

**STUDI SIFAT TARIK KOMPOSIT SERAT *BRAIDS* TKKS/PLA  
YANG MENGALAMI *DEGRADASI* DALAM LARUTAN  
*SIMULATED BODY FLUID SOLUTION* (SBF)**

**(SKRIPSI)**

**Oleh**

**FERDO OKTA ARANDA  
1815021027**



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

**STUDI SIFAT TARIK KOMPOSIT SERAT *BRAIDS* TKKS/PLA  
YANG MENGALAMI *DEGRADASI* DALAM LARUTAN  
*SIMULATED BODY FLUID SOLUTION* (SBF)**

Oleh  
**FERDO OKTA ARANDA**

Skripsi  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada  
**Jurusan Teknik Mesin**  
**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



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

**2023**

## ABSTRAK

# STUDI SIFAT TARIK KOMPOSIT SERAT *BRAIDS* TKKS/PLA YANG MENGALAMI *DEGRADASI* DALAM LARUTAN *SIMULATED BODY FLUID SOLUTION* (SBF)

Oleh

Ferdo Okta Aranda

**Abstrak :** Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah limbah dari perkebunan kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit biasanya dijadikan sebagai pupuk dan media tumbuh jamur. Tandan buah segar mengandung 25-34% tandan kosong. Serat TKKS dapat dimanfaatkan sebagai serat alami untuk penguat komposit dan aplikasi biomedis (Biomaterial). *PolyLactic acid* (PLA) telah banyak digunakan sebagai material biomedis karena sifat *biodegradable* dan *biocompatiblenya* sebagai *scaffold*. *Scaffold* berfungsi untuk merangsang tumbuh regenerasi sel dan jaringan baru, yang dapat ter-*degradasi* secara klinis dan biomekanik. Kerusakan pada tendon/ligamen 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 beracun untuk makhluk hidup. Sebelum digunakan serat TKKS diberi perlakuan menggunakan larutan alkali NaOH 5%/3 jam. Selanjutnya komposit PLA/TKKS dibuat dengan metode *hand lay-up* dengan serat *braids* dengan fraksi volume serat 16% dan untuk volume fraksi PLA sebanyak 84%. Serat TKKS dilakukan pengamatan kadar air dan sifat kimia, kemudian komposit PLA/TKKS direndam dengan larutan *simulated body fluid* (SBF) selama 10, 20 dan 30 hari kemudian diuji tarik, dan dilakukan pengamatan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil dari pengujian mekanik terlihat bahwa komposisi PLA/TKKS mengalami *degradasi* ditandai dengan menurunnya kekuatan tarik pada rendaman 30 hari dalam larutan SBF.

Kata kunci : Serat *braids* tandan kosong kelapa sawit, *polylactid acid*, *simulated body fluid*, Sifat tarik, Tendon dan *scaffold*.

## ABSTRACT

# **STUDY OF TENSILE PROPERTIES OF TKKS/PLA BRAIDS FIBER COMPOSITE WHICH EXPERIENCED DEGRADATION IN SIMULATED BODY FLUID SOLUTION (SBF)**

By

Ferdo Okta Aranda

**Abstract :** Palm oil empty bunches (TKKS) are waste from oil palm plantations. Empty oil palm bunches are usually used as fertilizer and a medium for growing mushrooms. Fresh fruit bunches contain 25-34% empty bunches. TKKS fiber can be used as a natural fiber for composite reinforcement and biomedical applications (Biomaterials). Polylactic acid (PLA) has been widely used as a biomedical material because of its biodegradable and biocompatible properties as a scaffold. Scaffolds function to stimulate the growth of new cell and tissue regeneration, which can be degraded clinically and biomechanically. Damage to tendons/ligaments often occurs due to excessive loads, so biodegradable scaffolds made 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 to living creatures. Before use, EFB fiber is treated using an alkaline solution of 5% NaOH/3 hours. Furthermore, the PLA/TKKS composite was made using the hand lay-up method with fiber braids with a fiber volume fraction of 16% and a PLA volume fraction of 84%. The TKKS fiber was observed for water content and chemical properties, then the PLA/TKKS composite was soaked in a simulated body fluid (SBF) solution for 10, 20 and 30 days, then tensile tested, and scanning electron microscope (SEM) observations were carried out. The results of mechanical testing showed that the PLA/TKKS composition experienced degradation, marked by a decrease in tensile strength after 30 days of immersion in the SBF solution.

**Keywords:** Fiber braids empty palm fruit bunches, polylactic acid, simulated body fluid, tensile properties, degradation, tendons and scaffolds.

Judul Skripsi : Studi Sifat Tarik Komposit Serat TKKS/PLA  
Yang Mengalami *Degradasi* Dalam Larutan  
*Simulated Body Fluid Solution* (SBF)

Mahasiswa : **Ferdo Okta Aranda**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815021027

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2



**Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.**

**Zulhanif, S.T., M.T.**

NIP. 19740202 199910 2 001

NIP. 19730402 200003 1 002

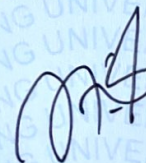
**MENGETAHUI**

Ketua Jurusan

Ketua Program Studi

Teknik Mesin

S1 Teknik Mesin



**Dr. Amrul, S.T., M.T.**

**Novri Tanti, S.T., M.T.**

NIP. 19710331 199903 1 003

NIP. 19701104 199703 2 001

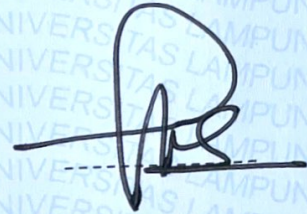
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., Met.**



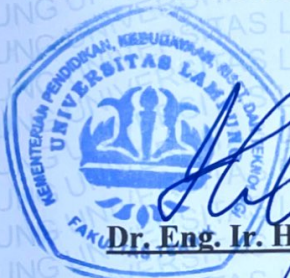
Anggota Penguji : **Zulhanif, S.T., M.T.**



Penguji Utama : **Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. )**

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 November 2023

## PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Skripsi yang berjudul “STUDI SIFAT TARIK KOMPOSIT SERAT TKKS/PLA YANG MENGALAMI *DEGRADASI* DALAM LARUTAN *SIMULATED BODY FLUID SOLUTION (SBF)*” merupakan hasil karya penulis sendiri dan bukan merupakan hasil plagiat siapapun sebagaimana yang diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 16 November 2023  
Penulis,



**FERDO OKTA ARANDA**  
NPM. 1815021027

## **PERSEMBAHAN**

**Skripsi ini didedikasikan untuk kedua orang tua dan keluarga, semoga setiap langkah dan perjuangan selalu di berikan kemudahan dan keberkahan olehnya**



## **MOTTO**

Tidak perlu malu untuk menangis, sebab air mata merupakan saksi dari keberanian manusia yang paling besar. Keberanian untuk menderita.  
(Viktor E.Frank)

Selesaikan apa yang telah kita mulai.  
(Rina Riani)

Jangan malu dengan kegagalanmu, belajarlah darinya dan mulai lagi.

Jika rasa takut mengalahkan kita, kapan keluar dari zona nyaman.

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di prabumulih sumatera selatan pada 21 Oktober 1999 sebagai anak ke tiga dari empat saudara, dari pasangan bapak Herman dan Musnija.

Dalam hal pendidikan, penulis menyelesaikan sekolah dasar di SD Negeri 53 Prabumulih pada tahun 2012. Penulis menyelesaikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 3 prabumulih pada tahun 2015 dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Prabumulih pada tahun 2018.

Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung, penulis terdaftar sebagai anggota HIMATEM dan pernah aktif pada Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) yaitu pada UKM KOPMA, dan UKM Pramuka.

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul **“Studi sifat tarik komposit serat *braids* TKKS/PLA yang mengalami *degradasi* dalam larutan *simulated body fluid solution* (SBF)”**

Adapun adanya penulisan laporan Skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi matakuliah TA ( Tugas Akhir) serta menyelesaikan program studi Teknik Mesin pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selain itu juga dengan adanya pelaksanaan Pembuatan skripsi ini sangat terasa kebermanfaatannya bagi penulis, karena dengan adanya TA ini penulis dapat mengetahui serta mendalami ilmu yang telah dipelajari ketika kuliah serta aplikasikan langsung, dengan itu perbandingan antara teori dengan langsung di praktekan dapat dirasakan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini serta terima kasih yang sebesar- besarnya kepada pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan pembuatan laporan Tugas Akhir, yaitu kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan, dan memberikan semangat serta dukungan baik secara materi maupun moril.
2. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., Sebagai Rektor Universitas Lampung.

3. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., Sebagai Dekan Fakultas Teknik.
4. Dr. Amrul, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Novri Tanti, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T.,M.Met Selaku dosen pembimbing satu skripsi saya, terima kasih atas saran dan masukan dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.
7. Zulhanif, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing dua skripsi saya, terima kasih atas saran dan masukan dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.
8. Prof. Dr. Sugiyanto, M.T., Selaku dosen pembahas skripsi saya, terima kasih atas saran dan masukan dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.
9. Bapak serta Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama perkuliahan.
10. Serta tidak lupa juga saya ucapkan terimakasih pada Rina Riani dan teman-teman teknik mesin yang telah memberikan bantuan serta pengalaman untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap Skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai bahan masukan untuk penyempurnaan penulisan laporan ini di masa mendatang.

Bandar Lampung, 16 November 2023

Penulis,

**Ferdo Okta Aranda**

NPM.1815021027

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>viii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB 1</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
Latar Belakang .....	1
Tujuan Penelitian .....	3
Manfaat Penelitian .....	3
Batasan Masalah.....	3
Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2</b> .....	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
Biopolymer Polylactic Acid (PLA).....	6
Karakteristik dan Potensial Serat TKKS .....	11
Treatment Serat .....	17
Biokomposit .....	18
Pembuatan Komposit .....	21

Curing .....	23
Kadar Air (Moisture).....	24
Uji Tarik .....	24
Biomaterial.....	28
SIMULATION BODY FLUID (SBF) .....	32
Penelitian Terdahulu .....	35
<b>BAB 3 .....</b>	<b>37</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
Waktu dan Tempat Penelitian .....	37
Alat dan Bahan Penelitian.....	38
Pelaksanaan Penelitian .....	46
Diagram Alir .....	54
<b>BAB 4 .....</b>	<b>56</b>
<b>DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>56</b>
Data Hasil Penelitian .....	56
Pembahasan.....	60
<b>BAB 5 .....</b>	<b>90</b>
<b>PENUTUP.....</b>	<b>90</b>
Kesimpulan.....	90
Saran.....	91
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>92</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rumus Srtuktur <i>Poly Lactid Acid</i> .....	6
Gambar 2.2 Klasifikasi komposit dan material penyusunnya.....	19
Gambar 2.3 Komposit unidirectional.....	19
Gambar 2.4 Komposit berpenguat serat.....	20
Gambar 2.5 Metode komposit.....	22
Gambar 2.6 Mesin Uji Tarik .....	25
Gambar 2.7 Spesimen Uji Tarik.....	25
Gambar 2.8 Kurva Tegangan-Regangan.....	27
Gambar 3.1 Polimer PLA 2002D.....	38
Gambar 3.2 Aquades H <sub>2</sub> O .....	39
Gambar 3.3 Serat TKKS .....	40
Gambar 3.4 Alkali NaOH .....	41
Gambar 3.5 Microwave oven.....	42
Gambar 3.6 Timbangan digital .....	43
Gambar 3.7 larutan Simulated Body Fluid Solution.....	44
Gambar 3.8 gelas ukur .....	45
Gambar 3.9 Jangka sorong.....	46
Gambar 3.10 Ilustrasi spesimen braids 6 .....	48
Gambar 3.11 Alat analisis gravimetri .....	51
Gambar 3.12 Alat Uji Struktur Makro .....	52
Gambar 3.13 Spesimen Uji Tarik.....	52
Gambar 3.14 Alat pengujian tarik.....	53
Gambar 3.15 Diagaram alir penelitian .....	55
Gambar 4.1 spesimen sebelum di uji tarik .....	57
Gambar 4.2 Spesimen rendaman 10 hari setelah di uji tarik .....	58
Gambar 4.2 Spesimen rendaman 20 hari setelah di uji tarik .....	58
Gambar 4.2 Spesimen rendaman 10 hari setelah di uji tarik .....	58

Gambar 4.5 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF spesimen A1 .....	62
Gambar 4.6 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF spesimen A2.....	63
Gambar 4.7 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF spesimen A3.....	64
Gambar 4.8 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF spesimen A4.....	64
Gambar 4.9 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF.....	65
Gambar 4.10 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF spesimen B1 .....	67
Gambar 4.11 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF spesimen B2 .....	67
Gambar 4.12 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF spesimen B3 .....	68
Gambar 4.13 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF spesimen B4 .....	69
Gambar 4.14 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF spesimen B5 .....	69
Gambar 4.15 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF.....	70
Gambar 4.16 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 30 hari dalam larutan SBF spesimen C1 .....	72
Gambar 4.17 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 30 hari dalam larutan SBF spesimen C2 .....	72
Gambar 4.18 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 30 hari dalam larutan SBF spesimen C3 .....	73
Gambar 4.19 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 30 hari dalam larutan SBF spesimen C4 .....	74
Gambar 4.20 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 30 hari dalam larutan SBF spesimen C5 .....	74



Gambar 4.21 Grafik uji tarik PLA serat braids direndam 30 hari dalam larutan SBF.....	75
Gambar 4.22 Grafik tegangan rata-rata uji tarik PLA serat braids rendaman dengan larutan SBF selama 10, 20, dan 30 hari.....	77
Gambar 4.23 Grafik regangan rata-rata uji tarik PLA serat braids rendaman dengan larutan SBF selama 10,20, dan 30 hari.....	78
Gambar 4.24 Grafik yield strength rata-rata uji tarik PLA serat braids rendaman dengan larutan SBF selama 10,20, dan 30 hari.....	79
Gambar 4.25 Grafik modulus young rata-rata uji tarik PLA serat braids rendaman dengan larutan SBF selama 10,20, dan 30 hari.....	80
Gambar 4.26 SEM PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF setelah pengujian tarik (pembesaran 500 x).....	82
Gambar 4.27 SEM PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF (pembesaran 10.000 x) pada bagian matrik PLA.....	83
Gambar 4.28 SEM PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF setelah pengujian tarik (pembesaran 50.000 x).....	83
Gambar 4.29 SEM PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF setelah pengujian tarik (pembesaran 500 x).....	84
Gambar 4.30 SEM PLA serat braids direndam 20 hari larutan SBF (10.000 x) pada bagian matrik PLA.....	85
Gambar 4.31 SEM PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF setelah pengujian tarik (pembesaran 50.000 x).....	86
Gambar 4.32 SEM PLA serat braids direndam 30 hari larutan SBF setelah pengujian tarik (pembesaran 500 x).....	86
Gambar 4.33 SEM PLA serat braids direndam 30 hari larutan SBF (10.000 x) pada bagian matrik PLA.....	87
Gambar 4.34 SEM PLA serat braids direndam 30 hari larutan SBF setelah pengujian tarik (pembesaran 5.000 x).....	88
Gambar 4.35 SEM PLA serat braids direndam 30 hari larutan SBF setelah pengujian tarik (pembesaran 50.000 x).....	88

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat mekanik PLA pure dan annelaed.....	7
Tabel 2.2 Karakteristik sifat fisik PLA .....	9
Tabel 2.3 Karakteristik sifat mekanik PLA.....	10
Tabel 2.4 Sifat mekanik dengan high MW PLA.....	10
Tabel 2.5 Sifat fisik serat pendek dan serat panjang TKKS .....	13
Tabel 2.6 Komposisi kimia pada serat TKKS.....	14
Tabel 2.7 Karakteristik sifat tarik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) .	15
Tabel 2.8 Morofologi dan sifat tarik serat TKKS .....	16
Tabel 2.9 Flexural properties matriks dan komposisi.....	21
Tabel 2.10 Mechanical properties human tissue .....	32
Tabel 2.11 Sifat-sifat tarik Tendon/Ligamen (AT: Achilles' tendon) .....	33
Tabel 2.12 perbandingan Ion nominal SBF dengan plasma darah manusia .....	34
Tabel 3.1 Spesifikasi PLA 2002D .....	39
Tabel 3.2 Spesifikasi aquades .....	40
Tabel 3.3 Spesifikasi Air Keran .....	41
Tabel 3.4 Spesifikasi serat TKKS .....	41
Tabel 3.5 Spesifikasi alkali NaOH .....	42
Tabel 3.6 Spesifikasi microwave oven .....	43
Tabel 3.7 Spesifikasi timbangan digital .....	44
Tabel 3.8 Larutan Simulated Body Fluid Solution (SBF).....	45
Tabel 3.9 Spesifikasi gelas ukur .....	46
Tabel 3.10 Spesifikasi jangka sorong .....	47
Tabel 3.11 Parameter pembuatan komposit PLA serat TKKS .....	51
Tabel 3.12 Spesifikasi analisis kadar air .....	52
Tabel 3.13 Spesifikasi alat uji struktur makro .....	53

Tabel 3.14 Hasil pengujian tarik .....	54
Tabel 4.1 uji tarik PLA serat braids direndam 10 hari dalam larutan SBF.....	65
Tabel 4.2 uji tarik PLA serat braids direndam 20 hari dalam larutan SBF.....	71
Tabel 4.3 uji tarik PLA serat braids direndam 30 hari dalam larutan SBF.....	76
Tabel 4.4 Sifat mekanik tendon/ligament dan PLA, PLA/serat TKKS .....	80

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil pertanian yang di perdagangkan, baik untuk industri dalam negeri maupun ekspor. Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Menurut data Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian (kementan) areal perkebunan kelapa sawit terdapat di 26 provinsi di Indonesia. Perkebunan kelapa sawit secara nasional di tahun 2021 memiliki areal seluas 15,08 juta ha, dengan jumlah produksi kelapa sawit nasional sebesar 49,7 ton pada 2021. Provinsi Riau memiliki areal perkebunan kelapa sawit terluas dengan 2,89 juta ha atau 19,16 % dari total luas areal perkebunan kelapa sawit di negeri ini. Peningkatan area perkebunan kelapa sawit dan tingginya produksi minyak sawit di Indonesia ini menyebabkan produksi limbah kelapa sawit pun akan turut meningkat. Pada awal tahun kelapa sawit akan menghasilkan sekitar 20-22 tandan buah pertahun dan semakin tua produktivitasnya akan menurun menjadi 12-14 tandan pertahun. Tandan buah segar mengandung 25-34% tandan kosong.

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.

Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dapat dimanfaatkan sebagai serat alami (tanpa toksisitas) untuk memperkuat sifat mekanik matrik komposit (*Reinforcement*) pada komposit PMC (*Polymer Matrix Composites*). Penggunaan PMC disesuaikan dengan pengaplikasian untuk bahan biomaterial karena biopolymer PLA (Polylactic Acid), dikenal sebagai material yang memiliki sifat *biodegradable*, *bicompatible* dan telah banyak digunakan di bidang biomedis modern (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). Komposit PLA *Self-reinforced* dapat meningkatkan sifat mekanik yang dapat digunakan sebagai aplikasi ortopedi, tulang lunak (*cartilage*), tendon, ligamen dan *tissue engineering* (Gao, et al., 2015). PLA merupakan biomaterial yang dapat digunakan sebagai *Scaffold biodegradable*, yang berfungsi untuk menggantikan bagian jaringan yang mengalami kerusakan dan merangsang pertumbuhan sel dan jaringan untuk tumbuh kembali, tanpa toksisitas dan terdegradasi secara alami kedalam tubuh. Salah satu cara menguji biomaterial dalam cairan tubuh adalah dengan menggunakan larutan SBF. Larutan SBF yang pertama kali dikembangkan oleh Kokubo (1990) mempunyai konsentrasi ion yang hampir setara dengan plasma darah manusia dan pH 7.4 yang mendekati keasaman tubuh. Selain itu, penelitian Kokubo membuktikan bahwa perendaman keramik bioaktif dalam SBF menyebabkan munculnya lapisan apatit pada permukaan keramik. Pembentukan lapisan apatit mengindikasikan bahwa material sintetik dapat berinteraksi dengan tulang induk (Gecer. 2008).

Kerusakan tendon adalah cedera jaringan lunak yang paling umum terjadi, karena faktor usia, kegiatan olahraga dengan pembebanan mekanis yang

terlalu tinggi, Tendon adalah pita yang kuat dan berserat, sel tendon yang mirip dengan sel *fibroblast*, viskoelastik, jaringan ikat yang menambatkan setiap otot tubuh ke tulang, untuk menahan ketegangan dan membantu gerakan. Tendon memiliki kemampuan untuk menahan gaya tarik dan mampu memberikan sistem penyangga yang efisien, menyerap kejutan dan mencegah kerusakan otot (Chen, et al., 2012).

Pada penelitian ini akan menggunakan PLA diperkuat dengan serat TKKS untuk digunakan sebagai material biomedik (biomaterial) yang diharapkan memiliki sifat fisik dan mekanik yang mampu untuk menggantikan sementara pertumbuhan sel dan jaringan tendon, dan untuk mengetahui berapa lama PLA/TKKS *terdegradasi* saya akan melakukan perendaman dengan larutan SBF. Serat TKKS akan *ditreatment* untuk meningkatkan sifat adhesi dan *interfacenya*. PLA dengan anyaman serat bentuk *braids* dikarenakan sesuai dengan serat jaringan otot pada tendon yang berbentuk pintalan, fabrikasi komposit dengan metode *hand lay-up*, dan karakterisasi menggunakan analisis kadar air serat, analisis struktur makro sifat-sifat mekanik diuji dengan uji tarik, dan pengamatan permukaan spesimen SEM-EDX.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Menentukan waktu lamanya degradasi PLA/TKKS dalam larutan *Simulated Body Fluid (SBF)* sebagai *scaffold*.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memanfaatkan nilai tambah dari limbah TKKS menjadi produk yang bernilai tinggi dan mengurangi pencemaran lingkungan dari hasil limbah pertanian.

2. Serat tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai serat penguat pada berbagai material komposit.
3. Mengetahui lama perendaman PLA sampai mengalami *degradasi* dalam larutan *simulated body fluid*.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Permasalahan yang di bahas dalam penelitian ini di batasi dalam beberapa hal 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 matrik PLA dengan susunan serat *braids 6*
5. Perendaman spesimen menggunakan larutan SBF
6. Pengujian fisik dengan analisis kadar air, struktur mikro, pengujian mekanik dengan uji tarik

#### **1.5 Sistemmatika Penulisan**

Adapun sistemmatika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### **BAB 1 : PENDAHULUAN**

Terdiri dari latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistemmatika penulisan dari penelitian ini.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka berisikan tentang teori yang berhubungan dan mendukung masalah yang diambil.

**BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian yaitu, tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan penelitian, prosedur pembuatan dan diagram alir pelaksanaan penelitian.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan hasil penelitian dan pembahasan dari data yang di peroleh setelah pengujian.

**BAB V : SIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

**DAFTAR KEPUSTAKAAN**

Pada bagian ini berisikan literature yang digunakan dalam penelitian dan penyusunan laporan.

**LAMPIRAN**

Pada bagian ini berisikan lampiran-lampiran dan data-data sebagai sumber yang diambil dari laporan ini.

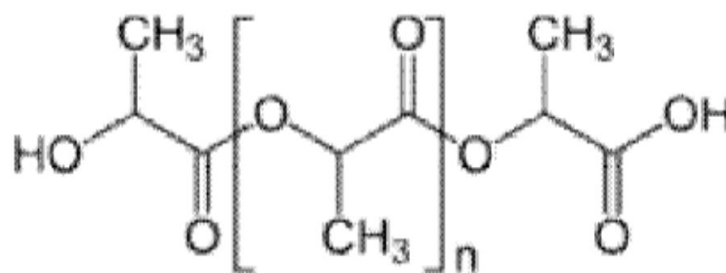


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biopolymer Polylactic Acid (PLA)

Polimer asam polilaktat atau polilaktida adalah poliester asam laktat, dan polimer ini baru-baru ini diperkenalkan secara komersial untuk produk yang menginginkan kemampuan terurai secara hayati. Asam polilaktat adalah polimer serbaguna yang terbuat dari bahan baku pertanian terbarukan, yang difermentasi menjadi asam laktat ( $C_3H_6O_3$ ). Asam laktat kemudian melalui dilakton siklik, laktida, bukaan cincin dipolimerisasi menjadi asam polilaktat  $(C_3H_4O_2)_n$  yang diinginkan. Polimer dimodifikasi dengan cara tertentu, yang meningkatkan stabilitas suhu polimer dan mengurangi kandungan sisa monomer. Asam polilaktat yang dihasilkan dapat diproses sama seperti poliolefin dan termoplastik lainnya meskipun stabilitas termalnya bisa lebih baik.



Gambar 2.1 Rumus Srtuktur *Poly Lactid Acid* (Rahmayetty, et al, 2018)

Penguatan dengan serat merupakan salah satu kemungkinan untuk meningkatkan stabilitas termal. Polimer polilaktida adalah bahan yang

kaku dan rapuh, dan oleh karena itu perlu menggunakan bahan pemlastis untuk meningkatkan sifat pemanjangan dan tumbukan. Polilaktida sepenuhnya dapat terurai secara hayati. Degradasi terjadi melalui hidrolisis menjadi asam laktat, yang dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi air dan karbon monoksida. Dengan pengomposan bersama biomassa lain, biodegradasi terjadi dalam waktu dua minggu, dan material tersebut hilang seluruhnya dalam waktu 3-4 minggu. (Oksman, et al., 2003)

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 (Batteggazzore, 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	M odulus 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 <sub>g</sub> = 45-60 (°C)
7	Notched izod impact, J/m	26	T <sub>m</sub> = 150-162 (°C)
8	Rockwell hardness	88	ρ = 1.21-1.25 (g/cm <sup>3</sup> )
9	Referensi	(Garlotta, 2002)	(Van de Velde, 2002)

### 2.2.1 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 Nano Whiskers* (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 ( $T_g$ ) sebesar  $55^\circ\text{C}$  dan suhu leleh ( $T_m$ ) sebesar  $180^\circ\text{C}$  (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	$\text{g/cm}^3$	1.252
		Melt density	$\text{g/cm}^3$	1.073
2	Specific Heat ( $C_p$ )	$190^\circ\text{C}$	$\text{J/kg}^\circ\text{C}$	2060
		$100^\circ\text{C}$		1955
		$55^\circ\text{C}$		1590
		$T_g$	$^\circ\text{C}$	55
		$T_m$	$^\circ\text{C}$	165
3	Thermal Conductivity	$190^\circ\text{C}$	$\text{W/m}^\circ\text{C}$	0.195
		$109^\circ\text{C}$		(Auras, et al
		$48^\circ\text{C}$		2004)
4	Optical	190-220 nm	UV light transmission	<5%
		225-250 nm		85%
		>300 nm		95%
		L	Visible light transmission	$90.64 \pm 0.21$
		a		$-0.99 \pm 0.01$
		b		$-0.50 \pm 0.04$

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		

Adapun Sifat mekanik dengan *high MW* PLA dapat dilihat pada tabel 2.4 sebagai berikut:

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

No.	Properties		Unoriented	Oriented
1	UTS	Psix10 <sup>3</sup> , MPa	6.9-7.7, 47.6-53.1	6.9-24, 47.6-6
2	Yield strength	Psix10 <sup>3</sup> , 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	g/cm <sup>3</sup>	1.25	1.25
8	T <sub>g</sub>	°C	57-60	57-60

### 2.2.2 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).

## 2.2 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 (Defoird et al., 2010). 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 spesimen yang relative rendah (Cheng et al., 2018). Serat TKKS yang digunakan didalam komposit, *interface* antara serat dan matriks polimer merupakan faktor penting yang memengaruhi 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 *degradibilitasnya* 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 nano komposit 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).

### 2.2.1 Sifat Fisik

Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) memiliki panjang dan diameter yang bervariasi dari satu ujung ke ujung lainnya, diameter yang besar rata-rata berada di bagian 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  $40^\circ\text{C}$  24 jam, sehingga didapatkan *stress*  $526.1 \pm 235.6 \text{ MPa}$  dan *strain*  $0.50 \pm 0.13$  mm dan *stiffness* (E)  $2.0 \pm 1.3$  (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, ( $\mu\text{m}$ )	3.38		
5	Kekasaran (mg/m)	1.37		
6	Indeks kekakuan $(T/D)^3 \times 10^{-4}$	55.43		
7	Referensi	(Sari dkk., 2011)	(Hassan, et al., 2010)	



### 2.2.2 Sifat Kimia

Serat TKKS memiliki kandungan kimia utama berupa selulosa, lignin, hemi selulosa, 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 di hancurkan 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

### 2.2.3 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). Adapun Karakteristik sifat tarik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dapat dilihat pada tabel 2.7 sebagai berikut:

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., 2009)

Untuk sifat morfologi dan sifat-sifat serat TKKS dapat kita lihat pada tabel 2.8 di bawah ini yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.8 Morfologi dan sifat tarik serat TKKS

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

#### 2.3.4 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 di fosforilasi menggunakan metode H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> / P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / Et<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> / 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).

## 2.3 Treatment Serat

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

### 2.3.1 Microwave oven

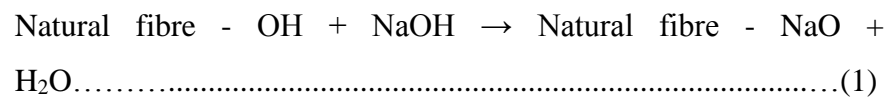
Perlakuan serat menggunakan *microwave oven* untuk mengeringkan dan mengurangi kelembaban. Serat TKKS yang dikeringkan dalam *oven* suhu 80°C selama 6 jam, untuk paduan komposit PLA/TKKS *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs) *composites* (Lakin, et al., 2020). Perawatan serat alam (serat aren) menggunakan *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 dan *tensile strength* yaitu sebesar 5 % (Mohammed, et al., 2018).

### 2.3.2 Alkali NaOH

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, mengurai 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>+</sup> ion untuk menghasilkan (serat-NaO) dan H<sub>2</sub>O (Gomes, et al., 2007).

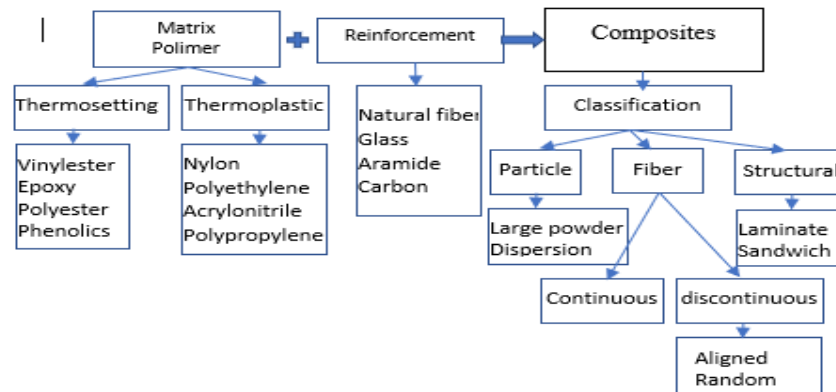


Perendaman pada NaOH selama 7 jam meningkatkan nilai stress 78 MPa, perendaman selama 5 jam didapatkan modulus young 1.40 GPa. Pada struktur mikro serat menunjukkan sifat yang kasar (Faizi, et al., 2017).

## 2.4 Biokomposit

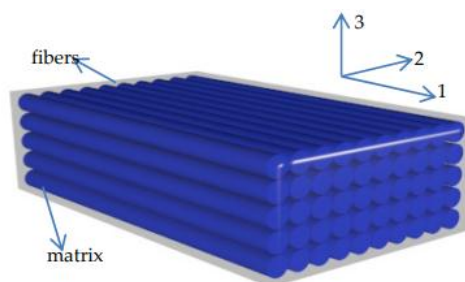
Komposit biomedis atau biokomposit adalah pencampuran serat alami yang dapat berupa serat kayu seperti kayu keras atau kayu lunak, dapat

berupa serat bukan kayu seperti tebu, goni, rami, pisang, nanas, jerami padi, 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). Klasifikasi komposit dan material penyusunnya dapat dilihat pada gambar 2.1 sebagai berikut:

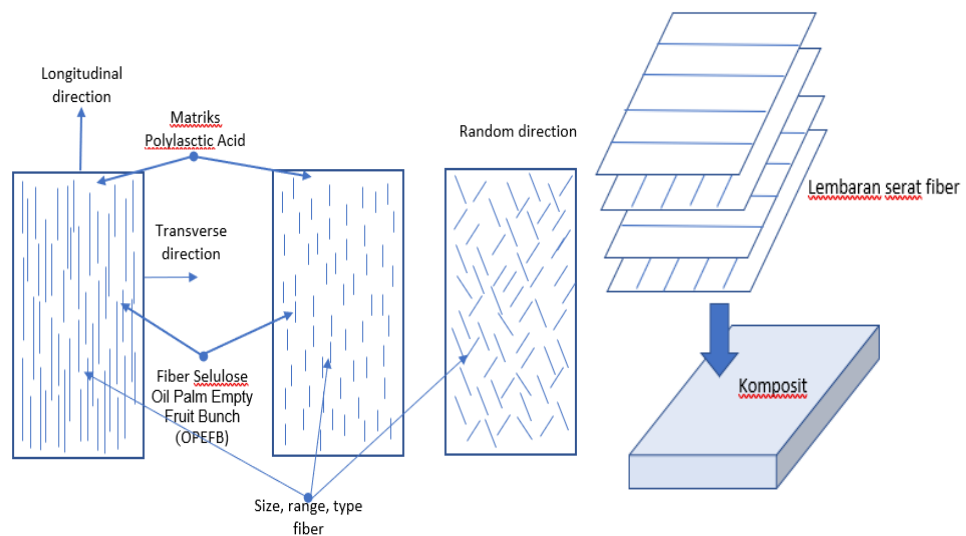


Gambar 2.2 Klasifikasi komposit dan material penyusunnya (Maman, et al., 2019)

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). Komposit *unidirectional* dapat dilihat pada gambar 2.2 dan Komposit berpenguat serat dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut:



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



Gambar 2.4 Komposit berpenguat serat (*Fiberous 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 mempengaruhi *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  $> 0^\circ$  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)

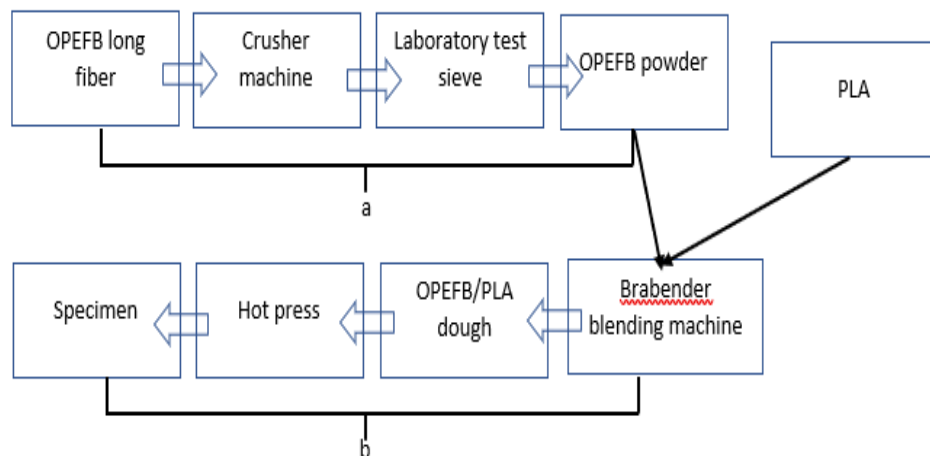
No.	Properties	PP	PLA	Epoxy
1	Flexural modulus, Gpa	1.17(0.17)	3.04(0.16)	2.33(0.11)
2	Flexural strength, Mpa	31.05(0.55)	77.77(1.03)	59.60(0.84)
3	Flexural strain, %	7.38(0.20)	3.76(0.33)	4.78(0.15)
4	UD Composites	OPEFB/PP	OPEFB/PL A	OPEFB/epoxy
5	Fiber volume, %	39.72	39.55	30.00
6	Longitudinal modulus, 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)

## 2.5 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 ( $E_m = 2,7 \pm 0,4 \text{ GPa}$  dan  $\sigma_m = 62,8 \pm 4,9 \text{ MPa}$ ) dihitung menggunakan persamaan yaitu,

$$\Sigma_c = \beta\sigma V + [1 - V] \Sigma_m \dots\dots\dots(2)$$

$$E_c = \beta E V + [1 - V] E_m \dots\dots\dots(3)$$

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.

## 2.6 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).

## 2.7 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).

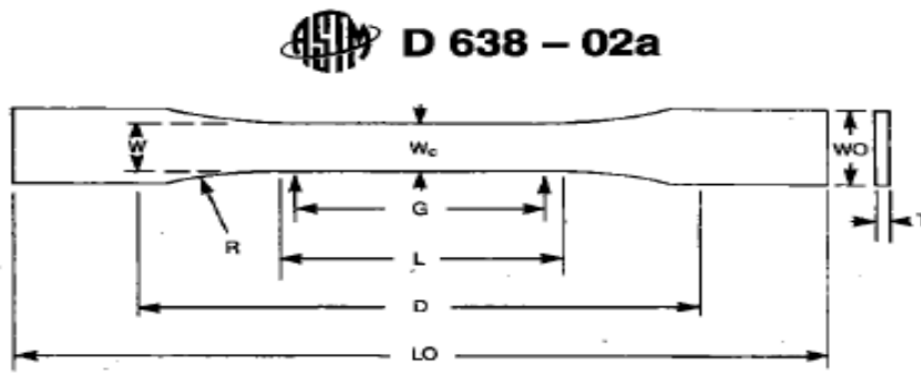
## 2.8 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*) Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1955) mesin uji tarik dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.6 Mesin Uji Tarik (Universal Testing Machine)

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dari bahan komposit. Spesimen pengujian tarik di bentuk menurut standar ASTM D6/38-02 dapat dilihat pada gambar 2.6 (Susilowat, 2017).



Gambar 2.7 Spesimen Uji Tarik (ASTM D6/38-02)

Gaya atau beban yang digunakan untuk menarik suatu spesimen hingga putus disebut gaya maksimum. Jika beban maksimum ini dibagi dengan penampang asal, maka akan diperoleh kekuatan tarik material persatuan luas. Kekuatan tarik mempunyai rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

**F** = Gaya (N)

**A** = Luas permukaan (mm<sup>2</sup>)

Regangan adalah nilai perbandingan sebelum pengujian spesimen ditarik dan sesudah di tarik , antara pertambahan panjang ( **$\Delta L$** ) dibagi dengan panjang awal ( **$L_0$** ).

$$\epsilon_{\text{elastis}} = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

**$\epsilon$**  = Regangan maksimum (%)

**$\Delta L$**  = Pertambahan panjang (mm)

**$L_0$**  = Panjang awal (mm)

Panjang total adalah pertambahan dimana keseluruhan spesimen dari panjang awal dengan panjang yang sudah di ujik tarik saat pertambahan panjang spesimen ( **$\Delta L$** ) ditambah dengan panjang awal spesimen ( **$L_0$** ).

$$L = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

**L** = Panjang total (mm)

**$\Delta L$**  = Pertambahan panjang (mm)

**$L_0$**  = Panjang awal (mm)

Modulus elastisitas (E) adalah kekuatan suatu bahan spesimen yang akan di ujikan terhadap deformasi. Modulus elastisitas ditentukan dari panjang

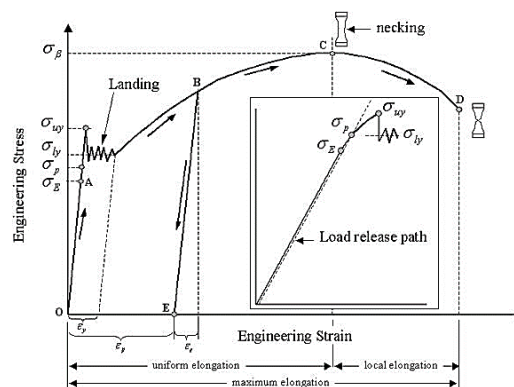
elastis yang terjadi pada garis tegangan ( $\sigma_{\text{elastis}}$ ) dibagi dengan nilai regangan ( $\epsilon_{\text{elastis}}$ ).

$E$  = Modulus elastisitas (Gpa)

$\sigma_{\text{Elastis}}$  = Tegangan elastis (Mpa)

$\epsilon_{\text{elastis}}$  = Regangan elastis (%)

Hubungan antara tegangan dan regangan yang ditampilkan material tertentu dikenal sebagai kurva tegangan-regangan material tersebut. Ini unik untuk setiap bahan dan ditemukan dengan mencatat jumlah deformasi (regangan) pada interval yang berbeda dari berbagai pembebanan (tegangan). Kurva ini mengungkapkan banyak sifat material. Secara umum, kurva yang mewakili hubungan antara tegangan dan regangan dalam segala bentuk deformasi dapat dianggap sebagai kurva tegangan-regangan. Stress dan regangan bisa normal, geser, atau campuran, juga bisa uniaksial, biaksial, atau multialaksi, bahkan berubah seiring waktu. Bentuk deformasi dapat berupa kompresi, peregangan, torsi, rotasi, dan sebagainya. Jika tidak disebutkan sebaliknya, kurva tegangan-regangan mengacu pada hubungan antara tegangan normal aksial dan regangan normal aksial material yang diukur dalam uji tegangan dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.8 Kurva Tegangan-Regangan (Beumer, 1985)

## 2.9 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).

### 2.9.1 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. 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 implan 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, dan perancah (*scaffold*) untuk transplantasi perangsang sel dengan penelitian biologis secara in vitro atau in vivo (Dai, et al., 2010).

### 2.9.2 *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 (Cheng, 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).

Waktu penyembuhan tendon dalam 3 hari akan terjadi serangkaian fenomena berupa luka tendon di isi dengan jaringan granulasi, tidak ada atau hilangnya tensile strength, kontinuitas jaringan dipertahankan oleh jahitan saja. Kemudian yang terjadi pada fase antara 3 sampai dengan 7 hari berupa organisasi jaringan granulasi, tensile strength masih kurang, proses sintesa fibroblas aktif disertai sekresi kolagen dan mukopolasakarida, terjadi pemisahan selsel tendon, tetapi kontribusi untuk penyembuhan minimal diantara bagian distal tendon. Pada fase ini, proses penyembuhan terjadi secara primer yang amat tergantung atas migrasi dan pertumbuhan ke dalam selsel dari jaringan sekitarnya. Selanjutnya antara hari ke8 sampai 14 hari terjadi pula luka tendon di isi dengan

jembatan fibriblas dan kolagen, tensile strength masih sangat terbatas, reaksi proliferasi seluler makin masif dengan fokusnya membentuk dan memperbaiki kontinuitas jaringan dengan cara melibatkan jaringan yang cedera disekitarnya dan semua ini secara bersamasama disebut sebagai “koagulum”. Kemudian dalam 21 hari mulai dapat ditemukan cukup tensile strength untuk mentoleransi gerakan. Proses yang terjadi sesudah masa 3 minggu ditandai dengan pembentukan jaringan parut dan permulaan maturasi, jaringan baru kolagen dan fibroblas menguat, penipisan perlengketan yang memudahkan proses gliding, dan dengan adaptasi struktur subselular molekuler untuk melakukan fungsinya, maka mulai saat ini tendon menjadi sama kuat seperti masa sebelum cedera ( Pohan, 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	-

Untuk Sifat-sifat tarik Tendon/Ligamen dapat kita lihat pada tabel 2.11 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±4 3.2	8.3 ± 2.1%	(Lichtwark and Wilson, 2005)

## 2.10 Simulated Body Fluid (SBF)

Salah satu metode pengujian hidroksiapatit secara biologi adalah *in-vitro*, yaitu pengujian material diluar sistem atau bukan secara langsung terhadap makhluk hidup. Beberapa cara diantaranya dengan menggunakan hewan, sel manusia dan media SBF (*Simulated Body Fluid*). SBF telah banyak digunakan dalam pengaplikasian. Salah satunya, SBF telah digunakan secara luas untuk studi *in-vitro* bioaktifitas jaringan-jaringan keras buatan

dari tubuh manusia (seperti tulang, gigi, *enamel* dan *dentin*) melalui pengujian kemampuan pembentukan apatit didalam fluida. Lingkungan tubuh manusia diketahui dapat mempunyai efek merusak bagi biomaterial, karenanya setiap biomaterial harus diuji untuk melihat pengaruh lingkungan tubuh terhadap sifat biomaterial. Adanya ion dan kondisi tertentu lainnya dalam tubuh mengakibatkan biomaterial dapat kehilangan stabilitasnya, terkorosi, atau bahkan terdegradasi. Degradasi material dalam cairan tubuh bisa merupakan hal yang tidak diinginkan bergantung dari aplikasinya (Cziko. 2013).

Salah satu cara menguji biomaterial dalam cairan tubuh adalah dengan menggunakan larutan SBF. Larutan SBF yang pertama kali dikembangkan oleh Kokubo (1990) mempunyai konsenstrasi ion yang hampir setara dengan plasma darah manusia dan pH 7.4 yang mendekati keasaman tubuh. Selain itu, penelitian Kokubo membuktikan bahwa perendaman keramik bioaktif dalam SBF menyebabkan munculnya lapisan apatit pada permukaan keramik. Pembentukan lapisan apatit mengindikasikan bahwa material sintetik dapat berinteraksi dengan tulang induk (Gecer. 2008). Dengan kata lain, pengujian SBF merupakan salah satu cara *pengujian in vitro* yang terjangkau dan mudah untuk mensimulasikan dan mengamati biokompatibilitas biomaterial dalam tubuh. Untuk perbandingan antara larutan *simulated body fluid solution* (SBF) dengan plasma darah pada manusia yaitu pada tabel 2.12 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.12 perbandingan Ion nominal SBF dengan plasma darah manusia (Hamid, et all., 2015)

No	Ion	SBF (mmol)	Human plasma (mmol)
1	Na <sup>+</sup>	142	142
2	K <sup>+</sup>	5	5
3	Mg <sup>2+</sup>	1.5	1.5
4	Ca <sup>2+</sup>	2.5	2.5
5	Cl <sup>-</sup>	147.8	103
6	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.2	27
7	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	1
8	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.5	0.5
9	PH	7.4	7.2-7.4

Bioaktivitas bahan implan tulang biasanya diuji secara *in vitro* menggunakan simulasi cairan tubuh (SBF). Komposisi SBF umum berbeda dengan plasma darah karena memiliki Cl lebih tinggi dan lebih rendah  $\text{HCO}_3^-$  konsentrasi, yang dapat mempengaruhi komposisi secara *in vitro* membentuk apatit mirip tulang. (Zhou, et, al., 2010)

PLA adalah salah satu jenis polimer biodegradable yang digunakan dalam aplikasi biomaterial, seperti perangkat medis dan implan tulang. Saat PLA direndam dalam cairan tubuh atau SBF, terjadi proses degradasi yang mempengaruhi tingkat penurunan berat dan perubahan struktur fisik PLA. Peningkatan kandungan klorida dalam SBF dapat mempengaruhi tingkat degradasi dan penurunan berat PLA. Klorida dapat berperan sebagai katalis dalam proses degradasi PLA dan menghasilkan produk degradasi yang lebih cepat. Selain itu, peningkatan kandungan klorida dalam SBF juga dapat mempercepat perubahan struktur fisik PLA. Klorida dapat menyebabkan penurunan tingkat kristalinitas PLA, yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan biokompatibilitasnya. Namun, perlu diingat bahwa cairan tubuh adalah medium kompleks yang mengandung berbagai komponen, termasuk ion klorida. Oleh karena itu, peningkatan kandungan klorida dalam SBF saja tidak dapat sepenuhnya merepresentasikan pengaruh cairan tubuh pada perendaman PLA. Faktor-faktor lain, seperti pH, suhu, dan keberadaan enzim, juga dapat mempengaruhi degradasi dan perubahan struktur PLA. Dalam konteks aplikasi biomaterial, peningkatan kandungan klorida dalam SBF dapat digunakan sebagai model eksperimental untuk mempercepat proses degradasi dan mempelajari respon material terhadap kondisi yang lebih agresif.

Pengaruh ion  $\text{HCO}_3^-$  dalam SBF lebih rendah (4.2 mmol) dibandingkan dengan ion  $\text{HCO}_3^-$  dalam plasma darah (27 mmol), yang berarti tingkat bikarbonat dalam SBF lebih rendah daripada dalam plasma darah. Pengaruh ion  $\text{HCO}_3^-$  terhadap perendaman pada PLA dapat mempengaruhi proses degradasi atau biodegradasi PLA.  $\text{HCO}_3^-$  dalam plasma darah dapat

mempengaruhi reaksi kimia dan kecepatan degradasi PLA. Namun, karena ion  $\text{HCO}_3^-$  dalam SBF lebih rendah, pengaruhnya terhadap degradasi PLA mungkin juga lebih rendah dibandingkan dengan pengaruh ion  $\text{HCO}_3^-$  dalam plasma darah.

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Aplikasi Komposit Berbasis PLA (Poly Lactic Acid) untuk *Scaffolding Biomaterial*. PLA merupakan *biopolimer* yang sering digunakan sebagai material biomedis, karena memiliki properties yang baik dan memiliki sifat biodegradable dan biocompatible. Penggunaan PLA atau biokomposit PLA banyak diaplikasikan sebagai bahan pengganti sementara atau scaffold pada tissue engineering seperti skin, tendon, ligamen, cartilage, arteri, aorta dan lain-lain (Saputra, et, al., 2022).

Penambahan serat rami pada PLA dapat meningkatkan sifat mekaniknya yaitu pada PLA murni memiliki kekuatan tarik 50 MPa dan modulus 3,4 GPa setelah di tambahkan serat rami kekuatam komposit PLA/rami dengan modulus 8,3 GPa dan kekuatan tarik 53 MPa dengan penambahan serat rami sebesar 30 % (Oksman, et, al., 2003). Perendaman AZ31 MG pada larutan SBF Setelah perendaman selama 14-21 hari, lapisan pelindung akhirnya terurai oleh larutan dan dapat terjadi korosi pada substrat, sehingga menghasilkan produk yang terbentuk di permukaan (Wilke, et, al., 2015) .

PLA dengan 20%  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  yang direndam dalam larutan SBF selama 0, 1, 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Sampel setelah 1 hari perendaman muncul kristal nukleasi HAp. Setelah 3 atau 7 hari perendaman, kristal HAp tumbuh dengan kepadatan lebih tinggi. Permukaan nanokomposit hampir tertutup seluruhnya dengan kristal HAp setelah 14, 21 atau 28 hari

perendaman dalam larutan SBF. Khususnya, dengan sampel direndam selama 28 hari dalam larutan SBF, kristal HAp tumbuh membentuk blok yang lebih tebal dan menunjukkan degradasi PLA pada nanokomposit. Penggabungan md-HAp dan  $NH_4HCO_3$  porogen sangat meningkatkan porositas dan hidrofilitas nanokomposit. Porositas nanokomposit meningkat dan sifat mekaniknya menurun seiring dengan meningkatnya  $NH_4HCO_3$  kandungan porogen. Hasil karakterisasi, sifat, morfologi dan degradasi PLA/md-Nanokomposit HAp/PEO dengan dan tanpa  $NH_4HCO_3$  Porogen dalam larutan SBF menunjukkan terbentuknya HAp pada permukaan nanokomposit dan proses hidrolisis PLA setelah direndam dalam larutan SBF. (Thanh, et, al., 2016)

Perendaman PLA dalam larutan SBF selama 15, dan 30 hari. Setelah 15 hari degradasi, rata-rata ukuran pori dan porositas perancah PLA40 adalah 67,27 Mm dan 68,55% masing-masing. Ketika degradasi enzimatik selektif diperpanjang hingga 30 hari, rata-rata ukuran pori dan porositas perancah PLA60 meningkat menjadi 80,01 Mm dan 79,88% masing-masing. Hasil ini menunjukkan bahwa memperpanjang waktu degradasi dapat secara efektif meningkatkan struktur mikro berpori dan karakterisasi perancah PLA. Penurunan berat perancah PLA meningkat seiring dengan waktu inkubasi hingga hari ke-240. Setelah direndam dalam larutan SBF selama lebih dari 7 hari, penurunan berat badan lebih banyak terjadi, dan scaffold PLA (sekitar 150 mg) terdegradasi total setelah 8 bulan inkubasi. Perancah TE harus sepenuhnya terdegradasi menjadi produk yang tidak beracun bagi sel, namun laju degradasi harus lambat agar perancah dapat mempertahankan struktur mekanisnya yang kondusif untuk pertumbuhan sel. (Chen, et, al., 2017)

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

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

Adapun waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2023 sampai dengan bulan Agustus 2023.

b. Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu:

1. Proses ekstraksi, perlakuan NaOH, pengeringan, dan perendaman larutan SBF dilakukan di Laboratorium Komposit, Universitas Lampung
2. Proses uji tarik dilakukan di Laboratorium Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
3. Proses uji SEM dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi 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 dan spesifikasinya yaitu pada tabel 3.1 dan PLA dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Polimer PLA 2002D

Tabel 3.1 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 dapat dilihat pada gambar 3.2 dan spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut:



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

Tabel 3.2 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

Penggunaan air keran adalah untuk pencucian awal serat sebelum di rendam menggunakan larutan NaOH, spesifikasi air keran pada tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3 spesifikasi air keran (Sulaksono dan Prasetyo, 2020)

No	spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Air keran (H <sub>2</sub> O)
2	Kandungan kimia	Fe, Mn, Cu, Ca, Na, Cl
3	pH	5.0-8.2

### 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 15-16 mm. Serat TKKS dapat dilihat pada gambar 3.3 dan spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Serat TKKS

Tabel 3.4 Spesifikasi serat TKKS

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Serat TKKS
2	Panjang serat	150-160 mm
3	Asal serat	PT.Perkebunan Nusantara 7
4	Serat <i>braids</i>	Manual 6 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. NaOH dapat dilihat pada gambar 3.4 dan spesifikasi dari NaOH itu sendiri dapat kita lihat pada tabel 3.5 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* dapat dilihat pada gambar 3.5 dan spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.6 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 dapat dilihat pada gambar 3.6 dan spesifikasi dari timbangan digital dapat kita lihat pada tabel 3.7 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. Larutan *Simulated Body Fluid Solution* (SBF)

Larutan *Simulated Body Fluid Solution* (SBF) digunakan untuk *degradasi* PLA selama waktu yang ditentukan, yaitu lama perendamannya 10 hari, 20 hari, dan 30 hari. Larutan *Simulated Body Fluid Solution* (SBF) dapat dilihat pada gambar 3.7 dan spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3.7 larutan *Simulated Body Fluid Solution* (SBF)

Tabel 3.8 Spesifikasi larutan SBF

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama bahan	Simulated Body Fluid Solution
2	Bentuk	Cair
3	Isi bersih	100 gram
4	pH	7,4

#### 8. 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 dapat dilihat pada gambar 3.8 dan spesifikasi dari gelas ukur dapat dilihat pada tabel 3.9 adalah sebagai berikut,



Gambar 3.8 gelas ukur

Tabel 3.9 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 dari serat dan spesimen, untuk pengujian tarik. Jangka sorong dapat dilihat pada gambar 3.9 dan spesifikasi dari jangka sorong dapat dilihat pada tabel 3.10 yaitu sebagai berikut,





Gambar 3.9 Jangka sorong

Tabel 3.10 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

### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian yaitu terbagi menjadi 4 bagian yaitu *treatment* serat TKKS, menyiapkan *braids* serat 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 TKKS dengan jumlah seratnya 6
4. Menyiapkan larutan NaOH 99 % sebanyak 50 gr (5 %) yang dicampurkan dengan aquades 1000 ml
5. Merendam serat TKKS ke dalam 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. Perhitungan fraksi volume serat

Adapun perhitungan fraksi volume serat pada komposit yaitu sebagai berikut,

3.1. Volume komposit ( $v_c$ )

Panjang spesimen = 170 mm (17 cm)

Lebar spesimen = 100 mm (10 cm)

Tinggi spesimen = 4 mm (0.4 cm)

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

$$v_c = 170 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$$

$$v_c = 68.000 \text{ mm}^3 (68 \text{ cm}^3)$$

3.2. Volume serat ( $V_f$ )

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

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

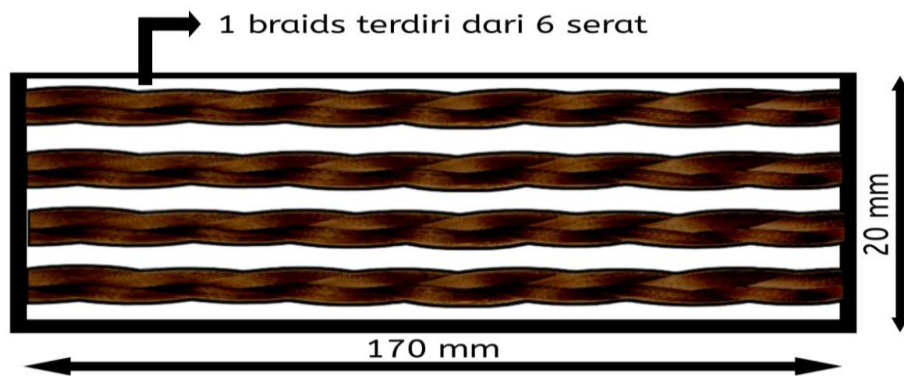
t serat (Panjang serat) rata-rata = 16 cm

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

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

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

Jumlah serat braid 6 = 24 serat / spesimen



Gambar 3.10 Ilustrasi spesimen *braids 6*

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

Serat *braids 6*

$$V_f = \frac{24 \times 0,090746}{13,6} \times 100 \%$$

$$V_f = 16,014 \%$$

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

*Braids 6*

$$V_m = 100 \% - 16,014 \% = 83,986 \%$$

### c. 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 *braids* satu persatu yang dibentangkan dari kedua ujung cetakan
5. Mencairkan PLA menggunakan *furnace* dengan suhu 250 °C
6. Menuangkan PLA cair pada cetakan komposit PLA dengan serat *braids*
7. Meratakan PLA dengan ketebalan 3.5-4 mm selama 10 menit
8. Men-*curing* komposit pada suhu 70 °C selama 30 menit.

### d. 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. dan sebelum di uji tarik serat direndam dengan larutan SBF dengan lama perendaman 10, 20, dan 30 hari.

3. Menyiapkan sampel analisis SEM hasil pengujian tarik.

Tabel parameter penelitian digunakan untuk memudahkan dalam menetapkan pembuatan komposit yang akan digunakan dalam penelitian. Parameter pembuatan komposit PLA serat TKKS dapat dilihat pada tabel 3.11 yaitu sebagai berikut,

Tabel 3.11 Parameter pembuatan komposit PLA serat TKKS

No.	Matriks/serat	Spesifikasi	Susunan	Volume fraksi	Komposit
1	PLA	PLA 2002D	-	PLA : 100 %	PLA murni
2	PLA +Serat TKKS	<i>Braids</i>	Memanjang	PLA :83,96% serat : 16,014%	PLA serat <i>braids</i>

### 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 3.11 dan pada tabel 3.12 sebagai berikut,



Gambar 3.11 Alat analisis gravimetri

Tabel 3.12 Spesifikasi analisis kadar air

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama alat	
2	Kapasitas	
3	Type alat	

#### 3.4.2 Analisis struktur makro

Analisis struktur makro menggunakan alat pembesaran mikroskopi yang bertujuan untuk menganalisis diameter serat tunggal TKKS dan serat *braids*. Alat mikroskopi struktur makro dapat dilihat pada gambar 3.12 dan spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.13 yaitu sebagai berikut:



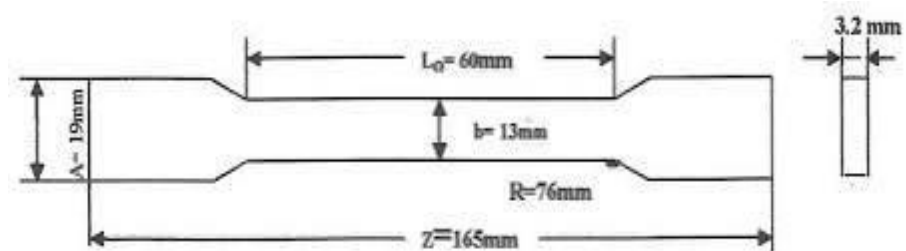
Gambar 3.12 Alat Uji Struktur Makro

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 D638-02 pada gambar 3.13. Alat uji tarik dapat dilihat pada gambar 3.14 dan spesifikasi alat uji tarik dapat dilihat pada tabel 3.13 yaitu sebagai berikut,



Gambar 3.13 Spesimen Uji Tarik (ASTM D6/38-02)

Keterangan:

Lo : Panjang Awal (60 mm)

b : Lebar ( 13 mm)

Z : Panjang Total Spesimen (160 mm)

A : Lebar Spesimen (19 mm)

d : Tebal ( 3-5 mm)



Gambar 3.14 Alat pengujian tarik

Sebelum pengujian yaitu mempersiapkan spesimen 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 5 mm/menit, suhu 25 °C dan kelembapan  $50 \pm 5$  % ditarik dengan beban 5 KN. Kemudian data akan diterima pada perangkat komputer.

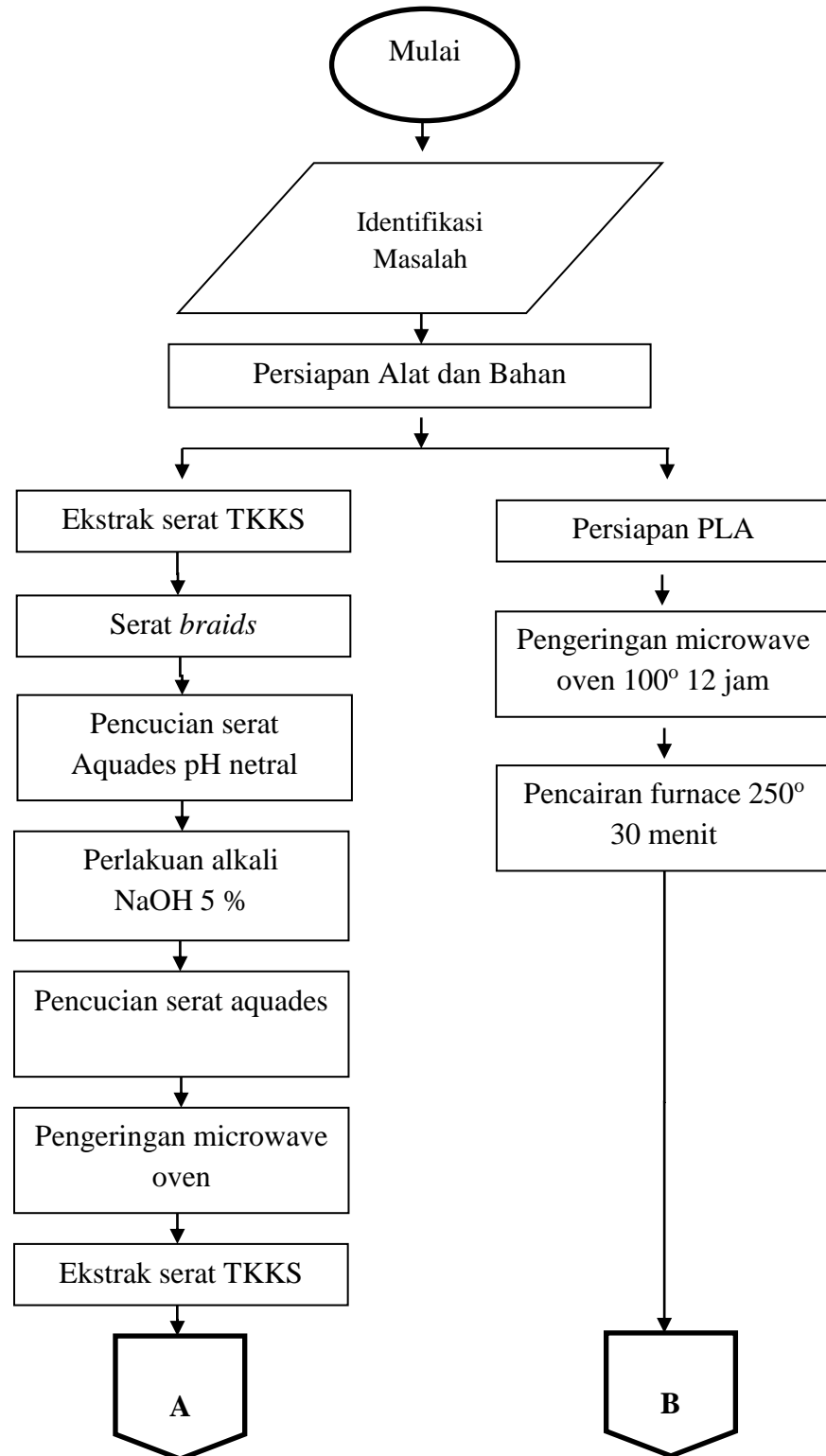
Tabel 3.14 Hasil pengujian tarik

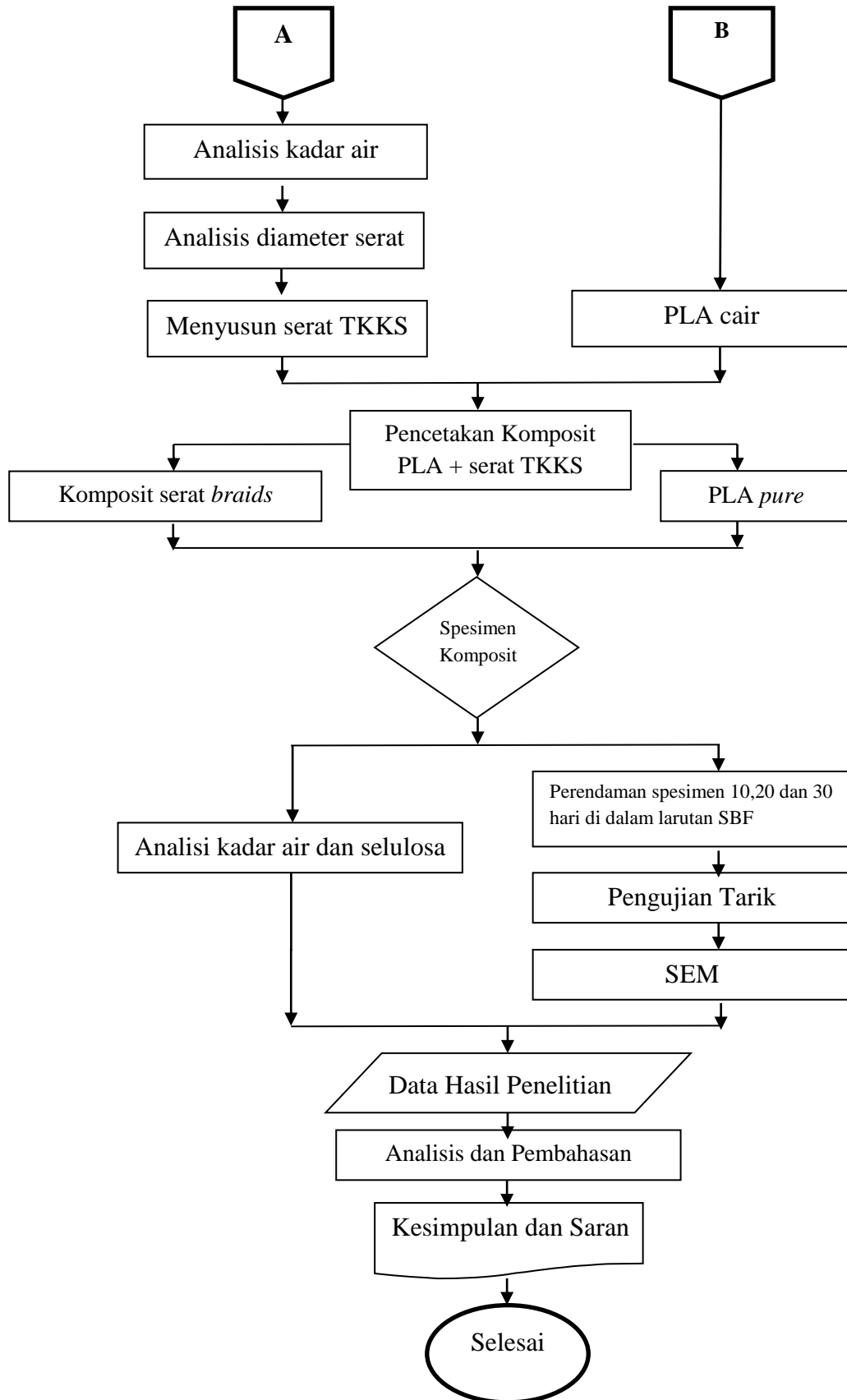
No.	Properties Uji Tarik (Grafik)	PLA <i>non fiber</i>	PLA <i>continous fiber</i>	PLA <i>braids fiber</i>
1	Tensile strength (MPa)			
2	Modulus young (MPa)			
3	Elongation (%)			
4	Yield strength (MPa)			



### 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 3.14 Diagram alir penelitian

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari penelitian studi kekuatan bodi komposit serat *braids* TKKS/PLA yang mengalami *degradasi* dalam larutan *simulated body fluid solution* (SBF) yaitu sebagai berikut,

1. Pada hasil pengujian tarik pada PLA serat *braids* yang telah direndam larutan SBF selama 10, 20 dan 30 hari di dapatkan hasil dari kekuatan tarik tertinggi yaitu pada rendaman 10 hari yaitu sebesar 66.65 MPa, dan terendah pada 0.52 MPa pada rendaman 30 hari. Dapat dilihat bahwa pada hari ke 10 spesimen masih ulet dan pada hari ke 30 spesimen menjadi lebih rapuh atau mudah hancur.
2. *Modulus* elastisitas tertinggi pada rendaman 10 hari sebesar 3205,8 MPa (3,205 Gpa), dan menurun pada hari ke 30 yaitu sebesar 32,07 MPa (0.032 GPa). Dapat dilihat bahwa pada hari ke 10 spesimen bersifat ulet dan pada hari ke 30 spesimen menjadi lebih getas ataupun rapuh.
3. Kekuatan luluh tertinggi pada rendaman 10 hari sebesar 24,71 MPa dan menurun pada spesimen yang telah direndam selama 30 hari sebesar 0.24 MPa, penurunan sifat mekanik terjadi pada minggu kedua dan ketiga pada minggu ke 4 penurunan sifat mekanik terjadi sangat signifikan hal tersebut dikarenakan spesimen mengalami *degradasi* atau spesimen menjadi lebih rapuh.
4. Pada hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa spesimen semakin lama di rendam akan semakin getas di tandai dengan permukaan spesimen menjadi lebih halus. Pada bagian antara serat dan PLA terlihat *interface* yang kurang baik serta terjadi *fiber pull out*.

## 5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian studi kekuatan bodi komposit serat braids TKKS/PLA yang mengalami degradasi dalam larutan *simulated body fluid solution* (SBF) yaitu sebagai berikut,

1. Karakterisasi serat TKKS yang harus lebih diperhatikan untuk meningkatkan kualitas serat
2. Sebaiknya menggunakan metode lain dalam mencetak komposit seperti metode *vacum* untuk mengurangi adanya void dalam mencetak komposit.
3. Sebaiknya temperatur dalam perendaman dengan menggunakan larutan SBF harus konstan supaya hasil perendaman lebih maksimal lagi dari penelitian sebelumnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalahadi, D.M., Abbas, Z., Ahmad, A.F., Matori, K.A., and Esa F. (2018). Controlling the Properties OPEFB/PLA Polymers Composite by Using Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for Microwave Applications. *Fibers and Polymers*. Vol.19. No.7. 1513-1521. doi 10.1007/s12221-018-8118-y
- Ahmad, A.F., Aziz, S. H.A., Abbas, Z., Abdalahadi, 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
- Aisyah, S., Uemura, Yoshimitsu, and Yusup, S. (2014). The Effect of Alkaline Addition in Hydrothermal Pretreatment of Empty Fruit Bunches on Enzymatic Hydrolysis Efficiencies. *Procedia Chemistry*. 9 : 151-157
- 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>
- Araque, M.M.C., Vidaurre, A., Gil S.L., Gironés B.S., Monleón P.M., and Más E.J. (2013). Study of Degradation of a New PLA Braided Biomaterial in Buffer Phosphate Saline, Basic and Acid Media, Intended for the Regeneration of Tendons and Ligaments. *Polymer Degradation and Stability*. 98(9):1563-1570. doi:10.1016/j.polyimdegradstab.2013.06.031
- Ariawan, D., & Wisnu, W.R. (2004). Penentuan Kekuatan Optimum Serat Agave Cantula dengan Mnegunakan 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

- Beg, M.D.H., Akindoyo, J.O., Ghazali, S., Mamun, A.A. (2015). Impact Modified Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber/Poly(Lactic) Acid Composite. World Academy of Science. Engineering and Technology International Journal of Chemical, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering. Vol:9. No:1
- 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
- Buana, S.M.S.A., Pasbaskhsh, P., Gog, K.L., Bateni, F., and Haris, M.R.H. (2013). Elasticity, Microstructure and Thermal Stability of Foliage and Fruit Fibres from Four Tropical Crops. *Fibers and ResearchGate. Polymers.* Vol.14. No.4. 623-629
- Callister, William, D., and David, G.R. (2007). *Materials Science and Engineering an Introduction 7 th Edition.* USA: John Wiley & Sons.
- Chen, C.H., Chang, C.H., Wang, K.C., Su, C.I., Liu, H.T., Yu, C.M., Wong, C.B., Wang, I.C., Whu, S.W., and Liu, H.W. (2011). Enhancement of Rotator Cuff Tendon-Bone Healing With Injectable Periosteum Progenitor Cells-BMP-2 Hydrogel In Vivo. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 19. 1597
- Chen, B., Wang, B., Zhang, W.J., Zhou, G., Cao, Y., and Liu, W. (2012). In Vivo Tendon Engineering With Skeletal Muscle Derived Cells in a Mouse Model. *Biomaterials.* 33. 6086
- 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
- Cziko, M., Bogya, E. S., Barabás, R., Bizo, L., & Stefan, R. (2013). Erratum to: “In vitro biological activity comparison of some hydroxyapatite-based composite materials using simulated body fluid”. *Open Chemistry, 11*(11), 1874-1874.
- 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.
- Dewanti, D. P. (2018). Cellulose potential of empty fruit bunches waste as the raw material of bioplastics. *Jurnal Teknologi Lingkungan, 19*(1), 81
- 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)

- Gao, C., Meng, L., Yu, L., Simon, G.P., Liu, H. and Chen, L. (2015). Preparation and Characterization of Uniaxial Poly(Lactic Acid)-Based Self-Reinforced Composites. Elsevier : Science Direct Composites Science and Technology. [Vol. 117](#). Pages 392-39
- Garcia, M.D.S., and Lagaron. J. M. (2010). On the Use of Plant Cellulose Nanowhiskers to Enhance the Barrier Properties of Polylactic Acid. Springer. Novel Materials and Nanotechnology Group. Cellulose 17:987–1004. DOI 10.1007/s10570-010-9430
- Garlotta, D.J. (2002). Polymer Environ. PP. 63–84
- Gecer.A, N.Yıldız, D.Kavak, dan A.C.alımlı. 2009. "Comparison of Chitosan Apatite Composites Synthesized by Different Methods." Polymer Composite 288-295.
- 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
- Gunawan, F.E., Hooma, H., Brodjonegoro, S. S., Baseri Hudin, A. B., and Zinuddin, A. B. (2009). Mechanical Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber. Journal of Solid Mechanics & Materials Engineering. Vol. 3., No. 7
- Haafiz, M.K.M., Hassan, A., Khalil, H.A., Fazita, M., Islam, M.S., Inuwa, I.M., Marliana, M.M., and Hussin H.A. (2016). Exploring the Effect of Cellulose Nanowhiskers Isolated From Oil Palm Biomass On Polylactic Acid Properties. Elsevier. International Journal of Biological Macromolecules 85 370-378.
- Haafiz, M.K.M., Hassan, A., Khalil, H.A., Imran, K., Inuwa, I.M., Islam, M.S., Hosain, S., Syakir M.I., and Fazita, N. (2016). Bionanocomposite Based on Cellulose Nanowhisiker From Oil Palm Biomass-Filled Poly(Lactic Acid). Elsevier. Polymer Testing. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.10.003>
- Harmaen, A.S., Khalina, A., Faizal, A.R., and Jawaid, M. (2013): Effect of Triacetin on Tensile Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber-Reinforced Polylactic Acid Composites. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 52 : 400–406

- 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
- Hassan, C.S., Durani, V., Salit, M.S., Aziz, N.A., Zuhri, M., and Yusoff, M. (2018). Mechanical and crash performance of unidirectional oil palm empty fruit bunch fibre-reinforced polypropylene composite. Bioresources. 8310-8328
- Hassan, C.S., Pei, Q., Sapuan, S.M., Aziz, N.A., and Yusoff, M.Z.M. (2018). Crash Performance of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fibre Reinforced Epoxy Composite Bumper Beam using Finite Element Analysis. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. Vol. 15. Issue 4 pp. 5826-5836. Universiti Malaysia Pahang. Malaysia
- Hassan, C.S., Yeo, C.W., Sahari, B., Salit, M.S., and Aziz, N.A. (2017). Mechanical Properties of Unidirectional Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fiber Reinforced Epoxy Composite. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 206 012045 doi:10.1088/1757-899X/206/1/012045
- 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
- James, R., Kumbar, S.G., Laurencin, C.T., Balian, G., and Chhabra, A.B. (2011). Tendon Tissue Engineering: Adipose-Derived Stem Cell and GDF-5 Mediated Regeneration Using Electrospun Matrix Systems. Biomed. Mater. 6. 025011
- Jamshidian, M., Arab-Tehrany, E., Imran, M., Jacquot, M., and Desobry, S. (2010). Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 9.PP. 552-571



- Jones and Robert M. (1975). *Mechanics Of Composite Materials* (Materials Science & Engineering Series). Scripta Book Co. Washington
- Karim, M.H.A., Shah, M.K.M., Jundam, M.F., and Abdullah, S. (2020). Investigation of Tensile Properties of the Eco-Board of Hybrid Composite that Consist of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fiber Added with Rice Husk. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 834 (2020) 012012 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/834/1/012012
- Kaux, J.F., Janssen, L., Drion, P., Nusgens, B., Libertiaux, V., Pascon, F., Heyeres, A., Hoffmann, A., Lambert, C., Le Goff, C., Denoel, V., Defraigne, J.O., Rickert, M., Crielaard, J.M., Colige. (2014). A. Vascular Endothelial Growth Factor-111 (VEGF-111) and Tendon Healing: Preliminary Results in a Rat Model Of Tendon Injury. *Muscles Ligaments Tendons J* 4. 24
- Kokubo, T. (1991). Bioactive glass ceramics: properties and applications. *Biomaterials*, 12(2), 155-163.
- Lakin, I.I., Abbas, Z., Azis, R.S., Ibrahim, N.A., and Rahman, N.A.A. (2020). The Effect of MWCNTs Filler on the Absorbing Properties of OPEFB/PLA Composites Using Microstrip Line at Microwave Frequency. *Mdpi. Journal. Material*. 13. 4581. doi:10.3390/ma13204581
- 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
- Longo, U.G., Ronga, M., and Maffulli, N. (2018). *Sports Medical. Arthrosc. Rev.* 26. 1
- 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.
- Middleton, J.C. and Tipton, A.J. (2000). *Synthetic Biodegradable Polymers as Orthopedic Devices.* Elsevier: *Biomaterials* 21.2335–2346

- Mohammed, A.A., Bachtiar, D., and Rejab, M.R.M., and Siregar, J.P. (2018). Effect of Microwave Treatment on Tensile Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced Thermoplastic Polyurethane Composites. Elsevier : Defence technology. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.05.008>
- Mohammed, A.A., Bachtiar, D., Rejab, M.R.M., and Hasany, S.F. (2017). Effect of Potassium Permanganate on Tensile Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced Thermoplastic Polyurethane. Universiti Malaysia Pahang: Indian Journal of Science and Technology, Vol 10(7), DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i7/111453
- Mohammed, A.A., Bachtiar, D., Siregar, J.P., Rejab, M.R.M., and Hasany, S.F. (2016). Physicochemical Study of Eco-Friendly Sugar Palm Fiber Thermoplastic Polyurethane Composites. BioResources 11(4). 9438-9454. DOI: 10.15376/biores.11.4.9438-9454
- 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>

- Pohan, E. S. D., and Pohan, D. J., (2018). RUPTUR TENDON DAN PENANGANANNYA: PERBANDINGAN KEKUATAN JAHITAN TEKNIK CROSS STITCH DAN TEKNIK KESSLER MODIFIKASI. Vol. 5. No.1. Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Indonesia, Jakarta
- 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
- Saputra, R.A., Savetlana, S., and Sukmana, I. (2022). Aplikasi Komposit Berbasis PLA (Poly Lactic Acid) untuk Scaffolding Biomaterial. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. Vol. 15 No. 2, 67-76. Lampung : Universita Lampung.
- 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
- Shibata, M., Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R., and Takeishi, H. (2003). Biocomposites Made from Short Abaca Fiber and Biodegradable Polyesters. *Macromol. Mater. Eng.* 288, 35–43. Chiba Institute of Technology
- Singhvi, M., and Gokhale, D. (2013). Biomass to Biodegradable Polymer (PLA). *RSC Adv* 3. PP. 13558–13568
- 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
- Thanh, D. T. M., Trang, P. T. K., Thom, N. T., Phoung, N. T., Nami, P. T., Park, J., and Hoang, T., (2016). Effects of Porogen on Structure and Properties of Poly Lactid Acid/Hidroxyapatite Nanocomposites (PLA/HAP). Vol. 16. No. 9, 9450–9459, [www.aspbs.com/jnn](http://www.aspbs.com/jnn)

- Turnip, N.J.R., Lee, H.W., Sitompul, J.P., and Paramitha, T. (2017). Characteristic Study of Biocomposite Film Poly Lactic Acid (PLA) and Cellulose From Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB). ResearchGate. International Seminar on Chemical Engineering. In conjunction with Seminar Soehadi Reksowardojo (STKSR)
- Tran, L.Q.N., Fuentes, C.A., Dupont-gillain, C., Van Vuure, A.W., & Verpoest, I. 2013. *Compos. Sci. Technol*
- Umar, S. (2008). Potensi Limbah Kelapa Sawit dan Pengembangan Peternakan Sapi Berkelanjutan di Kawasan Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Wawasan*. Vol 13. No.3
- Uysal, C.A., Tobita, M., Hyakusoku, H., and Mizuno, H. (2012). Adipose-Derived Stem Cells Enhance Primary Tendon Repair: Biomechanical and Immunohistochemical Evaluation. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 65. 1712
- Van de Velde. K.P. (2002). *Kiekens, Polymer Studies Test*. 21. PP. 433–442
- 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
- Wilke, B. M., Zhang, L., Li, W., Ning, C., Chen, C., and Gu, Y., (2015) Corrosion performance of MAO coatings on AZ31 Mg alloy insimulated body fluid vs. Earle’s Balance Salt Solution. *Applied Surface Science* 363. 328–337.
- 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>
- Yee, Y.Y., Ching, Y.C., Rozali, S., Hashim, N.A., and Singh, R. (2016). Preparation and Characterization of Poly(Lactic Acid) Based Composite Reinforced with Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber (OPEFB) and Nanosilica. *BioResources* 11(1). 2269-2268
- Ye, C., Ma, G., Fu, W., and Wu, H. (2015). Effect of Fiber Treatment on Thermal Properties and Crystallization of Sisal Fiber Reinforced Polylactide Composites. *SAGE : Journal of Reinforced Plastics and Composites*. Vol. 34(9) 718–730

- 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
- Zhou, W., Shen, T., Aung, N., (2009). Effect of heat treatment on corrosion behaviour of magnesium alloy AZ91D in simulated body fluid : *School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, 50 Nanyang Avenue, Singapore.*
- 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