

**PENGARUH JUMLAH SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK  
KOMPOSIT SERAT *BRAIDS* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT  
(TKKS) / *POLYLACTIC ACID* (PLA)**

(Skripsi)

Oleh

**PONDO PURNIWAN**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

**PENGARUH JUMLAH SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK  
KOMPOSIT SERAT BRAIDS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT  
(TKKS) / POLYLACTIC ACID (PLA)**

**Oleh**

**PONDO PURNIAWAN**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### **PENGARUH JUMLAH SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT *BRAIDS* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) / *POLYLACTIC ACID* (PLA)**

Oleh

Pondo Purniawan

Indonesia merupakan penghasil kelapa sawit terbesar di dunia. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat, Indonesia memproduksi kelapa sawit sebanyak 45,58 uta ton pada tahun 2022 dan terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pada pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) menghasilkan TKKS sebanyak 22–23% (220–230 kg). Serat TKKS dapat dimanfaatkan sebagai serat alami *reinforcement* komposit untuk aplikasi biomedis (Biomaterial). *Poly Lactic acid* (PLA) telah banyak digunakan sebagai material biomedis karena sifat biodegradable dan *biocompatible* nya sebagai *scaffold*. *Scaffold* berfungsi untuk merangsang, tumbuh, dan membimbing regenerasi sel dan jaringan baru, yang dapat ter-degradasi secara klinis dan biomekanik. Kerusakan pada *tendon* sering terjadi akibat beban yang berlebihan sehingga diperlukan *scaffold* biodegradable dari PLA untuk memperbaikinya. Namun PLA memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dari tendon/ligamen sehingga diperlukan *reinforcement* berupa serat alam yang tidak berbahaya. Sebelum digunakan serat TKKS treatment menggunakan larutan alkali NaOH 5%/3 jam dan *microwave oven* 100oC/15 menit. Selanjutnya komposit PLA/TKKS dibentuk dengan metode *hand lay-up* dengan jenis serat *braids* pada 3 variasi jumlah serat dalam *braids* yaitu 9, 12 dan 15 serat. Serat *braids* disesuaikan agar mirip dengan serat dari *tendon*. Serat TKKS di analisis kadar air dan sifat kimia, kemudian komposit PLA/TKKS diuji tarik dan analisis SEM. Hasil dari pengujian mekanik menggunakan serat *braids* dengan variasi 9,12 dan 15 jumlah serat dalam *braids* dapat meningkatkan sifat mekanik dari PLA sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai *scaffold tendon*.

**Kata Kunci :** Serat TKKS, Serat *braids*, PLA, Sifat Mekanik, *Tendon Scaffold*

## ABSTRACT

### **INFLUENCE OF TOTAL FIBER ON THE STRENGTH OF THE COMPOSITE PULL OF FIBER BRAIDS EMPTY BUNCHES OF PALM OIL (OPEFB) / POLYLACTIC ACID (PLA)**

By

Pondo Purniawan

*Indonesia is the largest palm oil producer in the world. The Central Statistics Agency (BPS) noted that Indonesia produced 45.58 million tons of palm oil in 2022 and continues to increase every year. In processing 1 ton of FFB (Fresh Fruit Bunches) produces EFB as much as 22–23% (220–230 kg). OPEFB fiber can be used as a composite reinforcement natural fiber for biomedical applications (Biomaterials). Poly Lactic acid (PLA) has been widely used as a biomedical material because of its biodegradable and biocompatible properties as a scaffold. The function of Scaffold is stimulate the growing and guiding the regeneration of cells and tissues, which can be degraded clinically and biomechanically. Damage to tendons often results from excessive loads so biodegradable scaffolds from PLA are needed to repair them. However, PLA has lower mechanical properties than tendons / ligaments so reinforcement is needed in the form of natural fibers that are non toxic. Before using OPEFB fiber, the fiber was treated using alkaline solution NaOH 5% / 3 hours and microwave oven 100°C / 15 minutes. Then, the PLA / OPEFB composite was formed by hand lay-up method with the type of braids fiber on 3 variations in the number of fibers in braids, namely 9, 12 and 15 fibers. The fibers of the braids are adjusted to be similar to the fibers of the tendons. OPEFB fibers are analyzed for moisture content and chemical properties, then PLA / OPEFB composites are tested for tensile and SEM analysis. The PLA / OPEFB composites which the fiber number were 9, 12 and 15 can improve the mechanical properties of PLA it has potential to be used as a tendon scaffold.*

**Keywords :** *OPEFB Fiber, Braids Fiber, PLA, Mechanical Properties, Tendon Scaffold*

Judul Skripsi : **PENGARUH JUMLAH SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT BRAIDS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) / POLYLACTIC ACID (PLA)**

Nama Mahasiswa : **Pondo Purniawan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815021011**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing 1



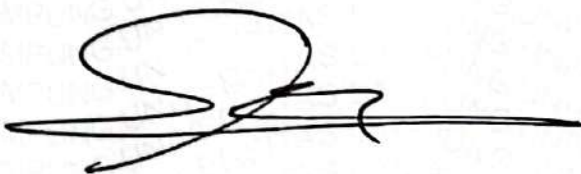
Dr. Eng. Shirley Savetlana S.T., M.Met  
NIP 19740201 199910 2 001

Komisi Pembimbing 2



Zulhanif, S.T., M.T.  
NIP 19730402 200003 1 002

Ketua Jurusan  
Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.  
NIP 19710331 199903 1 003

Ketua Program Studi  
S1 Teknik Mesin



Novri Tanti, S.T., M.T.  
NIP 19701104 199703 2 001

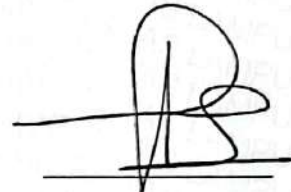
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua Penguji : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.met



Anggota Penguji : Zulhanif, S.T., M.T.



Penguji Utama : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.



### 2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. †  
NIP.19750928/200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 November 2023

## PERNYATAAN PENULIS

Skripsi Dengan Judul "**PENGARUH JUMLAH SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT *BRAIDS* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) / *POLYLACTIC ACID* (PLA)**" Dibuat Sendiri Oleh Penulis Dan Bukan Hasil Plagiat Dari Siapapun Sebagaimana Diatur Dalam Pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung Dengan Surat Keputusan Rektor No. 13 Tahun 2019.

Yang Membuat Pernyataan



**PONDO PURNIWAAN**  
NPM 1815021011



## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bukit Kemuning Lampung Utara pada 10 Oktober 1998 dan beralamatkan di kel. Puralaksana kec. Way Tenong, Lampung Barat, Lampung. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, dari pasangan bapak Giyono dan ibu Linaryati. Dalam hal pendidikan penulis menyelesaikan Pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 008 Lubuk Kembang Sari, Pangkalan Kerinci Riau pada tahun 2012. Sekolah Menengah Pertama diselesaikan di MTs Pajar Bulan Lampung Barat pada tahun 2015 serta Sekolah Menengah Atas diselesaikan di MA Al-Irsyad Darussalam Way Tenong tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN sebagai mahasiswa penerima beasiswa BIDIKMISI dan menyelesaikan Pendidikan S1 dengan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tanggal 28 November 2023.

Pengalaman penulis dalam bidang organisasi HIMATEM (2019-2020), BIROHMAH (2019-2021), KSR PMI UNILA (2019-2020), SAINTEK (2020-2021), dan GEFORBA (2018-2021). Penulis aktif dalam kegiatan akademik, riset dan pengabdian di Universitas Lampung. Pada tahun 2022 penulis melakukan penelitian Skripsi pada peminatan Material Komposit dengan judul “**Pengaruh Jumlah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat *Braids* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) / *Polylactic Acid* (PLA)**” dibawah bimbingan Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.met dan Zulhanif, S.T., M.T.



## **MOTTO HIDUP**

”Jika kamu melangkah mungkin akan menang dan mungkin akan kalah  
tapi jika kamu tidak melangkah sudah pasti akan kalah jadi takut  
melangkah sama dengan takut untuk menang”

(Mahatma Gandhi)

“You get in file what you have the courage to ask for”

“Dalam hidup kamu akan mendapatkan apa yang berani kamu minta”

(Oprah Winfrey)

“Tindakan adalah kunci menuju kesuksesan jadi fokuslah pada tujuan  
bukan hambatan karena kesuksesan yang besar dimulai dari langkah  
yang kecil”

(Pondo Purniawan)

## PERSEMBAHAN



Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia dan kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sngat kukasihi dan kusayangi  
**Ibunda dan Ayahanda Tercinta**

Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terimakasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada ibu Linaryati dan Ayah Ngadiono yang telah memberikan kasih sayang, secara dukungan, ridho dan cinta kasih yang tiada terhingga yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selemba kertas yang bertuliskan kata persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat ayah dan ibu bahagia, yang selalu membuatku termotivasi, selalu mendoakanku, menasihatiku serta selalu meridhoiku dalam melakukan hal yang lebih baik.

## SANWACANA

**Assalamualaikum Wr. Wb.**

Alhamdulillahirobbil' alamiin, segala puji bagi ALLAH SWT rabb semesta alam, atas segala rahmat dan hidayah-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Jumlah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Braids Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) / *Polylactic Acid (PLA)*”** adalah salah satu syarat untuk mendapatkan gelar **Sarjana Teknik (S.T)** di Universitas Lampung.

Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada :

1. Bapak Dr.Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.sc. sebagai Dekan Fakultas Teknik Univertitas Lampung
2. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
3. Ibu Novri Tanti, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung
4. Ibu Dr.Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. dan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing terimakasih atas kesediaanya memberikan bimbingan, saran dan bantuan dalam proses menyelesaikan tesis ini
5. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan saran selama proses pengujian
6. Bapak Ngadiono dan Ibu Linaryati tercinta yang tak berhenti memberikan do'a dan dukungan untuk anaknya dalam menyelesaikan Pendidikan S1
7. Teman yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan Sri Anjarwati semoga kebaikan berbalas kebaikan pula

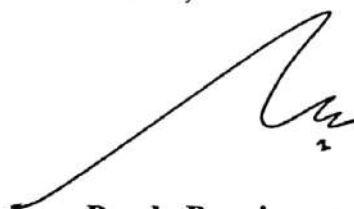
8. Teman seperjuangan pendidikan sekaligus sahabat Ferdo Okta Aranda dan M. Reza Fahlevy semoga kita sukses bersama
9. Teman-teman Afiv Panca Putra, M. Muadz Siafiq, Fikri Kailan, Ivan Pajri, Rizky Prasetyia, Ahmad Handica Afredo, Satra Andriansah, dan Joni Harianto
10. Admin jurusan Teknik Mesin Mas Martha, Mas Salam , Mas David dan teman-teman Teknik Mesin angkatan 2018
11. Semua pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini, itu dikarenakan kemampuan penulis yang terbatas. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritikan yang bersifat membangun untuk dapat memperbaiki penulisan ini dimasa yang akan datang. Terakhir penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca dan penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini.

**Wassalamualaikum Wr. Wb.**

Bandar Lampung, 24 November 2023

Penulis,



**Pondo Purniawan**

NPM. 1815021011

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>COVER</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>PERNYATAAN PENULIS</b> .....	vii
<b>RIWAYAD HIDUT</b> .....	viii
<b>MOTTO HIDUT</b> .....	ix
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>SANWACANA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Hipotesis .....	3
1.7 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Biopolymer PLA .....	5
2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) .....	9

2.3	Karakterisasi dan Potensial Serat TKKS .....	10
2.4	Sintesis Serat TKKS .....	15
2.5	<i>Treatment</i> Serat .....	15
2.6	Biokomposit .....	17
2.7	Pembuatan Komposit .....	20
2.8	<i>Curing</i> .....	21
2.9	Kadar Air ( <i>Moisture</i> ) .....	22
2.10	Biokomposit .....	22

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu .....	26
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	27
3.3	Pelaksanaan Penelitian .....	34
3.4	Penaksanaan Pengujian .....	40
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	45

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Data Hasil Penelitian .....	47
4.2	Pembahasan .....	48

### **BAB V. PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	78
5.2	Saran .....	79

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	Halaman
Gambar 2.1 Rumus Kimia PLA .....	9
Gambar 2.2 Klasifikasi komposit dan material penyusunnya.....	18
Gambar 2.3 Komposit <i>unidirectional</i> .....	18
Gambar 2.4 Komposit berpenguat serat.....	19
Gambar 2.5 Metode komposit.....	21
Gambar 3.1 Polimer PLA 2002D.....	27
Gambar 3.2 Aquades H <sub>2</sub> O.....	28
Gambar 3.3 Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	29
Gambar 3.4 Alkali NaOH .....	29
Gambar 3.5 <i>Microwave oven</i> .....	30
Gambar 3.6 Timbangan digital .....	31
Gambar 3.7 gelas ukur .....	32
Gambar 3.8 Jangka sorong.....	32
Gambar 3.9 Cetakan komposit.....	33
Gambar 3.10 Braids kecil terdiri dari 3 serat tunggal .....	35
Gambar 3.11 Braids variasi 9 serat TKKS terdiri dari 3 braids kecil .....	35
Gambar 3.12 Braids variasi 12 serat TKKS terdiri dari 4 braids kecil .....	36
Gambar 3.13 Braids variasi 15 serat TKKS terdiri dari lima braids kecil .....	36
Gambar 3.14 Ukuran Skematik Spesimen .....	36
Gambar 3.15 Ilustrasi specimen braids 9 .....	37
Gambar 3.16 Ilustrasi specimen braids 12 .....	38
Gambar 3.17 Ilustrasi specimen braids 15 .....	38
Gambar 3.18 Alat analisis gravimetri .....	41
Gambar 3.19 Alat Uji Struktur Makro .....	41
Gambar 3.20 Alat pengujian tarik.....	42
Gambar 3.21 Alat pengujian SEM.....	43
Gambar 3.22 Diagram alir penelitian .....	45
Gambar 4.1 Spesimen serat <i>braids</i> sebelum uji tarik.....	50
Gambar 4.2 Spesimen serat <i>braids</i> setelah uji tarik.....	51
Gambar 4.3 Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 9 no 1.....	51
Gambar 4.4 Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 9 no 2.....	52
Gambar 4.5 Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 9 no 3.....	52



Gambar 4.6	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 9 no 4.....	53
Gambar 4.7	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> dengan 9 serat .....	54
Gambar 4.8	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 12 no 1.....	55
Gambar 4.9	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 12 no 2.....	56
Gambar 4.10	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 12 no 3.....	56
Gambar 4.11	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 12 no 4.....	57
Gambar 4.12	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 12 no 5.....	58
Gambar 4.13	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> dengan 12 serat .....	58
Gambar 4.14	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 15 serat no 1 .....	60
Gambar 4.15	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 15 serat no 2 .....	60
Gambar 4.16	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 15 serat no 3 .....	61
Gambar 4.17	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> 15 serat no 4.....	62
Gambar 4.18	Grafik uji tarik PLA serat <i>braids</i> dengan 15 serat .....	62
Gambar 4.19	Grafik perbandingan nilai rata-rata <i>tensile strength</i> .....	64
Gambar 4.20	Grafik perbandingan nilai rata-rata penambahan panjang .....	65
Gambar 4.21	Grafik perbandingan nilai rata-rata <i>yield strength</i> .....	66
Gambar 4.22	Grafik perbandingan nilai rata-rata <i>modulus young</i> .....	67
Gambar 4.23	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 9 serat (500 x) .....	70
Gambar 4.24	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 9 serat (5.000 x) .....	70
Gambar 4.25	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 9 serat (50.000 x) .....	71
Gambar 4.26	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 9 serat (10.000 x matriks) .....	72
Gambar 4.27	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 12 serat (500 x) .....	72
Gambar 4.28	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 12 serat (5.000 x) .....	73
Gambar 4.29	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 12 serat (50.000 x) .....	74
Gambar 4.30	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 12 serat (10.000 x matriks) ...	74
Gambar 4.31	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 15 serat (500 x) .....	75
Gambar 4.32	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 15 serat (5.000 x) .....	76
Gambar 4.33	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 15 serat (50.000 x) .....	76
Gambar 4.34	SEM PLA serat <i>braids</i> dengan 15 serat (10.000 x matriks) ...	77

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Sifat mekanik PLA <i>pure</i> dan <i>annelaed</i> .....	6
Tabel 2.2 Karakteristik sifat fisik PLA .....	7
Tabel 2.3 Karakteristik sifat mekanik PLA.....	8
Tabel 2.4 Sifat mekanik dengan high MW PLA.....	8
Tabel 2.5 Sifat fisik serat pendek dan serat panjang TKKS .....	11
Tabel 2.6 Komposisi kimia pada serat TKKS.....	12
Tabel 2.7 Karakteristik sifat tarik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	13
Tabel 2.8 Morfologi dan sifat tarik serat TKKS .....	13
Tabel 2.9 <i>Flexural properties</i> matriks dan komposit.....	19
Tabel 2.10 <i>Mechanical properties human tissue</i> .....	24
Tabel 2.11 Sifat-sifat tarik Tendon/Ligamen .....	24
Tabel 3.1 Spesifikasi PLA 2002D.....	26
Tabel 3.2 Spesifikasi aquades .....	27
Tabel 3.3 Spesifikasi serat TKKS .....	28
Tabel 3.4 Spesifikasi Alkali NaOH.....	29
Tabel 3.5 Spesifikasi microwave oven .....	29
Tabel 3.6 Spesifikasi Timbangan digital.....	30
Tabel 3.7 Spesifikasi gelas ukur .....	31
Tabel 3.8 Spesifikasi jangka sorong .....	32
Tabel 3.9 Spesifikasi cetakan komposit .....	32
Tabel 3.10 Parameter pembuatan komposit PLA serat TKKS .....	39
Tabel 3.11 Spesifikasi analisis kadar air .....	39
Tabel 3.12 Spesifikasi Alat Uji Struktur Makro .....	40
Tabel 3.13 Hasil pengujian tarik .....	41
Tabel 3.14 Spesifikasi alat uji SEM-EDX .....	42

Tabel 3.15 Hasil pengujian SEM dan EDX .....	42
Tabel 4.1 Hasil analisis kadar air serat TKKS .....	45
Tabel 4.2 <i>Mechanical</i> properties PLA 2002D .....	48
Tabel 4.3 Sifat mekanik hasil pengujian tarik PLA serat <i>braids</i> 9 serat.....	52
Tabel 4.4 Sifat mekanik hasil pengujian tarik PLA serat <i>braids</i> 12 serat.....	57
Tabel 4.5 Sifat mekanik hasil pengujian tarik PLA serat <i>braids</i> 15 serat.....	61
Tabel 4.6 Perbandingan nilai rata-rata hasil uji tarik .....	62
Tabel 4.7 Sifat mekanik tendon/ligament dan PLA, PLA/serat TKKS .....	66

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*Polylactic acid* (PLA) adalah biopolimer yang dapat digunakan untuk aplikasi biomedik. Penggunaan bahan yang dapat terdegradasi untuk implan medis telah sangat diminati selama bertahun-tahun. Rusak atau tidak berfungsinya jaringan atau organ menjadi dasar untuk pengembangan biomaterial dan teknik baru untuk sintesisnya. Diantara berbagai biopolimer yang digunakan, PLA secara signifikan telah menarik perhatian. *Polylactic acid* (PLA) menjadi "*material of choice*" dalam aplikasi biomedis karena kemampuannya untuk memenuhi kebutuhan kompleks yang biasanya mencakup sifat seperti biokompatibilitas, biodegradabilitas, kekuatan mekanik dan kemampuan proses. Adapun jenis *polylactic acid* yang umum digunakan sebagai bahan *biodegradable* yang mempunyai sifat mekanik yang bagus dan sifat biokompatibilitas yang bagus, namun tingkat sifat fisik kurang baik.

Cara paling sederhana untuk memperbaiki kekurangan dari properti PLA adalah dengan penambahan material lain untuk memperbaiki stabilitas thermal dan dapat menambah sifat mekanik campuran. Kekurangan dari PLA itu sendiri yaitu *fragile*, salah satu cara untuk mengurangi sifat *fragile* dari PLA dengan penambahan bio material serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan dari PLA.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang merupakan 21%-24% bagian dari total keseluruhan tandan buah segar (TBS) masih belum dimanfaatkan secara optimal (Darmono, et al., 2017). Pabrik kelapa sawit (PKS) umumnya mengembalikan TKKS tersebut ke lahan perkebunan untuk dijadikan pupuk, namun karena volumenya yang besar dan biaya transportasinya yang mahal, serta tidak sebanding dengan pemenuhan kebutuhan pupuknya itu sendiri, maka akhirnya PKS menumpuk

begitu saja TKKS ini di lahan terbuka. Penumpukan TKKS ini berpotensi menghasilkan gas metana yang terlepas ke udara dan menyebabkan kerusakan lapisan ozon, sehingga perlu inovasi untuk memanfaatkan limbah ini agar tidak berdampak negatif terhadap lingkungan, sekaligus mendapatkan nilai tambah ekonominya. Oleh karena itu peneliti melakukan penelitian tentang pembuatan dan karakterisasi sistem PLA-TKKS. Karakterisasi meliputi investigasi tentang sifat fisik dan mekanis dari *properties* polylactic acid.

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) terdiri dari 18-21% lignin, 40-45% selulosa dan 19-21% hemiselulosa (Dewanti, 2018). Karena tingginya kandungan-kandungan yang terdapat pada TKKS tersebut menyebabkan TKKS potensial untuk menjadi *fiber* penguat PLA (Turnip, et al., 2017).

Komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal, dimana sifat masing masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia ataupun sifat fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut.

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan PLA dan TKKS sebagai (*Reinforcement*). Material PLA-TKKS ini dapat memiliki fisik dan mekanis yang lebih baik dari sebelumnya. Serat TKKS akan *ditreatment* untuk meningkatkan sifat *adhesi* dan *interfacenya*. *Fiber* TKKS pada komposit PLA-TKKS menggunakan *fiber braids* dengan jumlah 9, 12, dan 15. Analisis kekuatan dengan uji tarik dan diamati dengan SEM-EDX.

## 1.2 Perumusan Masalah

PLA (*polylactic acid*) merupakan polimer dari asam laktat yang bersifat *biodegradable* dan dapat diproses menjadi berbagai produk, baik dari produk plastik kemasan atau bahkan dapat digunakan sebagai bahan biomedis karena pada PLA (*polylactic acid*) dengan jenis tertentu dapat digunakan pada sel jaringan manusia. Namun PLA (*polylactic acid*) memiliki sifat fisik dan mekanis yang kurang baik. Maka, PLA (*polylactic acid*) membutuhkan *fiber* sebagai penguat untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanis *properties* PLA (*polylactic acid*). Serat TKKS

(Tandan Kosong Kelapa Sawit) dapat digunakan sebagai *fiber* yang dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanis pada *properties* PLA.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh banyaknya jumlah serat dalam braid terhadap kekuatan tarik komposit serat braid PLA-TKKS.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Memanfaatkan *fiber* TKKS untuk rekayasa material
2. Memanfaatkan *fiber* TKKS sebagai pembantu PLA untuk meningkatkan kekuatan tarik

### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Serat yang digunakan menggunakan serat TKKS
2. Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up*
3. Perlakuan serat menggunakan NaOH dan pemanasan dengan microwave oven
4. Komposit dengan matriks PLA dengan variasi susunan serat *braids* 9, serat *braids* 12, dan serat *braids* 15
5. Pengujian fisik dengan analisis kadar air, struktur makro, pengujian mekanik dengan uji tarik dan pengamatan SEM-EDX

### 1.6 Hipotesis

Adapun hipotesis dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Perlakuan serat TKKS menggunakan NaOH dan *microwave oven* yang dapat meningkatkan adhesi dan *interface* serat
2. Sifat tarik PLA serat *braids* dengan jumlah serat lebih banyak akan lebih tinggi dari pada PLA serat *braids* dengan jumlah serat yang rendah

## 1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan tentang referensi paper biopolymer PLA, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), karakteristik dan potensial TKKS, sintesis serat TKKS, *treatment* serat, biokomposit, pembuatan komposit, biomaterial dan aplikasi.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, pelaksanaan penelitian, pelaksanaan pengujian dan diagram alir penelitian.

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan tentang hasil data penelitian dan pembahasan tentang pembuatan biokomposit dan uji densitas-porositas, uji tarik dan pengamatan SEM-EDX.

### **BAB V. PENUTUP**

Berisikan tentang kesimpulan hasil data penelitian dan saran yang dapat dijadikan acuan pada penelitian selanjutnya.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan tentang hasil review paper dan sumber-sumber yang menjadi referensi.

### **LAMPIRAN**

Berisikan tentang berkas yang berhubungan dengan penelitian sebagai pelengkap dan pendukung laporan penelitian.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biopolymer Polylactic Acid (PLA)

Biopolimer Lactic Acid termasuk poli (L-asam laktat), poli (DL-asam laktat) dan poli (asam laktat), modifikasi campuran PLLA/PDLLA dan PLLA/PEG dapat meningkatkan temperatur leleh, kristalinitas, polimer PLLA 90%/PDLLA 10% meningkatkan *biodegradable* 10% selama 47 jam dan PLLA 80%/PEG 20% terdegradasi 23% selama 47 jam. Paduan antara biopolymer akan meningkatkan nilai biodegradablenya (Sitompul, et al., 2014). Karakteristik PLA dengan kandungan PLLA >90% berbentuk kristal dan <90% adalah amorf, temperatur leleh ( $T_m$ ), dan temperatur transisi gelas ( $T_g$ ) PLA menurun dengan jumlah PLLA yang menurun (Auras, et al., 2010).

PLA (4042D) dapat dipadukan dengan filler alami (serat selulosa, serbuk gergaji, cangkang kemiri, serat rami, tongkol dan pati), PLA/30% Cellulosa memiliki nilai E modulus tertinggi, analisis dengan Voigt model dan Halpin Tsai model menunjukkan nilai  $E_f$  (6.3 dan 8.3) GPa (Battegazzore, et al., 2014). Polyestercarbonate (PEC)/ PLA merupakan biopoliester yang dapat terdegradasi dengan penambahan serat 20 wt%, penambahan serat dapat meningkatkan nilai *flexural modulus*, namun *treatment* serat akan menurunkan sifat degradasinya pada pengujian *soil-burial test* (Shibata, et al., 2003). PLA (3051D) diperkuat dengan serat sisal PLA/USF (*untreated sisal fiber*), PLA/ASF (*alkali treated sisal fiber*) dan (PLA/SF-g-LA) lactide-grafted sisal fiber untuk menurunkan stabilitas termal ( $M_w$ ,  $M_n$ ) dan meningkatkan kristalinitasnya (Ye, et al., 2015).

Tabel 2.1. Sifat mekanik PLA *pure* dan *annealed*

No.	Properties	PLA	
		Pure	Annealed
1	Tensile strength, MPa	59	21-60
2	Elongation at break, %	7	2.5-7
3	Modulus elasticity, MPa	3750	0.35-3.5 (GPa)
4	Yield strength, MPa	70	$\sigma = 16.8-48$ (Nm/g)
5	Flexural strength, MPa	106	$E = 0.28-2.8$ (kNm/g)
6	Unnotched izod impact, J/m	195	$T_g = 45-60$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
7	Notched izod impact, J/m	26	$T_m = 150-162$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
8	Rockwell hardness	88	$\rho = 1.21-1.25$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
9	Referensi	(Garlotta, 2002)	(Van de Velde, 2002)

### 2.1.1.1. Properties PLA

Film PLA menunjukkan kekuatan tarik yang lebih baik dan elongasi yang lebih rendah daripada komposit PLA/selulosa TKKS. Pada biokomposit, selulosa dapat memperkuat matriks polimer dengan mentransfer beban ke selulosa dan didistribusikan ke matriks sehingga meningkatkan elongasi. Semakin tinggi ukuran selulosa mengurangi sifat mekanik film biokomposit jika persebaran pada beban matriks kurang seragam (Harmaen, et al., 2013). Untuk meningkatkan sifat mekanik PLA/TKKS dapat ditambahkan *coupling agent* pada komposit. Penambahan *coupling agent* dapat membentuk *bridge* antara PLA dan selulosa. Kekuatan dan pemanjangan biokomposit meningkat seiring kecilnya ukuran *granule*. Penambahan *coupling agent* akan merubah serat selulosa menjadi tipe stick menjadi ikatan *bridge* selulosa dengan PLA. Penambahan Tac (*coupling agent*) pada sifat mekanik menunjukkan kenaikan *elongation* tanpa penurunan *tensile strength* (Turnip, et al., 2017).

Untuk meningkatkan *tensile* modulus dan fleksibilitas pada PLA dapat dilakukan penambahan *triacetien*, namun menurunkan kekuatannya (Harmaen, et al., 2013). Penambahan *plasticizers* dapat meningkatkan fleksibilitas PLA pada tensile modulus sebesar 8.7 GPa, *flexural strength* 90

MPa dan *flexural modulus* 7 GPa (Ibrahim, et al., 2011). Untuk meningkatkan nilai T<sub>g</sub>, dan T<sub>m</sub>, PLA dapat dipadukan dengan penambahan *Cellulose NanoWhiskers* (CNW) sintesis dari *Microcrystalline Cellulosa* (OPEFB-MCC) CNW-S namun dapat menurunkan nilai TGA dan DTG nya (Haafiz, et al., 2016). Semakin tinggi penambahan presentase CNW (1%, 3%, dan 5%) akan meningkatkan titik leleh dan kristalinitas dan meningkatkan *barrier properties* PLA (Garcia and Lagaron, 2010).

a. Sifat fisik

Sifat termal PLA ditentukan oleh parameter struktural, seperti berat molekul dan komposisi dari PLA (stereoisomer kandungan). Transisi gelas (T<sub>g</sub>) sebesar 55°C dan suhu leleh (T<sub>m</sub>) sebesar 180°C (Auras, et al., 2004). Karakteristik sifat fisik PLA yang didapatkan dari beberapa penelitian yaitu sebagai berikut,

Tabel 2.2. Karakteristik sifat fisik PLA (Jamshidian, et al., 2010)

No.	Properties	Characteristics	Unit	Amount
1	Physical	Mw	g/mol	66000
		Specific gravity	-	1.27
		Solid density	g/cm <sup>3</sup>	1.252
		Melt density	g/cm <sup>3</sup>	1.073
(Garlotta, 2002)				
2	Specific Heat (C <sub>p</sub> )	190 °C	J/kg°C	2060
		100 °C		1955
		55 °C		1590
		T <sub>g</sub>	°C	55
		T <sub>m</sub>	°C	165
3	Thermal Conductivity	190 °C	W/m °C	0.195
		109 °C	(Auras, et al	0.197
		48 °C	2004)	0.111
4	Optical	190-220 nm	UV light	<5%
		225-250 nm	transmission	85%
		>300 nm		95%
		L		90.64±0.21
		a	Visible light	-0.99±0.01
		b	transmission	-0.50±0.04

b. Sifat Mekanik

Sifat mekanik PLA murni dijelaskan pada tabel yaitu sebagai berikut,

Tabel 2.3. Karakteristik sifat mekanik PLA (Jamshidian, et al., 2010)

No.	Properties	Characteristics	Unit	Amount
1	Mechanical	Tensile strength	MPa	59
		Elongation	%	7
		Elastic modulus	MPa	3500
		Shear modulus	MPa	1287
		Poisson's ratio	-	0.36
		Yield strength	MPa	70
		Flexural strength	MPa	106
		Unnotched izod	J/m	195
		Notch izod impact	J/m	26
		Rockwell hardness	HR	88

Sifat mekanik dengan high MW PLA dapat dijelaskan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 2.4. Sifat mekanik dengan high MW PLA (Garlotta, 2002)

No.	Properties		Unoriented	Oriented
1	UTS	$\text{Psix}10^3$ , MPa	6.9-7.7, 47.6-53.1	6.9-24, 47.6-6
2	Yield strength	$\text{Psix}10^3$ , MPa	6.6-8.9, 45.5-61.4	N/A
3	Tensile modulus	MPa	3447-4000	3889-4137
4	Izod impact	Ft.lb/in	0.3-0.4	N/A
5	Elongation	%	3.1-5.8	15-160
6	Rockwell H		82-88	82-88
7	Specific gravity	$\text{g/cm}^3$	1.25	1.25
8	$T_g$	$^{\circ}\text{C}$	57-60	57-60

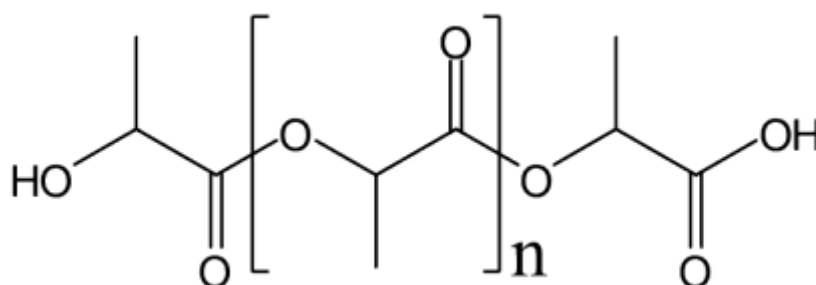
### 2.1.2 Sintesis PLA

Polimer PLA didapatkan pada proses sintesis. Sintesis PLA dimulai dengan produksi LA sampai proses polimerisasi dengan pembentukan laktida.

Polimer yang dihasilkan pada LA (PLA) merupakan polimer yang dapat digunakan sebagai polimer ramah lingkungan (Auras, et al., 2010). Sintesis PLA dilakukan dengan 3 tahap yaitu produksi LA melalui fermentasi mikroba, kemudian dilakukan pemurnian dengan preparasi dimer (laktida) kemudian yang terakhir polikondensasi LA atau polimerisasi pembukaan cincin (ROP) dari laktida tersebut (Singhvi and Gokhale, 2013). Polimerisasi pembukaan cincin (ROP) merupakan proses yang paling umum digunakan untuk mendapatkan polimer dengan berat molekul yang tinggi (Auras, et al., 2010).

### 2.1.3 Rumus Kimia PLA

Asam polilaktat juga dikenal sebagai poli (asam laktat) atau *polylactid acid* (PLA), adalah poliester termoplastik dengan rumus tulang punggung  $(C_3H_4HAl_2)_N$  atau  $[-C(CH_3)HC(=O)O-]_N$ , secara formal diperoleh dengan kondensasi asam laktat  $C(CH_3)(OH)HCOOH$  dengan hilangnya air (sesuai dengan namanya). Ia juga dapat dibuat dengan polimerisasi pembukaan cincin laktida  $[-C(CH_3)HC(=O)O-]_2$ , dimer siklik dari unit berulang dasar (Rahmayetty, et al., 2018).



Gambar 2.1. Rumus Kimia PLA

## 2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Produksi minyak kelapa sawit di Indonesia merupakan pengolahan yang cukup besar disetiap tahunnya terus mengalami kenaikan. Data pada tahun 2010 produksi sebesar 21.958.120 ton, tahun 2011 produksi meningkat menjadi 22.508.011 ton (BPS 2013). Pada pengolahan minyak kelapa sawit perhektarnya menghasilkan  $\pm 23,3$  ton

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), pelepah sawit, bungkil sawit, lumpur sawit (*sludge*) dan serabut sawit (Umar, 2008). Pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) menghasilkan TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) sebanyak 22–23% atau sebanyak 220–230 kg TKKS.

### 2.3 Karakteristik dan Potensial Serat TKKS

Serat alam sangat baik digunakan untuk penguat (*reinforcement*) polimer (Hassan, et al., 2017). Namun serat alam memiliki batas pembebanan yang dipengaruhi oleh panjang serat. Berdasarkan teori probabilitas kerusakan, dengan semakin panjangnya serat maka akan semakin tinggi peluang rusaknya pada titik lemah pada serat tersebut, sehingga dapat mengakibatkan serat pecah dan kerusakan saat diberi beban (Defoirdt et al., 2013). Berdasarkan modulus ekstrapolasinya pada panjang serat TKKS yaitu sekitar 4.36 GPa, dengan kekuatan rata-rata serat sebesar 150-190 MPa dengan sensitivitas cacat pada specimen yang relative rendah (Cheng et al., 2018). Serat TKKS yang digunakan didalam komposit, *interface* antara serat dan matriks polimer merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekaniknya yaitu adhesi fisik, ikatan kimia dan *interlocking* mekanik (Tran et al, 2013).

Kandungan selulosa dari serat TKKS dapat dipadukan dengan PLA/selulosa untuk meningkatkan modulus young pada konsentrasi 5% selulosa, namun *tensile strength* lebih rendah daripada PLA murni hal ini disebabkan karena adhesi yang kurang baik, penambahan 5% selulosa akan meningkatkan degradabilitasnya disebabkan karena selulosa yang bersifat hidrofilik sehingga daya serap air yang tinggi (Paramitha and Sitompul, 2020). Kosentrasi 60 gram PLA dengan 12 gram selulosa fiber TKKS kemudian ditambahkan 20 PHR (*Per Hundred Resin*) akan meningkatkan degradasi 0.55% selama pengujian (Indrayani, et al., 2019).

Ikatan antar muka dapat dikarakterisasi melalui pengujian mekanis komposit mikro serat tunggal atau komposit serat searah (UD). Serat TKKS dapat dijadikan *reinforcement* untuk (PP, PLA dan Epoxy), PLA/epoxy merupakan komposit yang paling efektif karena memiliki ikatan *interface* yang kuat antara hydrogen dan ikatan kovalen antara hidroksil TKKS dan hidroksil epoksi/PLA. Epoksi memiliki

kompatibilitas yang baik dengan serat TKKS dengan lignin yang tinggi yang memiliki viskositas dan suhu pemrosesan yang rendah (Cheng et al., 2018).

Penambahan serat TKKS (1,5 wt.%) dan OrSiO<sub>2</sub> (*nano silica organic*), pada nanokomposit PLA dengan penyebaran *uniform* partikel penguat menghasilkan adhesi *interface* yang kuat antara serat dan polimer matriks untuk meningkatkan *tensile strength* sebesar 40 MPa, modulus young 1500 MPa, *elongation at break* 4.5 % seiring bertambahnya *fiber loading* 1 % (Yee, et al., 2016). Serat TKKS dapat dipadukan dengan serat alam lain seperti serat sekam padi dengan rasio tertentu sebagai *reinforcement hybrid* komposit (matriks urea formaldehid, UF), pencampuran sekam padi 13-15% dapat meningkatkan kekuatan tariknya dengan pembebanan maksimal 1210 N, namun untuk elongasi tertinggi didapatkan pada serat TKKS murni (Karim, et al., 2020). Penambahan biostrong 2% pada serat TKKS 30%, untuk komposit TKKS/PLA akan meningkatkan *tensile strength*, tensile modulus dan kekuatan impactnya (Beg, et al., 2015).

Serat TKKS *Cellulose Nanowhiskers* (CNW) dapat memperbaiki properties PLA, Nanokomposit PLA-CNW-S cocok digunakan untuk aplikasi kemasan otomotif, medis dan makanan (Haafiz, et al., 2016). Kandungan *Nanowhiskers cellulose* pada serat TKKS dapat meningkatkan *barrier properties* gas dan uap asam poli laktat (PLA) biokomposit yang terbarukan untuk bidang biopackaging, aplikasi membran dan pelapis (Garcia and Lagaron, 2010). Penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit TKKS/PLA dapat digunakan untuk mengontrol gelombang mikro untuk aplikasi *microwave*. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat mengurangi kristalinitas komposit, meningkatkan adhesi serat selulosa, meningkatkan permitivitas dan permeabilitas frekuensi 8-12 GHz, meningkat sifat elektrik dan magnetic. (Abdalhadi, et al., 2018).

### 2.3.2 Sifat Fisik

Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) memiliki panjang dan diameter yang bervariasi dari satu ujung keujung lainnya, diameter yang besar rata-rata berada dibagian tengah serat. Serat TKKS memiliki sifat mekanik yang baik untuk *reinforcement* komposit dengan diameter rata-rata  $96.2 \pm 16.8 \mu\text{m}$



perlakuan serat dengan pengeringan pada oven 40°C 24 jam, sehingga didapatkan *stress* 526.1±235.6 MPa dan *strain* 0.50±0.13 mm dan *stiffness* (E) 2.0±1.3 (1.6) GPa (Buana, et al., 2013).

Tabel 2.5. Sifat fisik serat pendek dan serat panjang TKKS

No.	Properties	Serat TKKS	TKKS (short)	TKKS (long)
1	Panjang (mm) Average	0.99	17.5	142.3
	Range		10, 20, 30	100, 200, 300
2	Diameter (mm) Average	0.191	0.15	0.358
	Range		0.12, 0.15, 0.16	0.105, 0.358, 0.77
3	Aspect Ratio (L/d) Average	0.1929	115.5	397.5
	Range		83, 133, 187	952, 558, 386
4	Tebal dinding, T, (µm)	3.38		
5	Kekasaran (mg/m)	1.37		
6	Indeks kekakuan (T/D) <sup>3</sup> x 10 <sup>-4</sup>	55.43		
7	Referensi	(Sari dkk., 2011)	(Hassan, et al., 2010)	

### 2.3.3 Sifat Kimia

Serat TKKS memiliki kandungan kimia utama berupa selulosa, lignin, hemiselulosa, namun kandungan selulosa pada TKKS yang baik untuk digunakan sebagai penguat. Serat TKKS berlignin tinggi dengan kandungan (34,37%) dan kadar selulosa yang rendah yaitu sebesar (39,13%) jika dibandingkan dengan serat selulosa pada serat rami, kenaf dll (Isroi et al., 2012). Serat TKKS memiliki kandungan utama selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan berat residu 50% suhu 500°C masih dibawah serat palf dengan berat residu 80% (Buana, et al., 2013). Kandungan lignoselulosa kompleks dapat dihancurkan dengan *treatment* NaOH dengant memaksimalkan perubahan fisik pada serat dan meminimalkan hidrolisis selulosa (Yuanisa, et al., 2015 ; Aisyah, et al., 2014) sehingga TKKS mengalami penurunan berat sekitar 25-26% karena

lignin terlarut selama perendaman dan netralisasi, sehingga selulosa dapat meningkat 71.6 %wt, penurunan hemiselulosa 6.9%wt dan lignin 5.5%wt (Turnip, et al., 2017).

Tabel 2.6. Komposisi kimia pada serat TKKS (Sari dkk., 2011)

No.	Komposisi	Persentase, %
1	Lignin	40-45
2	Selulosa	32-43
3	Pektin	3-4
4	Hemi selulosa	0.15-0.25
5	<i>Humidity</i>	8

#### 2.3.4 Sifat Mekanik

Sifat mekanik dari serat TKKS salah satunya ditentukan oleh panjang serat, semakin panjang serat akan menurunkan modulus dan *tensile strength* nya, serat TKKS 20 mm didapatkan *tensile strength* sebesar 180 MPa, (Cheng, et al., 2018). Penambahan selulosa (%wt) dari TKKS dengan ukuran selulosa 7.6 dan 2.3  $\mu\text{m}$  akan meningkatkan sifat *Transparaency* (%), menurunkan *tensile stress* (MPa), dan *elongation* tertinggi (15 %) didapatkan pada penambahan selulosa 5 %wt (Turnip, et al., 2017)

Diameter yang besar pada serat TKKS merupakan ruang kosong pada tengah serat dan luas penampang yang tidak seragam menurunkan nilai *ultimate strength* nya (Gunawan, et al., 2009). Pada serat TKKS mengandung silika berukuran 5-10  $\mu\text{m}$  badan silika tersebut melubangi dinding serat yang mengakibatkan berkurangnya sifat mekaniknya (Law et al., 2007). Serat TKKS dengan diameter 250-610  $\mu\text{m}$  kadar air 2.2-9.5 % memiliki kekuatan tarik sebesar 71 MPa, modulus young 1703 MPa dan elongasi 11%, Semakin tinggi diameter serat akan mengurangi sifat mekaniknya (Zuhri, et al., 2009).

Tabel 2.7. Karakteristik sifat tarik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

No.	Diameter, $\mu\text{m}$	Panjang Serat, mm	Modulus Tarik, GPa	Kekuatan Tarik, MPa
1	220-610	20	2.98 ( $\pm 0.87$ )	183.66 ( $\pm 52.61$ )
		40	3.40 ( $\pm 0.68$ )	156.46 ( $\pm 35.42$ )
		60	4.06 ( $\pm 0.92$ )	160.06 ( $\pm 44.02$ )
				(Cheng, et al., 2018)
2	400-475	10	11.88 ( $\pm 3.06$ )	156.30 ( $\pm 69.18$ )
3	475-575			144
4	575-772		92.5 (Gunawan et al., 2009)	
5	180-440	35	2.41	52 (Norul et al., 2013)
6	250-610	50	1.70	71 (Zuhri et al., 2009)
7	150-500	-	670 ( $\pm 0.03$ )	248 (Sreelaka et al, 2019)

Morfologi dan sifat tarik serat TKKS dapat dijelaskan pada tabel berikut,

Tabel 2.8. Morfologi dan sifat tarik serat TKKS

No.	Parameters	Spesifikasi	
1	Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.25	1.5
2	Diameter ( $\mu\text{m}$ )	-	325
3	Panjang (mm)	-	105
4	Aspect ratio (L/d)	-	646
5	<i>Tensile strength</i> (MPa)	220	150.9 (81.9)
6	Tensile modulus (GPa)	6	2.9 (68.1)
7	<i>Elongation</i> (%)	15-25	30 (32.7)
8	Referensi	(Sari dkk., 2011)	(Anuar, et al., 2019)

## 2.4 Sintesis Serat TKKS

Pada serat TKKS memiliki kandungan selulosa fosfat yang berpotensi sebagai biomaterial. Untuk mendapatkan selulosa fosfat pada *Oil palm biomass microcrystalline cellulose* (OPEFB-MCC) dapat difosforilasi menggunakan metode  $H_3PO_4 / P_2O_5 / Et_3PO_4$  / heksanol (Wan Rosli, et al., (2011). Sintesis selulosa dari TKKS dapat diperoleh menggunakan proses alkalisasi, hidrolisis, dan *bleaching* TKKS. Metode sintesis serbuk TKKS dengan treatment larutan 0,5 M NaOH dan NaOCl pada suhu 65°C selama 1 jam kemudian ditempatkan pada *hidrotermal reactor*. Alkalisasi menggunakan NaOH, hidrolisis menggunakan air pada suhu tinggi, dan *bleaching* menggunakan NaOCl yang bertujuan untuk memecah ikatan lignin pada TKKS (Paramitha and Sitompul, 2020). Untuk menurunkan kadar lignin dapat menggunakan metode *bleaching* 5%-v dengan perbandingan TKKS/*bleaching* 1 : 50 kemudian dicetak dengan metode *solution casting*, PLA dilarutkan dalam kloroform dengan triasetin 5% diaduk selama 2 jam, dicor ke aplikator film, diuapkan pada suhu kamar selama 18 jam dan dikeringkan kembali dalam oven 6 jam untuk menghilangkan kloroform (Turnip, et al., 2017).

## 2.5 Treatment Serat

Serat alam (termasuk serat TKKS) sebelum diproses lebih lanjut dilakukan *treatment* untuk meningkatkan propertiesnya, *treatment* serat yaitu sebagai berikut,

### 2.5.2 Microwave oven

Perlakuan serat menggunakan *microwave oven* untuk mengeringkan dan mengurangi kelembapan. Serat TKKS yang dikeringkan dalam oven suhu 80°C selama 6 jam, untuk paduan komposit PLA/TKKS *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs) *composites* (Lakin, et al., 2020). Perawatan serat alam (serat aren) menggunakan *microwave oven* dengan variasi suhu (70, 80 dan 90 °C). Pada suhu oven sebesar 70 °C menunjukkan nilai *tensile strength* sebesar 19 MPa, *tensile modulus* 1300 Mpa (Mohammed, et al., 2018).

### 2.5.3 Alkali NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Perlakuan alkali NaOH pada serat alam dapat mempengaruhi struktur fisik serat akibat dari *bleaching* alkali yang menghilangkan bahan lilin dan kotoran pada serat. Perlakuan alkali NaOH dapat memperbaiki ikatan *interface* antara serat dan matriks dengan memberikan permukaan serat yang lebih kasar. Alkali NaOH dapat menghilangkan hemiselulosa, membagi serat menjadi fibril, pelepasan regangan internal sehingga meningkatkan sifat mekaniknya. Alkali NaOH dapat mengurangi sifat *Hydrophilic* dan meningkatkan *interface* serat pada matriks. Perlakuan 2% NaOH pada serat memberikan tensile modulus sebesar 440 MPa, pada 6% NaOH meningkatkan regangan 41.6 % dan *tensile strength* 5.49 MPa (Mohammed, et al., 2016). PLA/untreated KBF sampel dengan NaOH 4% meningkatkan *tensile strength* sebesar 62 MPa, impact 42.1 KJ/m<sup>2</sup> lebih baik daripada PLA/untreated KBF sampel dan pure PLA, kemudian penambahan konsentrasi NaOH 8 % akan menurunkan kembali propertiesnya (Ibrahim, et al., 2011).

Mekanisme reaksi antara serat alami dan larutan NaOH dapat dijelaskan pada skema yaitu gugus OH dipisahkan dari serat oleh aksi Na<sup>+2</sup> ion untuk menghasilkan (serat-NaO) dan H<sub>2</sub>O (Gomes, et al., 2007)



Perendaman pada NaOH selama 7 jam meningkatkan nilai stress 78 MPa, perendaman selama 5 jam didapatkan modulus young 1.40 GPa. Pada struktur mikro serat menunjukkan sifat yang kasar (Faizi, et al., 2017).

### 2.5.4 Kalium Permanganate

Penambahan perlakuan *kalium permanganate* KMnO<sub>4</sub> setelah perlakuan alkali NaOH bertujuan untuk mengaktifkan permukaan dan meningkatkan kekuatan tariknya. Treatment serat dengan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,125%, dengan perlakuan awal alkali 6% meningkatkan kekuatan tarik 8,986 MPa dan *tensile*

*strength* sebesar 9 MPa. Pada konsentrasi 0,066% mendapatkan *tensile modulus* 1000 MPa (Mohammed, et al., 2017)

### 2.5.5 Bleaching (Pemutihan)

Pengaruh *Bleaching* (pemutihan) pada serat TKKS menggunakan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) untuk komposit PLA/TKKS, *bleaching* H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> akan mengoksidasi dan menyebabkan perubahan warna dari serat, perhydroxyl ion (HOO-) yang dihasilkan oleh disosiasi hidrogen peroksida media alkali untuk dekolorisasi serat, ion akan menyerang kromoforik penyerap cahaya lignin dan selulosa.



Setelah *bleaching* kemudian diberi warna PLA/UTF30, PLA/BF30 dan PLA/masterbatch (MB)/BF30. *Bleaching* dapat menghilangkan kotoran permukaan, lignin dan hemiselulosa, sehingga menghasilkan warna yang lebih cerah dan permukaan serat yang lebih kasar yang mendorong adhesi serat/matriks (Rayung, et al., 2014).

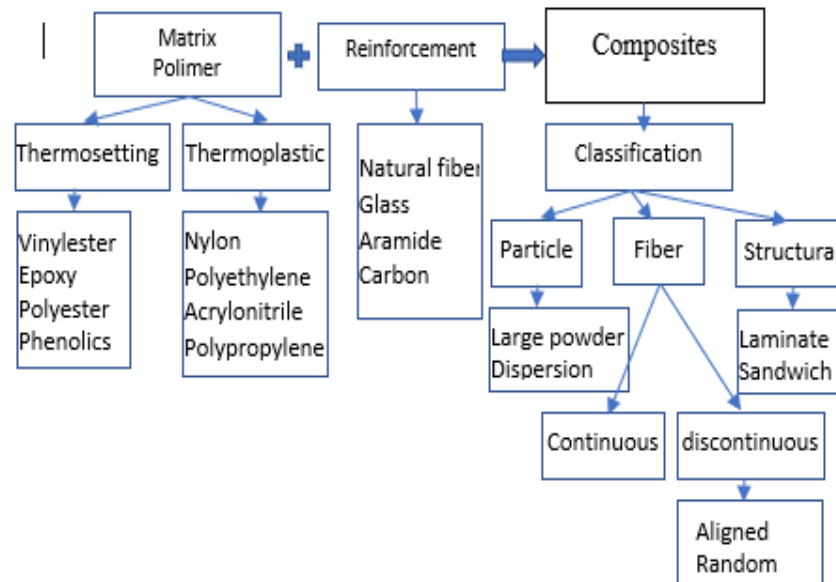
### 2.5.6 Ekstruder

Perlakuan serat alam menggunakan mesin pemrosesan *ekstruder* dapat mempengaruhi sifat mekanisnya yaitu pada perlakuan serat dengan kecepatan putar 40 rpm, suhu 190 °C; dan ukuran serat 250 µm mencapai nilai *tensile strength* sebesar 14 MPa, *tensile strain* 32%, *tensile modulus* 25 MPa, *flexural strength* 9 MPa *flexural modulus* 130 MPa, *impact strength* 102 kJ/m<sup>2</sup> (Mohammed, et al., 2016).

## 2.6 Biokomposit

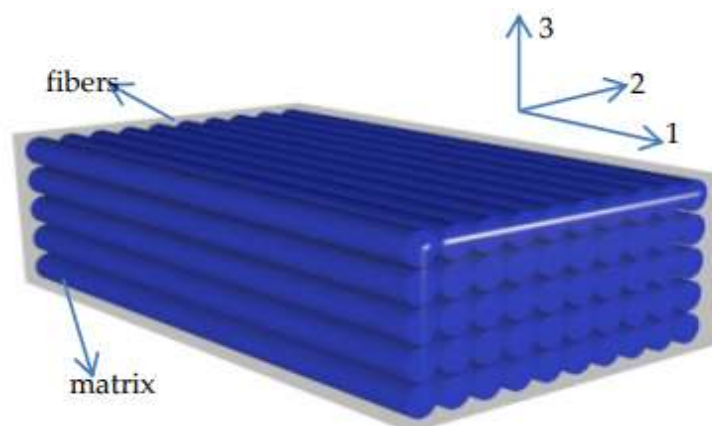
Komposit biomedis atau biokomposit adalah pencampuran serat alami yang dapat berupa serat kayu seperti kayu keras atau kayu lunak, dapat berupa serat bukan kayu seperti tebu, goni, rami, pisang, nanas, jerami padi, rami, sisal, kelapa sawit dengan

polimer *biodegradable* dapat diperoleh dari sumber daya terbarukan atau tidak terbarukan, pada biokomposit harus ada konstituen yang dapat terurai secara hayati (Nouri, et al., 2015).



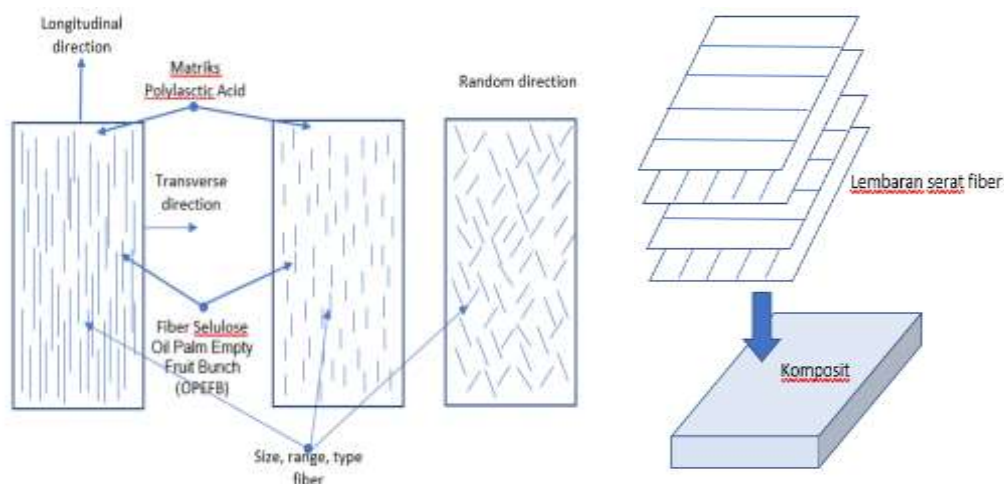
Gambar 2.2. Klasifikasi komposit dan material penyusunnya (Maman, et al., 2019)

Komposit *unidirectional* (UD) memiliki elastis yang searah dengan panjang serat (longitudinal), komposit unidirectional 2D 3D (laminasi) merupakan komposit yang terdiri dari 2 fase yaitu fase *reinforcement* dan fase matriks (Younes, et al., 2012).



Gambar 2.3. Komposit *unidirectional* (Younes, et al., 2012).





Gambar 2.4. Komposit berpenguat serat (*Fibrous Composite Materials*) a). Serat kontinu, Serat pendek dan Serat acak b). Lamina komposit (Callister, et al., 2007)

Komposit lamina yang terdiri dari fiber TKKS/epoxy yang dapat disesuaikan dengan sifat *directional properties* analisis pada properties fiber dan matriks. Pada analisis *rule of mixture* (ROM) fraksi volume serat memengaruhi *mechanical properties* dengan parameter geometrik susunan serat. Dalam struktur berserat, jarak antara serat, dan orientasi serat (Messiry, 2017). Komposit TKKS/epoxy dapat menyerap energi *specific energy absorption* sebesar 196 (J/kg) dengan *maximum absorption* sebesar 245 J sehingga menghasilkan *displacement* 163.2 mm lebih tinggi dari aluminium. Semakin tinggi deformasi plastis semakin tinggi kemampuan komposit tersebut untuk menyerap energy (Hassan, et al., 2018).

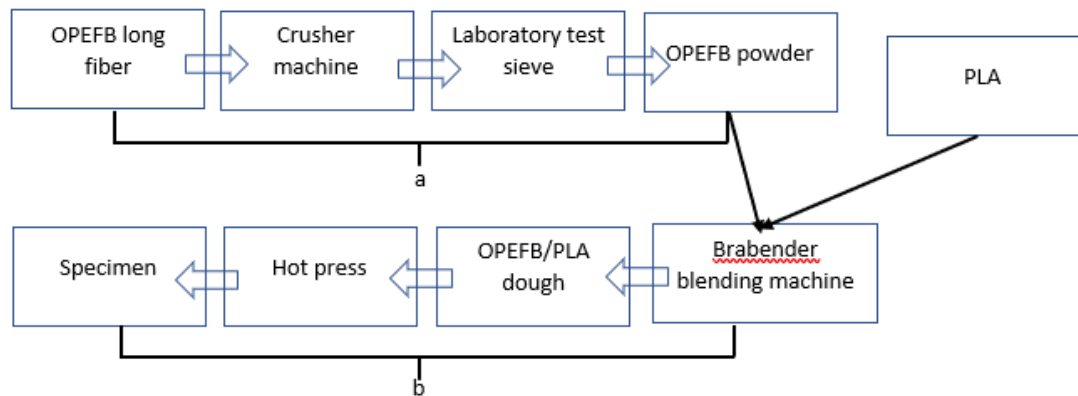
*Mechanical properties* komposit *unidirectional* serat TKKS/epoxy dipengaruhi oleh orientasi serat (0, 45 dan 90°), semakin kecil sudut orientasi akan meningkatkan *tensile strength*, *flexural strength* (Hassan, et al., 2017). Kekuatan tarik komposit akan menurun dengan meningkatnya sudut orientasi serat, komposit akan menahan beban tinggi (Hassan, et al., 2018). Komposit dengan keselarasan serat 0° menjadi lebih kuat dan kaku daripada orientasi serat >0° akan menurunkan sifat serat dan sifat matriks akan mendominasi (Hedge, et al., 2015). Paduan komposit susunan longitudinal dengan penguat serat TKKS didapatkan nilai sifat mekanik tertinggi dari komposit TKKS/PP, TKKS/PLA kemudian TKKS/epoxy (Cheng, et al., 2018).

Tabel 2.9. *Flexural properties* matriks dan komposit (Cheng, et al., 2018)

No.	Properties	PP	PLA	Epoxy
1	Flexural modulus, GPa	1.17(0.17)	3.04(0.16)	2.33(0.11)
2	Flexural strength, MPa	31.05(0.55)	77.77(1.03)	59.60(0.84)
3	Flexural strain, %	7.38(0.20)	3.76(0.33)	4.78(0.15)
4	UD Composites	OPEFB/PP	OPEFB/PLA	OPEFB/epoxy
5	Fiber volume, %	39.72	39.55	30.00
6	Longitudinal modulus, GPa	2.61(0.24)	4.30(0.35)	3.61(0.36)
7	Longitudinal strength, MPa	56.31(3.57)	85.03(1.71)	85.82(2.73)
8	Efficiency factor, LS	0.62	0.72	0.87
9	Longitudinal deflection, %	4.05(0.27)	4.40(0.19)	4.75(0.38)
10	Transverse modulus, GPa	1.67(0.16)	1.72(0.10)	2.19(0.26)
11	Transverse strength, MPa	11.52(0.91)	18.34(0.55)	24.45(1.63)

## 2.7 Pembuatan Komposit

Pembuatan komposit serbuk TKKS/PLA dapat dilakukan menggunakan teknik *melt blend*, yaitu serbuk TKKS berukuran 70 mesh, 200  $\mu\text{m}$ , dengan konsentrasi PLA/TKKS (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30) kemudian komposit dicetak menggunakan Teknik *melt blend* mesin Brabender Internal Mixer Machine dengan motor 18.5 kW, 40 A, 3x400V dan 50 rpm kemudian dipanaskan sampai suhu 170°C (titik PLA mencair), RPM 50 /menit, asam polilaktat (PLA) ditambahkan ke blender dan dicampur selama 5 menit setelah itu bubuk TKKS dimasukkan ke dalam blender. Komposit dibuat dengan ukuran tebal 3 mm kemudian ditekan pada cetakan dari  $10 \times 8 \text{ cm}^2$ , yang dipanaskan sampai 170°C, 10 menit (Ahmad, et al., 2020). Pembuatan komposit juga dapat dilakukan dengan metode ekstrusi, yaitu serbuk TKKS mesh 325 dipadukan dengan PLA dengan variasi serbuk TKKS 0%, 5%, dan 10% dan dipress menggunakan cetakan kompresi 10 MPa dan suhu 170°C untuk mendapatkan komposit (Paramitha and Sitompul, 2020).



Gambar 2.5. Metode komposit, a). Persiapan komposit serbuk OPEFB, b). Persiapan substrat PLA/OPEFB (Ahmad, et al., 2020)

Prediksi sifat mekanik komposit PLA + serat TKKS diungkapkan oleh (Buana, et al., 2013). Dengan perbandingan utama menggunakan serat TKKS dan serat PALF yang dipadukan dengan PLA ( $E_m = 2,7 \pm 0,4$  GPa dan  $\sigma_m = 62,8 \pm 4,9$  MPa) dihitung menggunakan persamaan yaitu,

$$\Sigma_c = \beta \sigma V + [1 - V] \sigma_m \dots \dots \dots (3)$$

$$E_c = \beta E V + [1 - V] E_m \dots \dots \dots (4)$$

Dengan  $\sigma_c$  adalah *composite strength* dan  $E_c$  adalah *stiffness* dan  $V$  adalah fraksi volume serat yang ada di komposit (fraksi volume matriks polimer  $1 - V$ ). Pada peningkatan  $V$  akan menaikkan *composite strength* ( $\sigma_c$ ) dan menurunkan  $E_c$  *stiffness* PLA/TKKS. Serat TKKS memiliki kekakuan yang lebih rendah dari PLA. Dengan tidak mempertimbangkan kompatibilitas PLA (hidrofobik) dengan serat alami (hidrofilik). Sehingga butuh *compatibilizers* atau agen kopling untuk meningkatkan adhesi antara serat alami dan matriks PLA.

## 2.8 Curing

*Curing* adalah proses pengeringan atau perubahan fase material fleksibel menjadi lebih kaku. *Post Curing* adalah memanaskan kembali material pada suhu tertentu dan dalam waktu tertentu, pemanasan dibawah temperatur *glass transition* ( $T_g$ )

untuk meningkatkan aktivitas molekul dan polimerisasi sehingga menyebabkan perubahan fase *rubber* menjadi fase *glass* yang lebih kuat. Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia monomer bereaksi membentuk rantai yang besar, *linier-branched-crosslinked-network*. Hal ini menyebabkan material menjadi lebih fleksibel. Saat material didinginkan maka mobilitas dari molekul akan turun kembali dan menyebabkan material menjadi kaku kembali. Fenomena ini menyebabkan material mengalami peningkatan tegangan (Jones and Robert M., 1975).

## 2.9 Kadar Air (*Moisture*)

Kandungan air (*moisture*) serat alam sangat menentukan kekuatan ikatan antara muka (*interface*) antara serat dan matriks, ikatan selulosa, kekasaran permukaan serat sehingga menentukan sifat mekanik pada serat tersebut. Kadar air pada serat yang tinggi dapat menimbulkan gelembung udara (*void*) pada komposit, karena ruang kosong pada matriks akan terisi air yang ditimbulkan pada serat sehingga dapat membuat ikatan interface matriks dan serat yang rendah (serat licin). Namun kandungan air yang terlalu rendah akan menimbulkan kerapuhan dan kurang fleksibel sehingga juga dapat menurunkan sifat mekanik serat. Kadar air pada serat ditentukan oleh pemanasan dan waktu pemanasan. Sifat mekanik serat optimum didapatkan pada kadar air 5-10%. Sehingga kadar air <5% dan diatas 10% akan menurunkan sifat mekanik (Ariawan & Wisnu, 2004).

## 2.10 Biomaterial

Biomaterial berbasis asam (poli) laktat (PLA) dapat dianggap sebagai standar perkembangan teknik regeneratif ortopedi dan *tissue engineering*, PLA memiliki kemampuan keserbagunaan dalam fabrikasi, biodegradasi dan kompatibilitas dengan biomolekul dan jaringan sel yang digunakan untuk tulang, ligamen, tendon meniskus dan tulang rawan (*cartilage*) (Narayanan, et al., 2016). Dalam aplikasi ortopedi dan gigi, bahan berbasis PLA telah banyak digunakan sebagai perangkat fiksasi seperti sekrup, pin, ring, *darts* dan *arrows* dalam operasi rekonstruktif termasuk operasi *mandibular joint*, *facelifts*, patah tulang dada, tangan, kaki, jari tangan, dan jari kaki, prosedur rekonstruksi ligament, fiksasi jaringan lunak dan

keras, keselarasan osteokondral dan fragmen tulang, perbaikan meniscus dan fiksasi tulang rawan hialin (*cartilage hyaline*) (Middleton and Tipton, 2000).

Pada komposit PLA *Self-reinforced composites* menggunakan PLA 4032D dan PLA 6302D menggunakan Teknik *Melt Spinning Fiber* menunjukkan interface yang baik antara serat PLA dan matriks PLA meningkatkan kompatibilitas dan meningkatkan sifat termal dan sifat mekanik elongation sebesar  $26.50 \pm 11.53$  %, Modulus elastisitas sebesar 1.40GPa dan tensile strength sebesar 50.68 MPa hal ini dapat digunakan sebagai aplikasi ortopedi, tulang lunak (*cartilage*), tendon, ligamen dan *tissue engineering* (Gao, et al., 2015). Nanofibers PLA metode electrospin dapat digunakan sebagai rekayasa jaringan cartilage, kulit, dan jaringan lunak dan keras termasuk otot, ligamen, tendon dan tulang (James, et al., 2011).

#### 2.10.1 *Scaffold biodegradable*

Berdasarkan degradasinya biomaterial untuk perbaikan tulang dibagi menjadi 2 yaitu material *bio-inert* dan *biodegradable* (Schaschke and Audic, 2014). Biomaterial *bio-inert* telah sukses digunakan secara klinis untuk bahan implant namun terdapat beberapa masalah seperti implan inert yang tetap dalam tubuh manusia selamanya sampai diangkat melalui pembedahan. Biomaterial *biodegradable* merupakan kebutuhan biomaterial baru dengan sifat yang disesuaikan untuk memenuhi biokimia dan persyaratan biomekanik dari rekayasa jaringan (Tevlin, et al., 2014). Biomaterial pengganti bertindak sebagai *scaffold* bagi sel atau jaringan di sekitarnya untuk merangsang, tumbuh, dan membimbing regenerasi jaringan baru (Sheikh, et al., 2015). Setelah perbaikan dan penyembuhan jaringan telah selesai kemudian penghilangan *scaffold* melalui degradasi *in vivo* secara klinis dan biomekanik, sehingga tidak memerlukan operasi kedua untuk pengangkatan, biomaterial *biodegradable* harus mendukung proses regenerasi dengan dukungan mekanis dan tidak beracun sehingga dapat dikeluarkan oleh tubuh (Sheikh, et al., 2015).

Suatu perangkat implan untuk tubuh yang dapat diserap secara biologis tidak membutuhkan operasi kedua untuk mengambil implant tersebut jika proses

penyembuhan telah selesai, pada hal ini dapat mengurangi biaya medis dan pemulihan secara perlahan dalam jangka waktu tertentu. Polimer sintetik yang dapat diserap secara biologis dapat mendorong sel untuk meregenerasi jaringan sendiri dan dapat melepaskan obat bius, anti-inflamasi dan antibiotik, perancah (*scaffold*) untuk transplantasi perangsang sel dengan penelitian biologis secara *in vitro* atau *in vivo* (Dai, et al., 2010).

### 2.10.2 *Tissue Engineering (Tendon Properties)*

Kerusakan tendon adalah cedera jaringan lunak yang paling umum terjadi, pada 30 juta cedera musculoskeletal lebih dari setengahnya diperkirakan melibatkan tendon dan ligamen (Uysal, et al., 2012). Cedera tendon terjadi karena faktor usia dengan pembebanan mekanis yang tinggi, kegiatan olahraga pada atlet. Diperkirakan sebanyak 50% cedera terkait olahraga melibatkan tendon (Chen, et al., 2011).

Tendon adalah pita yang kuat dari berserat, viskoelastik, jaringan ikat yang menambatkan setiap otot tubuh ke tulang, untuk menahan ketegangan dan membantu gerakan. Tendon memiliki kemampuan untuk menahan gaya tarik yang besar dan mampu memberikan sistem penyangga yang efisien, menyerap kejutan dan mencegah kerusakan otot (Chen, et al., 2012). Sel yang dominan pada tendon adalah sel yang mirip dengan sel fibroblast yang memanjang yang dikenal sebagai *tenocyte* (Kaux, et al., 2014). Rusaknya Tendon atau Ligamen terjadi ketika beban yang diterapkan pada tendon melebihi kekuatannya, pembebanan yang berlebihan, pembebanan kejut pada T/L yang disebabkan oleh usia, penggunaan narkoba, atau tendinopati yang timbul dari penggunaan berlebihan (Longo, et al., 2018).

Rekayasa *scaffold* untuk perbaikan untuk regenerasi T/L harus memiliki kriteria yaitu, Kekuatan tarik uniaksial yang sesuai dengan T/L, mampu menahan jumlah beban siklik, tahan deformasi mulur, memungkinkan transfer nutrisi yang baik, respon biologis *in vivo* yang sesuai, kemampuan untuk berintegrasi dengan jaringan inang, dan sel-sel residen mampu

mengekspresikan protein ECM, dan mampu divisualisasikan secara kontras dengan jaringan lunak di sekitarnya (No, et al., 2019).

Tabel 2.10. *Mechanical properties human tissue* (Walden, et al., 2016)

No.	Human Tissues	Modulus young (GPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
1	Skin	4-9	7.5-8.0	75-80
2	Heart Valve	-	0.5-2.5	10-15.3
3	Cartilage	-	2-5	25-33
4	Hard Tissue (Bone)	15-22	120-165	1-5
5	Hard Tissue (Tooth)	15-20	120-160	1-5
6	Tendon	1-5	55-160	8-15
7	Aorta	-	0.05-1.1	75-82
8	Fibrocartilage	159.1 MPa	10.4	20-35
9	Ligament	303 MPa	29.5	-
10	Intraocular lens	5.6 MPa	2.6	-
11	Arterial (longitudinal)	-	0.1	-
12	Arterial (transverse)	-	1.1	-
13	Articular cartilage	10.5 MPa	27.5	-

Sifat-sifat tarik tendon/Ligamen dapat dijelaskan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 2.11. Sifat-sifat tarik Tendon/Ligamen (AT: Achilles' tendon)

No.	T/L tissue	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (MPa)	Stiffness (N/mm)	Peak strain	Referensi
1	Achilles	86±24	822±211	-	-	(Birch, 2007)
2	Tendon	54±20	670±1070 870±200- 1160±150	188±43.2	8.3 ± 2.1%	(Lichtwark and Wilson, 2005)

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Waktu dan tempat penelitian yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### **3.1.1 Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 6 bulan dimulai dari bulan Februari 2023 sampai Agustus 2023

##### **3.1.2 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu sebagai berikut,

1. Proses mempersiapkan alat dan bahan, perlakuan serat TKKS, sintesis PLA, fabrikasi komposit dan mempersiapkan sampel dan analisis struktur makro di Lab. Komposit Teknik Mesin dan Lab. Kimia Terpadu FMIPA Universitas Lampung, Bandar Lampung
2. Pengambilan data analisis kadar air dan selulosa di Lab. Teknologi Hasil Pertanian, POLINELA
3. Pengambilan data uji tarik dilakukan di Pusat Riset Teknologi Pertambangan/BRIN Jl. Ir.Sutami KM 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Lampung
4. Pengambilan data analisis SEM dilakukan di UPT Lab. Terpadu Sentra Inovasi dan Teknologi (LTSIT) di Universitas Lampung



### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut,

#### 1. *Polylactic Acid* (PLA)

Asam Polilaktat atau *Polylactic Acid* (PLA) merupakan sintesis dari asam laktat (LA) yang bahan utama matriks komposit dalam bentuk kristal yang akan dicairkan menggunakan pemanasan pada furnace. Untuk sifat mekanik PLA akan diterangkan pada lampiran. PLA dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.1. Polimer PLA 2002D

Tabel 3.2. Spesifikasi PLA 2002D

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Poli Asam Laktat 2002D
2	Densitas	1.2 g/cm <sup>3</sup>
3	Produksi	Amerika Natureworks
4	Melting Point	155-170°C
5	Glass Transition (Tg)	55-60°C

## 2. Aquades

Aquades digunakan untuk keperluan mencuci serat TKKS, dan pencampuran NaOH untuk keperluan treatment serat TKKS. Aquades dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



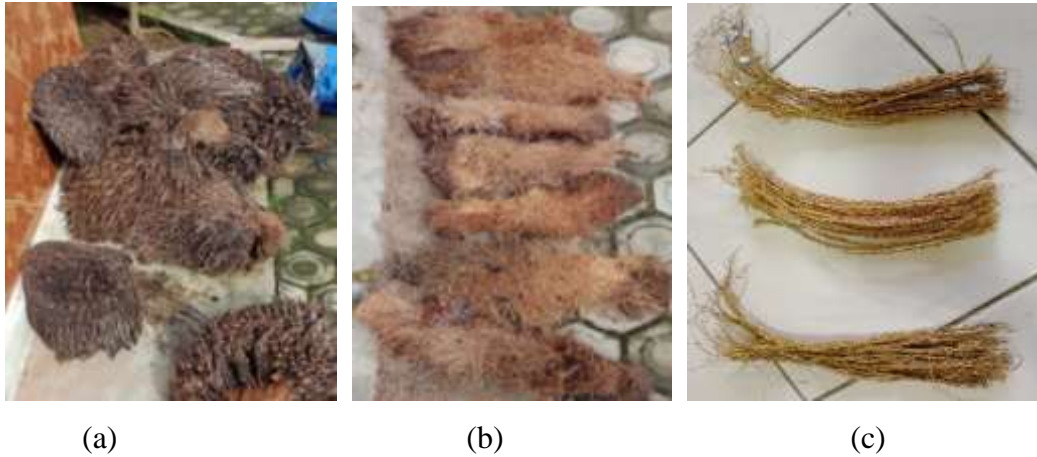
Gambar 3.2. Aquades H<sub>2</sub>O

Tabel 3.3 Spesifikasi aquades

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Aquades, H <sub>2</sub> O
2	Densitas	0.998 g/cm <sup>3</sup>
3	Titik beku	0°C
4	Titik didih	100°C
5	pH	7 Netral

## 3. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) digunakan sebagai *reinforcement* pada pembuatan komposit PLA. *Treatment* serat menggunakan perlakuan alkali dan perlakuan oven. Serat TKKS yang digunakan dengan ukuran 16-17 cm. Serat TKKS dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.3. (a). Tandan Kosong Kelapa Sawit, (b). Serat TKKS, (c). Serat *braids* 9,12 dan 15

Tabel 3.4. Spesifikasi serat TKKS

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Serat TKKS
2	Panjang serat	160-170 mm
3	Asal serat	PT.Perkebunan Nusantara 7
4	Serat <i>braids</i>	Manual 9,12,15 serat 1 braids

#### 4. Alkali NaOH

Alkali NaOH digunakan untuk perlakuan serat, untuk meningkatkan adhesi interface, mengurangi sifat Hydrophilic antara serat alami serat TKKS dengan polimer PLA. Alkali NaOH dapat menghilangkan hemiselulosa, membagi serat menjadi fibril, pelepasan regangan internal sehingga meningkatkan sifat mekaniknya. Alkali NaOH dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.4. Alkali NaOH

Tabel 3.5. Spesifikasi Alkali NaOH

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Sodium Hydroxide NaOH (99%)
2	Bentuk	Cristal putih/buram
3	Densitas	2.13 g/cm <sup>3</sup>
4	Titik lebur	323°C (283 K)
5	Titik didih	1388°C (610 K)
6	pKa keasaman	15.7

### 5. Microwave oven

Microwave berfungsi untuk mengeringkan serat setelah *treatment* kimia maupun pencucian serat. Agar permukaan serat kering dan semakin kasar, penggunaan suhu dan *timer* disesuaikan dengan parameter yang digunakan. Microwave oven dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.5. Microwave oven

Tabel 3.6. Spesifikasi microwave oven

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Microwave oven
2	Type	Innotech
3	Temperatur	0-150°C
4	<i>Timer</i>	<i>Automatic control</i>

## 6. Timbangan digital

Neraca digital digunakan untuk mengukur massa PLA, dan spesimen komposit secara portabel. Timbangan digital dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.6. Timbangan digital

Tabel 3.7. Spesifikasi Timbangan digital

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Timbangan digital
2	Type	Scale I-2000
3	Tingkat ketelitian	0.01-500 gram
4	Kalibrasi	Auto calibration

## 7. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan sebagai wadah untuk mengukur larutan NaOH, aquades, tempat perendaman serat, dengan bentuk dan tingkat ketelitian yang berbeda-beda. Gelas ukur dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.7. gelas ukur

Tabel 3.8. Spesifikasi gelas ukur

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Gelas ukur
2	Type	Pyrex, Boro 3.3
3	Kapasitas	1000 ml, 100 ml, 50 ml, dan 25 ml
4	Bahan	Glass

#### 8. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen, untuk pengujian tarik, dan analisis SEM. Jangka sorong dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.8. Jangka sorong

Tabel 3.9. Spesifikasi jangka sorong

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Jangka Sorong
2	Type	Prohex Art.3965-006
3	Pengukuran	0-150 mm, 6 inch
4	Ketelitian	0.005 mm

## 9. Cetakan

Cetakan digunakan untuk mencetak komposit serat dengan matriksnya menggunakan metode hand lay-up. Cetakan komposit terbuat dari stainless plat, dimensi disesuaikan dengan kebutuhan pengujian. Cetakan komposit dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.9. Cetakan komposit

Tabel 3.10. Spesifikasi cetakan komposit

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Cetakan Komposit
2	Bahan	Stainliss plat tipis
3	Ukuran	10 cm x 17 cm x 5 cm
4	Perekat	<i>Double tip 3M</i>

### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian yaitu terbagi menjadi 4 bagian yaitu *treatment* serat TKKS, menyiapkan serat *braids* TKKS, membuat komposit dan menyiapkan sampel yaitu sebagai berikut,

#### a. Persiapan Serat TKKS

Adapun persiapan serat TKKS sebagai *reinforcement* komposit PLA yaitu sebagai berikut,

1. Mengestrak serat dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan panjang serat 160 mm dan diameter 0.85 mm untuk *fiber* komposit
2. Mencuci Serat TKKS menggunakan aquades pH netral untuk menghilangkan debu dan kotoran, kemudian dikeringkan selama  $\pm 7$  hari pada suhu kamar
3. Menyiapkan serat braids dengan jumlah 9, 12, dan 15 TKKS
4. Menyiapkan larutan NaOH 99% sebanyak 50gr (5%) yang dicampurkan dengan aquades 1000 ml
5. Merendam serat TKKS kedalam larutan NaOH selama 3 jam
6. Mencuci serat menggunakan aquades dan mengeringkan serat selama 7 hari pada suhu kamar
7. Mengeringkan serat TKKS menggunakan *microwave treatment* dengan suhu 60°C selama 20 menit
8. Menyimpan serat TKKS di ruangan terbuka pada suhu kamar

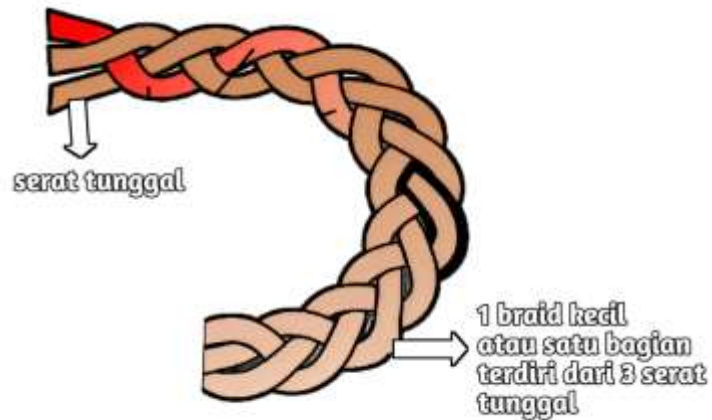
#### b. Pembuatan serat *braids*

Braids adalah struktur yang kompleks atau pola yang terbuat dari jalinan dua atau lebih helai bahan-bahan fleksibel seperti benang, kawat, atau serat. Langkah yang dilakukan dalam pembuatan *braids* dengan variasi serat 9, 12, dan 15 TKKS yaitu:

1. Menyiapkan serat TKKS yang telah di ekstrak dengan panjang yang telah ditentukan

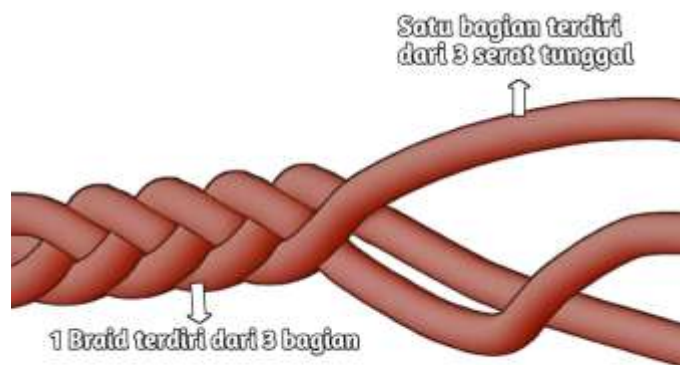


2. Siapkan 3 serat tunggal untuk membuat braids kecil atau membuat satu bagian seperti gambar berikut,



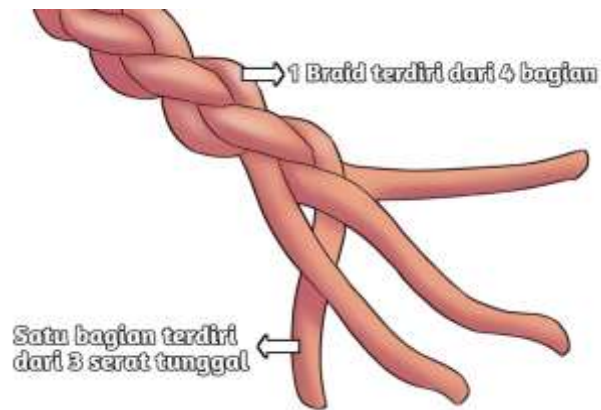
Gambar 3.10. Braids kecil terdiri dari 3 serat tunggal

3. Siapkan 3 braids kecil atau tiga bagian untuk membuat braids dengan variasi 9 serat TKKS seperti pada gambar berikut,



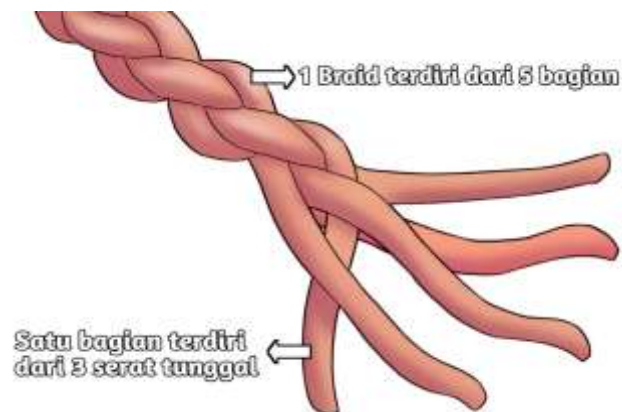
Gambar 3.11. Braids variasi 9 serat TKKS terdiri dari 3 braids kecil

4. Siapkan 4 braids kecil atau empat bagian untuk membuat braids dengan variasi 12 serat TKKS seperti pada gambar berikut,



Gambar 3.12. Braids variasi 12 serat TKKS terdiri dari 4 braids kecil

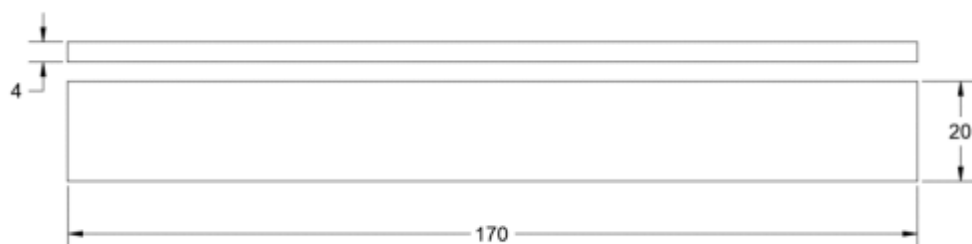
5. Siapkan 5 braids kecil atau lima bagian untuk membuat braids dengan variasi 15 serat TKKS seperti pada gambar berikut,



Gambar 3.13. Braids variasi 15 serat TKKS terdiri dari lima braids kecil

c. Ukuran Skematik Spesimen

Sebelum melakukan pengujian yaitu mempersiapkan spesimen dengan ukuran skematik spesimen panjang 170 mm, lebar 20 mm dan ketebalan 4 mm seperti dijelaskan pada Gambar 3.14 berikut,



Gambar 3.14. Ukuran Skematik Spesimen

## d. Perhitungan fraksi volume serat

Perhitungan fraksi volume serat pada komposit yaitu:

Volume komposit ( $v_c$ )

Panjang spesimen = 170 mm (17 cm)

Lebar spesimen = 20 mm (2 cm)

Tebal spesimen = 4 mm (0.4 cm)

$$v_c = P \times L \times T$$

$$v_c = 170 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$$

$$v_c = 13.600 \text{ mm}^3 (13,6 \text{ cm}^3)$$

1. Volume serat ( $V_f$ )

Diameter serat rata-rata = 0,85 mm (0.085 cm)

r serat rata-rata = 0.425 mm (0.0425 cm)

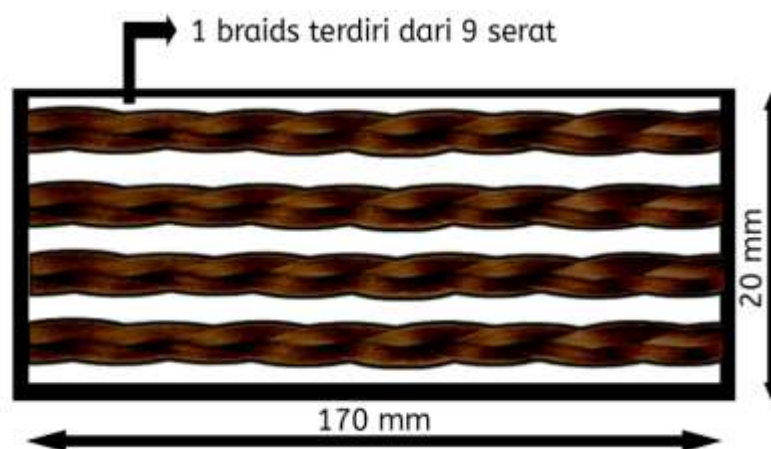
t serat (Panjang serat) rata-rata = 160 mm

$$V_{\text{serat}} = V_{\text{tabung}} = \pi r^2 t$$

$$V_{\text{tabung}} = 3.14 \times (0.0425 \text{ cm})^2 \times 16 \text{ cm}$$

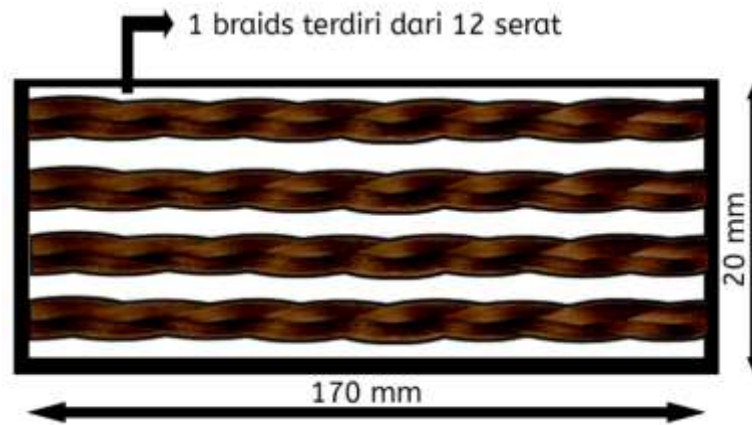
$$V_{\text{tabung}} = 0.090746 \text{ cm}^3 = V_{\text{serat}}$$

Jumlah serat braid 9 = 36 serat / specimen



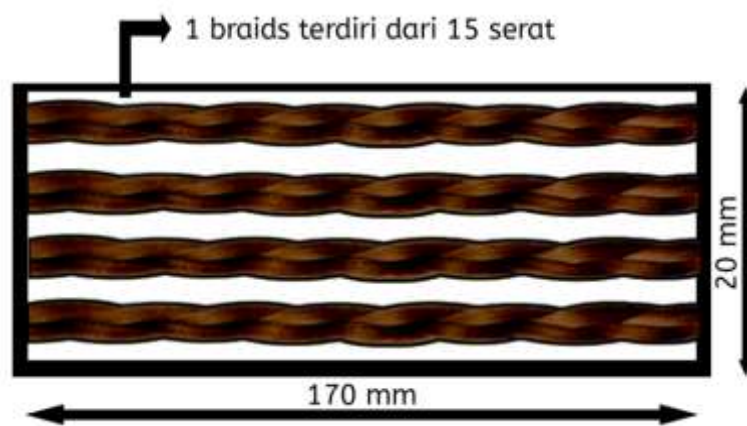
Gambar 3.15. Ilustrasi specimen braids 9

Jumlah serat braid 12 = 48 serat / specimen



Gambar 3.16. Ilustrasi specimen braids 12

Jumlah serat braid 15 = 60 serat / specimen



Gambar 3.17. Ilustrasi specimen braids 15

## 2. Fraksi volume serat ( $V_f$ )

Serat braid 9

$$V_f = \frac{36 \times 0,090746}{13,6} \times 100\%$$

$$V_f = 24,02\%$$

Serat braid 12

$$V_f = \frac{48 \times 0,090746}{13,6} \times 100\%$$

$$V_f = 32,03\%$$

Serat braid 15

$$V_f = \frac{60 \times 0,090746}{13,6} \times 100\%$$

$$V_f = 40,03\%$$

### 3. Fraksi volume matriks ( $V_m$ )

Braid 9

$$V_m = 100\% - 24,02\% = 75,98\%$$

Braid 12

$$V_m = 100\% - 32,03\% = 67,97\%$$

Braid 15

$$V_m = 100\% - 40,03\% = 59,97\%$$

### e. Membuat Komposit

Adapun langkah membuat komposit PLA serat TKKS yaitu sebagai berikut,

1. Menyiapkan PLA 2002D sebagai matriks komposit
2. Mengeringkan PLA pada microwave oven dengan suhu 100°C selama 12 jam
3. Menyiapkan cetakan komposit dari alumunium dengan ukuran (P) 160 mm, (L) 100 mm, dan ketebalan (W) 50 mm, dilengkapi dengan *double tip* dikedua ujung
4. Menyusun serat tunggal dan *braids* satu persatu yang dibentangkan dari kedua ujung cetakan
5. Mencairkan PLA menggunakan furnace dengan suhu 175°C
6. Menuangkan PLA cair pada cetakan 1 dengan braids variasi 9 serat
7. Menuangkan PLA cair pada cetakan 2 dengan braids variasi 12 serat
8. Menuangkan PLA cair pada cetakan 3 dengan braids variasi 15 serat
9. Meratakan PLA dengan ketebalan 4 mm selama 10 menit
10. Men-*curing* komposit pada suhu 70°C selama 30 menit.

f. Membuat sampel pengujian

Adapun langkah untuk membuat sampel komposit pengujian yaitu sebagai berikut,

1. Menyiapkan sampel serat TKKS analisis kadar air dan selulosa sebanyak 10 gram serat
2. Menyiapkan sampel pengujian tarik dengan memotong komposit longitudinal dengan ukuran Panjang 165 mm, lebar penampang besar 19 mm, lebar penampang kecil 13 mm dan ketebalan dibawah 6 mm dengan displacement diukur dengan extensometer 50 mm
3. Menyiapkan sampel analisis SEM hasil pengujian tarik

Tabel parameter penelitian digunakan untuk memudahkan dalam menetapkan pembuatan komposit yang akan digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut,

Tabel 3.11. Parameter pembuatan komposit PLA serat TKKS

No.	Matriks/serat	Spesifikasi	Susunan	Volume fraksi	Komposit
1	PLA +Serat TKKS	Panjang 160 mm	Memanjang	24,02%	PLA serat <i>braids</i> 9
2				32,03%	PLA serat <i>braids</i> 12
3				40,03%	PLA serat <i>braids</i> 15

### 3.4 Pelaksanaan Pengujian

Adapun pelaksanaan pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

#### 3.4.1 Analisis kadar air dan selulosa

Analisis kadar air dan selulosa merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kadar air selulosa serat TKKS. Analisis menggunakan metode gravimetri dengan standar pengujian SNI 13-3476-1994. Alat uji gravimetri dan spesifikasinya yaitu pada gambar dan tabel sebagai berikut,



Gambar 3.18. Alat analisis gravimetri

Tabel 3.12. Spesifikasi analisis kadar air

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	Neraca, Oven, Krus dan Desikator
2	Kapasitas	Minimal 5 gram
3	Type alat	Vakum

### 3.4.2 Analisis struktur makro

Analisis struktur makro menggunakan alat pembesaran mikroskopi yang bertujuan untuk menganalisis diameter serat *braids 9*, *braids 12*, dan *braids 15*. Alat mikroskopi struktur makro dan spesifikasinya yaitu pada gambar dan tabel sebagai berikut,



Gambar 3.19. Alat Uji Struktur Makro

Tabel 3.13. Spesifikasi Alat Uji Struktur Makro

Nama Alat	<i>Mikroskop Optical</i>
Type Alat	<i>Union MC 86545</i>
<i>Illumination</i>	<i>30W horizontal kohler</i>
<i>Eyepieces</i>	<i>SWH 10 x FN22</i>
<i>Objectives Lens</i>	<i>Mf 5x, 10x, 20x, 25x</i>
<i>Okuler Lens</i>	<i>Bi 5x, 10x</i>

### 3.4.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik berfungsi untuk mengetahui sifat mekanik pada komposit. Uji tarik pada komposit menggunakan standar ASTM D638-99. Alat uji tarik dan spesifikasi yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.20. Alat pengujian tarik

Sebelum pengujian yaitu mempersiapkan specimen dengan ukuran Panjang 165 mm, lebar penampang besar 19 mm, lebar penampang kecil 13 mm dan ketebalan 3.2 mm dengan displacement diukur dengan extensometer 50 mm. Kemudian menguji tarik specimen dengan 5mm/menit, suhu 25°C dan kelembapan 50±5% ditarik dengan beban 5KN. Kemudian data akan diterima pada perangkat komputer seperti di tunjukan pada Tabel 3.14 berikut:



Tabel 3.14. Hasil pengujian tarik

No.	Properties Uji Tarik (Grafik)	PLA <i>Fiber braids 9</i>	PLA <i>Fiber braids 12</i>	PLA <i>Fiber braids 15</i>
1	Tensile strength (MPa)			
2	Modulus young (MPa)			
3	Elongation (%)			
4	Yield strength (MPa)			

#### 3.4.4 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM adalah alat pengujian untuk mengetahui karakteristik komposisi struktur melalui gambar, dan alat detektor Energy Dispersive X-ray (EDX) dengan standar SEM JSM-6510 LA. Uji SEM digunakan untuk mengetahui struktur mikro spesimen, untuk menganalisis cacat, ikatan antar serat dan matrik dan analisis lainnya. Alat uji SEM dan spesifikasinya yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.21. Alat pengujian SEM

Tabel 3.15. Spesifikasi alat uji SEM-EDX

No.	<i>Analytical Scanning Electron Microscope</i>	Spesifikasi
1	<i>Type Alat</i>	JEOL JSM-6390A
2	Pembesaran	10x-3.10 <sup>6</sup> x
3	<i>Depth of Field</i>	4-0.4 mm
4	<i>Resolution</i>	1-10 nm
5	<i>Magnification</i>	7x-1.10 <sup>6</sup> x

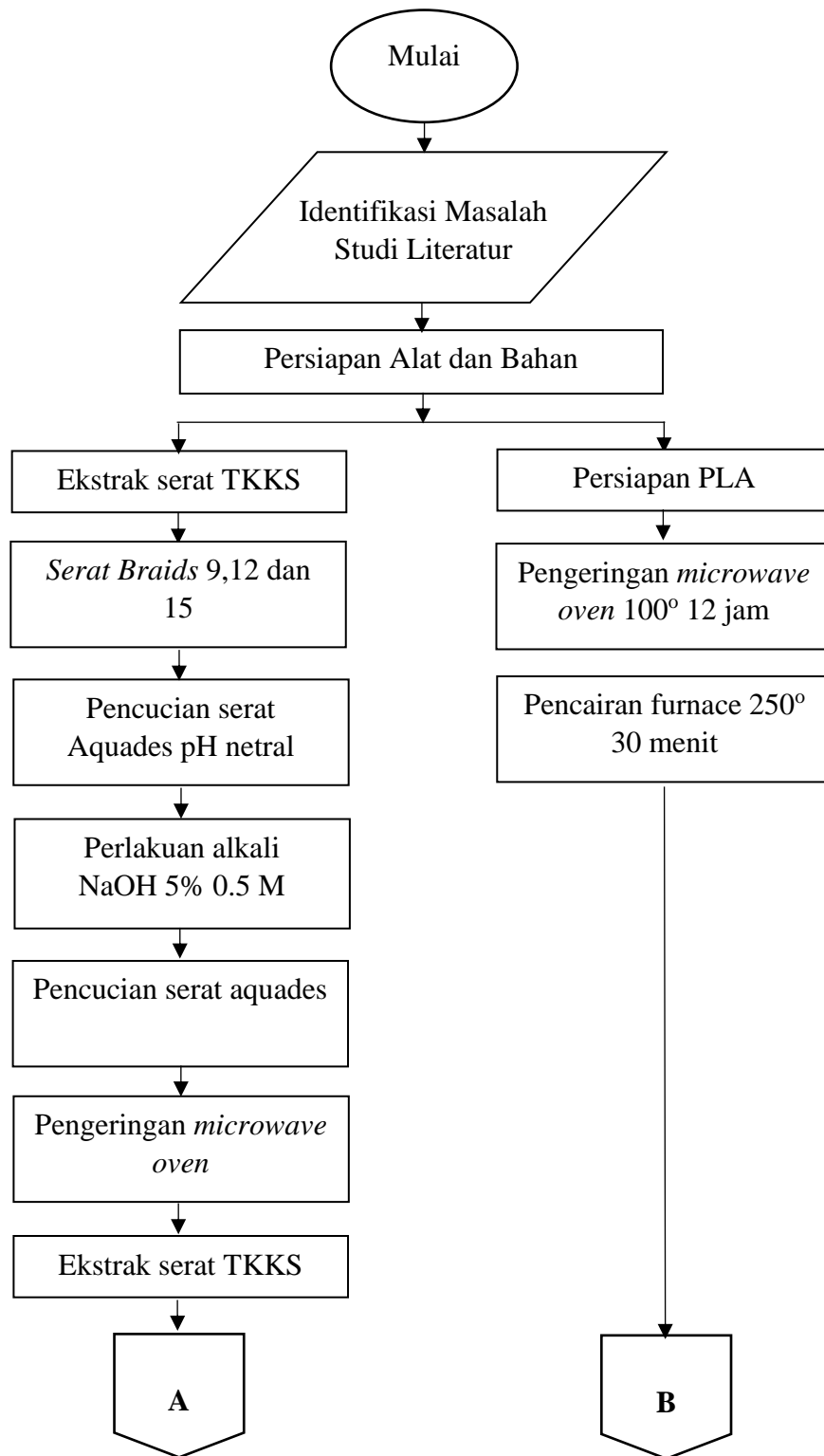
Hasil dari pengujian SEM dan EDX dari penelitian dapat dituliskan pada tabel sebagai berikut,

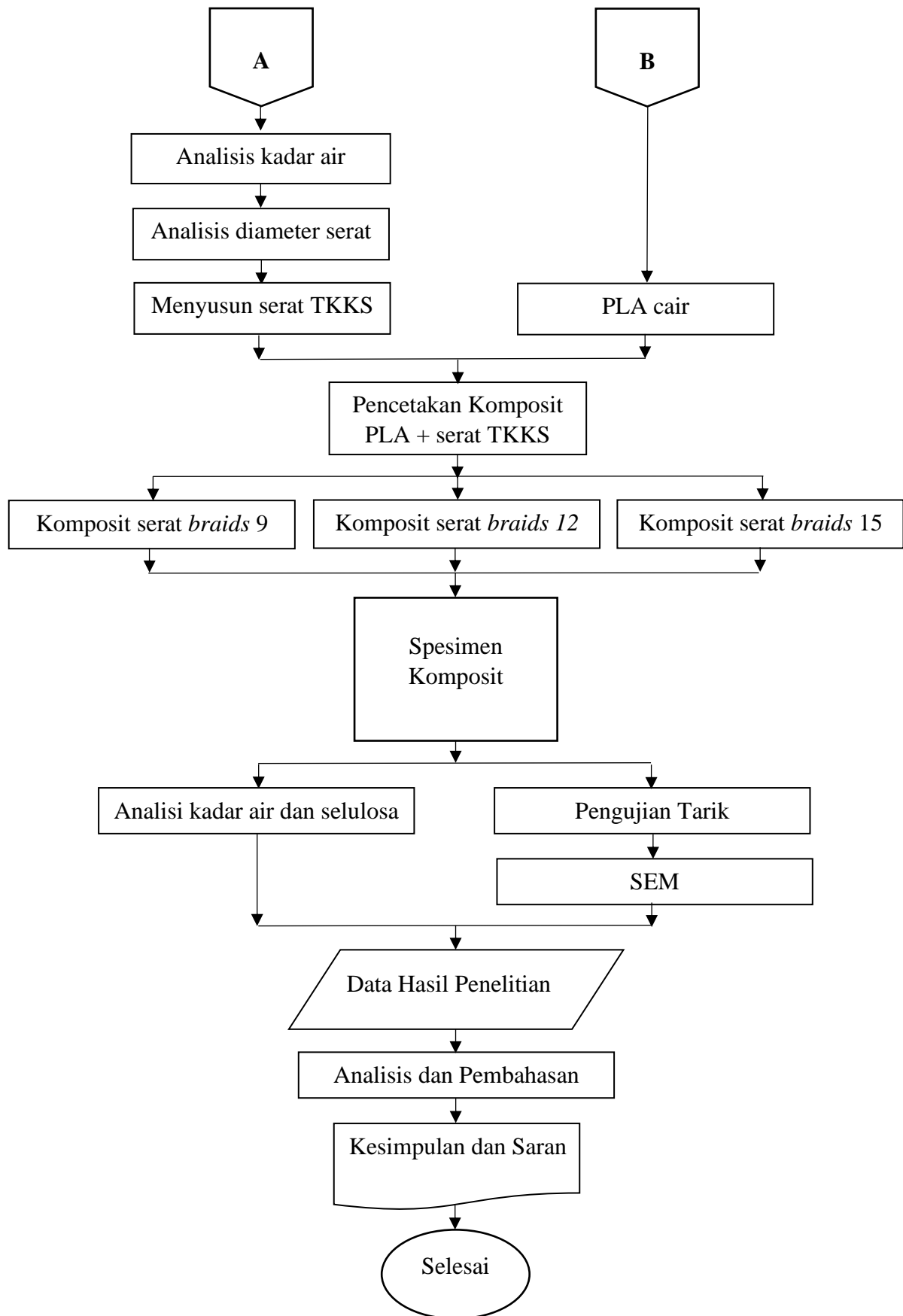
Tabel 3.16. Hasil pengujian SEM dan EDX

No.	Komposit	Gambar SEM
1	PLA <i>fiber braids</i> 9	
2	PLA <i>fiber braids</i> 12	
3	PLA <i>fiber braids</i> 15	

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan alur penelitian yang dilakukan dari awal sampai akhir penelitian, diagram alir penelitian yaitu sebagai berikut,





Gambar 3.22. Diagram alir penelitian

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian Pengaruh Jumlah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat *Braids* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)/*Polylactic Acid* (PLA) yaitu sebagai berikut,

1. Serat TKKS yang digunakan mengandung kadar air 11.04%, selulosa 36.87%, hemi selulosa 14.79% dan lignin 9.93%, kandungan selulosa yang tinggi dapat meningkatkan ikatan *interface* permukaan serat dan meningkatkan sifat mekaniknya
2. Pada hasil pengujian tarik komposit PLA serat *braids* 9,12 dan 15 mendapatkan hasil rata-rata *tensile strength* secara berturut-turut 61.526 MPa, 62.958 MPa dan 64.926 MPa. Peningkatan *tensile strength* terjadi karena komposit PLA/serat TKKS sangat dipengaruhi pada jumlah serat pada sampel, hal ini sejalan dengan hipotesis yang dimana semakin banyak jumlah serat dalam *braids* maka akan semakin tinggi pula nilai kekuatan tariknya.
3. Pada hasil pengujian tarik komposit PLA serat *braids* 9,12 dan 15 mendapatkan hasil rata-rata *yield strength* secara berturut-turut 16.977 MPa, 26.384 MPa dan 35.04 MPa. Terjadinya peningkatan *yield strength* terjadi karena komposit PLA/serat TKKS sangat dipengaruhi pada jumlah *braids* pada sampel, pada saat uji tarik semakin banyak jumlah *braids* serat TKKS maka kekuatan luluh akan semakin tinggi
4. Pada hasil pengujian tarik komposit PLA serat *braids* 9,12 dan 15 mendapatkan hasil rata-rata *modulus young* secara berturut-turut 1.52 GPa, 1.48 GPa dan 1.46

GPa. Terjadi pelururan pada *modulus young* hal ini terjadi karena penambahan serat TKKS yang secara otomatis akan mengurangi jumlah matriks pada sampel sedangkan pengurangan matriks mengakibatkan penurunan kekakuan pada saat uji tarik.

5. Pada hasil analisis SEM terlihat terdapat rongga pada tengah serat TKKS yang merupakan struktur alami pada serat, PLA dengan struktur yang kasar menunjukkan ikatan yang ulet dan dapat dilihat PLA menyelimuti seluruh permukaan dari serat TKKS yang menunjukkan *interface* yang cukup baik. Terlihat juga pada pengujian SEM ikatan *interface* antara *matrik* dan serat pada komposit serat *braids* 9,12 dan 15 sama baiknya sehingga dapat disimpulkan bahwa yang mempengaruhi perbedaan nilai kekuatan tariknya hanya pada penambahan jumlah serat pada *braids* disetiap sampelnya.

## 5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian Pengaruh Jumlah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Braids Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)/*Polylactic Acid* (PLA) yaitu sebagai berikut,

1. Sebaiknya untuk melakukan pengujian mekanik pada serat TKKS untuk memperkirakan hasil pengujian tarik komposit
2. Karakterisasi serat TKKS yang harus lebih diperhatikan untuk meningkatkan kualitas serat
3. Memperhatikan proses melting PLA dengan metode pengovenan atau furnace agar tidak mengalami perubahan struktur yang menurunkan sifat mekanik
4. Sebaiknya menggunakan metode lain dalam mencetak komposit seperti metode *vacuum* atau *gun*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.F., Aziz, S. H.A., Abbas, Z., Abdalhadi, D. M., Khamis, A. M., and Aliyu, U. S. (2020). Computational and Experimental Approaches for Determining Scattering Parameters of OPEFB/PLA Composites to Calculate the Absorption and Attenuation Values at Microwave Frequencies. *Mdpi. Journal. Poymer*. 12. 1919. doi:10.3390/polym12091919
- Anuar, N.I.S., Zakaria, S., Gan, S., Chia, C.H., Wang, C., and Harun, J. (2019). Comparison of the Morphological and Mechanical Properties of Oil Palm EFB Fibres and Kenaf Fibres in Nonwoven Reinforced Composite. *Elsevier : Industrials Crops and Products* 127. 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.056>
- Ariawan, D., & Wisnu, W.R. (2004). Penentuan Kekuatan Optimum Serat Agave Cantula dengan Mneggunakan Perlakuan Termal. *Mekanika*. Vol. 3. No. 1. FT UNS
- Auras, R., Lim, L.T., Selke, M. and Tsuji, H. (2010). *Poly (LA): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Application*. Hoboken NJ: John Wiley & Sons Inc
- Battegazzore, D., Alongi, J., and Frache A. (2014). *Poly(lactic acid)-Based Composites Containing Natural Fillers: Thermal, Mechanical and Barrier Properties*. Springer Science. *J Polym Environ* 22:88–98
- Birch, H.L. (2007). Tendon Matrix Composition and Turnover in Relation to Functional Requirements. *Int. J. Exp. Path.* 88. 241–248. doi: 10.1111/j.1365-2613.2007.00552.x
- Callister, William, D., and David, G.R. (2007). *Materials Science and Engineering an Introduction* 7 th Edition. USA: John Wiley & Sons.
- Cheng, T.S., Uy Lan, D.N., Phillips, S., and Tran, L.Q.N. (2018). Characteristics of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber and Mechanical Properties of Its Unidirectional Composites. *Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech) : A-STAR*. DOI 10.1002/pc.24824
- Dai, W., Kawazoe, N., Lin, X., Dong, J. and Chen, G. (2010). The Influence of Structural Design of PLGA/Collagen Hybrid Scaffolds in Cartilage Tissue Engineering Polymers”. *Biomaterials* 31. PP. 2141–2152.
- Darmono, Irma, Soekarno M.P, Asmara B. (2017). *Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Arang Hayati dan Asap Cair*. *Bioteknologi Perkebunan Indonesia*

- Faizi, MK., Shahrman, A.B., Majid, M.S.A., Ahmad, Z.A., Shamsul, B.M.T., and Ng Y.G. (2017). The Effect of Alkaline Treatments Soaking Time on Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fibre Structure. ICADME 2017 IOP Publishing. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 908 (2017) 012033 doi :10.1088/1742-6596/908/1/012033
- Garlotta, D.J. (2002). *Polymer Environ.* PP. 63–84
- Gomes, A., Matsuo, T., Goda, K., and Ohgi, J. (2007). Development and Effect of Alkali Treatment on Tensile Properties of Curaua Fiber Green Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.* 2007;38:1811-20
- Hassan, A., Salema, A.A., Ani, F.N., and Bakar, A.A. (2010). A Review on Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber-Reinforced Polymer Composite Materials. ResearchGate. Academia. *Polymer Composites.* DOI: 10.1002/pc.21006
- Hedge, A., Darshan, R.S., Mulla, F., Shoeb, M., and Rajanish, M. (2015). Tensile Properties of Unidirectional Glass/Epoxy Composites at Different Orientations Of Fibers. *Int. J. of Eng. Res. and App.* 5(3) 150-153
- Ibrahim, N.A., Yunus, W.M.Z.W., Othman, M., and Abdan, K. (2011). Effect Of Chemical Surface Treatment on the Mechanical Properties of Reinforced Plasticized Poly(Lactic Acid) Biodegradable Composites. *SAGE : Journal of Reinforced Plastics & Composites.* 30(5) 381-388
- Indrayani, Y., Suryanegara, L., Sagiman, S., Roslinda, E., and Marwanto. (2019). Short Communication: Biodegradable of Bio-Composites Made From Polylactid Acid (PLA) and Cellulose Fibers From Oil Palm Empty Fruit Bunch. *Nusantara BioScience.* Vol. 11. No. 1, pp. 8-11. DOI: 10.13057/nusbiosci/n110102
- Isroi, I., Ishola, M., Millati, R., Syamsiah, S., Cahyanto, M., Niklasson, C., and Taherzadeh, M. (2012). *Molecules.* 17. 14995
- Jamshidian, M., Arab-Tehrany, E., Imran, M., Jacquot, M., and Desobry, S. (2010). *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 9.PP. 552–571
- Law, K.N., Rosli, W., Daud, W., and Ghazali, A. (2007). Morphological and Chemical Nature of Fiber Strands of Oil Palm Empty-Fruit-Bunch (OPEFB). *BioResources.* 351-362
- Lichtwark, G.A., Wilson, A.M. (2005). In vivo mechanical properties of the human Achilles tendon during one-legged hopping. *The Journal of Experimental Biology.* 208. 4715-4725. Company of Biologists. doi:10.1242/jeb.01950
- Maman, P., Nagpal, M., and Aggarwal G. (2019). Resorbable Polymer Fiber Reinforced Composites in Biomedical Application. *Materials for Biomedical Engineering. Nanobiomaterials in Tissue Engineering.* Elsevier



- Messiry, M.E. (2017). Theoretical Analysis of Natural Fiber Volume Fraction of Reinforced Composites. *Elsvier : Alexandria Engineering Journal. Alexandria University* 52. 301-306. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2013.01.006>
- Middleton, J.C. and Tipton, A.J. (2000). Synthetic Biodegradable Polymers as Orthopedic Devices. *Elsvier: Biomaterials* 21.2335–2346
- Mohammed, A.A., Bachtiar, D., Siregar, J.P., and Rejab, M.R.M. (2016). Effect of Sodium Hydroxide on the Tensile Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced Thermoplastic Polyurethane Composites. *Universiti Malaysia Pahang : Malaysia Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)* Vol. 10. Issue 1. pp. 1765-1777
- Nair, L.S. and C.T. Laurencin. (2007). Biodegradable Polymers as Biomaterials. *Progress in Polymer Science.* 32(8-9): p. 762-798
- Narayanan, G., Vernekar, V.N., Kuyinu, E.L., and Laurencin, C.T. (2016). Poly (lactic acid)-Based Biomaterials for Orthopedic Regenerative Engineering. *Elsevier: Advanced Drug Delivery Reviews.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.015>
- No, Y.J., Castilho, M., Ramaswamy, Y., and Zreiqat, H. (2019). Role of Biomaterials and Controlled Architecture on Tendon/Ligament Repair and Regeneration. *Progress Report. Adv. Materials.* DOI: 10.1002/adma.201904511
- Norul, I. M. A., Paridah, M.T., Anwar, U.M.K., Mohd Nor, M.Y., and H'ng, P.S. (2013). *Compos. B Eng.* 45. 1251
- Nouri, L., et al., (2015). Optimization Of A Novel Biocomposite Synthesis Ammi Visnaga Extraction Waste/Alginate For Cd<sup>2+</sup> Biosorption. *Int. J. Biol. Macromol.* 80, 588-595
- Paramitha, T., and Sitompul, J. P. (2020). Characterization of Biocomposites From Polylactic Acid and Cellulose of Oil Palm Empty Fruit Bunch. *JKPK. Vol. 5. No. 3. Chemistry Education Study Program, Universitas Sebelas Maret.* <https://jurnal.uns.ac.id/jkpk>
- Rayung, M., Ibrahim, N.A., Zainudin, M., Saad, W.Z., Razak, N.I.A., and Chieng, B.W. (2014). The Effect of Fiber Bleaching Treatment on the Properties of Poly(lactic acid)/Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Composites. *International Journal of Molecular Sciences* ISSN 1422-0067 [www.mdpi.com/journal/ijms](http://www.mdpi.com/journal/ijms). *Int. J. Mol. Sci.* 15. 14728-14742
- Sahoo, S., Toh, S.L. and Goh, J.C.H. (2010). A Bfgf-Releasing Silk/PLGA-Based Biohybrid Scaffold for Ligament/Tendon Tissue Engineering Using Mesenchymal Progenitor Cells. *Biomaterials.* 31(11): p. 2990-2998
- Sari, N.H., Zainuri, A., & Wahyu, F. (2011). Pengaruh Panjang Serat dan Fraksi Volume Serat Pelepah Kelapa Terhadap Ketangguhan Impact Komposit Polyester. 1(2): ISSN 2008-08

- Schaschke, C., and Audic, J.L. (2014). Editorial: Biodegradable materials. *Int. J. Mol. Sci.* 15, 21468–21475
- Sheikh, Z., Najeeb, S., Khurshid, Z., Verma, V., Rashid, H., and Glogauer, M. (2015). Biodegradable Materials for Bone Repair and Tissue Engineering Applications : A Review. *Open Access Materials.* 8. 5744-5794. doi:10.3390/ma8095273
- Tevlin, R., McArdle, A., Atashroo, D., Walmsley, G.G., Senarath-Yapa, K., Zielins, E.R., Paik, K.J., Longaker, M.T., and Wan, D.C. (2014). Biomaterials for Craniofacial Bone Engineering. *J. Dent. Res.* 93. 1187–1195
- Walden, G., Liao, X., Donell, S., Raxworthy, M., Riley, G., and Saeed, A. (2016). A Clinical, Biological and Biomaterials Perspective Into Tendon Injuries and Regeneration. *Tissue Engineering.* Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/ten.TEB.2016.0181
- Wan Rosli, W.D., Haafiz, M., Kassim, M., and Seeni, Azman. (2011). Cullulosa Phosphate From Oil Palm Biomass as Potential Biomaterials. *BioResources* 6(2). 1719-1740. 1719
- Yan, Z., Meng, X., Su, Y., Chen, Y., Zhang, L., and Xiao, Z. (2021). Double layer composite membrane for preventing tendon adhesion and promoting tendon healing. Elsevier. *Material and Engineering C* 123. 111941. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.111941>
- Younes, R., Hallal, A., Fardoun, F., and Chehade, F. A. (2012). Comparative Review Study on Elastic Properties Modeling for Unidirectional Composite Materials. *ResearchGate.* DOI: 10.5772/50362
- Yuanisa, A., Ulum, K., and Wardani, A.K. (2015). Pretreatment Lignocellulose Oil Palm Stem As Initial Step Making the Second Generation Bioethanol: Reader Review. *Journal of Food and Agro-Industry;* 3: 1620-1626
- Zuhri, M., Yusoff, M., Sapuan, M. S., and Ismail, N. (2009). Tensile Properties of Single Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fibre. *ResearchGate. Sains Malaysiana* 38(4) : 525–529