

- [2] A. P. Mathew, K. Oksman, dan M. Sain, "Mechanical Properties of Biodegradable Composites from Poly Lactic Acid (PLA) and Microcrystalline Cellulose (MCC)," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 97, no. 5, hal. 2014–2025, 2005.
- [3] E. Widodo dan Iswanto, *Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit*. Sidoarjo, Jawa Timur: UMSIDA Press, 2022.
- [4] G. Ekundayo, "Reviewing the Development of Natural Fiber Polymer Composite: A Case Study of Sisal and Jute," *Am. J. Mech. Mater. Eng.*, vol. 3, no. 1, hal. 1, 2019.
- [5] Heruansyah, *Kekuatan Bending Pada Komposit Polyester Berpenguat Serat Daun Praksok (Cordyline australis)*. 2024.
- [6] Jauhar Fajrin, "Mechanical Properties of Natural Fiber Composite Made Of Indonesia Grown Sisal," *Info Tek.*, vol. 17, no. 1, hal. 69–84, 2016.
- [7] M. Abd Mutalib, M. A. Rahman, M. H. D. Othman, A. F. Ismail, dan J. Jaafar, *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy*. Elsevier B.V., 2017.
- [8] M. Ghazali, D. Ariawan, dan E. Surojo, "The Effect of Alkali Treatment And Microcrystalline Cellulose Addition on Density Value of Cantala Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composites," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 20, no. 1, hal. 1, 2021.
- [9] N. H. Syifa, A. Yulianto, dan U. Nurbaiti, "Pembuatan dan Karakterisasi Sifat Fisis Komposit Multilayer Serat Rami," *J. Pendidik. Fis. dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, hal. 87–95, 2021.
- [10] P. A. I Wayan Surata, I Putu Lokantara, "Studi sifat mekanis komposit epoxy berpenguat serat sisal orientasi acak yang dicetak dengan teknik hand-lay up," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 9, no. 2, hal. 143–146, 2016.
- [11] R. M. Wang, S. R. Zheng, dan Y. P. Zheng, *Polymer Matrix Composites and Technology*. 2011.
- [12] S. Sakuri, "Pengaruh Perlakuan Hot Alkaline Terhadap Karakteristik Kekuatan Komposit Berpenguat Serat Kenaf dan Microcrystalline Cellulose," *Ejournal.Undip.Ac.Id*, vol. 24, no. 1, hal. 36–

41, 2022.

- [13] W. P. Raharjo, D. Ariawan, K. Diharjo, W. W. Raharjo, dan B. Kusharjanta, **“Effect Of Alkaline Treatment Time of Fibers and Microcrystalline Cellulose Addition On Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Composites Reinforced by Cantala Fibers,”** *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 62, no. 1, 2023.
- [14] W. W. Raharjo, R. Salam, dan D. Ariawan, **“The Effect of Microcrystalline Cellulose on the Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Composites Based on Cantala Fiber and Recycled High-Density Polyethylene,”** *J. Nat. Fibers*, vol. 20, no. 2, 2023.



**Jeremy Novan Listando** menjalankan program studi Sarjana Teknik Mesin di Universitas Udayana, pada tahun 2021 sampai 2025. Bidang studi yang diminati adalah rekayasa manufaktur yang berfokus pada material komposit.