

DISERTASI

**KARAKTERISASI PATI SAGU (*Metroxylon SP*) DALAM
MENGEMBANGKAN MATERIAL BIOPLASTIK**

**CHARACTERIZATION OF SAGO (*Metroxylon SP*) STARCH
IN DEVELOPING BIOPLASTIK MATERIALS**

**BUDIAWAN SULAEMAN
D043181001**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PENGAJUAN DISERTASI

KARAKTERISASI PATI SAGU (*Metroxylon SP*) DALAM MENGEMBANGKAN MATERIAL BIOPLASTIK

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Program Studi Ilmu Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

**BUDIAWAN SULAEMAN
D043181001**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



HALAMAN PERSTUJUAN

KARAKTERISASI PATI SAGU (*Metroxylon SP*) DALAM MENGEMBANGKAN MATERIAL BIOPLASTIK

BUDIAWAN SULAEMAN
D043181001

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam
rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 22 Desember 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Promotor



Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT.
NIP. 195912 20198601 1 001

Co-Promotor 1



Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
NIP. 19711221 199802 1 001

Co-Promotor 2



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT
NIP. 19740415 199903 1 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



uhammad Isran Ramli, S.T., M.T.,
M., ASEAN Eng.
9730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S3 Teknik Mesin



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., MT
NIP. 19760216 201012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : **Budiawan Sulaeman**
Nomor mahasiswa : D043181001
Program studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul **“KARAKTERISASI PATI SAGU (*Metroxylon SP*) DALAM MENGEMBANGKAN MATERIAL BIOPLASTIK”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT., (Promotor), Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT (co-Promotor 1) dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT (co-Promotor 2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini.

Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Prosiding *The 4 International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering (ICITAMEE)*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta 9 – 10 Agustus 2023 sebagai artikel dengan judul **“Microstructure and Mechanical Properties of Sago Starch Bioplastiks (*Metroxylon*) as Biodegradable Plastics”** dan di Jurnal *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, Halaman 6 – 16 dan DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289626. ISSN 1729-3774 sebagai artikel dengan judul **“Development of Bioplastiks from Tawaro’s Environmentally Friendly Sago Starch (*Metroxylon*)”**.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 4 November 2023

Yang menyatakan



Budiawan Sulaeman

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji penulis haturkan kepada Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahnya sehingga Seminar Kemajuan Satu dalam penyusunan Disertasi dapat diselesaikan dengan judul, “**KARAKTERISASI PATI SAGU (*Metroxylon sp.*) DALAM MENGEMBANGKAN MATERIAL BIOPLASTIK**”.

Dalam perjalanan proses penyelesaian Program Doktorat, penulis memperoleh suatu kesadaran yang tinggi untuk membenahi keterbatasan kemampuan yang dapat meningkatkan wawasan dalam mengikuti suatu perubahan ilmu dan pengetahuan. Kesadaran inilah yang memberikan motivasi tinggi untuk terus meningkatkan kembali bahwa menggali ilmu pengetahuan harus dilakukan melalui proses yang terus menerus berjalan.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan disertasi ini bisa diselesaikan karenanya banyaknya bantuan dari berbagai pihak, baik yang sifatnya bantuan materil maupun bantuan moril. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT., Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT dan Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin dan bertindak selaku Promotor dan co-Promotor. Kecerdasan, keluasan wawasan yang kritis, kearifan beliau selalu memberikan waktu untuk berdiskusi dan mengarahkan, mendorong penulis. Agar senantiasa belajar dan bertindak dengan lebih teliti dan hati – hati serta tidak mudah patah semangat. Serta Kepada Bapak Rektor Universitas Hasanuddin Bapak Prof. Dr. Jamaluddin Jompa, M.Sc., dan Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo, ST., MT sebagai Ketua Prodi S3 Teknik Mesin, yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan di Departemen Teknik Mesin Program Studi S3 di Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Para dosen yang tidak sempat disebutkan satu persatu yang telah banyak memotivasi, mendorong dan berdiskusi dengan penulis hingga menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Serta rekan-rekan mahasiswa seperjuangan pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.



Untuk semua itu semoga Allah SWT., senantiasa dapat memberikan balasan yang baik serta kesejahteraan dan mudah-mudahan tulisan ini juga dapat memberikan untuk kepentingan ilmu dan pengetahuan.

Amin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Gowa, 4 November 2023

Penulis

Budiawan Sulaeman



ABSTRAK

Dalam menghadapi ancaman serius terhadap ekosistem dan lingkungan akibat peningkatan sampah non-organik, penelitian ini mengeksplorasi penggunaan material terbarukan, seperti bioplastik dari pati tanaman, untuk mengatasi dampak negatif pencemaran. Pati sagu tawaro (STA) dan Tawaroduri (STB) telah dikarakterisasi sifat mikrostrukturnya, dan ditemukan bahwa pati sagu STA lebih unggul untuk digunakan sebagai pengembangan bahan bioplastik. Hal ini dapat dilihat dari warna yang lebih bersih, struktur granula yang lebih baik, dan kemurniannya. Selain itu, kandungan karbon pada pati STA mencapai 34,51%, lebih tinggi daripada karbon pada pati STB. Tingginya persentase karbon ini dapat menghasilkan rantai karbon yang lebih panjang atau struktur cincin yang beragam, sehingga membentuk bioplastik dengan sifat mekanis yang lebih kuat. Pati sagu STA dimodifikasi dengan metode *Heat Moisture Treatment (HMT)* untuk menyeragamkan kandungan air dalam pati dengan suhu 100°C, dengan variasi waktu yang berbeda, yaitu 2 jam (kandungan air 11,32%), 4 jam (kandungan air 7,10%), dan 5 jam (kandungan 0%). Metode *hand lay-up* digunakan untuk pembuatan 4 spesimen bioplastik (kandungan air 34,9% sebagai kontrol). Pati sagu STA dengan kadar air 0,0% pada spesimen D bioplastik, menunjukkan nilai tegangan tarik mencapai 0,227 N/mm² dan nilai *modulus elastisitas* mencapai 1,097 N/mm². Nilai kuat tarik meningkat akibat perlakuan HMT terhadap pati sagu, hal ini terjadi karena kadar air rendah yang terkandung dalam granula pati merata. Sehingga, daya serapan *liquid* meningkat dan unsur lain terdistribusi dengan baik. Pada saat proses glatinisasi berlangsung, terjadi peningkatan interaksi antara rantai pati dan meningkatkan kesempurnaan kristalinitas. Hasil ini juga didukung oleh komposisi kandungan amilosa yang tinggi, yang memiliki struktur rantai linier. Kelinieran struktur molekulnya berpengaruh terhadap homogenitas dan dispersi energi saat dilakukan uji tarik, di mana energi yang diteruskan pada rantai linier jauh lebih besar dibanding pada rantai bercabang. Selanjutnya, bioplastik (Spesimen D) diberikan paparan sinar UV dengan variasi waktu 24 jam (D1UV24), 48 jam (D2UV48), dan 72 jam (D3UV72). Fotodegradasi ini mempengaruhi kekuatan mekanik dengan meningkatkan nilai untuk spesimen D1UV24 (0,406 N/mm²), D2UV48 (0,619 N/mm²), dan D3UV72 (0,538 N/mm²). Namun, pada spesimen D2UV48 terjadi penurunan sudut kontak akibat proses oksidasi berhenti sesaat karena perubahan/penyesuaian rantai kimia yang terkandung pada spesimen. Penyesuaian ini terjadi akibat paparan radiasi sinar ultraviolet. Pengujian mikroba menunjukkan bahwa *Bacillus subtilis* dapat secara efektif mendegradasi bioplastik yang mengandung pati sagu. Penggunaan pati sagu STA dan modifikasi HMT berpotensi menghasilkan bioplastik dengan sifat mekanik yang baik dan ramah lingkungan. Ini memberikan kontribusi positif dalam pengembangan solusi berkelanjutan untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan oleh sampah non-organik.



nci : Pati sagu, HMT, Fotodegradasi, *Bacillus subtilis*, Material terbarukan

ASBTRACT

Facing a serious threat to ecosystems and the environment due to the increasing amount of non-organic waste, this study explores the use of renewable materials, such as bioplastics made from plant starch, to mitigate the negative impacts of pollution. Sago starch from Tawaro (STA) and Tawaroduri (STB) has been characterized for its microstructural properties, revealing that STA is superior for the development of bioplastic materials. This is evident in its cleaner color, better granule structure, and higher purity. Additionally, the carbon content in STA starch reaches 34.51%, higher than that in STB starch. This high carbon percentage can result in longer carbon chains or diverse ring structures, forming bioplastics with stronger mechanical properties. STA sago starch is modified using the Heat Moisture Treatment (HMT) method to standardize the water content in the starch at 100°C, with different durations: 2 hours (water content 11.32%), 4 hours (water content 7.10%), and 5 hours (water content 0%). The hand lay-up method is employed to create four bioplastic specimens (with 34.9% water content as a control). STA sago starch with 0.0% water content in specimen D bioplastic shows a tensile strength of 0.227 N/mm² and an elastic modulus of 1,097 N/mm². The tensile strength increases due to the HMT treatment of sago starch, as the low water content in the starch granules becomes uniform. Consequently, liquid absorption increases, and other elements are evenly distributed. During the gelatinization process, there is an enhancement of interactions between starch chains, improving crystallite perfection. This outcome is supported by the high amylase content, which has a linear chain structure. The linearity of the molecular structure influences the homogeneity and energy dispersion during the tensile test, with greater energy transmitted to linear chains than branched chains. Furthermore, the bioplastic (Specimen D) is exposed to UV radiation for different durations: 24 hours (D1UV24), 48 hours (D2UV48), and 72 hours (D3UV72). This photodegradation affects mechanical strength, increasing values for specimens D1UV24 (0.406 N/mm²), D2UV48 (0.619 N/mm²), and D3UV72 (0.538 N/mm²). However, in specimen D2UV48, there is a decrease in the contact angle due to the temporary cessation of oxidation processes caused by adjustments to the chemical chains in the specimen. This adjustment occurs due to exposure to ultraviolet radiation. Microbial testing indicates that *Bacillus subtilis* can effectively degrade bioplastics containing sago starch. The use of STA sago starch and HMT modification has the potential to produce environmentally friendly bioplastics with good mechanical properties. This contributes positively to the development of sustainable solutions to address environmental pollution caused by non-organic waste.

Keywords : Sago starch, HMT, Photodegradation, *Bacillus subtilis*, Renewable materials



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSTUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ASBTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN UMUM.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	5
I.3 Tujuan Penelitian.....	5
I.4 Batasan Penelitian	6
I.5 Manfaat Penelitian	6
I.6 Ruang Lingkup Penelitian.....	7
BAB II KERANGKA KONSEPTUAL	8
DAN HIPOTESIS PENELITIAN.....	8
II.1 Kerangka Konseptual	8
II.1.1 Pati Sagu.....	8
II.1.2 Pemisahan Pati sagu.....	9
II.1.3 Jenis Pati Sagu.....	10
II.1.4 Bioplastik	11
II.1.5 Kandungan Amilosa dan Amilopektin Pati sagu	14
II.1.6 Heat Moisture Treatment	16
7 Material Bioplastik dari Pati	18
3 Pengujian Mekanik.....	19
9 Fotodegradasi.....	23
10 Contact Angle.....	24



II.1.11	Pengujian Mikroba	26
II.1.12	Rencana Penelitian	28
II.2	Hipotesis Penelitian	29
BAB III TOPIK PENELITIAN I KARAKTERISTIK DAN		
MIKROSTRUKTUR BIOPLASTIK PATI SAGU (Metroxylon SP) SEBAGAI		
BIOGREDIBLE PLASTIK.....		
III.1	Abstrak	30
III.2	Pendahuluan	31
III.3	Metodologi Penelitian	32
III.3.1	Pengolahan Pati Sagu	32
III.3.2	Karakterisasi Komposisi Amilosa dan Amilopektin.....	34
III.3.3	Uji Mikrostruktur	35
III.3.4	Pengujian Tarik	35
III.4	Hasil dan Pembahasan.....	35
III.4.1	Pengujian Microstruktur Pati Sagu	36
III.4.2	Heat Moisture Tereatment (HMT) Pati Sagu.....	49
III.4.3	Pembuatan Spesimen Pati Sagu Bioplastik.....	53
III.4.4	Spesimen Pengujian Mekanik Bioplastik Sagu.....	56
III.4.5	Karakterisasi Mikrostruktur Spesimen Bioplastik	60
III.5	Kesimpulan.....	35
III.6	Daftar Pustaka	66
BAB IV TOPIK PENELITIAN II KARAKTERISTIK BIOPLASTIS SAGU		
(Metroxylon sp.) SETELAH PAPARAN RADIASI ULTRAVIOLET.....		
IV.1	Absrak.....	70
IV.2	Pendahuluan	71
IV.3	Metodologi Penelitian	74
IV.3.1	Pengujian Biodegradable Material oleh Paparan Cahaya Ultra Violet 74	
IV.3.2	Uji Mikrostruktur.....	75
IV.3.3	Pengujian Tarik	76
IV.3.4	Metode <i>Time Series Decomposition</i>	76
.5	Sudut Kontak (<i>contact angle</i>)	78
.6	Pengujian Mikroba	79
IV.3.4	Hasil dan Pembahasan.....	80
.1	Pengujian Biodegradable	80



IV.4.2	Fourier Transform Infra-Red (FTIR)	82
IV.4.3	Scanning Electron Microscopy (SEM)	87
IV.4.4	Pengujian Mekanik.....	88
IV.4.5	Pengujian Contact Angle.....	91
IV.4.6	Pengujian Mikroba	93
IV.5	Kesimpulan.....	97
IV.6	Daftar Pustaka	98
BAB V PEMBAHASAN UMUM.....		102
V.1	Kemajuan Satu.....	102
V.2	Kemajuan Dua.....	105
BAB VI KESIMPILAN DAN SARAN.....		109
VI.1	Kesimpulan.....	109
VI.2	Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA		111



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Kreteria, ambang batas dan metode uji/verifikasi SNI 7188.7:2016.....	12
Tabel 2.	Kadar amilosa dan amilopektin pati sagu	37
Tabel 3.	Data awal material pati sagu	49
Tabel 4.	Hasil <i>Heat Moisture Treatment (HMT)</i>	50
Tabel 5.	Data Pati Sagu Sebagai Material dasar Bioplastik	53
Tabel 6.	Persentase komposisi bioplastik sagu	55
Tabel 7.	Data Spektrum IR Spesimen	62
Tabel 8.	Kode spesimen paparan Sinar Ultraviolet.....	75
Tabel 9.	Data Spektrum IR Spesimen gugus C=O karbonil.....	85
Tabel 10.	Data Spektrum IR Spesimen gugus C-O daerah <i>fingerprint</i>	86
Tabel 11.	Pengamatan Pengujian Bakteri.....	95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Pohon Sagu di Kecamatan Telluwanua Kota Palopo	8
Gambar 2.	Jenis Sagu Tawaro (a) dan Tawaro Duri (b)	9
Gambar 3.	Proses Pengolahan Pati sagu	10
Gambar 4.	SEM Bentuk Granula pati sagu (perbesaran 1.500×).....	10
Gambar 5.	Amilosa (a) dan Amilopektin (b)	14
Gambar 6.	Metode <i>Hand lay-up</i> Bioplastik	18
Gambar 7.	Mesin uji tarik yang dilengkapi spesimen ukuran standar	20
Gambar 8.	Dimensi benda pengujian tarik (ASTM D 638)	21
Gambar 9.	Contoh kurva uji tarik.....	22
Gambar 10.	Rencana Penelitian	28
Gambar 11.	(a) Batang sagu yang sudah dipotong dengan uk 65 – 75 cm, (b) batang sagu yang telah dipisahkan dengan kulitnya, (c) empulur/isi batang sagu (d) proses pamarutan batang sagu. ..	33
Gambar 12.	(a) Tapisan pertama 2 x 2 mm, (b) Tapisan kedua kain sutra (c) proses pemisahan pati dan serat (d) bak penampungan pati sagu.....	33
Gambar 13.	(a) Pengendapan pati sagu, (b) mengganti air/aquades setiap 1 x 24 jam (c) menyaring pati menggunakan mesh 100 dan mesh 200 (d) memisahkan aquades dan pati sagu.....	34
Gambar 14.	Pati Tawaro (STA) dan Pati Tawaroduri (STB).....	36
Gambar 15.	Difraktogram pati tawaro (STA) dan pati tawaroduri (STB) .	40
Gambar 16.	Spektrum FT-IR pati tawaro (STA) dan pati tawaroduri (STB)	41
Gambar 17.	Bentuk Granula pati sampel STA (a) Perbesaran 240x (b) Perbesaran 500x.....	43
Gambar 18.	Bentuk Granula pati sampel STB (a) Perbesaran 240x (b) Perbesaran 500x.....	43
Gambar 19a.	Mengukur ukuran partikel pati sagu dari citra SEM	44
Gambar 19b.	Pengukuran Distribusi Diameter Partikel (a) Sampel STA (b) Sampel STB	45
20.	Citra EDS mapping dan grafik distribusi unsur dan senyawa pati sagu (STA).....	46



Gambar 21.	Citra EDS mapping dan grafik distribusi unsur dan senyawa pati sagu (STB).....	47
Gambar 22.	(a) Pengukuran kelembaban pati sagu, (b) menimbang pati sagu (c) memasukan pati sagu diwadah yang telah disiapkan sebelumnya (d) memasukkan sampel kedalam oven.....	50
Gambar 23.	Grafik perlakuan HMT sampel bioplastik sagu.....	52
Gambar 24.	(a) Blender material pati sagu, (b) menyaring pati sagu menggunakan mesh 100, (c) memasukkan material kedalam wadah dan memberikan label	53
Gambar 25.	(a) menimbang material, (b) memanaskan material diatas hotplate, (c) mencetak pasta diatas media kaca, (d) siapkan spesimen didalam talang untuk dikeringkan dalam oven dan (e) memasukkan spesimen didalam oven	55
Gambar 26.	(a) spesimen disimpan ditempat terbuka, (b) spesimen telah dilepas dari media kaca/cetakan.	56
Gambar 27.	(a) membuat spesimen standar ASTM 638 – 14 Type II, (b) mengukur ketebalan spesimen, (c) melakukan pengujian tarik menggunakan mesin uji LLYOD LR 10 K Plus, (d) menginput data/titik putus spesimen (e) spesimen yang telah diuji mekanik	57
Gambar 28.	Hubungan persen kandungan air pati sagu dan kuat Tarik.....	58
Gambar 29.	Hubungan persentase kandungan air pati sagu dan Modulus elastisitas bahan	58
Gambar 30.	Spektrum FT-IR spesimen bioplastik.....	61
Gambar 31.	Spektrum FT-IR Spesimen Bioplastik Gugus Fungsi C=O ...	62
Gambar 32.	Spektrum FT-IR Spesimen Bioplastik (daerah serapan 1500 -500 cm^{-1})	63
Gambar 33.	Data SEM Daerah Patahan Spesimen Pembesaran 500x.	64
Gambar 34.	Skema pengujian contact angle	78
Gambar 35.	Sudut kontak	78
Gambar 36.	<i>Bacillus subtilis</i>	79
37.	(a) Pemasangan Spesimen Proses UV. (b) Holder Black Box UV (c) Black Box UV (d) Hasil perlakuan UV.	81
38.	Spektrum FT-IR spesimen bioplastik Sagu (Metroxylon SP) Sebelum dan setelah perlakuan paparan sinar UV	82



Gambar 39.	Pembentukan pita serapan baru di bilangan gelombang 2889,37 cm^{-1} pada gugus fungsi C-H.....	83
Gambar 40	Pelebaran dan perubahan luas area pita di bilangan gelombang 1647 - 1649 cm^{-1} pada gugus fungsi C=O Karbonil.....	84
Gambar 41.	Perubahan luas area pada pita serapan di bilangan gelombang 1024 - 1037 cm^{-1} pada gugus fungsi C-O.....	85
Gambar 42.	SEM bioplastik sagu menunjukkan perubahan kekasaran permukaan akibat radiasi UV. (a) D0, (b) D1UV24, (c) D2UV48, (d) D3UV72	87
Gambar 43.	Hubungan perlakuan UV dan kuat Tarik pada material Bioplastik.....	88
Gambar 44.	Hubungan persentase perlakuan UV dan Modulus Elastisitas	89
Gambar 45.	Grafik penurunan modulus elastisitas spesimen bioplastik....	90
Gambar 46.	Contact angle spesimen bioplastik sagu setelah paparan UV (a) D0, (b) D1UV24, (c) D2UV48, (d) D3UV72	92
Gambar 47.	Pengujian anti mikroba pada spesimen bioplastik sagu	96



DAFTAR LAMPIRAN

1. Pengukuran micrometer (0,001) ketebalan material bioplastik
2. Data Pengujian Kandungan Amilosa dan Amilopektin, Departemen Perindustrian Republik Indonesia Balai Besar Industri Agro Bogor Indonesia.
3. Data Pengujian XRD, Laboratorium dan Pengembangan Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
4. Data Pengujian FTIR, Laboratorium Microstruktur Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
5. Data Pengujian SEM, Laboratorium Microstruktur Fakultas Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar
6. Data Pengujian Mekanik, Laboratorium dan Mesin Fluida Politeknik ATI Makassar.
7. Data Pengujian Kontak Angel, Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar
8. Data Pengujian Mikroba, Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin.
9. Seminar Internasional Judul “Microstructural and Mechanical Properties of Sago Starch Bioplastiks (Metroxylon) as Biodegradable Plastics” ICITAMEE 2022th. The 4 International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering (ICITAMEE) Univeristas Muhammadiyah Yogyakarta 9 – 10 Agustus 2023. Website: <https://icitamee.umy.ac.id/2023/> Email: icitamee@umy.ac.id
10. Jurnal Internasional “Developmen of Bioplastiks From Tawaro’s Environmentally Friendly Sago Starch (Metroxylon)” Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774_5/12 (125) 2023. <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/289626>



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

HMT	: Heat Moisture Treatment
SEM	: Scanning Electron Microscopy
XRD	: X-Ray Diffraction
FTIR	: Fourier Transform Infrared
UV	: Ultraviolet
ASTM	: American Society for Testing and Materials
cpDNA	: Chloroplast DNA
ANOVA	: Analysis of Variance
STA	: Sagu Tawaro (a)
STB	: Sagu Tawaroduri (b)
BPS	: Badan Pusat Statistik
SNI	: Standar Nasional Indonesia
ISO	: International Organization for Standardization
IEC	: International Electrotechnical Commission
VUB	: Varietes Unggulan Baru
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
D0	: Material Bioplastik Sagu Tanpa perlakuan
D1UV24	: Material Bioplastik Sagu Perlakuan UV selama 24 jam
D2UV48	: Material Bioplastik Sagu Perlakuan UV selama 48 jam
D3UV72	: Material Bioplastik Sagu Perlakuan UV selama 72 jam
NTU	: Nephelometric Turbidity Units
KA ₁	: Kadar air pati kondisi awal;
KA ₂	: Kadar air pati yang diinginkan;
BP ₁	: Bobot pati pada kondisi awal;
BP ₂	: Bobot pati setelah mencapai KA ₂
%	: Persen
W _c	: Lebar bagian dalam (mm)
L	: Panjang bagian yang dalam (mm)
W	: Lebar keseluruhan (mm)
L	: Panjang keseluruhan (mm)
L _g	: Panjang gage (mm)



D	: Jarak antar pegangan (mm)
R	: Jari-jari fillet (mm)
T	: Tebal (mm)
σ	: Tegangan tarik (N/mm ²)
P	: Gaya yang diaplikasikan (N)
A	: Luas penampang (mm ²)
ε	: Regangan/perpanjangan tarik (mm)
L _i	: Panjang akhir (mm)
L _o	: Panjang awal (mm)
E	: Modulus elastisitas (N/mm ³)
ε	: Regangan (mm)
σ	: Tegangan (N/mm ²)
N	: Beban
L	: Perpanjangan Lembaran
g	: Gram
ml	: Milliliter
mm	: Millimeter
cm	: Centimeter
α	: Alfa
N	: Newton



BAB I PENDAHULUAN UMUM

I.1 Latar Belakang

Meningkatnya jumlah sampah anorganik dapat mengancam ekosistem dan pencemaran lingkungan, menjadikannya salah satu masalah penting bagi masyarakat karena dampak negatif yang ditimbulkannya. Kondisi ini menjadi masalah dan tantangan tersendiri bagi para peneliti dalam pemanfaatan sumber daya alam dari bahan yang terbarukan yang memperbaharui bahan non organik seperti bahan bioplastik yang dapat terdegradasi dalam waktu singkat atau lebih dikenal dengan bahan *biodegradable* (Sun, 2013) dan material *nonpetroleum* istilah yang dikemukakan oleh (Soroudi and Jakubowicz, 2013).

Beberapa penelitian terkait pati tanaman telah banyak dilakukan, diantaranya (Abral *et al.*, 2019), yang meneliti polimer pati tanaman yang melimpah dan potensi pada aplikasi komersialnya. Senada dengan (Dai *et al.*, 2015) yang melakukan penambahan nanopartikel pati talas ke pati jagung sebagai bahan bioplastik. Hasilnya, kandungan permeabilitas uap air menurun dan sifat mekanik serta stabilitas termal meningkat. Dai juga menampilkan data persentase amilosa pada pati ubi kayu sebesar 14,5%, selulosa untuk serat kayu putih sebesar 86,3%, hemiselulosa dan abu 12,9%, serta ekstraktif 0,8%. Ini diperoleh dengan deposisi superfisial nanopartikel SiO₂. Akibatnya, terjadi penurunan adsorpsi kelembapan, peningkatan stabilitas termal dan kekuatan mekanik serta peningkatan kelembapan komposit. Penelitian lain yang dilakukan (Raabe *et al.*, 2015) yang mengkarakterisasi isolat protein kacang polong, protein kacang polong (gliserol) memiliki sifat untuk menyerap energi mekanik sebelum pecah. Sifat ini juga membantu meningkatkan penyerapan air, dan material menjadi kurang transparan (Perez *et al.*, 2016).

Beberapa penelitian terkait bahan bioplastik yang menggunakan pati garut, bekerja pada jumlah pelarut 100 ml, dengan kadar *filler* 15% b/b, *plasticizer* 10% b/b dengan kuat tarik sebesar 15,484 N/mm², elongasi 2,692%, penyerapan air 23,12% (Tarique *et al.*, 2022). Selanjutnya (Asrofi *et al.*, 2020) pada pembuatan komposit dari tepung tapioka dan serat ampas tebu, menggunakan ultrasonikasi (*type bath*) yang mampu memperbaiki dan meningkatkan sifat komposit bioplastik seperti kekuatan tarik, struktur morfologi dan sifat



penghalang kelembapan. Sementara itu, bioplastik berbasis pati umbi talas (*dioscorea*) dengan gliserol sebagai *plasticizer* dan konsentrasi *bentonite* telah dilakukan oleh (Behera *et al.*, 2022). Hasil pengujian menunjukkan partikel *bentonite* terdistribusi secara homogen dalam matriks pati, hidrofilitas bioplastik meningkat, ini akan meningkatkan kekuatan mekanik, laju degradasi maksimum dan penyerapan molekul air terendah. Hal ini disebabkan silikat *bentonite* yang terinterkalasi dalam *film* bioplastik dan secara efektif meningkatkan sifat bioplastik berbasis pati umbi talas yang menjadikannya bioplastik potensial untuk menggantikan plastik sintesis dalam aplikasi kemasan makanan.

Sementara itu, sagu (*Metroxylon sp.*) dikenal sebagai salah satu komoditi yang banyak tumbuh di Indonesia, seperti di Papua, Ambon dan Sulawesi. Sagu (*Metroxylon sp.*) merupakan tanaman yang kaya akan karbohidrat dan menjadi makanan andalan sebagian masyarakat kita, yang setelah diolah menjadi makanan tradisional lebih di kenal sebagai ‘kapurung atau kapeda’ serta sebagai bahan utama olahan kue tradisional lainnya. Data statistik menunjukkan bahwa pertumbuhan pohon sagu (*Metroxylon sp.*) berkembang subur di Sulawesi Selatan, khusus di Kabupaten Luwu dan Kota Palopo yang mencapai 1.334,9 Ha. Wilayah sagu (*Metroxylon sp.*) terbesar terdapat di Kecamatan Walenrang Utara 358,5 Ha. Sagu (*Metroxylon sp.*) jika diekstrak akan menghasilkan pati 232 ton/tahun (BPS, 2018). Dari hasil investigasi (Abbas *et al.*, 2010), sagu (*Metroxylon sp.*) di Kota Palopo terdiri 2 jenis yaitu, tawaro dan tawaroduri yang memiliki umur panen sekitar 5 -10 tahun dan dari pengamatan di lapangan masih banyak pohon sagu yang tidak dimanfaatkan sehingga gugur (terbengkalai) karena melewati umur panen.

Pati selain menjadi bahan pakan juga sangat potensial sebagai material bioplastik ditinjau dari ketersediaan dan karakteristiknya serta memiliki kandungan amilosa yang tinggi (Thuwall *et al.*, 2006). Hal senada dilaporkan oleh (Li and Hu, 2021), pati amilosa tinggi meningkatkan sifat mekanik dan termal, hal ini didukung oleh keterikatan linier panjang rantai amilosa dan juga struktur granula yang dapat bertindak sebagai penguatan material. Beberapa peneliti sebelumnya juga an kandungan amilosa yang tinggi akan menghasilkan bioplastik yang (Krogars, 2003), memiliki ketahanan geser yang lebih kuat, ditandai kekerasan tinggi dan kelengketan yang kokoh (Duyen *et al.*, 2020).



Penelitian beberapa tahun terakhir perlakuan *Heat moisture Treatment* (HMT) dapat memodifikasi sifat fisikokimia pati dengan kandungan air 30%, suhu 100 – 120°C selama 2 jam hingga kadar air seragam 10%. Kelembaban Energi panas yang diberikan kerantai amilosa lebih tinggi pada pati kacang polong, menghasilkan peningkatan interaksi antara rantai pati dan meningkatkan kesempurnaan kristalinitas (Chung *et al.*, 2009). Pati kentang yang diberi perlakuan HMT dengan kelembapan 20%, suhu 110°C selama 1 jam hingga kadar air seragam 12%, menghasilkan material bioplastik dengan karakteristik yang berbeda, dibanding dengan pati kentang tanpa diberi perlakuan. Serta kekuatan mekanik lebih tinggi (Zavareze *et al.*, 2012). Perlakuan HMT juga memiliki potensi sangat besar dengan kelembapan 13%, suhu 110°C, selama 1 Jam, dapat diaplikasikan pada industri sebagai pretreatment dan mengurangi lipolisis serta menghindari degradasi hidrolitik pada pati gandum (Valmor Ziegler, Cristiano Dietrich Ferreira, 2017). Begitupun dengan penelitian (Yassaroh *et al.*, 2019) pada pengujian pati kentang dengan kelembapan 13,4%, suhu 145°C, selama 30 menit, menyebabkan granula pati tergelatinisasi sebagian, sementara seluruh struktur tetap utuh. Ini berakibat positif dalam pembentukan ikatan silang fisik yang lebih stabil dalam butiran dan meningkatkan kompleksasi pada suhu tinggi tanpa merusak struktur utama. Pati jagung dengan kelembapan 25%, dipanaskan menggunakan suhu 105°C selama 4 jam dan dikeringkan pada suhu 40°C selama 6 jam. Menunjukkan peningkatan stabilitas pasta dan struktur granula (Zhang *et al.*, 2021). Pati quinoa dengan kelembapan 20%, dipanaskan pada suhu 110°C selama 3 jam, akan mempengaruhi entalpi gelatinisasi, sehingga pati tahan terhadap proses termal (Almeida *et al.*, 2022). Beberapa hasil penelitian diatas mengindikasikan bahwa kemampuan material bioplastik dari pati yang dimodifikasi dengan HMT, menunjukkan masa depan yang menjanjikan untuk eksplorasi sebagai sebuah produk.

Paparan sinar ultraviolet (UV) dapat merusak sifat mekanik bioplastik karena menyebabkan degradasi rantai polimer (Meyerhoff, 1970) ; (Sakti *et al.*, 2017). Proses ini dikenal sebagai fotodegradasi, di mana sinar UV melemahkan ikatan

dalam rantai polimer, mengubah sifat-sifat mekanik bioplastik seperti ketahanan, keuletan, dan kekerasan (Rabek, 1995). Dampak negatifnya termasuk bioplastik menjadi rapuh, mudah patah, dan kehilangan elastisitasnya



setelah diberi tekanan atau regangan. Selain itu, paparan sinar UV juga dapat mengubah warna bioplastik bervariasi tergantung pada jenis bioplastik, komposisi bahan, dan kondisi paparan sinar UV (Meyerhoff, 1970). Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dan pengujian yang mendalam diperlukan untuk memahami secara spesifik pengaruh sinar UV pada bioplastik berbahan dasar pati sagu (*Metroxylon sp.*). Fotodegradasi yang terjadi akibat paparan UV memiliki beberapa manfaat, salah satunya adalah mempercepat penguraian dan penghilangan limbah bioplastik (López *et al.*, 2015). Paparan sinar UV menginduksi pemecahan ikatan kimia dalam rantai polimer, sehingga mempercepat proses penguraian secara keseluruhan. Hal ini menghasilkan pengurangan waktu yang dibutuhkan untuk bioplastik terurai, yang pada gilirannya dapat membantu mengurangi akumulasi limbah plastik.

Selain itu, fotodegradasi juga dapat meningkatkan potensi daur ulang bioplastik. Fragmen atau molekul kecil yang dihasilkan melalui fotodegradasi lebih mudah diolah dan dapat dimanfaatkan kembali dalam siklus produksi plastik. Dengan cara ini, fotodegradasi dapat memperluas kemungkinan daur ulang dan mengurangi kebutuhan akan bahan baku baru (López *et al.*, 2015). Bioplastik yang terurai melalui fotodegradasi juga lebih mudah terdegradasi oleh mikroorganisme pengurai di lingkungan, sehingga membantu mengurangi dampak kerusakan ekosistem yang disebabkan oleh limbah plastik. Namun, perlu diperhatikan bahwa penguraian bioplastik yang terlalu cepat juga dapat menjadi masalah, terutama jika bioplastik terurai sebelum akhir masa pakainya. Oleh karena itu, penting untuk mencari keseimbangan yang tepat antara kecepatan penguraian bioplastik dan masa pakai yang diinginkan, sehingga dampak lingkungan dapat dikelola dengan baik (Rabek, 1995). Salah satu cara untuk menguji kekuatan terhadap paparan sinar UV adalah dengan memeriksa apakah bioplastik tahan terhadap air (Butt, 2013) dan mikroba (Abang *et al.*, 2023).

Berdasarkan kajian hasil diatas, penelitian ini akan menganalisis pati sagu (*Metroxylon sp.*) dengan menggunakan HMT dalam meningkatkan sifat fisikokimia



ng *et al.*, 2021) ; (Almeida *et al.*, 2022). Ikatan lembaran sagu *bioplastik* ntukan dengan prosedur pengujian mekanik (Sofiah *et al.*, 2019). *X-Ray* m (XRD), *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy* dan *Scanning*

Electron Microscopy (SEM), digunakan untuk mendapatkan gambaran kandungan material, gugus fungsi, struktur molekul dan untuk menganalisis permukaan material (Ahmad, Anuar and Yusof, 2011) ; (Amri *et al.*, 2018) ; (Shafqat *et al.*, 2021). Penelitian material sagu (*Metroxylon sp.*) sebagai bahan bioplastik ini, diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat biodegradable, dan tahan terhadap air (hidrofobik) serta pertumbuhan mikroba pada permukaan material bioplastik untuk selanjutnya menuju pada produk kemasan.

I.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan menggunakan pati sagu (*Metroxylon sp.*) jenis tawaro dan tawaroduri dengan memodifikasi sifat fisiko-kimianya menggunakan metode HMT, yang diharapkan dapat tetap mempertahankan sifat fungsionalnya untuk menghasilkan produk. Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sifat mikrostruktur dari pati sagu tawaro (STA) dan Tawaroduri (STB) terhadap kesesuaiannya dalam pembuatan bioplastik?
2. Bagaimana pengaruh HMT terhadap sifat mikrostruktur dan mekanik spesimen bioplastik?
3. Bagaimana pengaruh paparan sinar UV terhadap sifat *biodegradable* dan hidrofobik spesimen bioplastik?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik pati sagu tawaro sebagai material dasar bioplastik, dengan memodifikasi sifat fisiko-kimianya menggunakan metode HMT yang akan dilaksanakan dalam beberapa kegiatan yang saling berkaitan dengan masing-masing tujuan sebagai berikut:

1. Mengkaji sifat mikrostruktur dari pati sagu STA dan pati sagu STB terhadap kesesuaiannya dalam pembuatan bioplastik.
2. Mengkaji pengaruh HMT terhadap sifat mikrostruktur dan mekanik spesimen bioplastik.
3. Mengkaji pengaruh paparan sinar UV terhadap sifat *biodegradable* dan hidrofobik spesimen bioplastik.



I.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah berfokus pada material sagu bioplastik, yang dimodifikasi dengan metode HMT, kemudian dilakukan pengujian mekanik dan *biodegradable* serta hidrofobik material bioplastik sagu sebagai berikut:

1. Pengujian material bioplastik dari pati sagu dengan memandang dari jenis pohon sagu STA dan STB, yang ramah lingkungan dan dapat diaplikasikan sebagai *biodegradable* material.
2. Pengujian sifat fisikokimia, pasta dan tekstur pati sagu yang diberi perlakuan HMT.
3. Pengujian material menggunakan uji Tarik standar ASTM D 638, Pengujian paparan UV Standar ASTM D4329.
4. Pengujian ketahanan terhadap air dengan metode *contact angle* dan pengujian Microba.
5. Identifikasi material sagu bioplastik menggunakan SEM - EDS, XRD dan FTIR.

I.5 Manfaat Penelitian

Bioplastik adalah jenis plastik atau polimer yang dapat dengan mudah terdegradasi melalui serangan mikroorganisme atau oleh cuaca. Bahan baku untuk bioplastik sering berasal dari sumber terbarukan, salah satunya adalah biomassa seperti pati. Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode HMT dapat meningkatkan kualitas fisikokimia pati. Penelitian mengenai bioplastik ini sangat penting untuk menggantikan bahan plastik sintetis yang sulit terurai dalam tanah dan dapat bertahan puluhan hingga ratusan tahun. Salah satu inovasi dalam penelitian ini adalah **memberikan wawasan yang lebih dalam tentang pengaruh paparan sinar UV pada bioplastik berbasis pati sagu, termasuk perubahan struktural dan sifat-sifatnya**. Pati sagu digunakan sebagai bahan pembuatan film biokomposit untuk aplikasi medis dengan menggunakan metode konvensional, seperti yang telah dilakukan oleh (Marie Arockianathan *et al.*, 2012). Selain itu, (Zhu, 2019) juga meneliti karakteristik dan potensi pati sagu



bahan pangan dan non-pangan. Disisi lain (Xue Mei *et al.*, 2020), menganalisis dan mengkarakterisasi film yang responsif terhadap perubahan pH terbuat dari pati sagu dan antosianin dari jahe odor.

Dalam penelitian ini, kebaruan juga terletak pada penggunaan metode HMT pada pati sagu untuk meningkatkan kualitas sifat fisikokimia. Dengan kata lain, melalui perlakuan dengan metode HMT, diharapkan dapat mempengaruhi sifat fisikokimia pati sagu (*Metroxylon sp.*) dan membuatnya lebih tahan terhadap air (menjadi hidrofobik). Hal ini dapat membuka peluang untuk mengembangkan pati sagu (*Metroxylon sp.*) sebagai bahan baku bioplastik yang berguna bagi masyarakat dan dalam pengembangan produk kemasan serta penelitian berikutnya.

I.6 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini akan mengkaji pati sagu jenis tawaro dan tawaro duri terhadap konsentrasi amilosa serta perlakuan metode HMT untuk meningkatkan sifat mekanik, ketahanan terhadap panas dan air, fungsi dan kandungan, sifat fisiko-kimia, pasta dan tekstur, dalam pengembangan pati sagu bioplastik. Pati sagu tawaro dan tawaro duri diuji dilaboratorium untuk mengetahui kadar amilosa, dari kedua jenis pati sagu sampel sagu dengan kadar amilosa tinggi. Kemudian dilanjutkan untuk dimodifikasi menggunakan metode HMT dengan menganalisis kandungan air, suhu dan waktu pemanasan. Dalam membuat lembaran material bioplastik dari pati sagu, menggunakan komposisi 8 g pati sagu, gliserol 3 ml, asam asetat 1 ml dan aquades 45 ml. Kemudian dipanaskan 70 – 73°C (Suhu Gelatinisasi) dan di cetak diatas media kaca ukuran 10 x 20 cm², kemudian dimasukkan kedalam oven dengan panas 100 ± 10°C selama 1 Jam. Perlakuan ini menggunakan metodologi serupa, (Raabe, Fonseca, Bufalino, Ribeiro, A. Martins, *et al.*, 2015) ; (Asrofi *et al.*, 2020) dan (Tarique *et al.*, 2022). Setelah dipanaskan didiamkan (suhu kamar) selama 24 jam dan dilepas dari cetakan, diulang menggunakan pati sagu termodifikasi HMT. Ikatan lembaran sagu bioplastik akan dianalisis pengujian mekanik (Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas) ASTM D 638. Pengujian *biodegradable* untuk mengetahui ketahanan material terhadap Paparan Cahaya, Kelembaban, dan Panas menggunakan standar ASTM D-4329, serta FTIR Spectroscopy untuk memberikan gambaran struktur molekul dan untuk menganalisis permukaan material menggunakan SEM. Dengan memberikan

1 HMT diharapkan menghasikan produk kemasan kedap terhadap air pengujian *contact angle* dan Pertumbuhan mikroba memenuhi ambang batasan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7188.7:2016.



BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

II.1 Kerangka Konseptual

II.1.1 Pati Sagu

Pohon sagu (*Metroxylon SP.*) merupakan salah satu jenis tumbuhan palem wilayah tropika basah. Jenis ini tumbuh baik pada daerah rawa air tawar, rawa bergambut, daerah sepanjang aliran sungai, sekitar sumber air, atau hutan-hutan rawa. Tumbuhan sagu memiliki daya adaptasi yang tinggi pada lahan marginal, yang tidak memungkinkan pertumbuhan optimal bagi tanaman pangan maupun tanaman perkebunan. Serta mampu mengakumulasi kandungan karbohidrat yang tinggi di batangnya.



Gambar 1. Pohon Sagu di Kecamatan Telluwanua Kota Palopo

Peningkatan utilitas pohon sagu membutuhkan informasi keragaman genetik dalam spesies. Keanekaragaman genetik tanaman ini perlu dipahami untuk program konservasi dan pemuliaan plasma nutfah di masa mendatang. Sampai saat ini informasi tentang keragaman genetik tanaman sagu masih sangat terbatas. Salah satu penanda yang paling penting untuk menilai keragaman genetik tanaman adalah *Chloroplast DNA* (cpDNA). Genom *Chloroplast eukariota* berevolusi dari *endosimbiotik* dan *cyanobacterium*. Sebagian besar gen *Chloroplast* tumbuhan tingkat tinggi diatur dalam kelompok dan ditranskripsi bersama sebagai pra-RNA polikistronik (Ehara, 2018).



anda molekuler yang merupakan penanda yang sangat konservatif dan ukai untuk mengungkap keragaman genetik adalah penanda cpDNA. enelitian sebelumnya, cpDNA telah diterapkan untuk mengungkap

keragaman genetic (Russell *et al.*, 2003), kentang (Bryan *et al.*, 1999) dan beberapa spesies tanaman (Besnard *et al.*, 2002) ; (Van Raamsdonk *et al.*, 2003) ; (Kormut'ák *et al.*, 2003).

Marka cpDNA yang digunakan untuk mengakses keragaman genetik tanaman sagu di Indonesia menunjukkan polimorfisme. Sepuluh haplotipe dan 11 alel ditemukan pada 97 sampel pohon sagu. Haplotipe spesifik terdeteksi pada populasi dari pulau Papua, Sulawesi, dan Kalimantan. Pulau Sulawesi dan Kalimantan akan menjadi sumber keanekaragaman pohon sagu dan pulau Papua akan menjadi asal serta pusat keanekaragaman pohon sagu di Indonesia berdasarkan data cpDNA. Jumlah haplotipe berkisar antara 2 hingga 8, situs polimorfik berkisar antara 1 hingga 9, jumlah rata-rata perbedaan berpasangan berkisar antara 0,2857 hingga 1,0000, keragaman haplotipe berkisar antara 0,2857 hingga 1,0000, dan persentase haplotipe polimorfik adalah berkisar antara 9,0909 % sampai dengan 81,8182 %. Hirarki genetik dan diferensiasi sampel pohon sagu diestimasi dengan *Analisis of Varians (ANOVA)* yang menunjukkan perbedaan yang nyata antar individu dan antar populasi. Populasi dari Jayapura berbeda nyata dengan populasi dari Palopo (Sulawesi Selatan) dan Kalimantan. Diferensiasi genetik sampel pohon sagu diamati berbeda nyata dalam populasi, antar populasi, dan antar populasi di dalam pulau (Abbas *et al.*, 2010).



Gambar 2. Jenis Sagu Tawaro (a) dan Tawaro Duri (b)

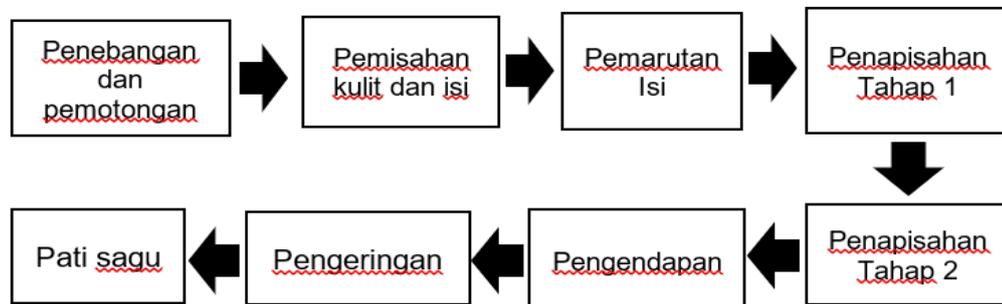
Jenis sagu yang terdapat di Sulawesi selatan khususnya di Kabupaten Luwu, terbagi atas 2 jenis berdasarkan populasinya (Abbas *et al.*, 2010). Yaitu Tawaro dan Duri.

Emisahan Pati sagu

Di sini metode tradisional ekstraksi sagu pati telah digantikan oleh proses modernisasi (Karim *et al.*, 2008) moderinisasi proses pengolahan pati sagu di



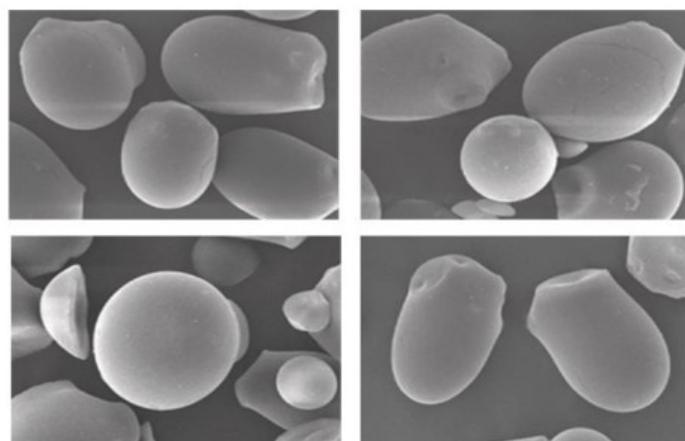
Indonesia telah dilakukan dengan menggunakan mesin guna meningkatkan produksi sagu. Berbagai alat bantu proses pengolahan pati sagu setelah pengebangan pohon sagu, telah dikembangkan mulai dari mesin pamarut, mesin pemisah, dan mesin pengering. Berikut Proses pemisahan pati sagu dari batang atau empulurnya.



Gambar 3. Proses Pengolahan Pati sagu

II.1.3 Jenis Pati Sagu

Pati sagu merupakan salah satu bentuk karbohidrat yang dapat diaplikasikan secara luas dalam berbagai industri dan sangat tergantung pada karakteristik fisikokimia dan fungsionalnya. Karakteristik fisikokimia pati secara spesifik bergantung pada sumber asal dan cara pengolahannya, misalnya bentuk dan ukuran granula pati, warna, serta komposisi amilosa dan amilopektinnya. Berdasarkan informasi granula pati sagu pada umumnya memiliki ukuran 10 sampai 50 μm (Karim *et al.*, 2008), Ukuran granula pati sagu yang cukup besar, mengakibatkan ikatan *hydrogen* antara molekul pada rantai yang berdampingan lebih mudah putus selama pemanasan.



Gambar 4. SEM Bentuk Granula pati sagu (perbesaran 1.500 \times)
Polnaya, 2008



Namun, menurut Polnaya (Polnaya, Huwae and Tetelepta, 2018), bentuk granula pati sagu adalah oval, elips dan kadang-kadang bulat. Komponen yang besar sering membentuk kerucut dengan ujung yang datar dan mempunyai ukuran diameter 15-65 μm .

II.1.4 Bioplastik

Produk-produk barang konsumsi dengan kemasan plastik cenderung terus meningkat seiring dengan semakin meningkatnya konsumsi dan daya beli masyarakat. Pada umumnya, industri makanan dan minuman menggunakan kemasan plastik sebagai pembungkus karena ringan, fleksibel, praktis dan harganya relatif murah. Namun menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Tahun 2021, Limbah plastik mencapai 66 ton/tahun dan sebanyak 0,26 juta-0,59 juta ton plastik ini mengalir ke laut. Sehingga mengancam ekosistem dan pencemaran lingkungan akibat peningkatan sampah non-organik dan menjadikan salah satu perhatian serius masyarakat. Kondisi ini juga menjadi perhatian khusus bagi peneliti dalam pemanfaatan sumber daya alam sebagai peluang untuk mencari material terbarukan, menginovasi material non-organik dan terdegradasi dalam waktu singkat yang dikenal sebagai material bioplastik atau material *biodegradable* (Sun, 2013) material *nonpetroleum* (Soroudi and Jakubowicz, 2013). Dari polimer pati tanaman yang melimpah dan aplikasi komersialnya potensial (Abral *et al.*, 2019).

Pati adalah polisakarida yang terdiri dari *amylose* D-glukan linier dan *amylopectin* yang bercabang banyak. Pati merupakan bahan baku yang paling menjanjikan dalam pembuatan plastik pada masa yang akan datang karena selalu tersedia dalam jumlah besar dan harganya murah (Chivrac *et al.*, 2010). Pembuatan bioplastik atau plastik *biodegradable*, dari karbohidrat dan protein dapat menambah nilai ekonomi terhadap bahan baku yang kurang dimanfaatkan sehingga dapat berperan penting dalam penyimpanan bahan pangan (Avérous, Fringant and Moro, 2001).

Bioplastik dari pati bersifat isotropik, tidak berbau, tidak berasa, tidak beracun dan *biodegradable* (Flores *et al.*, 2007). Bioplastik juga mempunyai kekuatan yang tinggi dan dapat berfungsi sebagai penghalang gas, terutama oksigen, oksida dan lemak (Chang, Abd Karim and Seow, 2006). Bioplastik mudah untuk kemasan mengacuh pada Standar Nasional Indonesia (SNI)



7188.7:2016. Bioplastik yang didesain agar struktur kimianya berubah secara nyata pada kondisi lingkungan tertentu, menyebabkan berkurangnya beberapa sifat yang bervariasi dan dapat diukur dengan metode uji standar yang sesuai serta penerapannya dalam jangka waktu tertentu. Persyaratan yang dimuat dalam kriteria dan nilai ambang batas merupakan persyaratan khusus terakut dengan kategori produk, sedangkan persyaratan yang dimuat dalam persyaratan umum yang berlaku berbagai kategori produk manufaktur. Evaluasi pemenuhan dokumen kriteria ini meliputi evaluasi pemenuhan kriteria dan ambang batas, serta evaluasi pemenuhan persyaratan umum. Syarat Mutu bioplastik menurut SNI 7188.7:2016. Kriteria ecolabel – Bagian 7: Kategori produk tas belanja plastic dan bioplastik mudah terurai. Sebagai berikut;

Tabel 1. Kreteria, ambang batas dan metode uji/verifikasi SNI 7188.7:2016

No	Aspek Lingkungan	Persyaratan	Metoda Uji/Verifikasi
1	Penggunaan Bahan Baku dan Aditif	<p>a. Termoplastik mengandung prodegradant harus memenuhi persyaratan kandungan logam berat:</p> <p>Cd < 0,5 ppm Pb < 50 ppm Hg < 0,5 ppm Cr⁶⁺ < 50 ppm</p> <p>- Tidak mengandung zat warna azo</p>	<p>Verifikasi pernyataan tertulis pemohon tentang pemenuhan persyaratan prodegradant yang dilengkapi dengan pernyataan pemasok.</p> <p>Verifikasi pernyataan tertulis pemohon tentang jenis dan sifat bahan dilengkapi dengan pernyataan dari pemasok atau pengukuran dengan GC – MS atau metode pengujian lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025.</p>
		<p>b. Bioplastik dan atau campuran dengan termoplastik</p> <p>- Tidak mengandung zat warna azo</p>	<p>Verifikasi pernyataan tertulis pemohon tentang jenis dan sifat bahan dilengkapi dengan pernyataan dari pemasok atau pengukuran dengan GC – MS atau metode pengujian</p>



			lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025
2	Degradabilitas	<p>a. Termoplastik mengandung prodegradant</p> <p>Tensile Elogation (Elongation at break) kurang dari 5% dicapai setelah mengalami perlakuan penyinaran UV maksimal 250 jam.</p> <p>b. Bioplastik dan atau campuran dengan termoplastik</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhan mikroba pada permukaan produk > 60% selama 1 minggu 	<p>Verifikasi pernyataan pemohon tentang pemenuhan persyaratan disertai laporan hasil pengujian menurut metode uji berikut ini</p> <ul style="list-style-type: none"> - ASTM D5208 - ASTM D3826 <p>Verifikasi pernyataan pemohon tentang pemenuhan persyaratan disertai laporan hasil pengujian menurut metode uji berikut ini:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ASTM G21 <p>atau metode pengujian lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025</p>
3	Kandungan logam berat	<p>Kandungan logam berat dalam produk</p> <p>Cd < 0,5 ppm Pb < 50 ppm Hg < 0,5 ppm Cr⁶⁺ < 50 ppm</p>	<p>Verifikasi pernyataan pemohon tentang pemenuhan persyaratan disertai laporan hasil pengujian uji: IEC-62321 Ed 1.0, atau metode pengujian lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025</p>

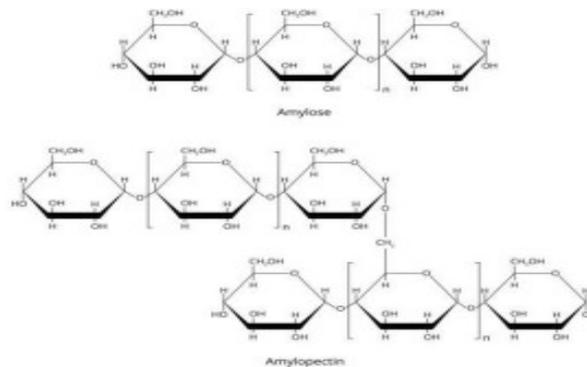
Material bioplastik dari pati telah dikembangkan dari kacang polong (Chung, Hoover, 2009) ; (Perez *et al.*, 2016), umbi talas (Behera, Mohanta and nam, 2022), ubi kayu (Raabe, Fonseca, Bufalino, Ribeiro, A. Martins, *et al.*) ; (Konan, Gomina and Oyetola, 2020), tapioca (Asrofi *et al.*, 2020) ,



Kentang (López-Córdoba, Estevez-Areco and Goyanes, 2019); (Yassaroh, Woortman and Loos, 2019), Jagung (Dai *et al.*, 2015) ; (Zhang *et al.*, 2021), dan pati sagu (Marie Arockianathan *et al.*, 2012) ; (Zhu, 2019) ; (Xue Mei *et al.*, 2020), Garut (Tarique *et al.*, 2022), Pati quinoa (Almeida *et al.*, 2022). Bioplastik yang terbuat dari pati juga lebih kuat dan fleksibel jika dibandingkan dengan plastik dari lemak dan protein.

II.1.5 Kandungan Amilosa dan Amilopektin Pati sagu

Kandungan pati juga memiliki peranan penting menjadi salah satu kriteria mutu material pembuat plastik. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi terlarut disebut amilosa dan fraksi yang tidak terlarut disebut amilopektin (Anonym. 2012). Kandungan amilosa yang tinggi juga berpotensi digunakan sebagai bahan baku produk-produk instan karena komponen amilosa berkaitan dengan daya serap air dan kesempurnaan proses gelatinisasi produk. Struktur dari amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada berikut;



Gambar 5. Amilosa dan Amilopektin

Kandungan amilosa yang tinggi akan menghasilkan bioplastik yang homogen (Krogars, 2003). Sehingga memiliki ketahanan geser yang lebih kuat, ditandai dengan kekerasan tinggi dan kelengketan yang kokoh (Duyen *et al.*, 2020). Beberapa penelitian terhadap kandungan pati sagu (*Metroxylon sp.*) melaporkan bahwa, kandungan amilosanya antara 27,2% dipasok oleh Wah Chang International Grup - Singapura (Xue Mei *et al.*, 2020). Amilosa 28% dari SIM Company - Pulau Penang, Malaysia (Fouladi and Mohammadi Nafchi, 2014). Hal yang sama n (Rashid *et al.*, 2020) kadar amilosa 27,22% hingga 35,74%, tergantung aber botani atau populasinya, potongan batang sagu (*Metroxylon SP.*) 1 oleh Du *et al.*, (2020) dengan 2 jenis pati sagu dipasok oleh Made Mulya



Asih Industries – Indonesia. Pati sagu 1 (putih) diperoleh dari Bogor-Jawa Barat sedangkan pati sagu 2 (coklat kemerahan) diperoleh dari Jayapura-Papua. Masing – masing pati ini mengandung amilosa 24,07% dan 26,11%.

Amilopektin adalah salah satu jenis polisakarida yang terdapat dalam pati. Ini merupakan komponen utama pati dan ditemukan dalam bentuk granula di dalam sel-sel tumbuhan, termasuk sagu. Amilopektin memiliki struktur bercabang, yang berbeda dari amilosa yang memiliki struktur linear. Cabang-cabang ini terbentuk melalui ikatan α -1,6-glikosidik. Amilopektin berfungsi sebagai penyimpan utama energi dalam tanaman. Selama fotosintesis, tanaman mengubah glukosa menjadi pati untuk disimpan di dalam sel-selnya, yang kemudian dapat dihidrolisis menjadi glukosa lagi saat diperlukan.

Amilopektin juga memberikan kekuatan struktural pada tanaman karena granulanya membentuk struktur dalam sel-sel tanaman. Dalam konteks konsumsi manusia, amilopektin yang terkandung dalam sagu adalah sumber karbohidrat yang penting.

Namun, pada saat pembuatan bioplastik Amilopektin memiliki kekurangan diantaranya

1. **Kelarutan Terbatas:** Amilopektin memiliki kelarutan yang lebih rendah dibandingkan amilosa dalam air. Ini dapat menjadi kekurangan dalam pembuatan bioplastik karena beberapa proses produksi bioplastik melibatkan penggunaan pelarut air (Afif, Wijayati and Mursiti, 2018).
2. **Kekurangan Sifat Mekanis:** Struktur bercabang amilopektin mungkin membuat bioplastik yang dihasilkan kurang tahan terhadap tekanan mekanis. Bioplastik perlu memiliki sifat mekanis yang baik untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan dan daya tahan (Setiani, Sudiarti and Rahmidar, 2013).
3. **Pola Migrasi Air:** Amilopektin dapat menyebabkan bioplastik menjadi lebih rentan terhadap penyerapan air karena sifat kurang larutnya (Dutta, Mahanta and Singh, 2015).

Amilopektin pada pati sagu memiliki peran penting dalam menyimpan energi

berikan struktur pada tanaman. Namun, dalam konteks pembuatan bioplastik, kekurangan tertentu muncul terutama terkait kelarutan yang terbatas dan sifat mekanis yang mungkin kurang optimal. Senada yang dilaporkan oleh



(Rindlav-Westling *et al.*, 1998) film amilopektin tidak terplastis merata karena bersifat amorf.

II.1.6 Heat Moisture Treatment

Modifikasi pati adalah cara mengubah struktur dan mempengaruhi ikatan hidrogen dengan cara terkontrol untuk meningkatkan dan memperluas kegunaannya. Modifikasi pati diharapkan dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan fungsional dari pati alami. Salah satu cara modifikasi pati yang dapat dilakukan untuk mengubah sifat-sifat patinya adalah dengan cara HMT.

Penelitian beberapa tahun terakhir perlakuan HMT dapat memodifikasi sifat fisikokimia pati dengan kelembapan 30%, suhu 100 – 120°C selama 2 jam hingga kadar air seragam 10%. Kelembapan Energi panas yang diberikan kerantai amilosa lebih tinggi pada pati kacang polong, menghasilkan peningkatan interaksi antara rantai pati dan meningkatkan kesempurnaan kristalit (Chung, Liu and Hoover, 2009). Pati kentang yang diberi perlakuan HMT dengan kelembapan 20%, suhu 110°C selama 1 jam hingga kadar air seragam 12%, menghasilkan material bioplastik dengan karakteristik yang berbeda, dibanding dengan pati kentang tanpa diberi perlakuan. Serta kekuatan mekanik lebih tinggi dan nilai permeabilitas uap air meningkat (Zavareze *et al.*, 2012). Perlakuan HMT juga memiliki potensi sangat besar dengan kandungan air 13%, suhu 110°C, selama 1 Jam, dapat diaplikasikan pada industri sebagai pretreatment dan mengurangi lipolisis serta menghindari degradasi hidrolitik pada pati gandum (Valmor Ziegler, Cristiano Dietrich Ferreira, 2017). Begitupun dengan penelitian (Yassaroh, Woortman and Loos, 2019) pada pengujian pati kentang dengan kandungan air 13,4%, suhu 145°C, selama 30 menit, menyebabkan granula pati tergelatinisasi sebagian, sementara seluruh struktur tetap utuh. Ini berakibat positif dalam pembentukan ikatan silang fisik yang lebih stabil dalam butiran dan meningkatkan kompleksasi pada suhu tinggi tanpa merusak struktur utama. Pati jagung dengan kandungan air 25%, dipanaskan menggunakan suhu 105°C selama 4 jam dan dikeringkan pada suhu 40°C selama 6 jam. Menunjukkan peningkatan stabilitas pasta dan struktur



Zhang *et al.*, 2021), juga melaporkan metode HMT pengaruh pada si dari pati pisang raja (*Musa paradisiaca L.*), dengan kandungan air panaskan pada suhu 100°C selama 23 jam menghasilkan modulus

elastisitas meningkat 12,38 N/mm², kekuatan tarik mencapai 27,09 N/mm², perpanjangan sebesar 6,0% dan kelarutannya tidak berubah secara signifikan. Pati quinoa dengan kandungan air sebesar 20%, dipanaskan pada suhu 110°C selama 3 jam, akan mempengaruhi entalpi gelatinisasi, sehingga pati tahan terhadap proses termal (Almeida *et al.*, 2022). Beberapa hasil penelitian diatas mengindikasikan bahwa kemampuan material bioplastik dari pati yang dimodifikasi dengan HMT, menunjukkan masa depan yang menjanjikan untuk eksplorasi sebagai sebuah produk.

Selain itu, pati hasil modifikasi HMT memiliki pasta yang lebih stabil dibanding pati alami. Kestabilan ini dapat ditunjukkan oleh viskositas *breakdown* pati HMT yang rendah dibanding pati alaminya. Semakin kecil nilai viskositas *breakdown* semakin stabil pati tersebut terhadap proses pemanasan dan pengadukan (Gunaratne and Hoover, 2002). Proses modifikasi pati sagu dengan teknik HMT yang dilaporkan oleh (Adebowale and Lawal, 2003) sebagai berikut : sebanyak 200g pati diatur kadar airnya sampai 28% dengan cara menyemprotkan aquades. Untuk jumlah air yang ditambahkan untuk mencapai kadar air pati 28%, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$(100\% - KA_1) \times Bp_1 = (100\% - KA_2) \times Bp_2 \dots\dots \text{Pers. 1}$$

Dimana:

- KA₁ = Kadar air pati kondisi awal;
- KA₂ = Kadar air pati yang diinginkan;
- BP₁ = Bobot pati pada kondisi awal;
- BP₂ = Bobot pati setelah mencapai KA₂

Pati yang telah diatur kadar air 28% selanjutnya ditempatkan didalam loyang bertutup kemudian diaduk. Pati didiamkan dalam refrigerator selama satu malam untuk penyeragaman kadar air. Loyang berisi pati basah dipanaskan dalam oven dengan waktu pemanasan selama 4 jam. Pati diaduk setiap 30 menit, untuk menyeragamkan distribusi panas.

Setelah didinginkan, pati termodifikasi didiamkan selama satu malam pada

nar. Pati termodifikasi HMT selanjutnya dianalisis dan dilakukan an dengan *moisture meter*. Hasil pengukuran pati sagu termodifikasi HMT gkan dengan pati sagu alami untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang

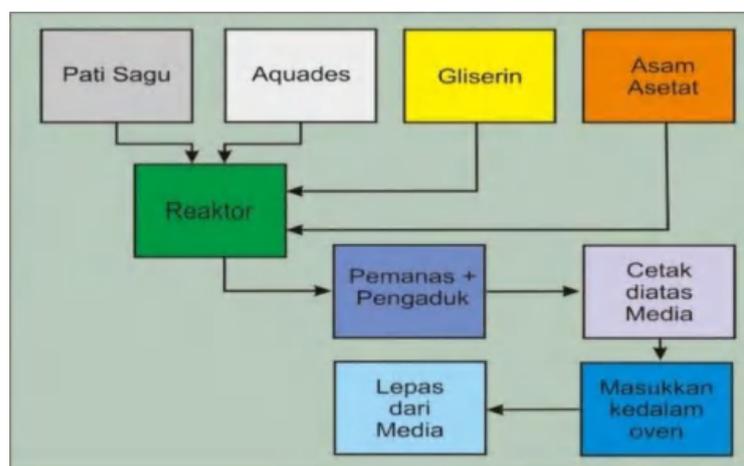


diberikan. Pati termodifikasi HMT antar perlakuan juga dibandingkan satu sama lain, untuk mengetahui profil yang terbaik.

II.1.7 Material Bioplastik dari Pati

Penggunaan tepung atau pati sebagai bahan baku dalam pembuatan material bioplastik dengan mencampur polisakarida, protein dan lemak dalam pembuatan plastik telah dilakukan untuk menonjolkan kelebihan atau menutupi kekurangan bahan-bahan tersebut.

Plastizer gliserol (CH₂OH) merupakan polialkohol yang berada secara alami bersama gliserida dalam lemak hewan dan tumbuhan adalah bahan plasticizer yang paling sesuai untuk polimer yang dapat larut dalam air (Müller, Yamashita and Laurindo, 2008). Meningkatkan elastisitas dengan mengurangi derajat ikatan hydrogen dan meningkatkan jarak antara molekul dari polimer, mengubah karakteristik dan sifat material pada saat proses pembentukan (Chillo *et al.*, 2008), mengurangi ikatan hydrogen internal (Kirk and Othmer, 2012), fleksibilitas dan elastis (Giosafatto *et al.*, 2014), bersifat hidrofilik (Arifin, Sugita and Masyudi, 2016). Gugus hidroksil yang terdapat dalam gliserol akan berinteraksi secara intra dan antar molekul melalui ikatan hydrogen dalam rantai polimer dan memberi fleksibilitas kepada struktur plastik sehingga dapat dibentuk menjadi bahan pengemas (Kumoro and Purbasari, 2014). Asam Asetat (*CH₃COOH*) digunakan sebagai peraksi untuk senyawa kimia dan memurnikan senyawa organik (Suresh dan Bala, 2003) ; (Khan *et al.*, 2021). Serta Aquades (H₂O) sebagai pengencer (Sjamsiah, Saokani and Lismawati, 2017) ; (Rahmatullah *et al.*, 2020). Untuk membuat lembaran bioplastik digunakan *metode hand lay-up*, sebagai berikut;



Gambar 6. Metode *Hand lay-up* Bioplastik



Cairan *plastizer gliserol* (CH_2OH) dan Aquades (H_2O) dimasukkan kedalam reaktor, diaduk sampai merata. Kemudian memasukkan cairan *plastizer gliserol* (CH_2OH) dan asam asetat (CH_3COOH) sesuaikan komposisi yang diinginkan, aduk merata dan diamkan sesaat (± 5 menit) sehingga cairan beraksi. Kemudian masukkan Pati Sagu kedalam reactor, aduk merata. Setelah itu, naikkan reaktor keatas pemanas dan aduk sampai panas diatas transisi gelas dan dibawa suhu gelatinisasi. Cetak diatas media yang telah disediakan (kaca) dan masukkan kedalam oven untuk proses pengeringan material selama 1 jam dengan suhu $100^\circ C$. Dinginkan dan lepas dari cetakan. Metode *hand lay-up* ini menggunakan metodologi serupa (Darni, Sitorus and Hanif, 2014) ; (Asrofi *et al.*, 2020) dan (Tarique *et al.*, 2022).

Berdasarkan hal tersebut. Penelitian disertasi ini, berfokus pada pemanfaatan pati sagu (*Metroxylon sp.*) untuk pembuatan biomaterial atau tepatnya bioplastik. Jenis sagu yang digunakan ini berasal dari Kelurahan Mancani Kecamatan Telluwanua Kota Palopo Provinsi Sulawesi Selatan, terdiri atas 2 yaitu pati sagu Tawaro dan pati sagu Tawaroduri. Langkah awal yang dilakukan adalah menganalisis terhadap kualitas pati sagu (kadar amilosa dan amilopektin). Selanjutnya akan diberikan perlakuan HMT diharapkan dalam modifikasi dapat mengendalikan/meningkatkan sifat mekanik, termal dan degradasi dari polimer sintetik, serta memiliki pembentukan kristal agregat yang kuat dan resistan terhadap proses gelatinisasi. Senyawa kimia *biodegradable gliserol* (CH_2OH) dan Asam Asetat (CH_3COOH) sebagai *plastizer*, akan dianalisis dengan pengujian sifat mekanik dan analisis terhadap paparan cahaya UV material sagu bioplastik, serta diteruskan untuk mengetahui sifat mampu kedar air (hidrofilik) menggunakan pengujian *contact angle*. Sehingga menjadi sebuah benda atau hasil produk yang berguna untuk kehidupan manusia dan diidentifikasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy*.

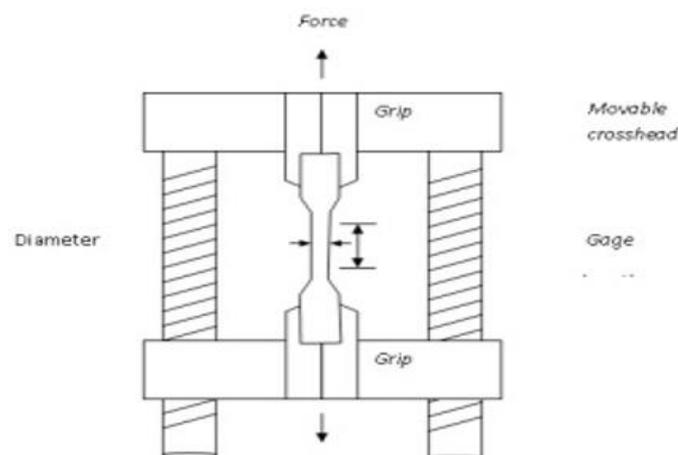
II.1.8 Pengujian Mekanik

Uji tarik penting dilakukan di dalam bidang material, karena dengan pengujian ini dapat diketahui beberapa sifat mekanik material. Sifat mekanik perlu di ketahui ketika dilakukan unruk mengetahui kekuatan sebuah dalam menerima respon dari luar. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk uui sifat mekanik material. Salah satu cara yang dapat dilakukan pengujian



yang dikenal dengan nama pengujian tarik. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.

Seperti pada gambar 7, benda yang diuji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya. Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian mekanik yang paling populer dibandingkan pengujian mekanik yang lainnya. Pengujian ini, selain diperoleh benda kerja yang putus karena proses penarikan, juga dihasilkan sebuah kurva uji tarik. Kurva ini merupakan gambaran dari proses pembebanan pada benda kerja mulai dari awal penarikan hingga benda kerja itu putus.



Gambar 7. Mesin uji tarik yang dilengkapi spesimen ukuran standar

Dari kurva uji tarik ini dapat dihasilkan beberapa data-data sifat mekanik material. Adapun data yang dimaksud adalah kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*), elongasi (*elongation*) dan elastisitas (*elasticity*).

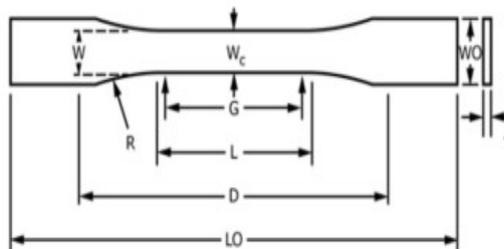
Salah satu hal yang biasa menyebabkan kegagalan pada pada spesimen uji adalah beban yang bekerja pada elemen mesin besarnya melebihi kekuatan material. Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan material bisa diperoleh dari sebuah pengujian yang dikenal dengan nama uji tarik. Dari pengujian itu selain diperoleh spesimen kerja yang putus karena proses penarikan, juga dihasilkan sebuah kurva uji tarik. Kurva ini merupakan gambaran dari proses pembebanan pada spesimen kerja mulai awal penarikan hingga spesimen kerja itu putus.



pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan perubahan panjang hingga akhirnya patah. Hal-hal yang perlu diperhatikan

supaya pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah bentuk dimensi spesimen uji, pemilihan grips dan lain-lain.

- a. Bentuk dan dimensi spesimen uji, spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi. Bentuk dari spesimen penting karena kita harus menghindari terjadinya patah atau retak pada daerah grip atau yang lainnya. Jadi standarisasi dari bentuk spesimen uji dimaksudkan agar retak dan patahan terjadi di daerah *gage length*.



Gambar 8. Dimensi benda pengujian tarik (ASTM D 638)

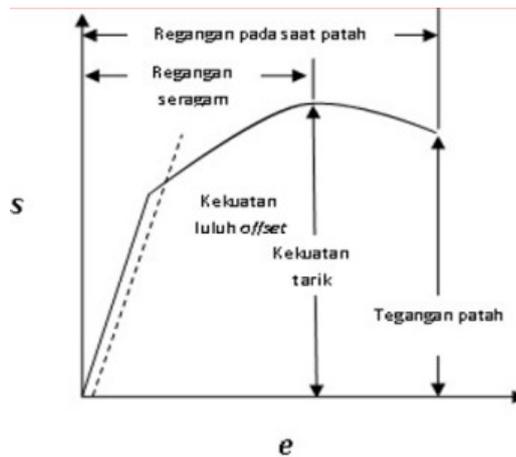
Dimana:

- Wc = Lebar bagian dalam (mm)
- L = Panjang bagian yang dalam (mm)
- Wo = Lebar keseluruhan (mm)
- Lo = Panjang keseluruhan (mm)
- G = Panjang gage (mm)
- D = Jarak antar pegangan (mm)
- R = Jari-jari fillet (mm)
- T = Tebal (mm)

- b. *Grip and face selection, face dan grip* adalah faktor penting, dengan pemilihan *setting* yang tidak tepat, spesimen uji akan terjadi *slip* atau bahkan pecah dalam daerah *grip*. Ini akan menghasilkan yang tidak *valid*. *Face* harus selalu tertutupi di seluruh permukaan yang kontak dengan *grip*. Agar spesimen uji tidak bergesekan langsung dengan *face*. Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang diuji. Dimensi dan ukuran pada bahan uji disesuaikan dengan standar baku pengujian.

Kurva tegangan-regangan teknik dibuat dari hasil pengujian yang didapatkan.





Gambar 9. Contoh kurva uji tarik

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tarik tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan awal penampang benda uji.

Diagram tegangan regangan untuk berbagai tipe material sangat bervariasi, dan kondisi bernagai uji tarik untuk material yang sama juga dapat menghasilkan hasil yang berbeda, tergantung dari temperature spesimen dan kecepatan pembebanan. Dari digram tegangan-regangan kita dapat membedakan jenis material berdasarkan karakteristiknya, yaitu keuletan (*dustile materials*) dan material getas (*brittle materials*).

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- σ = tegangan tarik (N/mm²)
- P = gaya yang diaplikasikan (N)
- A = luas penampang (mm²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal.

$$\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- ϵ = regangan/perpanjangan tarik
- L_i = panjang akhir (mm)
- L_o = panjang awal (mm)



uk dan besaran pada kurva tegangan-reganga suatu logam tergantung pada i perlakuan panas, deformasi plastik, laju regangan, temperatur dan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter-parameter yang

digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas. Dan parameter pertama adalah parameter kekuatan, sedangkan dua yang terakhir menyatakan keuletan bahan.

Bentuk kurva tegangan-regangan pada daerah tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Deformasi tidak berubah pada pembebanan, daerah regangan yang tidak menimbulkan deformasi apabila beban dihilangkan disebut daerah elastis. Apabila beban melampaui nilai yang berkaitan dengan kekuatan luluh, benda mengalami deformasi plastis bruto. Deformasi pada daerah ini bersifat permanen, meskipun bebannya dihilangkan. Tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi plastis akan bertambah besar dengan bertambahnya regangan plastis.

Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas, yaitu:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- E = modulus elastisitas (N/mm³)
- ϵ = regangan (mm)
- σ = tegangan (N/mm²)

II.1.9 Fotodegradasi

Fotodegradasi adalah proses degradasi atau penguraian bahan kimia yang disebabkan oleh paparan sinar matahari, khususnya sinar ultraviolet (Sakti *et al.*, 2017). Proses ini terjadi karena energi sinar UV dapat menyebabkan perubahan dalam ikatan kimia dalam bahan yang terkena paparan sinar UV (Rabek, 1995). Pada tingkat molekuler, fotodegradasi melibatkan serangkaian reaksi kimia kompleks (Meyerhoff, 1970), sinar UV yang masuk ke dalam bahan menyebabkan eksitasi elektron dalam molekul tersebut. Energi yang diterima oleh elektron ini dapat menghasilkan berbagai efek, termasuk:

- a. Fotodegradasi rantai polimer: Sinar UV dapat menyebabkan pemutusan ikatan dalam rantai polimer, baik oleh pemecahan ikatan langsung atau oleh pembentukan radikal bebas yang kemudian merusak ikatan. Pemecahan rantai ini mengurangi ukuran molekul dan dapat menghasilkan fragmen kecil. Energi sinar UV dapat memicu reaksi oksidasi dalam bahan, yang melibatkan transfer elektron atau atom, menghasilkan radikal bebas. Radikal



bebas ini kemudian dapat bereaksi dengan molekul-molekul lain dalam bahan, menyebabkan perubahan kimia dan penurunan sifat fisik.

- c. Pembentukan gugus fungsional: Fotodegradasi juga dapat menghasilkan pembentukan gugus fungsional baru dalam molekul, seperti gugus hidroksil atau karbonil, melalui reaksi kimia yang melibatkan molekul air atau oksigen dalam lingkungan.

Efek paparan sinar matahari pada sifat mekanik dan termal dari film *poliester biodegradable*, juga dilaporkan oleh (López *et al.*, 2015). Mereka menemukan bahwa paparan sinar matahari menyebabkan penurunan kekuatan tarik, kekuatan bengkok, dan kekuatan impak dari film polyester. Selain itu, terjadi perubahan dalam morfologi dan struktur permukaan akibat *fotodegradasi*. Efek *fotodegradasi* menyebabkan perubahan pada sifat-sifat material (Sakti *et al.*, 2017). Dalam konteks bioplastik, *fotodegradasi* dapat mengakibatkan Penurunan kekuatan dan keuletan, perubahan warna, serta penurunan ketahanan terhadap suhu dan lingkungan (Meyerhoff, 1970). Penting untuk dicatat bahwa dampak *fotodegradasi* pada suatu bahan bergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis bahan, komposisi kimianya, intensitas paparan sinar UV, dan kondisi lingkungan. Penggunaan bahan plastic yang mudah mengalami fotodegradasi juga memberikan keuntungan seperti, penguraian yang cepat dilingkungan terbuka, plastic menjadi sangat *biodegradable* yang berarti mudah diurulang secara alami oleh alam atau dibuat menjadi bahan dasar kembali dalam pembuatan bioplastik (Rabek, 1995).

II.1.10 Contact Angle

Kontak angle (sudut kontak) adalah sudut yang terbentuk antara permukaan cairan dan permukaan padat atau antara tiga fase yang berbeda: cairan, padatan, dan gas. Sudut ini menggambarkan sejauh mana cairan tersebut "menyentuh" permukaan padat dan mempengaruhi interaksi antara cairan dan permukaan tersebut (A. Adorna *et al.*, 2022). Sudut kontak dapat memberikan informasi penting tentang sifat fisik dan kimia permukaan, termasuk wettability (kemampuan cairan menyebar pada permukaan) dan adhesi (daya rekat antara cairan dan permukaan) (Gould R.F., 1964) , Ada tiga jenis sudut kontak utama:

- a. Sudut kontak kurang dari 90 derajat: Jika sudut kontak kurang dari 90 derajat,
 - 1 cenderung menyebar dengan baik pada permukaan padat. Ini menunjukkan bahwa permukaan tersebut memiliki sifat yang mudah basah



(*high wettability*) dan cairan dapat menyebar secara merata. Contohnya adalah air yang menyebar pada kaca atau logam

- b. Sudut kontak 90 derajat: Jika sudut kontak adalah tepat 90 derajat, itu menunjukkan bahwa permukaan padat dan cairan memiliki interaksi yang netral. Cairan membentuk tetesan dengan bentuk bulat yang tetap. Contohnya adalah tetesan air pada permukaan yang tidak memiliki afinitas khusus terhadap air.
- c. Sudut kontak lebih besar dari 90 derajat: Jika sudut kontak lebih besar dari 90 derajat, cairan cenderung tidak menyebar dengan baik pada permukaan padat. Ini menunjukkan bahwa permukaan tersebut memiliki sifat yang sulit basah (*low wettability*) dan cairan membentuk tetesan yang terbatas pada permukaan.

Penentuan sudut kontak dapat dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan alat yang disebut *goniometer*. Pengukuran ini melibatkan penempatan tetesan cairan pada permukaan padat dan pengukuran sudut yang terbentuk antara cairan dan permukaan menggunakan alat pengukur sudut kontak (Butt, 2013). Studi tentang sudut kontak dapat memiliki berbagai aplikasi dalam berbagai bidang, termasuk fisika permukaan, kimia, *biomaterials*, industri cat dan *coating*, ilmu material, dan biologi. Sudut kontak dapat digunakan untuk memahami interaksi antara cairan dan permukaan padat, mengoptimalkan sifat permukaan untuk aplikasi tertentu, serta memahami dan mengendalikan proses basah, penyebaran, dan daya rekat pada permukaan (Michael *et al.*, 2017).

Nilai sudut kontak yang dianggap baik atau optimal untuk bioplastik dapat bervariasi tergantung pada aplikasi dan tujuan penggunaannya. Namun, pada umumnya, bioplastik yang memiliki sudut kontak rendah atau dekat dengan nol (kurang dari 20 derajat) dianggap memiliki sifat yang mudah basah (*high wettability*) atau memiliki kemampuan yang baik untuk menyebar pada permukaan padat (Michael *et al.*, 2017). Hal ini karena sudut kontak yang rendah menunjukkan adanya afinitas atau keterikatan yang kuat antara cairan dan permukaan bioplastik.

Dalam banyak aplikasi, seperti pembuatan film, kemasan, atau bahan lapisan, sifat yang baik diperlukan agar bioplastik dapat menyebar dengan merata dan lengan baik pada permukaan yang ingin diaplikasikan



Namun, terkadang sudut kontak yang lebih besar dapat diinginkan tergantung pada aplikasi khusus. Misalnya, dalam aplikasi anti-air atau anti-minyak, sudut kontak yang besar (lebih dari 90 derajat) dapat diinginkan agar cairan tidak menyebar atau menempel pada permukaan bioplastik (Butt, 2013). Perlu dicatat bahwa sudut kontak tidak hanya ditentukan oleh jenis bioplastik yang digunakan, tetapi juga oleh faktor-faktor lain seperti struktur permukaan, pemrosesan, komposisi bahan, dan perlakuan permukaan. Oleh karena itu, dalam konteks bioplastik, nilai sudut kontak yang dianggap baik dapat sangat bervariasi tergantung pada aplikasi dan kebutuhan khusus (Intandiana *et al.*, 2019). Dalam pengembangan produk dan penggunaan bioplastik, penting untuk mempertimbangkan sudut kontak yang sesuai untuk memenuhi persyaratan fungsional dan performa yang diinginkan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sa and Trihadiningrum, 2020), mengeksplorasi pengaruh modifikasi permukaan melalui fotodegradasi sinar UV pada film *polimer biodegradable* terhadap adhesi bakteri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi permukaan yang dihasilkan dari fotodegradasi sinar UV dapat meningkatkan kemampuan antibakteri melalui kenaikan sudut kontak dan peningkatan keterlarutan cairan antimikroba.

II.1.11 Pengujian Mikroba

Tujuan pengujian pertumbuhan mikroba pada permukaan bioplastik adalah untuk mengevaluasi sejauh mana spesimen tersebut mampu mencegah atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Pengujian ini penting dalam berbagai industri, termasuk makanan, farmasi, kosmetik, perawatan pribadi, dan sektor-sektor lain yang melibatkan produk yang bersentuhan langsung dengan kulit atau konsumen. *Bacillus subtilis* adalah bakteri batang gram positif berukuran panjang 2-3 um dan lebar 0.7-0.8 um, bersifat saprofit dan merupakan bakteri tanah yang berkontribusi pada siklus nutrisi karena kemampuannya untuk menghasilkan berbagai enzim. Jenis bakteri ini telah digunakan di industri untuk menghasilkan protease, *amilase*, antibiotik dan bahan



abang *et al.*, 2023). Menurut (Corti *et al.*, 2010) *Bacillus subtilis* adalah bakteri yang mampu menyisihkan logam berat kromium secara tunggal atau sebagai konsorsium dengan bakteri yang lain.

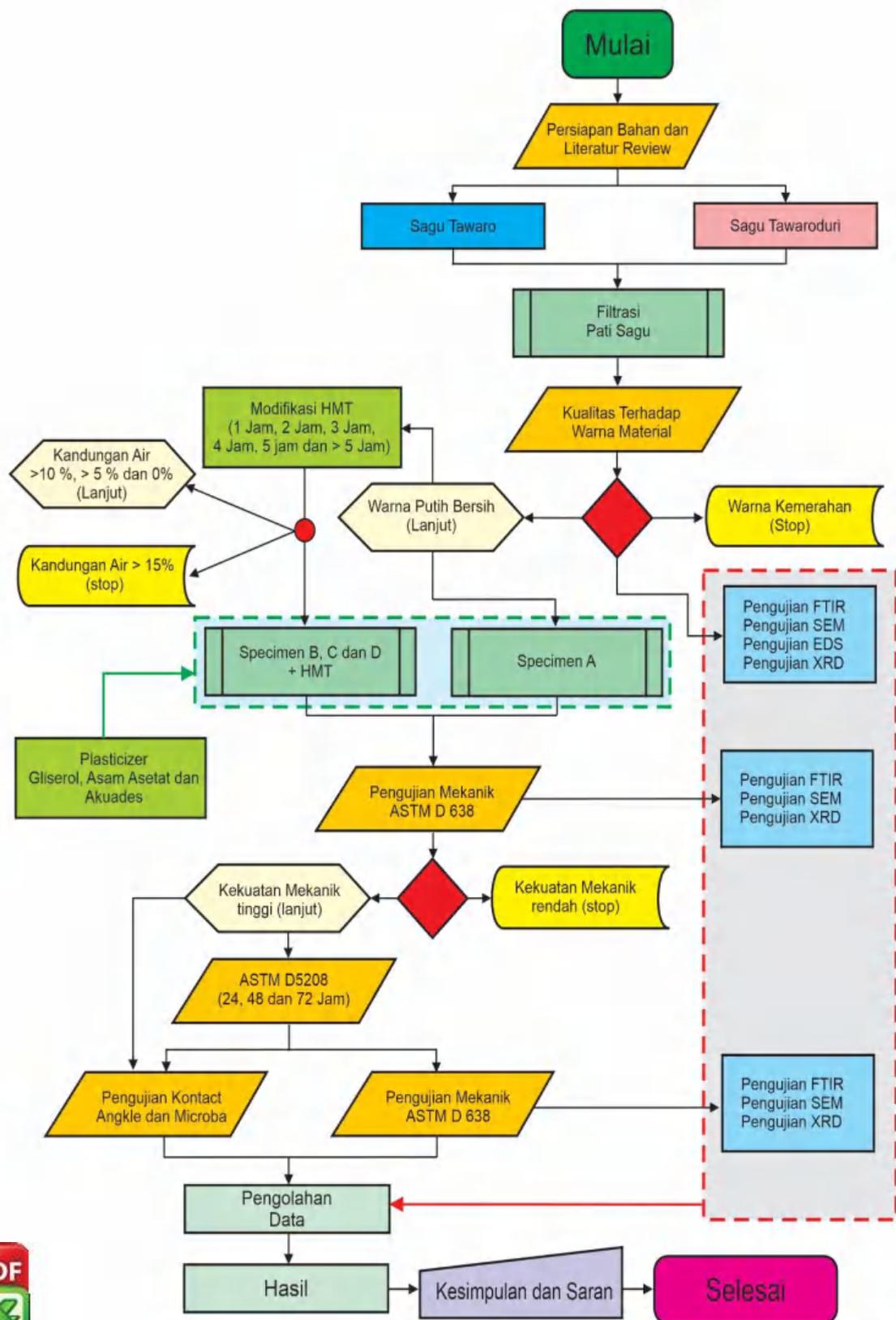
Menurut (Mlalila *et al.*, 2018) pertumbuhan mikroba pada permukaan material bioplastik antara lain:

- a. Keamanan Produk: Pengujian ini membantu memastikan bahwa produk tidak mengandung jumlah mikroba berbahaya yang dapat menyebabkan penyakit atau infeksi pada pengguna atau konsumen.
- b. Stabilitas Produk: Dengan menguji pertumbuhan mikroba pada produk, produsen dapat memahami bagaimana produk bereaksi terhadap lingkungan mikroba sepanjang umur simpannya. Ini penting untuk memastikan bahwa produk tetap aman dan efektif selama jangka waktu yang direkomendasikan.
- c. Pemeliharaan Kualitas: Pertumbuhan mikroba pada permukaan produk dapat mempengaruhi kualitas fisik, kimia, dan organoleptik produk. Pengujian membantu memantau dan menjaga kualitas produk selama umur simpannya.
- d. Kepatuhan Regulasi: Banyak industri tunduk pada regulasi ketat terkait mikrobiologi dan keamanan produk. Pengujian pertumbuhan mikroba diperlukan untuk mematuhi standar dan persyaratan regulasi yang berlaku.
- e. Pengembangan Produk: Informasi yang diperoleh dari pengujian pertumbuhan mikroba dapat digunakan dalam pengembangan produk baru atau dalam perbaikan produk yang ada.

Prosedur pengujian pertumbuhan mikroba pada permukaan material bioplastik melibatkan mengaplikasikan mikroba pada permukaan produk, kemudian mengamati pertumbuhannya selama periode waktu tertentu dengan kondisi lingkungan yang terkontrol. Hasil pengujian dapat memberikan wawasan tentang efektivitas produk dalam mencegah atau mengurangi pertumbuhan mikroba.



II.1.12 Rencana Penelitian



Gambar 10. Rencana penelitian



II.2 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa penggunaan pati sagu (*metroxylon sp*), jenis tawaro dan tawaroduri dari pusat pengolahan sagu di Kelurahan Mancani Kecamatan Telluwanua Kota Palopo Provinsi Sulawesi Selatan, terdapat perbedaan dalam sifat mikrostruktur antara pati sagu tawaro (STA) dan Tawaroduri (STB) yang mempengaruhi kandungan amilosa dan senyawa kimiawinya dalam proses selanjutnya. Perlakuan *Heat Moisture Treatment (HMT)* memiliki pengaruh terhadap sifat mikrostruktur dan mekanik spesimen bioplastik dari pati sagu serta paparan sinar *ultraviolet (UV)* memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat *boidegradable* dan hidrofobik spesimen bioplastik dari pati sagu. Selain itu, karakterisasi FTIR akan mengungkapkan perubahan gugus fungsi dan senyawa kimia dalam material, SEM digunakan untuk mendapatkan gambaran gugus fungsi, struktur molekul dan untuk menganalisis permukaan material dan pengujian mikroba akan membuktikan kemampuan biodegradabilitasnya.

Dengan ini berhipotesis bahwa pati sagu Tawaro, setelah mengalami perlakuan HMT dan paparan radiasi UV, akan menghasilkan material bioplastik memiliki sifat-sifat yang diharapkan (kreteria, ambang batas dan metode uji/verifikasi SNI 7188.7:2016) untuk aplikasi dalam produk kemasan yang ramah lingkungan serta bermanfaat bagi masyarakat.

