KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN FISIK PADA BIOKOMPOSIT BERBASIS POLYVINYL ALCOHOL (PVA) DAN PATI SINGKONG BERPENGISI KULIT LEMON

TESIS

Oleh:

REVVAN RIFADA PRADIZA

NIM 231920101001

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2025

KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN FISIK PADA BIOKOMPOSIT BERBASIS POLYVINYL ALCOHOL (PVA) DAN PATI SINGKONG BERPENGISI KULIT LEMON

TESIS

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Mesin

Oleh:

REVVAN RIFADA PRADIZA

NIM 231920101001

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2025

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur terhadap Allah SWT, tesis ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karunia yang tidak pernah berhenti dirasakan oleh penulis dalam setiap detik kehidupan ini.
2. Kedua Orang tua dan Kakak Saya yaitu Ayah saya Farid Kurniawan, Ibu Saya Rini Puspitaningtyas Komalasari dan Kakak Saya Mirza Rifada Pramodya yang senantiasa selalu membimbing dan memberikan semangat serta dorongan untuk tetap berkembang sesuai keputusan saya.
3. Olsavira Agsa Pratama, istri saya yang selalu mendukung untuk berproses selama berkuliah di Universitas Jember
4. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa dengan ikhlas memberikan ilmunya dan juga arahan untuk menuju ke arah yang lebih baik. Semoga Bapak/Ibu diberikan keberkahan dan kelancaran rezeki dunia maupun akhirat.
5. Kepala Program Studi Magister Teknik Mesin, bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. yang selalu membimbing dari awal dimulainya perkuliahan.
6. Seluruh dosen dari Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang selalu mendukung, memberi pandangan dan wawasan, serta memfasilitasi saya untuk berkembang.
7. Dosen Pembimbing Akademik saya, bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. dan bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. yang selalu membimbing dan mengarahkan pemrograman KRS saya.
8. Dosen Pembimbing Tesis saya, Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T.,IPM dan bapak Dr. Ir. Mochamad Asrofi, S.T., IPM. yang selalu memberikan semangat dan memotivasi sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik sesuai harapan.

9. Dosen Penguji saya, bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. dan Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T., IPM yang selalu mengarahkan dan memberikan saran yang baik dan membangun sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
10. Teman-teman Magister teknik mesin yaitu Berliana, Erlangga, Wafir, Toni, Digyo, Riyas, Afi, Hanifudin, Abduh, Fikril, dan Tedi.
11. Kelompok Riset Magnified yaitu Anggit M23, Rizaldi M24, Fatoni M24, Zulfi M24, Azriel M24, Ravi M24 yang selalu membantu, mendukung, dan mau berproses bersama.
12. Tim Riset “Asrofi Lab” yaitu Gibil M23, Fiyu M23, Firdhi M23, Yusuf M23, Wafi M23, Ramadhan M23, Irsha M23, dan Anwar M23 yang selalu membantu, mendukung, dan mau berproses bersama.

MOTTO

“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu.”

(QS. Ibrahim: 7)

“Ingatlah, sesunggunya pertolongan Allah itu amat dekat”

(QS. Al-Baqarah: 214)

“Jika Allah menolongmu, maka tidak ada yang dapat mengalahkanmu”

(QS. Ali Imron: 160)

“Wahai sekalian manusia. Kerjakanlah amalan-amalan sesuai dengan kemampuan kalian. Sesungguhnya Allah tidak bosan sampai kalian bosan. Dan sungguh, amalan yang paling dicintai oleh Allah yaitu yang dikerjakan secara terus-menerus walaupun sedikit.”

(HR. Bukhari dan Muslim)

“Kalau kamu pusing, berkumpullah dengan timmu, apa yang dikerjakan pasti membawa manfaat”

(Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T., IPM.)

“Tenang saja, nanti pasti selesai kalau kita kerjakan sungguh-sungguh”

(Dr. Ir. Mochamad Asrofi, S.T., IPM)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Revvan Rifada Pradiza

NIM : 231920101001

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "**KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN FISIK PADA BIOKOMPOSIT BERBASIS POLYVINYL ALCOHOL (PVA) DAN PATI SINGKONG BERPENGISI KULIT LEMON**" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Maret 2025

Yang menyatakan,

Revvan Rifada Pradiza

NIM 231920101001

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis berjudul "*KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN FISIK PADA BIOKOMPOSIT BERBASIS POLYVINYL ALCOHOL (PVA) DAN PATI SINGKONG BERPENGISI KULIT LEMON*" telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Senin

Tanggal : 30 Desember 2024

Tempat : Ruang Seminar Dekanat Lt.3, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama
   Nama : Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T., IPM. (……)
   NIP : 197510062002121002

2. Pembimbing Anggota
   Nama : Dr. Ir. Mochamad Asrofi, S.T., IPM (…….)
   NIP : 199302012023211018

Penguji

1. Penguji Utama
   Nama : Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM (…….……..)
   NIP : 197003221995011001

2. Penguji Anggota
   Nama : Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T., IPM (…….)
   NIP : 196902091998021001

ABSTRAK

Penelitian ini melaporkan karakteristik sifat mekanik dan fisik dari biokomposit Polyvinyl Alcohol (PVA) dan pati singkong dengan berpengisi kulit lemon. Biokomposit dibuat dengan metode casting. Penambahan pengisi kulit lemon dilakukan dengan variasi 0%, 1%, 3%, dan 5%. Hasil dari sifat mekanik berupa kekuatan tarik mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase pengisi kulit lemon. Kekuatan tertinggi adalah 13,82 MPa untuk PVA dan pati singkong berpengisi 5% kulit lemon. Selain itu, ketahanan panas pada PVA dan pati singkong berpengisi 5% kulit lemon memiliki hasil tertinggi. Hasil ini lebih tinggi dari PVA dan PVA/Pati singkong. Hal ini disebabkan oleh adhesi yang baik dari ikatan antar muka dan struktur biokomposit yang kompak sehingga meningkatkan kekuatan tarik yang ditunjukkan oleh hasil observasi morfologi menggunakan SEM. Dari hasil tersebut, biokomposit yang dibuat berpotensi sebagai alternatif pengganti plastik sintetis karena kemampuannya yang kompetitif.

Kata Kunci: Polyvinyl Alcohol (PVA), Pati Singkong, Kulit Lemon, Biokomposit, Sifat Mekanik, Sifat Fisik.

ABSTRACT

This study reports the mechanical and physical properties characteristics of Polyvinyl Alcohol (PVA) and cassava starch biocomposites with lemon peel filling. The biocomposites were made by casting method. The addition of lemon peel filler was carried out with variations of 0%, 1%, 3%, and 5%. The results of the mechanical properties in the form of tensile strength increased as the percentage of lemon peel fillers increased. The highest strength was 13.82 MPa for PVA and cassava starch filled with 5% lemon peel. In addition, the thermal resistance of PVA and cassava starch filled with 5% lemon peel has the highest result. This result is higher than PVA and PVA/cassava starch. This is due to the good adhesion of the interfacial bonds and the compact structure of the biocomposites, which increases the tensile strength as shown by the results of morphological observation using SEM. From these results, the biocomposites made have the potential to be an alternative to synthetic plastics due to their competitive ability.

Keywords: Polyvinyl Alcohol (PVA), Cassava Starch, Lemon Peel, Biocomposites, Mechanical Properties.

RINGKASAN

KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN FISIK PADA BIOKOMPOSIT BERBASIS POLYVINYL ALCOHOL (PVA) DAN PATI SINGKONG BERPENGISI KULIT LEMON; Revvan Rifada Pradiza, 231920101001; 43 halaman, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penelitian biokomposit sebagai alternatif material terbarukan merupakan solusi untuk pengganti plastik sintets. Biokomposit dapat dibuat dari biopolimer dan serat alam. Dalam penelitian ini digunakan biopolimer PVA sebagai matriks dari biokomposit. Namun, PVA memiliki harga mahal dan untuk meminimalisir biaya produksi, penambahan pati dan serat alam dilakukan.

Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan pengisi kulit lemon ke dalam matriks PVA yang dicampur dengan pati singkong terhadap sifat mekanik dan fisiknya. Limbah kulit lemon memiliki potensi sebagai pengisi dari biokomposit. Penelitian ini bertujuan untuk melaporkan sifat mekanik dan fisik biokomposit PVA dengan pati singkong dengan penambahan kulit lemon sebagai pengisi biokomposit.

Berdasarkan hasil penelitian ini penambahan pengisi kulit lemon pada PVA dan pati singkong berpengaruh terhadap sifat mekanik dengan nilai tertinggi pada variasi PVA dan pati singkong berpengisi 5 % kulit lemon sebesar 13,82 MPa. Selain itu, PVA dan pati singkong berpengisi 5% kulit lemon memiliki ketahanan termal yang paling baik. Hal ini didukung dengan hasil pengamatan morfologi yang menunjukkan bahwa variasi 5% memiliki ikatan yang baik pada antarmuka dari biokomposit. Sehingga biokomposit yang dibuat sangat kompetitif sebagai alternatif pengganti plastik sintetis.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN FISIK PADA BIOKOMPOSIT BERBASIS POLYVINYL ALCOHOL (PVA) DAN PATI SINGKONG BERPENGISI KULIT LEMON" yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Magister pada Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jember. Penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karunia yang tidak pernah berhenti dirasakan oleh penulis dalam setiap detik kehidupan ini.
2. Kedua Orang tua dan Kakak Saya yaitu Ayah saya Farid Kurniawan, Ibu Saya Rini Puspitaningtyas Komalasari dan Kakak Saya Mirza Rifada Pramodya yang senantiasa selalu membimbing dan memberikan semangat serta dorongan untuk tetap berkembang sesuai keputusan saya.
3. Olsavira Agsa Pratama istri saya yang selalu mendukung untuk berproses selama berkuliah di Universitas Jember
4. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa dengan ikhlas memberikan ilmunya dan juga arahan untuk menuju ke arah yang lebih baik. Semoga Bapak/Ibu diberikan keberkahan dan kelancaran rezeki dunia maupun akhirat.
5. Kepala Program Studi Magister Teknik Mesin, bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. yang selalu membimbing dari awal dimulainya perkuliahan.
6. Seluruh dosen dari Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang selalu mendukung, memberi pandangan dan wawasan, serta memfasilitasi saya untuk berkembang.

7. Dosen Pembimbing Akademik saya, bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. dan bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. yang selalu membimbing dan mengarahkan pemrograman KRS saya.
8. Dosen Pembimbing Tesis saya, Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T.,IPM dan bapak Dr. Ir. Mochamad Asrofi, S.T., IPM. yang selalu memberikan semangat dan memotivasi sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik sesuai harapan.
9. Dosen Penguji saya, bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. dan Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T., IPM yang selalu mengarahkan dan memberikan saran yang baik dan membangun sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
10. Teman-teman Magister teknik mesin yaitu Berliana, Erlangga, Wafir, Toni, Digyo, Riyas, Afi, Hanifudin, Abduh, Fikril, dan Tedi.
11. Kelompok Riset Magnified yaitu Anggit M23, Rizaldi M24, Fatoni M24, Zulfi M24, Azriel M24, Ravi M24 yang selalu membantu, mendukung, dan mau berproses bersama.
12. Tim Riset “Asrofi Lab” yaitu Gibil, Fiyu, Firdhi, Yusuf, Wafi, Ramadhan, Irsha, dan Anwar yang selalu membantu, mendukung, dan mau berproses bersama.

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN ..... **iii**
MOTTO .. ……...v
PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **vi**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **vii**
ABSTRAK ..... **viii**
RINGKASAN ..... **ix**
PRAKATA ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
DAFTAR TABEL ..... **xv**
BAB 1. PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan dan Manfaat 3
1.3.1 Tujuan 3
1.3.2 Manfaat 3
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Hipotesis 4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Komposit 5
2.1.1 Biokomposit 5
2.2 Material Penyusun Biokomposit 6
2.2.1 Kulit Lemon 6
2.2.2 Polyvinyl Alcohol (PVA) 7
2.2.3 Pati Singkong 7
2.3 Perlakuan Alkalisasi 8
2.4 Karakterisasi Biokomposit 9
2.4.1 Scanning Electron Microscope (SEM) 9
2.4.2 Pengujian Tarik 10
2.4.3 Thermogravimetric Analysis (TGA) 11
BAB 3. METODE PENELITIAN **13**

3.1 Metode Penelitian 13
3.2 Waktu dan Tempat 13
3.3 Variabel Penelitian 13
3.4 Alat dan Bahan 14
3.5 Prosedur Penelitian 14
3.5.1 Persiapan Pengisi Kulit Lemon 14
3.5.2 Alur Pembuatan Film Biokomposit 15
3.5.3 Karakterisasi Spesimen 15
3.6 Diagram Alir 18
3.7 Tabel Analisa Data 19
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN 20
4.1 Hasil Pembuatan Biokomposit 20
4.1.1 Spesimen Pengujian Tarik 20
4.2 Hasil Pengujian Tarik 21
4.2.1 Kekuatan Tarik 21
4.2.2 Elongation at Break 23
4.2.3 Modulus Elastisitas 25
4.3 Observasi Morfologi Patahan Biokomposit menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy) 26
4.3.1 Morfologi Patahan Biokomposit Tanpa Pengisi Kulit Lemon 26
4.3.2 Morfologi Patahan Biokomposit Berpengisi Kulit Lemon 27
4.4 Observasi Morfologi Biokomposit menggunakan Digital Microscope 30
4.5 Ketahanan Termal Biokomposit 32
4.6 Perbandingan Hasil Pengujian pada Biokomposit dengan Plastik Sintetis 34
BAB 5. PENUTUP 35
5.1 Kesimpulan 35
5.2 Saran 35
DAFTAR PUSTAKA 36
LAMPIRAN 43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Susunan Komposit (Sumber: Junus, 2011) 5
Gambar 2. 2 Kulit Lemon (Sumber: Ciriminna et al., 2015) 6
Gambar 2. 3 Struktur Serat Alam Sumber: (Gutierrez et al., 2017)..... 7
Gambar 2. 4 Polyvinyl Alcohol Powder Form (Sumber: Chu et al., 2022)..... 7
Gambar 2. 5 Pati Singkong (Sumber: Oluwabusayo et al., 2019) 8
Gambar 2. 6 Skema Alkalisasi (Sumber : Kumar et al., 2009)..... 9
Gambar 2. 7 Skema Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) (Sumber: Sujatno et al., 2017) 10
Gambar 2. 8 Skema Thermogravimetric Analysis (TGA) Sumber: (Saadatkhah, 2018) 12
Gambar 3. 1 Skema Spesimen ASTM D882-18 16
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian 18
Gambar 4. 1 Spesimen Biokomposit..... 20
Gambar 4. 2 Patahan Biokomposit Setelah Pengujian Tarik 21
Gambar 4. 3 Kekuatan Tarik Biokomposit 2
Gambar 4. 4 Elongation at Break Biokomposit 24
Gambar 4. 5 Modulus Elastisitas Biokomposit..... 25
Gambar 4. 6 Hasil Observasi Morfologi Patahan dengan SEM pada Biokomposit; (a) PVA, (b) PVA/CS..... 2
Gambar 4. 7 Hasil Observasi Morfologi Patahan dengan SEM pada Biokomposit; (a) PVA/CS/LP1, (b) PVA/CS/LP3, (c) PVA/CS/LP5..... 28
Gambar 4. 8 Hasil Observasi Morfologi Patahan dengan SEM pada Biokomposit PVA/Pati Singkong/Bacterial Cellulose (Sumber: Abral et al., 2019) 30
Gambar 4. 9 Hasil Observasi Morfologi Permukaan Biokomposit menggunakan Digital Microscope; (a) PVA, (b) PVA/CS, (c) PVA/CS/1LP, (d) PVA/CS/3LP, (e) PVA/CS/5LP 31
Gambar 4. 10 Morfologi Biokomposit PVA/Pati Kentang dan Kulit Lemon (Sumber: Ramadhana, 2023)..... 32
Gambar 4. 11 Grafik Laju Dekomposisi Termal Biokomposit..... 34

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Komposisi Biokomposit 15
Tabel 3. 2 Spesifikasi Dimensi Spesimen 16
Tabel 3. 3 Tabel Analisa Data Hasil Pengujian Tarik 19
Tabel 3. 4 Tabel Analisa Data Thermogravimetric Analysis (TGA) 19
Tabel 4. 1 Tabel Data Hasil Pengujian TGA (Thermogravimetric Analysis) 33
Tabel 4. 2 Perbandingan Biokomposit dengan Penelitian Lain 35

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era yang sudah semakin maju, kebutuhan manusia tidak lepas dari penggunaan plastik. Penggunaan plastik telah mencapai berbagai macam sektor, mulai dari rumah tangga hingga teknologi dan energi. Indonesia, China, dan negara lainnya tercatat sebagai penghasil sampah plastik terbesar di dunia, dengan sampah plastik Indonesia mencapai 5,4 juta ton setiap tahunnya (Risma et al., 2021). Oleh karena itu, kebutuhan akan bahan alternatif yang ramah lingkungan, termasuk biokomposit, menjadi perhatian para peneliti (Andrew et al., 2022). Biokomposit menjadi salah satu material yang sedang banyak diteliti dalam beberapa tahun terakhir karena ramah terhadap lingkungan dan dapat terurai di alam secara hayati (Abdullah et al., 2017). Biokomposit dapat dibuat dari biopolimer dan hasil alam seperti serat alam (Rodriguez et al., 2020).

Biokomposit adalah bahan yang dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih material, di mana masing-masing material mempertahankan karakteristik uniknya (Asyraf et al., 2022). Hasil dari paduan tersebut menghasilkan peningkatan sifat dari bahan baru yang tidak bisa didapatkan dari salah satu komponennya (Pradiza et al., 2024). Terdapat beberapa jenis yang digunakan sebagai matriks dari biokomposit seperti PVA (*Polyvinyl Alcohol*), PLA (*Polylactic Acid)*, *Chitosan*, pati tumbuhan dan lain-lain (Ilyas dan Sapuan, 2020). PVA (*Polyvinyl Alcohol*) memiliki sifat unik dalam kemampuan pembentukan film, biodegradabilitas, ketahanan yang tinggi terhadap minyak dan pelarut, serta sifat penghalang gas (Matthew et al., 2019). Namun, PVA (*Polyvinyl Alcohol*) memiliki kelemahan, dimana harga beli yang relatif tinggi. Untuk memperbaiki kelemahan tersebut, penggabungan PVA (*Polyvinyl Alcohol*) dengan pati dari alam menjadi solusi untuk meminimalisir biaya produksi (Asrofi et al., 2019).

Asrofi (2019) melakukan penelitian tentang penambahan pati bengkuang pada matriks PVA (*Polyvinyl Alcohol*). Namun penambahan pati ke dalam matriks

PVA (*Polyvinyl Alcohol*) mengakibatkan penurunan sifat mekanik dan peningkatan penyerapan air. Hal ini disebabkan lemahnya ikatan antarmuka antara PVA (*Polyvinyl Alcohol*) dan pati bersifat hidrofilik. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Lani (2014), melaporkan penurunan kekuatan tarik pada penambahan pati singkong. Komposisi pencampuran terbaik PVA (*Polyvinyl Alcohol*) 80% dan 20% pati singkong menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, namun menurun dibandingkan dengan PVA (*Polyvinyl Alcohol)* murni. Untuk mengatasi permasalahan, penambahan pengisi selulosa dari serat alami (Khalil et al., 2012). Kulit lemon, salah satu serat alami yang belum banyak diteliti dan memiliki potensi karena 70% dari buah lemon seringkali dibuang dalam industri pengolahan sari buah (Kesuma et al., 2018). Komposisi kulit lemon meliputi: 51,8% selulosa; 6,3% hemiselulosa; 16,08% lignin; 2,02% pengotor; 20,5% pektin; dan 3,3% air (Mostafa et al., 2013).

Studi yang dilakukan peneliti sebelumnya pada biokomposit berbasis matriks PVA dan pati singkong dengan pengisi serat alam. Fahma (2017), melaporkan hasil penelitian berupa biokomposit PVA (*Polyvinyl Alcohol*) dan pati singkong dengan perbandingan 4:1 berpengisi serat tandan kosong kelapa sawit sebesar 1%, 3%, dan 5 %. Hasil penelitian tersebut memiliki peningkatan kekuatan tarik dan yang tertinggi adalah 5% penambahan *cellulose nanofiber* tandan kosong kelapa sawit sebesar 61,76 MPa. Ikatan hidrogen yang kuat pada antarmuka memberikan efek penguatan pada kekuatan tarik. Abral (2019), melaporkan hal serupa pada penambahan *bacterial cellulose* pada biokomposit PVA (*Polyvinyl Alcohol)* dan pati singkong. Penambahan 10 g penguat meningkatkan kekuatan tarik hingga 215%. Selain itu, ketahanan thermal dari biokomposit meningkat setelah ditambahkan 10g. Dekomposisi pada penambahan 10g adalah 0,0109 mg/°C dan tanpa penambahan adalah 0,0120 mg/°C. Fenomena peningkatan ketahanan termal juga ditemukan pada penelitian lain. Ray (2021), membuat biokomposit PVA (*Polyvinyl Alcohol)* dan pati singkong dengan pengisi daun kurma. Penambahan daun kurma sebagai pengisi meningkatkan suhu dekomposisi menjadi lebih tinggi dari 240°C menjadi 290°C. Hal ini membuktikan bahwa penambahan serat alam pada matriks PVA (Polyvinyl Alcohol) dan pati singkong dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan ketahanan termal dari biokomposit.

Berdasarkan pembahasan diatas, pada penelitian ini mengkaji tentang PVA (*Polyvinyl Alcohol)* dengan pati singkong digunakan sebagai matriks yang akan dipadukan dengan pengisi kulit lemon. Kulit lemon dipilih karena memiliki kandungan selulosa yang berpotensi meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan termal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan sifat mekanik dan fisik PVA (*Polyvinyl Alcohol)* dan pati singkong ditambahkan dengan kulit lemon sebagai pengisi biokomposit. Hasil penelitian biokomposit ini diharapkan dapat merepresentasikan penemuan biokomposit yang dapat menjadi material alternatif baru dengan memanfaatkan kulit lemon yang tidak terpakai sebagai pengisi biokomposit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas dapat dirumuskan rumusan masalah bagaimana pengaruh penambahan volume fraksi kulit lemon sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap sifat mekanik dan sifat fisik dari biokomposit ?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini yaitu:

1.3.1 Tujuan

a. Mengetahui pengaruh penambahan volume fraksi kulit lemon sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap kekuatan tarik biokomposit dari PVA dan pati singkong.
b. Mengetahui pengaruh penambahan volume fraksi kulit lemon sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap ketahanan termal biokomposit dari PVA dan pati singkong
c. Mengetahui pengaruh penambahan volume fraksi kulit lemon sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap morfologi patahan biokomposit dari PVA dan pati singkong dengan menggunakan analisa SEM

1.3.2 Manfaat

a. Memperoleh hasil penambahan kulit lemon terhadap sifat tarik biokomposit plastik PVA dengan pati singkong.

b. Memperoleh hasil penambahan selulosa kulit lemon terhadap sifat fisik biokomposit plastik PVA dengan pati singkong.
c. Meningkatkan nilai guna dari limbah kulit lemon.

1.4 Batasan Masalah

Agar tercapai tujuan penelitian yang diinginkan perlu adanya batasan masalah dikarenakan penelitian ini mempunyai ruang lingkup yang luas. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis pengisi yang digunakan adalah kulit lemon.
2. Limbah kulit lemon didapatkan dari industri rumahan herbal di Mojokerto.
3. Matriks yang digunakan adalah PVA dengan campuran pati singkong.
4. Pengujian pada penelitian ini dibatasi dengan pengujian tarik, analisa morfologi patahan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM), Thermogravimetric Analysis (TGA).
5. Serat diperlakukan alkalisasi menggunakan NaOH.
6. Spesimen yang dihasilkan berupa komposit film atau lembaran.
7. Kelembaban ruangan diabaikan.

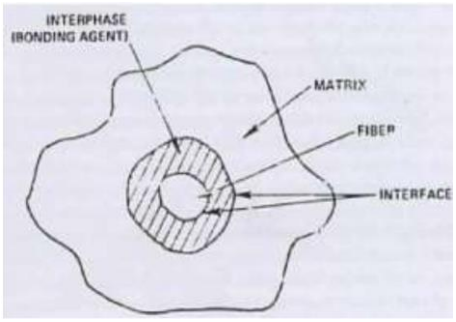
1.5 Hipotesis

Secara umum, PVA merupakan polimer dengan beberapa sifat dan memiliki keunggulan larut dalam air. PVA dapat digunakan sebagai matriks untuk produksi biokomposit yang salah satunya dapat dikombinasikan dengan pati singkong. Berdasarkan penelitian terdahulu, Penambahan pengisi kulit lemon ke dalam matriks PVA dan pati singkong berpotensi meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan termal, dan morfologi ikatan dari biokomposit.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Menurut Junus (2011), Material komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat. Secara sederhana dapat didefinisikan komposit terdiri dari dua material yang berbeda propertiesnya dan perbedaannya itu dilihat secara makroskopis. Gambar 2.1 menunjukkan susunan dari komposit



Gambar 2. 1 Susunan Komposit
(Sumber: Junus, 2011)

2.1.1 Biokomposit

Biokomposit adalah komposit ramah lingkungan yang bahan tersebut terdiri dari dua bahan yaitu matriks yang terbuat dari serat alam seperti rami, sabut kelapa, nanas, bambu, pisang dan kedelai, dan bahan penguat. Komposit serat alam tersebut memiliki biaya produksi yang rendah, namun memiliki sifat mekanik yang sangat baik dan ramah lingkungan (Asrofi et al., 2024).

Biokomposit dengan serat alami umumnya lebih ramah lingkungan daripada yang mengandung komposit fiberglass, karena produksi serat alami memiliki dampak lingkungan yang lebih kecil daripada produksi fiberglass. Namun, serat alam juga memiliki kelemahan seperti kekuatan impak rendah (konsentrasi cacat

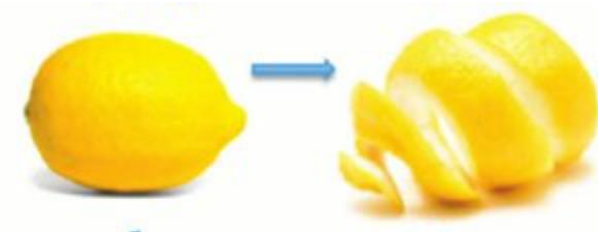
serat tinggi), penyimpanan bahan baku jangka panjang, ketahanan UV terhadap plastik, dan kerusakan serat selama pemrosesan (Abdullah et al., 2017).

2.2 Material Penyusun Biokomposit

Material penyusun biokomposit terdiri dari matriks dan serat alam. Salah satu serat alam yang dapat digunakan adalah limbah kulit lemon. Matriks yang ramah lingkungan dan harga relatif rendah adalah campuran Polyvinyl Alcohol dan Pati Singkong (Asrofi et al., 2019).

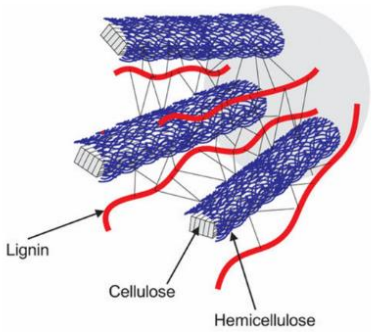
2.2.1 Kulit Lemon

Pemanfaatan lemon telah dikenal sejak zaman kuno, dan kini didukung oleh berbagai penelitian ilmiah. Selain itu, minyak esensial lemon telah diakui sebagai obat batuk dan campuran herbal (Klimek et al., 2020). Sekitar 70% dari berat buah dalam industri pengolahan sari buah lemon akan terbuang, termasuk kulit, biji, pulp, dan sisa air lemon (Kesuma et al., 2018). Gambar 2.2 menujukkan gambar kulit lemon.



Gambar 2. 2 Kulit Lemon
(Sumber: Ciriminna et al., 2015)

Serat kulit lemon telah diteliti sebelumnya oleh (Mostafa et al., 2013), di mana komposisi kulit lemon meliputi 51,8 % selulosa, 6,3 % hemiselulosa, 16,08% lignin, 2,02 % pengotor, 20,5 % berat pektin, dan 3,3% air. Gambar 2.3 menunjukkan struktur serat alam.



Gambar 2. 3 Struktur Serat Alam
Sumber: (Gutierrez et al., 2017)

2.2.2 Polyvinyl Alcohol (PVA)

Polyvinyl alcohol (PVA) adalah polimer yang dihasilkan melalui proses hidrolisis asam asetat. PVA terbagi menjadi dua jenis: hidrolisis parsial dan hidrolisis penuh (Goodship et al.,2005). PVA mengandung gugus hidroksil (-OH) dalam strukturnya, yang memungkinkannya untuk membentuk ikatan hidrogen antarmolekul dan intramolekul dengan pati termoplastik, sehingga meningkatkan kekokohan campuran (Fahma et al., 2017). Polimer jenis ini merupakan polimer yang menjanjikan karena merupakan satu-satunya polimer tipe vinil dengan karakteristik biodegradable dan dapat dilarutkan dengan air (Asem et al., 2018). Gambar 2.4 menunjukkan bentuk dari *Polyvinyl Alcohol*.

Gambar 2. 4 Polyvinyl Alcohol Powder Form
(Sumber: Chu et al., 2022)

2.2.3 Pati Singkong

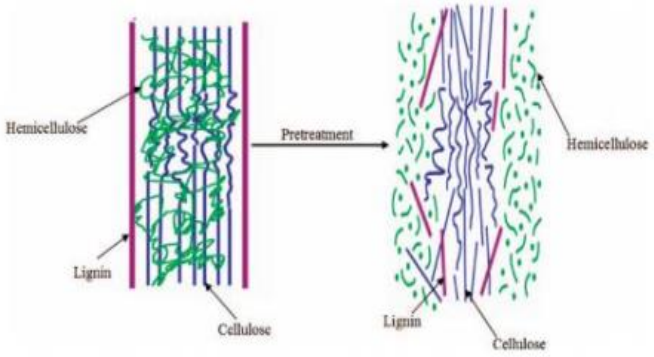
Singkong (*Manihot esculenta Crantz*), juga dikenal sebagai tapioka, ubi kayu, atau ubi kayu, adalah umbi-umbian dari keluarga Euphorbiaceae. Produksi

singkong dunia pada tahun 2012 diperkirakan mencapai 262.585.741 ton, dengan Nigeria, Indonesia, Brazil dan Thailand sebagai produsen utama (FAO, 2014). Pati yang diekstraksi dari tanaman singkong merupakan kandidat yang baik untuk membuat lembaran dan film biopolimer yang ramah lingkungan karena transparansi dan biaya yang rendah dibandingkan dengan pati lainnya (Flores et al., 2007). Campuran plastik pati singkong dan *polyvinyl alcohol* (PVA) dengan penambahan serat memiliki sifat mekanik yang baik (Abral et al., 2019). Gambar 2.5 menunjukkan bentuk dari pati singkong.

Gambar 2. 5 Pati Singkong
(Sumber: Oluwabusayo et al., 2019)

2.3 Perlakuan Alkalisasi

Perlakuan kimia untuk serat alam mengurangi kadar lignin dan hemiselulosa meliputi alkalisasi, bleaching, asetilasi dan lain-lain (Pradiza et al., 2024). Alkalisasi berfungsi sebagai metode pra-pemrosesan umum yang diterapkan pada serat alami mentah untuk menghilangkan hemiselulosa, lemak, dan lilin, yang dapat mengganggu kekuatan antarmuka antara matriks dan serat dalam bentuk komposit (Pradiza et al., 2025). Gambar 2.6 menunjukkan skema dari perlakuan alkalisasi.



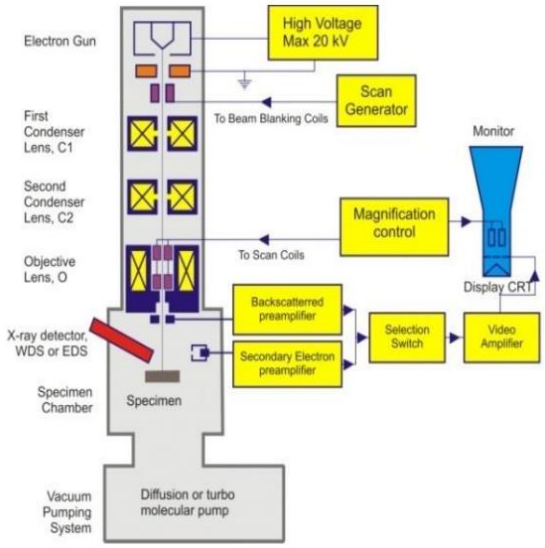
Gambar 2. 6 Skema Alkalisasi
(Sumber : Kumar et al., 2009)

2.4 Karakterisasi Biokomposit

Karakterisasi merupakan perlakuan lanjutan pada spesimen biokomposit untuk menentukan sifat mekanik, fisik, serta ikatan kimia pada sampel (Sani, 2021).

2.4.1 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope adalah alat yang digunakan untuk mengamati permukaan sampel melalui proses pemindaian. Besaran struktur pada SEM dapat diperluas sebanyak 10-60.000 kali. Mikroskop ini dikembangkan untuk menggantikan sumber cahaya dengan berkas elektron berenergi tinggi (Zhou et al., 2006). Berkas elektron ini kemudian dipantulkan oleh lensa untuk menghasilkan gambar struktur. SEM dapat memperbesar objek hingga 1 juta kali ukuran aslinya dan menampilkan resolusi dengan dimensi kurang dari 1 nm, memungkinkan untuk menentukan komposisi kimia suatu material (Ul-Hamid, 2018). Gambar 2.7 menunjukkan skema dari pengujian *Scanning Electron Microscopy*.



Gambar 2. 7 Skema Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)
(Sumber: Sujatno et al., 2017)

2.4.2 Pengujian Tarik

Uji ini menghitung energi yang digunakan untuk mematahkan benda uji tersebut (Prasetyaningrum, 2009).

Tegangan normal yang diakibatkan gaya tarik dapat ditentukan dengan persamaan (1).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \qquad (1)$$

dimana:

σ = Tegangan tarik (N/mm^2) atau (MPa)

F = Gaya tarik (N)

A_0 = Luas penampang spesimen mula-mula (mm^2)

Regangan perbandingan dari jumlah pertambahan panjang spesimen akibat gaya tarik yang diberikan dengan Panjang daerah ukur yang dinyatakan dalam persamaan (2).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \qquad (2)$$

dimana:

ε = Regangan (%)

Δl = Pertambahan Panjang (mm)

l_0 = Panjang mula-mula (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan yang berbanding lurus menunjukkan modulus elastisitas (E) suatu bahan. Modulus elastisitas dapat ditentukan dengan persamaan (3).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

dimana:

E = Modulus Elastisitas (Gpa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan (%)

Ultimate Tensile Strength (UTS) adalah nilai dimana tegangan tarik maksimum sebelum material mengalami putus dan menandakan akhir dari pertambahan panjang serta awal dari spesimen patah (*necking*). Nilai UTS dapat ditentukan dengan persamaan (4).

$$\sigma u = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (4)$$

dimana:

σu = Tegangan tarik maksimum (MPa)

F_{maks} = Beban maksimum (N)

A_0 = Luas penampang (m^2)

2.4.3 Thermogravimetric Analysis (TGA)

Analisis termal dengan thermogravimetri adalah metode untuk mengukur karakteristik termal zat seperti film PVA/pati singkong dan biokomposit (Mahardika et al, 2018). Analisis termogravimetri (TGA) atau termogravimetri (TG) adalah metode analisis termal yang digunakan untuk mengukur perubahan massa suatu material terhadap waktu dan suhu pada lingkungan yang terkontrol (Saadatkhah, 2018). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perubahan massa yaitu berat dan volume sampel, bentuk fisik sampel, sifat atmosfer saat analisis dilakukan, tekanan atmosfer yang dikontrol di ruang sampel selama analisis, dan

laju pemanasan atau pendinginan (Loganathan *et al*., 2017). Skema dari pengujian Thermogravimetric Analysis ditunjukkan pada Gambar 2.8. Rumus *Thermogravimetric Analysis* adalah sebagai berikut (Lv *et al*., 2018).

Laju penurunan massa yang bergantung pada suhu dan perubahan berat sampel dapat dinyatakan sebagai persamaan Arrhenius.

$$K = A\left(\frac{-E}{RT}\right) \qquad (5)$$

Dimana :

k = konstanta laju yang bergantung pada suhu

A = faktor pre-eksponensial

E = energi aktivasi (J/mol)

R = konstanta gas (8.314 J/mol·K)

T = suhu absolut (K)

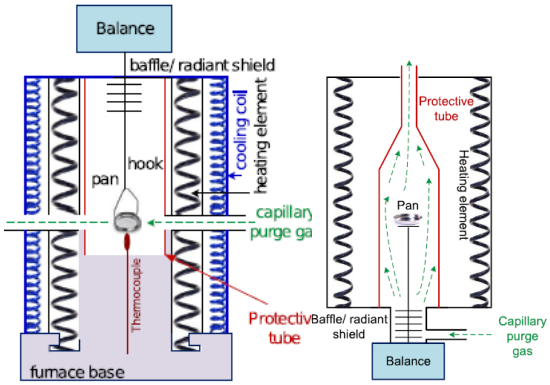
Indeks stabilitas termal digunakan untuk mengetahui seberapa stabil termal suatu bahan dengan membandingkan suhu pada titik tertentu, misalnya pada massa yang hilang sebesar 5%.

$$IT = T_{5\%} - T_{onset} \qquad (6)$$

Dimana :

$T_{5\%}$ = suhu dimana massa sampel berkurang 5%

T_{onset} = suhu awal ketika penurunan massa mulai terjadi



Gambar 2. 8 Skema Thermogravimetric Analysis (TGA)
Sumber: (Saadatkhah, 2018)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, morfologi dan biodegradabilitas dari biokomposit serat kulit lemon dengan variasi serat 0%, 1%, 3%, 5%. Penelitian dimulai dengan studi literatur, persiapan spesimen, dan pengujian spesimen.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian akan dilakukan dalam dua tahap yaitu preparasi spesimen dan pengujian pada Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penelitian dilakukan dari Agustus 2024 sampai dengan Januari 2025.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Variabel bebas penelitian ini adalah pengisi kulit lemon. Variasi yang digunakan pada bahan biokomposit dalam penelitian ini adalah 0%, 1%, 3%, dan 5%.

Variabel terikat yang digunakan adalah sifat mekanik, sifat fisik dan morfologi. Sifat mekanik adalah kekuatan tarik dimana kemampuan maksimum bahan biokomposit untuk mempertahankan kondisinya terhadap gaya tarik yang diberikan sampai biokomposit mengalami deformasi. Sifat fisik merupakan ketahanan termal dan pengamatan morfologi menggunakan scanning electron microscope (SEM) untuk menganalisis kondisi material setelah dilakukan uji tarik.

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau variabel yang dijaga konstan untuk dibandingkan dengan variabel lain. Waktu untuk mengeringkan serat dalam oven pada suhu 90 ° C dengan interval 2 jam hingga berat konstan. Waktu perlakuan alkalisasi kulit lemon adalah 6 jam dengan

perendaman 5% NaOH. Waktu pengadukan selama 60 menit pada 90° C dengan PVA dan air suling. Waktu pengadukan campuran PVA, pati dan kulit lemon pada suhu 50-70 °C selama 40 menit. Waktu pengeringan biokomposit selama 24 jam dalam oven pada suhu 40 °C.

3.4 Alat dan Bahan

Bagian ini menjelaskan alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian. Peralatan yang dipakai untuk membuat biokomposit plastic adalah *hot plate magnetic stirrer* untuk pencampuran larutan. Timbangan analitik digital sebagai alat penimbang bahan. *Ice blender* untuk menghaluskan serat. Oven KLAZ untuk mengeringkan spesimen. Alat penyaring 80 mesh untuk mengayak serbuk. Gelas beaker sebagai tempat pencampuran larutan. *Digital photo tachometer* untuk mengukur kecepatan putaran. Jangka sorong untuk mengukur ketebalan spesimen. Cetakan kaca sebagai media mencetak spesimen. Untuk mengukur pH saat perlakuan kimia menggunakan *pH-Fix indicator strips*. Peralatan yang dipakai untuk pengujian biokomposit mesin uji tarik, Mesin uji *Thermogravimetric Analysis, digital microscope* dan mesin uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

Bahan-bahan yang digunakan untuk proses pembuatan biokomposit adalah *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dan Pati singkong sebagai matriks. Kulit lemon sebagai pengisi. NaOH dan aquades sebagai bahan perlakuan kimia pada serat.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian meliputi persiapan kulit lemon, pembuatan spesimen biokomposit hingga karakterisasi material.

3.5.1 Persiapan Pengisi Kulit Lemon

Persiapan pengisi meliputi proses alkalisasi. Rangkaian proses tersebut dimulai dari mengeringkan kulit lemon dalam oven pada suhu 90 °C dengan interval setiap 2 jam ditimbang hingga berat konstan. Membuat larutan NaOH 5% dan memasukkan serat kulit lemon kedalam larutan NaOH selama 6 jam, kemudian dinetralkan menggunakan aquades hingga pH 7. Menetralkan kulit lemon hingga

pH 7. Haluskan kulit lemon menggunakan blender atau mixer. Melakukan pengayakan pada kulit lemon dengan ayakan 80 mesh atau ukuran 149-177 µm. Pengisi kulit lemon berupa serbuk didapatkan.

3.5.2 Alur Pembuatan Film Biokomposit

Proses pembuatan film biokomposit meliputi dimulai dari melarutkan PVA menggunakan akuades kemudian diaduk pada suhu 90 °C selama 1 jam menggunakan pengaduk dengan kecepatan 500 rpm hingga terbentuk gel. Menambahkan Pati dan kemudian diaduk menggunakan pengaduk pada suhu 60°C selama 40 menit dengan kecepatan 400 rpm. Menambahkan Pengisi kulit lemon sesuai dengan masing-masing variasi (0%, 1%, 3%, dan 5%). Menuang hasil pembuatan larutan yang berbentuk hydrogel ke dalam cetakan kaca berukuran 190 mm x 120 mm x 3 mm dan dikeringkan dalam oven pada suhu 40 ° C selama 24 jam. Setelah kering, spesimen dipotong sesuai dengan aturan ASTM D882 dan kemudian dilakukan pengujian

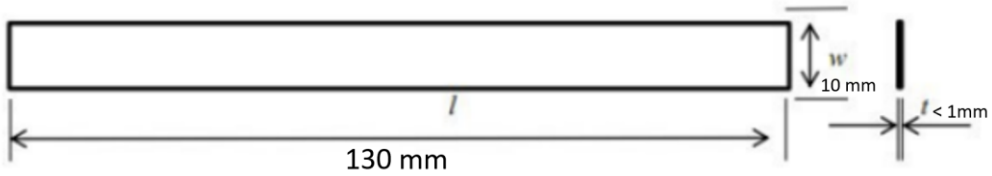
Tabel 3. 1 Komposisi Biokomposit

Nomor Sample	**Spesimen Komposit**	***Polyvinyl Alcohol (%)***	**Komposisi Pati Singkong (%)**	**Kulit Lemon (%)**
S0	PVA	100	0	0
S1	PVA/CS	80	20	0
S2	PVA/CS/LP1	80	19	1
S3	PVA/CS/LP3	80	17	3
S4	PVA/CS/LP5	80	15	5

3.5.3 Karakterisasi Spesimen

a. Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D882. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine HT2402* berkapasitas 5 kN. Pada setiap variasinya dibuat 3 replikasi.



Gambar 3. 1 Skema Spesimen ASTM D882-18

Tabel 3. 2 Spesifikasi Dimensi Spesimen

Ketentuan ASTM D882-18	Dimensi Spesimen (mm)
Lebar, 5 mm ≤ w ≤ 25,4 mm	10
Panjang	130
Ketebalan	< 1
Gauge Length, 50 mm ≤ x ≤ 250 mm	60

b. Pengujian Morfologi Biokomposit menggunakan SEM *(Scanning Electron Microscopy)*

Pengujian morfologi spesimen biokomposit ini menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada mesin Hitachi SU3800. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi patahan dari spesimen. Untuk mengetahui hasil perbedaan morfologinya, dibandingkan melalui patahan hasil uji tarik tertinggi dan terendah. Dalam proses pengujiam SEM, lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang scan coil discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan spesimen. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kemudian elektron ditembakkan, setelah itu imaging detector yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/image. Langkah-langkah pengamatan morfologi dengan SEM adalah sebagai berikut:

1. Siapkan spesimen patahan dari pengujian tarik.
2. Melakukan preparasi spesimen pengujian SEM dengan pelapisan ion sputter.
3. Spesimen diletakkan pada alat uji SEM dan dihadapkan vertikal (untuk patahan hasil uji tarik di sisi atas) agar dapat diamati patahannya.

4. Amati fenomena yang didapatkan, sehingga didapatkan foto yang dapat dianalisa secara ilmiah.

c. Pengujian Morfologi menggunakan *Digital Microscope*

Pengujian struktur mikro spesimen biokomposit ini menggunakan Microscope DM-500. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi sebaran pengisi pada spesimen. Prinsip kerja dari mikroskop optik biasanya tersusun atas tiga bagian pokok : (i) pemantulan *(illuminator),* untuk memantulkan permukaan bahan cuplikan, (ii) lensa obyektif, yang memberikan daya pisah, dan (iii) lensa malam *(eye piece),* untuk memperbesar bayangan yang terbentuk oleh lensa obyektif (lely Susita R.M. *et al* ., 1996).

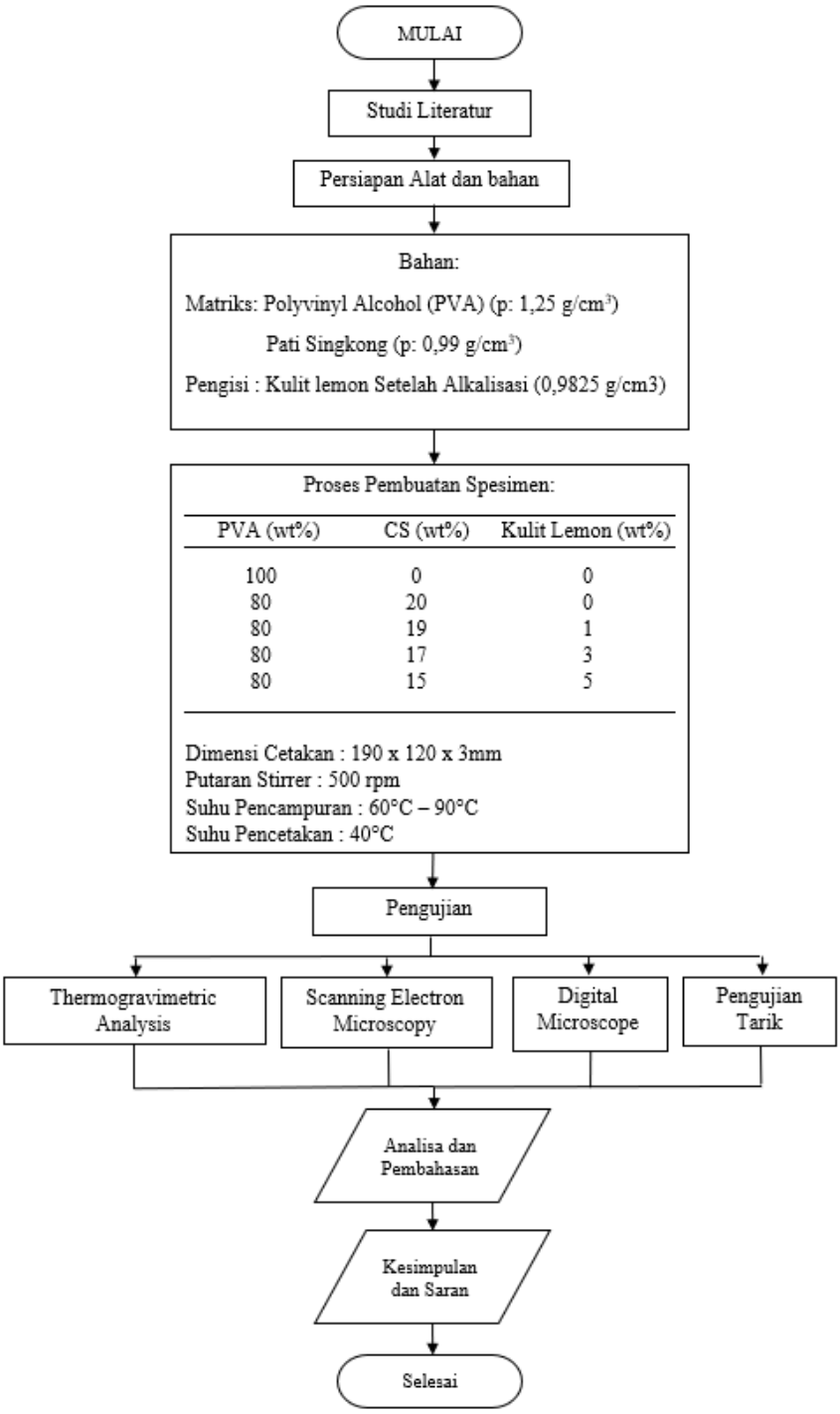
d. Ketahanan termal menggunakan TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

Pada penelitian ini, pengujian TGA pada spesimen biokomposit dilakukan pada suhu 0-600 °C. Kecepatan pemanasan adalah 10 °C/menit (Asrofi et al., 2019). Perubahan massa spesimen yang diamati ketika spesimen dikenakan pada *Controlled Temperature Program*. Alat juga dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat spesimen setiap saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Langkah pengujian ketahanan termal menggunakan TGA adalah sebagai berikut:

1. Siapkan spesimen pengujian TGA.
2. Letakkan spesimen pada holder didalam furnace.
3. Melakukan penyetelan rentang temperatur dan kecepatan pemanasan.
4. Melakukan pengamatan pada pengurangan berat.

3.6 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini mununjukkan rangkaian proses penelitianyang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.7 Tabel Analisa Data

Hasil dari pengujian tarik akan diolah dalam bentuk yang tersaji seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Tabel Analisa Data Hasil Pengujian Tarik

Kode Spesimen	Replikasi	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
PVA	I			
	II			
	III			
Rata-rata				

Hasil dari pengujian ketahanan termal menggunakan Thermogravimetric Analysis (TGA) akan diolah dalam bentuk tabel yang tersaji pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Tabel Analisa Data Thermogravimetric Analysis (TGA)

Kode Spesimen	Suhu Dekomposisi Awal (°C)	Suhu Puncak Dekomposisi (°C)	Massa Terdekomposisi (mg)	Massa Terdekomposisi (%)
PVA				
PVA/CS				
PVA/CS/LP1				
PVA/CS/LP3				
PVA/CS/LP5				

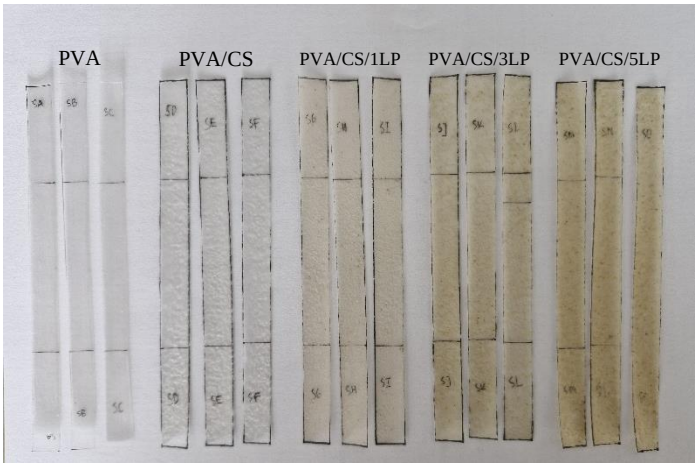
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Biokomposit

Sampel biokomposit dibuat untuk 4 pengujian yaitu pangujian tarik, *Thermogravimetric Analysis* (TGA), Morfologi patahan dengan Scanning Electron Microscopy (SEM), dan morfologi permukaan dengan Digital Microscope. Observasi morfologi patahan dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) menggunakan hasil patahan dari pengujian tarik.

4.1.1 Spesimen Pengujian Tarik

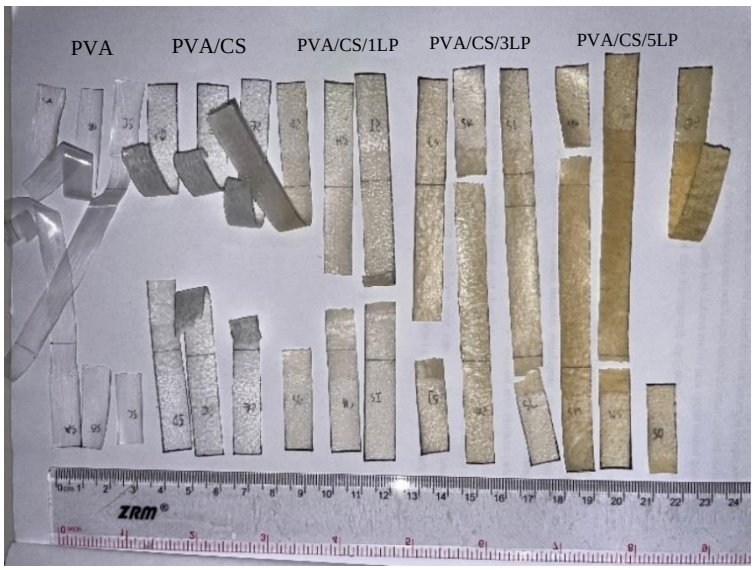
Hasil dari pembuatan biokomposit campuran polyvinyl alcohol dan pati singkong dengan penambahan pengisi kulit lemon menggunakan variasi 1%, 3%, dan 5% dapat dilihat pada Gambar 4.1. Penelitian ini mencapai hasil berupa biokomposit plastik dalam bentuk lembaran (*film)*, seperti terlihat pada Gambar 4.1. Ketebalan biokomposit plastik yang diperoleh adalah 0,19 mm sampai dengan 0,29 mm. Spesimen biokomposit yang dibuat memiliki ukuran panjang sekitar 13 cm dan l cm. Dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya penambahan kulit lemon, plastik menjadi sedikit menguning seiring dengan meningkatnya pengisi kulit lemon.



Gambar 4. 1 Spesimen Biokomposit

4.2 Hasil Pengujian Tarik

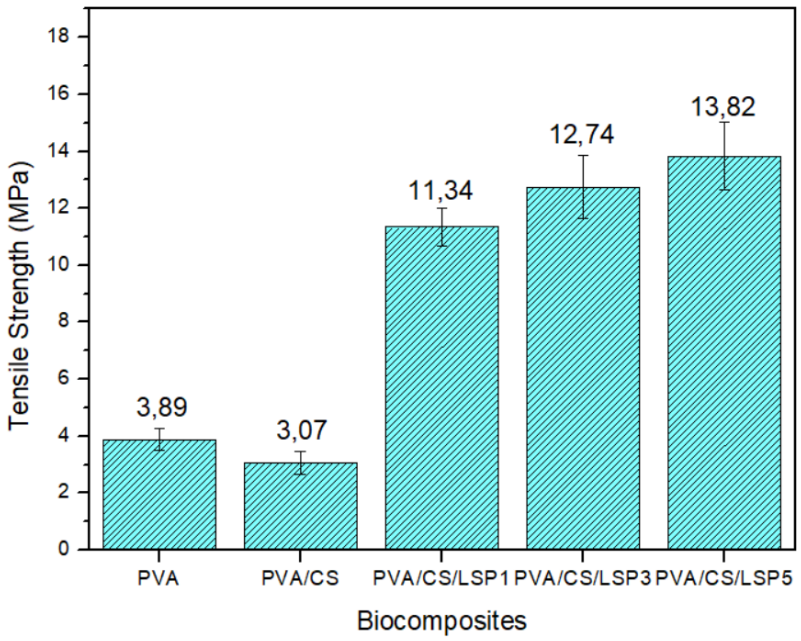
Pengujian tarik dimaksudkan untuk mengukur nilai kuat tarik plastik biokomposit PVA/pati singkong dengan menggunakan kulit lemon sebagai bahan pengisi. Mesin uji tarik yang digunakan yaitu *Universal Testing Machine HT2402* berkapasitas 5 kN dengan kecepatan tarikan 10 mm/min. Penelitian ini diulang sebanyak 3 kali untuk sampel dari pengujian tarik. Hasil uji tarik ini didapatkan besar nilai beban maksikum pada lembaran biokomposit PVA/Pati singkong dengan pengisi kulit lemon. Pengujian tarik mengalami deformasi dan tidak dapat kembali ke bentuk semula. Patahan dari pengujian tarik tersaji pada Gambar 4.2. Hasil dari pengujian tarik secara detail terdapat pada Lampiran 1.



Gambar 4. 2 Patahan Biokomposit Setelah Pengujian Tarik

4.2.1 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan batas kemampuan suatu material untuk menahan beban tarik yang dapat diserap oleh produk atau material sebelum terjadi kegagalan atau perpatahan (Murugan., 2020). Faktor yang dapat mempengaruhi hasil kuat tarik sampel pada penelitian ini antara lain penambahan pengisi. Hasil pengujian kekuatan tarik penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.3.



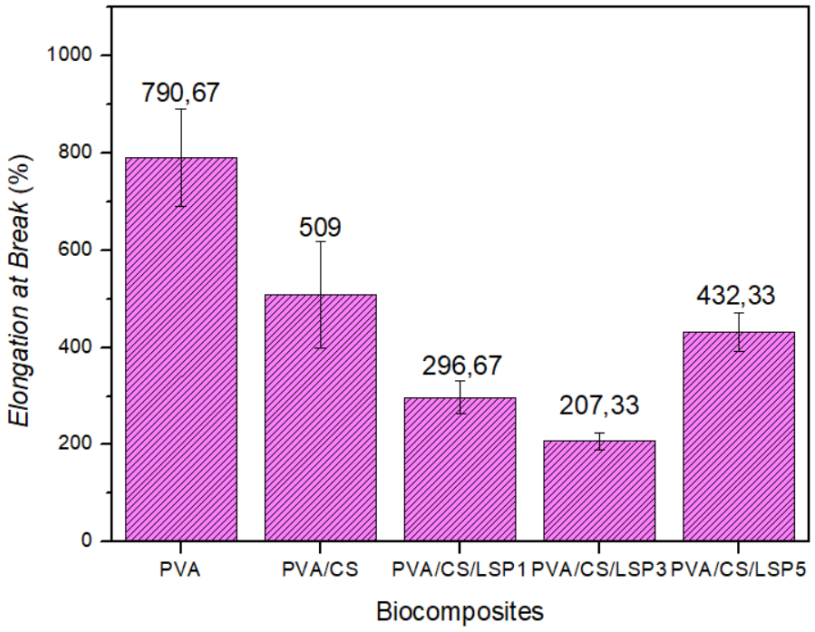
Gambar 4. 3 Kekuatan Tarik Biokomposit

Pada pengujian tarik, penambahan serat diharapkan dapat meningkatkan kuat tarik hasil penelitian biokomposit ini sehingga dapat memberikan acuan sebagai alternatif produk plastik sintetis yang umum digunakan. Kekuatan tarik PVA menurun ketika ditambahkan pati. Peristiwa ini terjadi karena ikatan antarmuka yang buruk antara PVA dan pati (Asrofi et al., 2019). Banyaknya ikatan OH yang terbebas menyebabkan kompabilitas yang buruk antara PVA dan pati (Abral et al., 2019). Hal ini dikonfirmasi oleh penelitian Lani (2014) tentang biokomposit PVA dan pati singkong dimana penambahan pati singkong pada PVA menurunkan kekuatan tarik disebabkan oleh kompatibilitas yang buruk antara PVA dan pati dan juga mencerminkan ikatan hidrogen antarmolekul yang lemah antara kedua polimer. Selain itu, Mittal (2020) melaporkan hal yang serupa pada kekuatan tarik film PVA yang menurun sebesar 327 % ketika ditambahkan pati dikarenakan pati memiliki mobilitas molekul yang tinggi. Kondisi ini diperkuat dengan hasil SEM pada Gambar 4.9 yang menunjukkan banyaknya rongga atau gap yang menunjukkan ikatan yang buruk antara PVA dan pati singkong, sehingga menghasilkan crack.

Nilai kuat tarik dari biokomposit meningkat seiring dengan bertambahnya persentase pengisi kulit lemon. Kekuatan tarik penambahan 1% kulit lemon mengalami kenaikan hingga 369 %, dari 3,07 MPa menjadi 11,34 MPa. Fenomena ini terjadi karena adanya adhesi yang baik pada antarmuka dari matriks dan serat (Fahma et al., 2017). Tren tersebut terus mengalami kenaikan pada penambahan 3 % dan 5 % kulit lemon. Penambahan 3% kulit lemon menghasilkan kekuatan tarik sebesar 12,74 MPa dan mengalami peningkatan kembali pada penambahan 5 % menjadi 13,82 MPa. Hasil ini menjadikan penambahan 5% memiliki kekuatan tarik tertinggi. Penambahan pengisi serat alam ke dalam PVA dan pati mengaibatkan rantai polimer menjadi kurang bergerak karena meningkatnya jumlah ikatan hidrogen yang dihasilkan dari persentase pengisi yang lebih tinggi sehingga serat terdispersi dalam matriks (Abral et al., 2019). Oleh karena, itu penambahan serat meningkatkan sifat tarik film biokomposit (Mahardika et al., 2021). Hasil ini diperkuat dengan hasil observasi morfologi SEM pada Gambar 4.10 yang menunjukkan adanya adhesi yang baik antara serat dan matriks yang terdapat pada struktur morfologinya sehingga menjadikan nilai kekuatan tarik meningkat. Hasil meningkatnya kekuatan tarik dari penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Fahma (2017), dimana kekuatan tarik biokomposit PVA dan pati singkong mengalami peningkatan setelah ditambahankan pengisi serat alam berupa tandan kosong kelapa sawit.

4.2.2 Elongation at Break

Elongation merupakan keadaan di mana film mengalami kegagalan atau deformasi hingga putus setelah mengalami perubahan panjang dari ukuran sebenarnya saat diregangkan. Pengaruh dari adanya elongasi yaitu untuk melihat sifat mekanik berdasarkan pertambahan panjang. Terlihat bahwa pertambahan panjang menunjukkan bahwa benda atau bahan bersifat elastis terhadap tegangan (Wattimena et al., 2016). Nilai *elongation at break* pada penelitian ini tersaji pada Gambar 4.4.



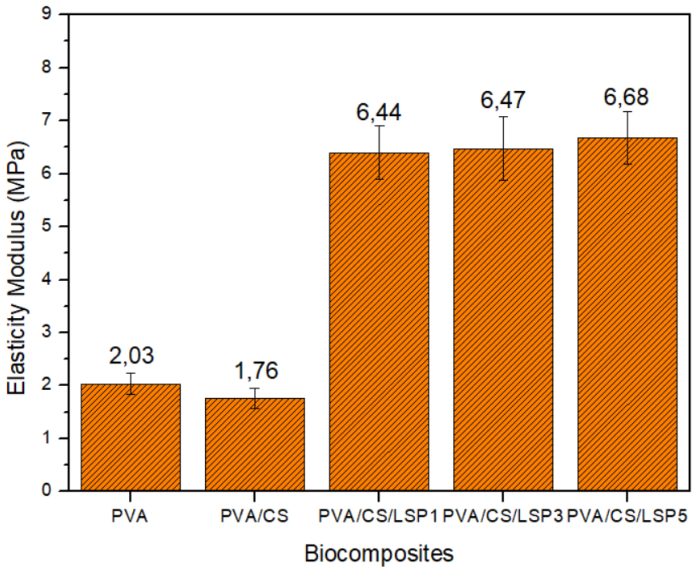
Gambar 4. 4 *Elongation at Break* Biokomposit

Dari Gambar 4.4, terlihat bahwa nilai elongasi tertinggi terdapat pada variasi PVA yang memiliki nilai elongasi sebesar 790,67 %. Peristiwa ini sesuai dengan penelitian dari Lani (2014) yang menunjukkan nilai elongasi dari PVA murni sebesar 287,25% dibandingkan dengan setelah ditambahkan pati. Mittal (2020) juga melaporkan PVA murni memiliki nilai elongasi tertinggi sebesar 140 % dibandingkan dengan setelah ditambahkan pati dan serat. Namun, kondisi yang didapati yaitu penurunan nilai elongasi ketika ditambahkan pati dan serat. Nilai elongasi terus menurun seiring dengan naiknya fluktuasi rasio lignin terhadap PVA karena tingkat keuletan larutan lignin yang rendah menjadikan penambahan variasi larutan tidak menunjukkan kenaikan kekuatan elongasi yang baik (Korbag et al., 2016). Kondisi ini didukung oleh penelitian yang menggunakan matriks PVA memiliki kurva elongasi yang menurun dratis, fenomena ini disebabkan kurangnya ikatan hidrogen yang kuat yang mengarah pada keterbatasan pergerakan rantai polimer dan pengurangan perilaku pemanjangan (Fu et al., 2022). Sesuai dengan hasil pengamatan SEM dimana banyak ditemukan kandungan pati dan serat kulit lemon yang mengakibatkan nilai elongasi menurun. Namun, pada penambahan 5% kulit lemon mengalami kenaikan kembali pada nilai elongasi. Nilai elongasi pada

penamabahan 5% kulit lemon adalah 432,33 %. Zhou (2023), melaporkan bahwa ikatan antara pati alkali, lignin, dan PVA menghasilkan struktur komposit yang lebih kuat, yang meningkatkan kekuatan mekanik dan *elongation at break*. Selain itu, interaksi kimia, sifat fisik dari serat, dan komposisi yang tepat juga dapat berpengaruh pada peningkatan nilai elongasi (Salleh et al., 2015). Hasil ini dikonfirmasi dengan kandungan 5% memiliki kekuatan tarik tertinggi. Hasil yang mirip dimana penambahan pati dan serat alam menurunkan elongasi ditemukan pada penelitian oleh Fahma (2017).

4.2.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan material dan merupakan salah satu sifat terpenting yang dipertimbangkan saat memilih material dalam banyak aplikasi teknik (Murugan., 2020). Modulus elastisitas ini berguna untuk mengetahui sifat mekaniknya seperti kekakuan bahan. Dalam hal ini kita dapat memeriksa apakah suatu bahan menunjukkan batas sifat elastis atau plastis untuk kemudian dapat disimpulkan bahwa bahan tersebut menunjukkan kecenderungan sifat elastis atau plastis (Senthil, 2020). Nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dari pengujian tarik tersaji pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Modulus Elastisitas Biokomposit

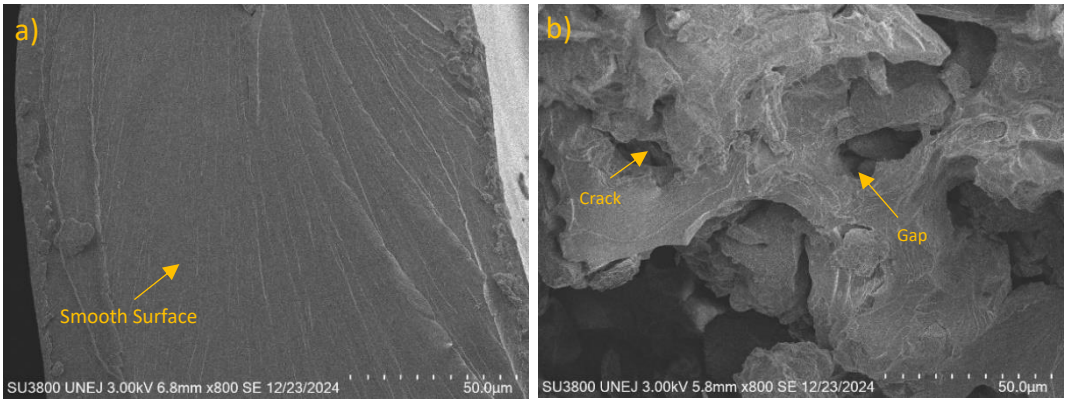
Penambahan kulit lemon ke dalam matriks PVA dan pati singkong meningkatkan modulus elastisitas. Xiao (2021), melaporkan bahwa serat dengan modulus tinggi meningkatkan sifat mekanik komposit, meningkatkan ikatan struktural dan kekakuannya. Hal ini dikuatkan oleh penelitian Krishnaraja dan Kandasamy, yang menyoroti bahwa peran dari serat kepada matriks PVA dapat meningkatkan keuletan dan pengerasan regangan material komposit, yang berkontribusi positif terhadap sifat mekaniknya (Krishnaraja & Kandasamy, 2017). Kombinasi serat alami dengan PVA tidak hanya meningkatkan modulus elastisitas tetapi juga meningkatkan sifat mekanik komposit secara keseluruhan, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi. Hasil ini didukung oleh penelitian sebelumnya oleh Asrofi (2024), dimana modulus elastisitas mengalami kenaikan pada biokomposit PVA dan pati kentang berpengisi ampas kopi.

4.3 Observasi Morfologi Patahan Biokomposit menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy)

Pengujian morfologi menggunakan SEM dilakukan untuk menunjukkan kondisi ikatan matriks dan serat, apakah pengisi terdispersi secara merata atau tidak, apakah terjadi aglomerasi/penggumpalan pada serat atau tidak. Pada penelitian ini, seluruh variasi dilakukan observasi morfologi.

4.3.1 Morfologi Patahan Biokomposit Tanpa Pengisi Kulit Lemon

Spesimen biokomposit yang dilakukan obervasi morfologi merupakan hasil patahan dari pengujian tarik dari PVA dan campuran PVA dan pati singkong. PVA dan campuran antara PVA dan pati singkong memiliki kekuatan tarik terendah. Hasil observasi morfologi pada PVA dan campuran PVA dan pati singkong tersaji pada Gambar 4.6.



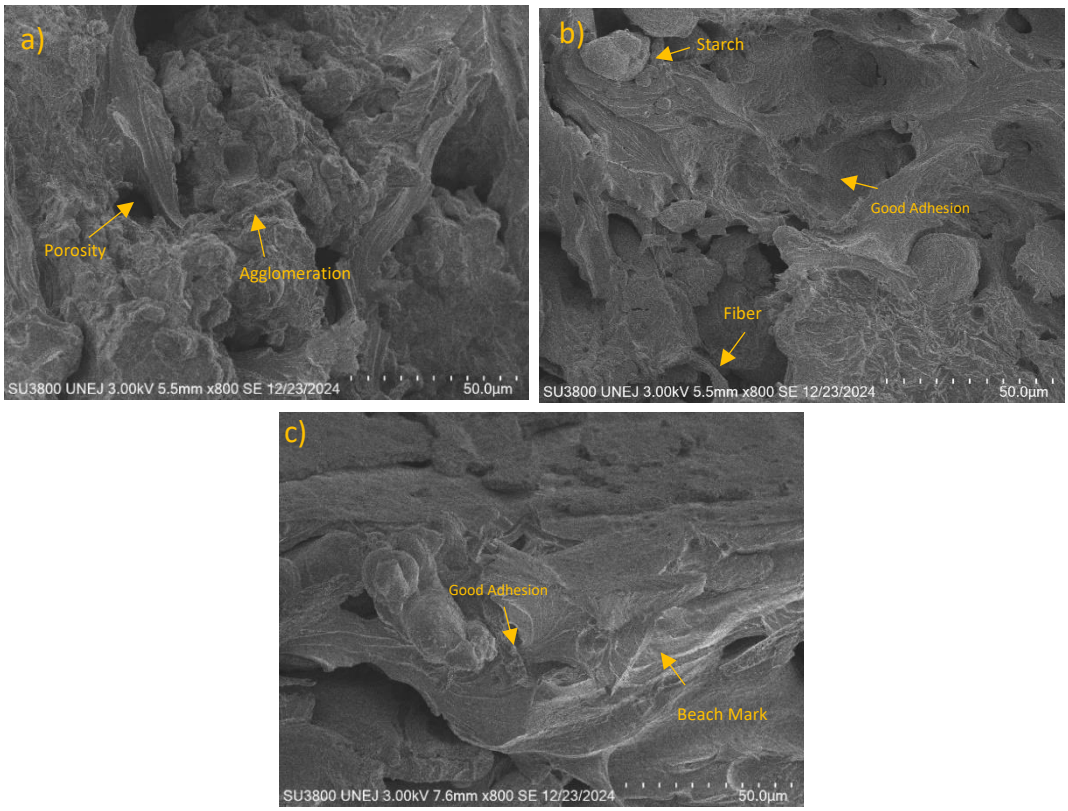
Gambar 4. 6 Hasil Observasi Morfologi Patahan dengan SEM pada Biokomposit; (a) PVA, (b) PVA/CS

Terlihat dari Gambar 4.6 (a), permukaan dari PVA murni sangat halus. Hal tersebut terjadi karena tidak adanya pengisi sehingga PVA terlarut sempurna dengan air dan menghasilkan permukaan yang halus (Ejara et al., 2021). Hal ini dikonfirmasi oleh penelitian Asrofi (2024), dimana film PVA murni memiliki struktur yang halus. Pada Gambar 4.6 (b), merupakan campuran antara PVA dan Pati singkong dimana menunjukkan bahwa terdapat crack dan gap yang ditunjukkan oleh panah kuning. Selain itu ditunjukkan adanya aglomerasi pada pati. Fenomena ini sesuai dengan penelitian dari Abral (2019), dimana kompabilitas yang buruk antara PVA dan pati mengakibatkan fenomena tersebut terjadi. Selain itu, aglomerasi pada pati ditemukan pada hasil observasi morfologi patahan. Aglomerasi merupakan peristiwa terjadinya penumpukan partikel-partikel yang menyebabkan gaya yang terdistribusi antara matriks dan serat menjadi tidak sempurna, sehingga akan menimbulkan penurunan nilai kekuatan tarik (Rahim et al., 2020). Hasil observasi ini menjadi validasi bahwa PVA dan pati singkong mengalami penurunan kekuatan tarik, dan didukung oleh hasil observasi morfologi oleh Abral (2019) yang tersaji pada Gambar 4.8.

4.3.2 Morfologi Patahan Biokomposit Berpengisi Kulit Lemon

Spesimen biokomposit yang dilakukan obervasi morfologi merupakan hasil patahan dari pengujian tarik pada biokomposit PVA dan pati singkong berpengisi kulit lemon. Biokomposit PVA dan pati singkong berpengisi kulit lemon memiliki

tren kenaikan pada kekuatan tarik. Hasil observasi morfologi pada biokomposit PVA dan pati singkong berpengisi kulit lemon tersaji pada Gambar 4.7.

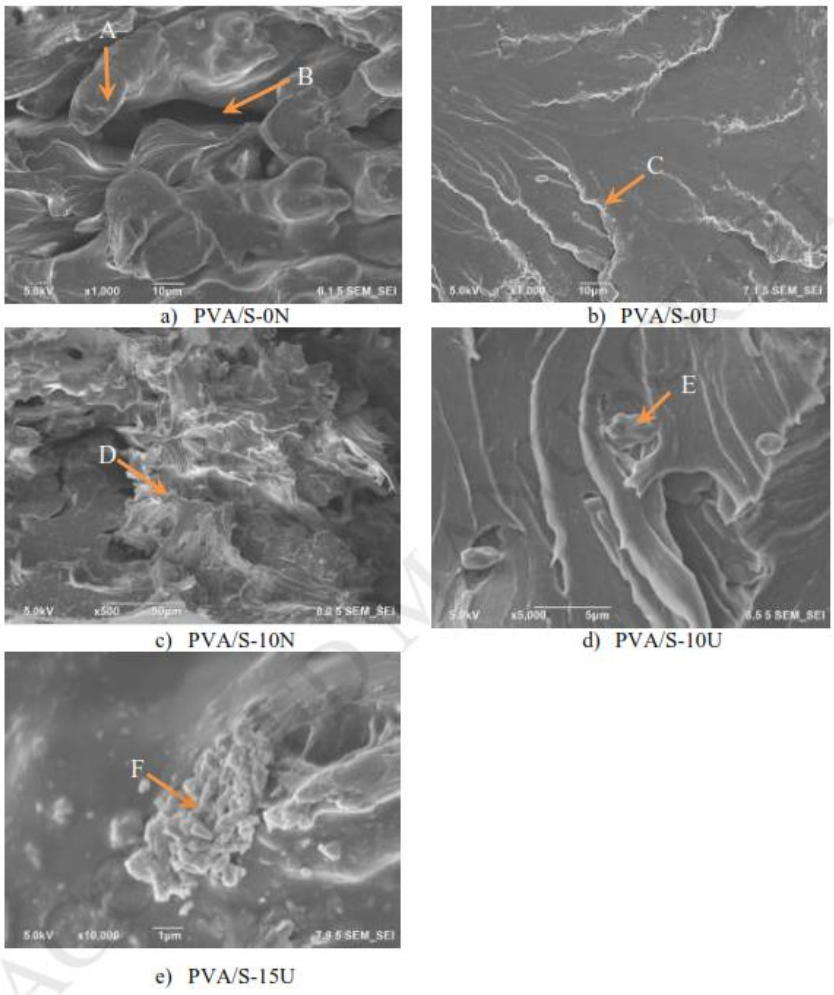


Gambar 4. 7 Hasil Observasi Morfologi Patahan dengan SEM pada Biokomposit; (a) PVA/CS/LP1, (b) PVA/CS/LP3, (c) PVA/CS/LP5

Gambar 4.7 (a) merupakan PVA dan Pati singkong dengan penambahan 1% pengisi kulit lemon. Pada variasi ini, menghasilkan kekuatan tarik terendah diantara sampel dengan pengisi kulit lemon. Hasil observasi morfologi menggunakan SEM menunjukkan permukaan sampel terdapat porositas atau ruang kosong pada sampel biokomposit. Hal ini disebabkan karena serat tidak seragam dan tidak terdistribusi secara merata dan adanya ikatan yang tidak homogen antara matriks dan fiber sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik (Syafri et al., 2019). Selain itu, ditemukan aglomerasi pada serat yang mengakibatkan gaya tidak terdistribusi sempurna pengujian tarik berlangsung. Karena pencampuran yang tidak sempurna dapat menyebabkan munculnya peristiwa aglomerasi, adhesi yang buruk dan tidak adanya perlakuan lebih lanjut ketika sampel akan dicetak kedalam cetakan biokomposit (Syafri et al., 2019).

Fenomena lainnya terdapat pada Gambar 4.7 (b) yang menunjukkan PVA dan pati singkong dengan pengisi 3 % kulit lemon. Pada variasi ini, mulai terbentuk struktur yang rata. Hal ini disebabkan karena ikatan yang baik sehingga menghasilkan struktur yang kompak. Struktur yang kompak dapat terjadi karena adanya dispersi serat yang baik tanpa adanya penumpukan serat sehingga menyebabkan meningkatnya kekuatan tarik sampel (Asrofi et al., 2018).

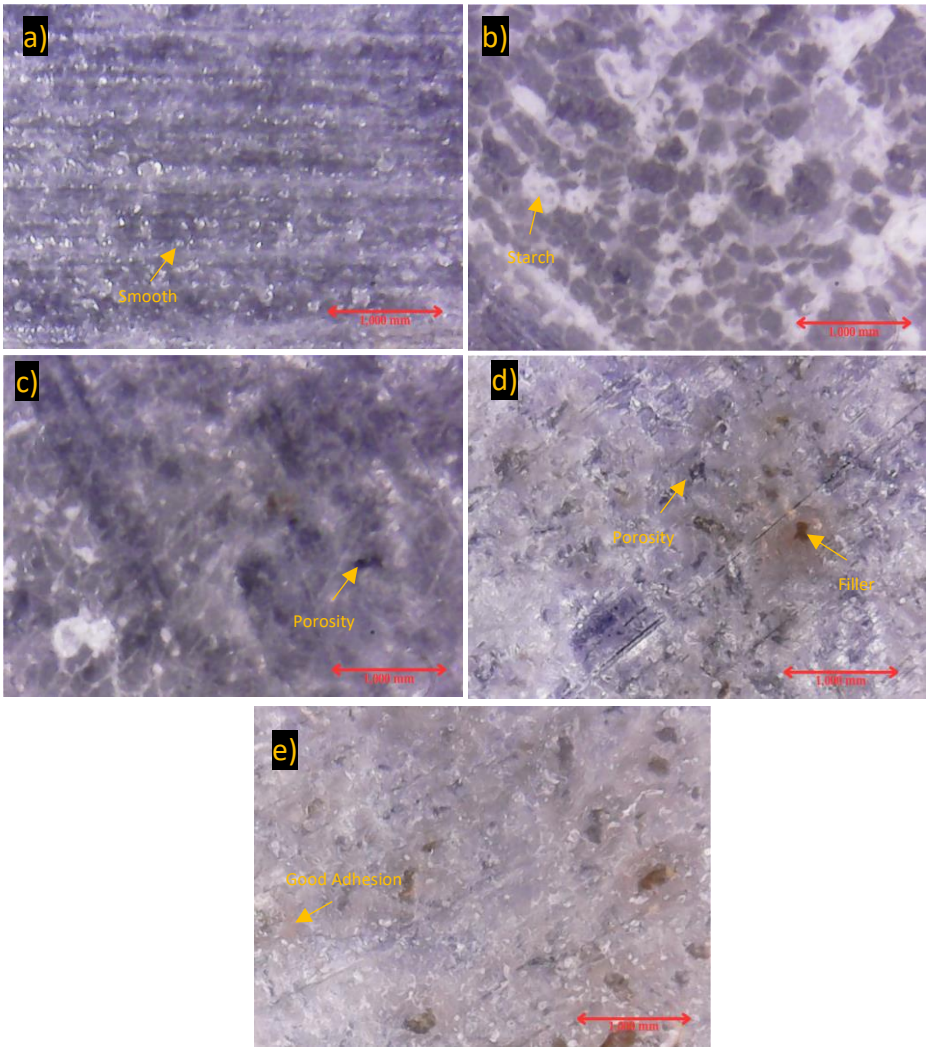
Gambar 4.7 (c) menunjukkan hasil observasi morfologi menggunakan SEM pada biokomposit PVA dan pati singkong dengan pengisi 5 % kulit lemon. Pada variasi ini, kekuatan tarik menghasilkan hasil tertinggi. Pada variasi ini mengalami peningkatan kekuatan tarik. Terdapat fenomena garis ombak, dimana garis ombak terjadi karena jalur perambatan retakan melewati bagian yang lemah akibat penambahan gel pati yang terdispersi (Abral et al., 2019). Adanya garis ombak dan ikatan yang baik menghasilkan peningkatan kekuatan tarik (Asrofi et al., 2024). Adanya garis ombak mengindikasikan distribusi pati dan serat yang merata dan tegangan tarik melewati ikatan paling lemah sehingga terjadi peningkatan kekuatan tarik. Hasil SEM pada penelitian ini didukung oleh penelitian sebelumnya oleh Abral (2019) yang tersaji pada Gambar 4.8. Pada hasil penelitian Abral (2019), ditemukan gel pati yang teraglomerasi, crack, beach mark, aglomerasi serat, serat, dan serat pati yang ditunjukkan dengan tanda A, B, C, D, E, dan F.



Gambar 4. 8 Hasil Observasi Morfologi Patahan dengan SEM pada Biokomposit PVA/Pati Singkong/Bacterial Cellulose (Sumber: Abral et al., 2019)

4.4 Observasi Morfologi Biokomposit menggunakan Digital Microscope

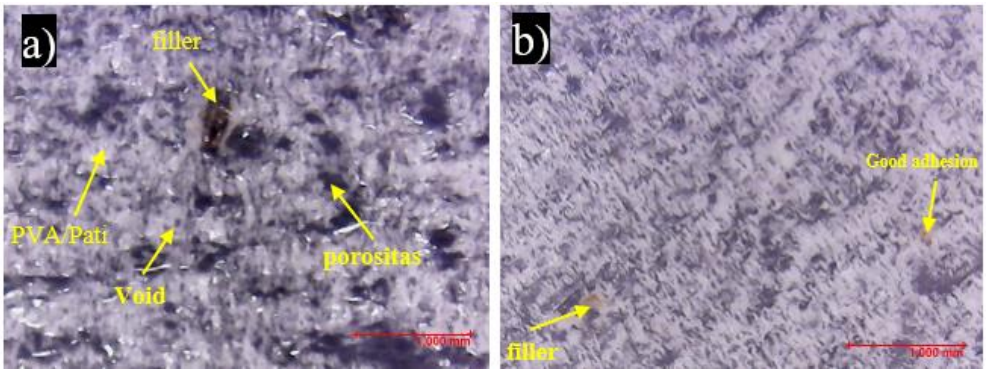
Pengujian mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro permukaan dari biokomposit PVA dan pati singkong dengan pengisi serat kulit lemon. Struktur mikro yang didapatkan dari pengujian ini dapat mengindikasikan sebaran serat yang baik dan berpengaruh pada sifat mekanik dan fisik. Hasil pengujian mikro menggunakan *digital microscope* tersaji pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Hasil Observasi Morfologi Permukaan Biokomposit menggunakan *Digital Microscope*; (a) PVA, (b) PVA/CS, (c) PVA/CS/1LP, (d) PVA/CS/3LP, (e) PVA/CS/5LP

Terlihat pada Gambar 4.9 (a), permukaan dari PVA murni memiliki hasil yang halus dan bening. Hasil ini didapatkan karena belum adanya penambahan dari bahan lain (Ejara et al., 2021). Setelah ditambahkan pati singkong, mulai terlihat adanya sebaran pati yang berikatan dengan PVA seperti tersaji pada Gambar 4.9 (b). Sebaran dari pati ditunjukkan pada warna putih dan memiliki bentuk seperti granula (Satyanarayana & Prasad, 2016). Campuran antara PVA dan pati menunjukkan ikatan yang buruk yang dibuktikan dengan hasil kekuatan tarik yang rendah. Hal ini disebabkan oleh kompabilitas yang buruk antara PVA dan pati (Abral et al., 2019). Setelah ditambahkan 1 % pengisi kulit lemon, terlihat pada

Gambar 4.9 (c) bahwa sebaran dari pengisi masih kurang terlihat dalam pengamatan mikro karena persentase pengisi yang sedikit (Lemos et al., 2016). Namun, ditemukan porositas yang terjadi karena distribusi pengisi tidak seragam (Pradiza et al., 2024). Sebaran pengisi kulit lemon mulai terlihat pada penambahan pengisi 3 % yang tersaji pada Gambar 4.9 (d). Namun, masih ditemukan porositas pada hasil pengamatan struktur mikro permukaannya. Selain distribusi serat yang tidak seragam, fenomena ini disebabkan oleh pencampuran yang tidak sempurna saat pembuatan larutan biokomposit, serta perlakuan pada saat pencetakan sampel (Botlhoko et al., 2024). Sebaran serat yang baik ditunjukkan pada penambahan 5 % pengisi kulit lemon seperti pada Gambar 4.9 (e). Sebaran serat yang baik menghasilkan kompatibilitas dan ikatan yang pada antara PVA dan pati singkong serta pengisi kulit lemon. Kompatibilitas dan ikatan yang baik pada biokomposit berpengaruh pada peningkatan kekuatan tarik (Patil et al., 2021). Hasil dari penelitian ini ditemukan pada penelitian serupa lainnya yang mencampurkan PVA/Pati kentang dengan kulit lemon yang tersaji pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Morfologi Biokomposit PVA/Pati Kentang dan Kulit Lemon (Sumber: Ramadhana, 2023)

4.5 Ketahanan Termal Biokomposit

Pengujian ketahanan termal dilakukan menggunakan alat *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik termal dari material komposit. Cara kerja dari pengujian ini yaitu melakukan pemanasan pada material biokomposit yang telah dibuat sampai dengan suhu 600°C dan dipantau suhu awal dekomposisi dan suhu puncak dekomposisi

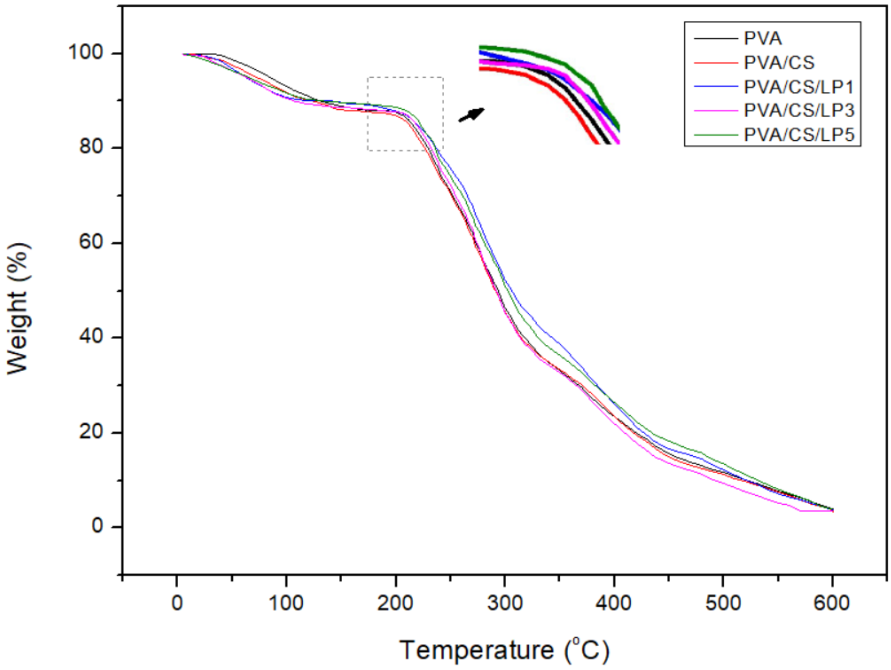
yang mengindikasikan ketahanan termal dari biokomposit. Hasil dari pengujian ini tersaji dalam bentuk tabel yang terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Tabel Data Hasil Pengujian TGA *(Thermogravimetric Analysis)*

Kode Spesimen	Suhu Awal Dekomposisi (°C)	Suhu Puncak Dekomposisi (°C)	Massa Akhir (%)	Massa Terdekomposisi (%)
PVA	39,06	205,51	3,54	96,46
PVA/CS	32,41	199,33	2,72	97,28
PVA/CS/LP1	34,16	206,21	2,87	97,13
PVA/CS/LP3	35,73	211,33	3,55	96,45
PVA/CS/LP5	37,45	215,35	3,93	96,07

Hasil dari pengujian TGA dijabarkan menggunakan grafik yang tersaji pada Gambar 7 yang menunjukkan penurunan berat biokomposit PVA dan pati singkong dengan penambahan kulit lemon. Dapat dilihat bahwa pada suhu 10°C hingga 100°C merupakan suhu awal dekomposisi, dimana biokomposit mengalami penurunan berat hingga 10% karena kandungan airnya yang hilang (Somvanshi & Gope, 2021). Penurunan berat yang besar hingga 45% terjadi pada suhu 199 °C hingga 435°C yang merupakan suhu puncak dekomposisi (Ray et al., 2021). Penambahan 5% pengisi kulit lemon ke dalam matriks PVA dan pati singkong menghasilkan suhu puncak dekomposisi sebesar 215,35 °C. Ikatan antara PVA, pati singkong dan kulit lemon menjadi lebih stabil secara termal dibandingkan dengan PVA murni yang memiliki temperatur puncak dekompoisisi pada 205,51 °C. Fenomena ini terjadi karena serat yang ditambahkan memperkuat ikatan intermolekuler dengan rantai molekul PVA dan pati singkong yang saling melengkapi ikatan hidrogen intermolekuler (Asrofi et al., 2025). Hal ini didukung oleh hasil SEM pada Gambar 4.7 (c) yang menunjukkan ikatan antar muka yang baik. Selain itu, kekuatan tarik penambahan 5% kulit lemon pada matriks PVA dan pati singkong memiliki hasil yang paling tinggi. Hasil penelitian serupa juga

menemukan bahwa penambahan serat alami daun kurma yang diberi perlakuan kimiawi pada matriks PVA dan pati dengan komposisi tertinggi menghasilkan ketahanan termal yang lebih baik (Ray et al., 2021).



Gambar 4. 11 Grafik Laju Dekomposisi Termal Biokomposit

4.6 Perbandingan Hasil Pengujian pada Biokomposit dengan Plastik Sintetis

Pembuatan biokomposit PVA dan pati singkong berpengisi kulit lemon menghasilkan sifat mekanik yang baik. Sifat mekanik biokomposit yang dibuat jika dibandingan dengan bahan sintetis yang terkini memiliki perbandingan seperti yang tersaji pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perbandingan Biokomposit dengan Penelitian Lain

Kekuatan	Biokomposit	LDPE (Shebani et al., 2018)	HDPE (Shebani et al., 2018)
Tensile Strength (MPa)	13,82	9,93	27,93
Elongation (%)	432,33	349	213,1
Elasticity Modulus (MPa)	6,68	-	-
Biodegradeable	Ya	Tidak	Tidak

Hasil dari pembuatan biokomposit dari PVA dan Pati singkong dengan pengisi kulit lemon menghasilkan kekuatan tarik yang lebih baik dari plastik sintetis yang biasa digunakan untuk produk berupa makanan kering yaitu LDPE (Low Density Polyethylene) dan PVC (Polyvinyl Chloride), namun tidak lebih tinggi dari HDPE (High Density Polyethylene). Pada nilai elongasi, biokomposit PVA dan pati singkong berpengisi kulit lemon memiliki nilai lebih tinggi jika dibandingkan dengan LDPE dan HDPE. Selain itu, campuran biokomposit PVA, pati dan serat alam memiliki biodegradabilitas yang baik (Asrofi et al., 2024). Fenomena ini menunjukkan bahwa biokomposit PVA dan Pati singkong berpengisi kulit lemon sangat kompetitif sebagai alternatif pengganti plastik sintetis.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengaruh penambahan pengisi kulit lemon terhadap kekuatan tarik, morfologi dan biodegradasi biokomposit PVA dan Pati singkong, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan pengisi kulit lemon dapat meningkatkan sifat mekanik dan fisik dari biokomposit. Variasi dengan nilai kekuatan tarik yang tertinggi terdapat pada variasi penambahan pengisi 5% kulit lemon dengan hasil 13,82 MPa dengan nilai elongasi sebesar 432,33 % dan modulus elastisitas sebesar 6,68 MPa. Ketahanan termal dari biokomposit juga meningkat dengan hasil tertinggi pada penambahan 5% pengisi kulit lemon yang memiliki suhu puncak dekomposisi pada 215,35 °C. Fenomena ini terjadi karena ikatan yang baik antara matriks dan pengisi. Hasil ini diperkuat dengan observasi morfologi patahan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang menunjukkan permukaan patahan dari sampel yang memiliki karakteristik yang baik terdapat pada penambahan pengisi 5 % kulit lemon karena ditemukannya struktur yang kompak, adhesi yang baik serta adanya garis ombak (*beach mark).* Hal ini menunjukkan bahwa pengisi atau serat dapat menyatu dengan matriks.

5.2 Saran

Agar penelitian ini mendapatkan hasil yang maksimal, saran yang dianjurkan oleh peneliti untuk peneliti selanjutnya adalah:

1. Menambahkan persentase kulit lemon dengan indikasi adanya peningkatan sifat mekanik dan fisik yang lebih baik.
2. Diperlukan karakteriasi material lebih lanjut seperti XRD (*X-Ray Diffraction*) dan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) agar lebih memperkuat hasil dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, Z. W., Dong, Y., Davies, I. J., & Barbhuiya, S. (2017). PVA, PVA Blends, and Their Nanocomposites for Biodegradable Packaging Application. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 56(12).

Abral, H., Hartono, A., Hafizulhaq, F., Handayani, D., Sugiarti, E., & Pradipta, O. (2019). Characterization of PVA/cassava starch biocomposites fabricated with and without sonication using bacterial cellulose fiber loadings. Carbohydrate polymers, 206, 593-601.

Andrew, J. J., & Dhakal, H. N. (2022). Sustainable biobased composites for advanced applications: recent trends and future opportunities–A critical review. Composites Part C: Open Access, 7, 100220.

Asem, M., Nawawi, W. M. F. W., & Jimat, D. N. (2018, June). Evaluation of water absorption of polyvinyl alcohol-starch biocomposite reinforced with sugarcane bagasse nanofibre: optimization using two-level factorial design. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 368, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.

Asrofi, M., Abral, H., Kasim, A., Pratoto, A., Mahardika, M., Park, J. W., & Kim, H. J. (2018). Isolation of nanocellulose from water hyacinth fiber (WHF) produced via digester-sonication and its characterization. Fibers and Polymers, 19(8), 1618-1625.

Asrofi, M., Arisandi, H. D., Pradiza, R. R., Junus, S., Mahardika, M., Amanda, P., ... & Sapuan, S. M. (2024). Mechanical Properties of Biocomposite Films Based Polyvinyl Alcohol/Potato Starch Filled by Coffee Ground Waste. International Journal of Agriculture and Biosciences, 13(3), 525-530.

Asrofi, M., Asyari, N. A., Pradiza, R. R., Abduh, M., Yusuf, M., Mahardika, M., ... & Norrrahim, M. N. F. (2025). Enhancing mechanical and thermal

properties of PVA-abaca fiber biocomposites via ultrasonic vibration bath treatment. Results in Engineering, 25, 103935.

Asrofi, M., Dwilaksana, D., Abral, H., & Fajrul, R. (2019). Tensile, thermal, and moisture absorption properties of polyvinyl alcohol (PVA)/bengkuang (pachyrhizuserosus) starch blend films. *Material Science Research India*, *16*(1), 70-75.

Asyraf, M. R. M., Ishak, M. R., Norrrahim, M. N. F., Amir, A. L., Nurazzi, N. M., Ilyas, R. A., Asrofi, M., Rafidah, M., and Razman, M. R. 2022. Potential of flax fiber reinforced biopolymer composites for cross-arm application in transmission tower: a review. Fiber. Polym. 23(4):853-877.

Botlhoko, O. J., Mphahlele, R. C., Lekalakala, R., & Muniyasamy, S. (2024). Blending Techniques for Preparing Cost-minimized Bioplastics and Biocomposites. In Biodegradable Polymers, Blends and Biocomposites (pp. 179-198). CRC Press.

Chu, H. H., Siddiq, B., Aslam, F., Javed, M. F., Wang, W., Joyklad, P., ... & Ali, R. (2022). Coupled effect of poly vinyl alcohol and fly ash on mechanical characteristics of concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, *13*(3), 101633.

Ciriminna, R., Chavarría-Hernández, N., Inés Rodríguez Hernández, A., & Pagliaro, M. (2015). Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *9*(4), 368-377.

Ejara, M.T., Balakrishnan, S., & Kim, C. J. (2021). Nanocomposites of PVA/cellulose nanocrystals: Comparative and stretch drawn properties. SPE Polymers,1–9.

Fahma, F., Sunarti, T. C., Indriyani, S. M., & Lisdayana, N. (2017). Thermoplastic cassava starch-PVA composite films with cellulose nanofibers from oil palm empty fruit bunches as reinforcement agent. *International Journal of Polymer Science*, *2017*.

FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). (2014). The Statistical.

Flores, S., Famá, L., Rojas, A. M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate. *Food Research International*, *40*(2), 257-265.

Fu, Z. Z., Guo, S. J., Li, C. X., Wang, K., Zhang, Q., & Fu, Q. (2022). Hydrogen-bond-dominated mechanical stretchability in PVA films: from phenomenological to numerical insights. Physical Chemistry Chemical Physics, 24(3), 1885-1895.

Goodship, V., & Ogur, E. O. (2005). Polymer processing with supercritical fluids (Vol. 15). iSmithers Rapra Publishing.

Gutiérrez, T. J., & Alvarez, V. A. (2017). Cellulosic materials as natural fillers in starch-containing matrix-based films: A review. Polymer Bulletin, 74, 2401-2430.

Ilyas, R. A., & Sapuan, S. M. (2020). Biopolymers and biocomposites: chemistry and technology. *Current Analytical Chemistry*, *16*(5), 500-503.

Junus, S. (2011). Komposit.

Kesuma, N. K. Y., Widarta, I. W. R., & Permana, I. D. G. M. (2018). PENGARUH JENIS ASAM DAN pH PELARUT TERHADAP KARAKTERISTIK PEKTIN DARI KULIT LEMON (Citrus limon). *Ilmu dan Teknol. Pangan*, *7*(4), 192-203.

Khalil, H. A., Bhat, A. H., & Yusra, A. I. (2012). Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. *Carbohydrate polymers*, *87*(2), 963-979.

Klimek-Szczykutowicz, M., Szopa, A., & Ekiert, H. (2020). Citrus limon (Lemon) phenomenon—a review of the chemistry, pharmacological properties,

applications in the modern pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and biotechnological studies. *Plants*, *9*(1), 119.

Korbag, I. (2016). Studies on mechanical and biodegradability properties of PVA/lignin blend films. International Journal of Environmental Studies, 73(1), 18–24.

Krishnaraja, A. R., & Kandasamy, S. (2017). Flexural performance of engineered cementitious compositelayered reinforced concrete beams. Archives of Civil Engineering, 63(4), 173-189.

Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J. & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. Industrial & engineering chemistry research, 48(8), pp. 3713-3729.

Lani, N.S., Ngadi, N. (2014). Preparation and Characterization of Polyvinyl Alcohol/Starch Blend Film Composite. Applied Mechanics and Materials, *554*, 86-90.

Lemos, A. L. D., Pires, P. G. P., Albuquerque, M. L. D., Botaro, V. R., Paiva, J. M. F. D., & Domingues, N. S. (2017). Biocomposites reinforced with natural fibers: thermal, morphological and mechanical characterization. Matéria (Rio de Janeiro), 22(2), e11840.

Loganathan, Sravanthi, et al. "Thermogravimetric analysis for characterization of nanomaterials." *Thermal and rheological measurement techniques for nanomaterials characterization*. Elsevier, 2017. 67-108.

Lv, X., Fang, J., Xie, J., Yang, X., & Wang, J. (2018). Thermal stability of phosphorus-containing epoxy resins by thermogravimetric analysis. Polymers and Polymer Composites, 26(7), 400-407.

Mahardika, M., Abral, H., Kasim, A., Arief, S., & Asrofi, M. (2018). Production of Nanocellulose from Pineapple Leaf. Fibers, 6, 1–12. https://doi.org/10.3390/fib6020028.

Mahardika, M., Asrofi, M., Amelia, D., Syafri, E., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2021). Tensile strength and moisture resistance properties of biocomposite films based on polyvinyl alcohol (PVA) with cellulose as reinforcement from durian peel fibers. In E3S Web of Conferences (Vol. 302, p. 02001). EDP Sciences.

Matthew, S., Jayakumar, A., Kumar, V. P., Mathew, J., & Radhakrishnan, E. K. (2019). One-step synthesis of eco-friendly boiled rice starch blended polyvinyl alcohol bionanocomposite films decorated with in situ generated silver nanoparticles for food packaging purpose. *International journal of biological macromolecules*, *139*, 475-485.

Mittal, A., Garg, S., & Bajpai, S. (2020). Thermal decomposition kinetics and properties of grafted Barley husk reinforced PVA/starch composite films for packaging applications. Carbohydrate Polymers, 240, 116225.

Monshi, A., Foroughi, M. R., & Monshi, M. R. (2012). Modified Scherrer equation to estimate more accurately nano-crystallite size using XRD. World journal of nano science and engineering, 2(3), 154-160.

Mostafa, F. A., Ahmed, S. A., & Helmy, W. A. (2013). Enzymatic saccharification of pretreated lemon peels for fermentable sugar production. *Journal of Applied Sciences Research*, *9*(3), 2301-2310.

Murugan, S. S. (2020). Mechanical properties of materials: definition, testing and application. Int. J. Mod. Stud. Mech. Eng, 6(2), 28-38.

Oluwabusayo ONI, D., Mwero, J., & Kabubo, C. (2019). Experimental investigation of the physical and mechanical properties of cassava starch modified concrete. *The Open Construction & Building Technology Journal*, *13*(1).

Patil, S., Bharimalla, A. K., Mahapatra, A., Dhakane-Lad, J., Arputharaj, A., Kumar, M., ... & Kambli, N. (2021). Effect of polymer blending on

mechanical and barrier properties of starch-polyvinyl alcohol based biodegradable composite films. Food Bioscience, 44, 101352.

Pradiza, R. R., Asrofi, M., Setyawan, H., Hastu, M. O. P., Anan, M., Al-Ansori, M. L., ... & Atiqah, A. (2025). Introduction of natural fiber and its surface modification. In Surface Modification and Coating of Fibers, Polymers, and Composites (pp. 3-18). Elsevier.

Pradiza, R. R., Junus, S., Asrofi, M., & Ilyas, R. A. (2025). Moisture Characteristics of Biocomposites from PVA/Cassava Starch Reinforced by Lemon Peel Fiber. Journal of Fibers and Polymer Composites, 4(1), 1-10.

Pradiza, R.R., Mochamad, A., Haris, S., Putra, H. M. O., & Saddam, A. M. (2024, January). Green Polymer Composites for Aerospace Engineering Applications: A Review. In Proceeding of International Conference on Artificial Intelligence, Navigation, Engineering, and Aviation Technology (ICANEAT) (Vol. 1, No. 1, pp. 129-133).

Prasetyaningrum, A., Rokhati, N., & Rahayu, A. K. (2009). Optimasi proses pembuatan serat eceng gondok untuk menghasilkan komposit serat dengan kualitas fisik dan mekanik yang tinggi. Jurnal Riptek, 3.

Rahim, M., & Vakili, M. H. (2020). Application of magnetic electrospun polyvinyl alcohol/collagen nanofibres for drug delivery systems. Molecular Simulation, 0(0), 1–7.

Ramadhana, F. R. 2023. Pengaruh Prosentase Polyvinyl Alcohol (PVA) Pati Kentang Dengan Pengisi Serat Kulit Lemon terhadap Kekuatan Tarik dan Morfologi Biokomposit Polyvinyl Alcohol (PVA). *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember

Ray, R., Das, S. N., & Das, A. (2021). Mechanical, thermal, moisture absorption and biodegradation behaviour of date palm leaf reinforced PVA/starch hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*, *41*, 376-381.

Risma, O. R., Ertika, Y., Zhafira, N. H., Juliansyah, R., & Affandi, A. (2021). SOSIALISASI SAMPAH PLASTIK DI SMP NEGERI 1 SEUNAGAN KABUPATEN NAGAN RAYA. *Jurnal Pengabdian Agro and Marine Industry*, *1*(1).

Rodriguez, L. J., Peças, P., Carvalho, H., & Orrego, C. E. (2020). A literature review on life cycle tools fostering holistic sustainability assessment: An application in biocomposite materials. *Journal of environmental management*, *262*, 110308.

Saadatkhah, Nooshin, et al. "Experimental methods in chemical engineering: Thermogravimetric analysis—TGA." *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 98.1 (2020): 34-43.

Saleh, T. A., Sarı, A., & Tuzen, M. (2016). Chitosan-modified vermiculite for As (III) adsorption from aqueous solution: equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. Journal of Molecular Liquids, 219, 937-945.

Salleh, M. S. N., Mohd, N., Omar, Z., & Saadon, N. (2015). Comparison of Starch xFiber Filled-Polyvinyl Alcohol and Native Starch Filled-polyvinyl Alcohol under Tensile Analysis. Advanced Materials Research, 1113, 19-22.

Sani, R. A. (2021). Karakterisasi Material. Bumi Aksara.

Satyanarayana, K. G., & Prasad, V. S. (2016). Starch-Based "Green" Composites. Biodegradable green composites, 199-298.

Senthil, K., Gupta, I., Rupali, S., & Pelecanos, L. (2020). A review on the performance of reinforced concrete structures under blast loading. Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics, 3(4), 216-228.

Shebani, A., Klash, A., Elhabishi, R., Abdsalam, S., Elbreki, H., & Elhrari, W. (2018). The influence of LDPE content on the mechanical properties of HDPE/LDPE blends. Res Dev Mater Sci, 7(5), 791-797.

Somvanshi, K. S., & Gope, P. C. (2021). Effect of ultrasonication and fiber treatment on mechanical and thermal properties of polyvinyl

alcohol/cellulose fiber nano-biocomposite film. Polymer Composites, 42(10), 5310-5322.

Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimyati, A. (2017, June). Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oxidasi paduan zirkonium. In *Jurnal Forum Nuklir* (Vol. 9, No. 1, pp. 44-50).

Syafri, E., Jamaluddin, Wahono, S., Irwan, A., Asrofi, M., Sari, N. H., & Fudholi, A. (2019). Characterization and properties of cellulose microfibers from water hyacinth filled sago starch biocomposites. International Journal of Biological Macromolecules, 137, 119–125.

Syafri, E., Kasim, A., Abral, H., & Asben, A. (2018). Cellulose nanofibers isolation and characterization from ramie using a chemical-ultrasonic treatment. Journal of Natural Fibers.

Ul-Hamid, A. (2018). *A beginners' guide to scanning electron microscopy* (Vol. 1, p. 402). Cham: Springer International Publishing.

Wattimena, D., Ega, L., & Polnaya, F. J. (2016). Karakteristik edible film pati sagu alami dan pati sagu fosfat dengan penambahan gliserol. Jurnal Agritech, 36(3), 247–252.

Xiao, S., Cai, Y., Guo, Y., Lin, J., Liu, G., Lan, X., & Song, Y. (2021). Experimental study on axial compressive performance of polyvinyl alcohol fibers reinforced fly ash—slag geopolymer composites. Polymers, 14(1), 142.

Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., & Joy, D. (2006). Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). In *Scanning microscopy for nanotechnology* (pp. 1-40). Springer, New York, NY.

Zhou, Y., Essawy, H., Liu, A., Yang, C., Hou, D., Zhou, X., ... & Zhang, J. (2023). Preparation of Film Based on Polyvinyl Alcohol Modified by Alkaline Starch and Lignin Fiber. Journal of Renewable Materials, 11(2).

LAMPIRAN

Lampiran pada penelitian ini dapat diakses melalui barcode dan link di bawah ini:

(Link: https://unej.id/JoiyNnf)