

**PEMANFAATAN LIMBAH SERBUK GERGAJI KAYU JATI PUTIH
(*Gmelina arborea* Roxb.) SEBAGAI PLASTIK *BIODEGRADABLE***

*UTILIZATION OF WHITE TEAK SAWDUST WASTE (*Gmelina arborea*
Roxb.) AS BIODEGRADABLE PLASTIC*

ACHMAD AMIRUDDIN



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020

**PEMANFAATAN LIMBAH SERBUK GERGAJI KAYU JATI PUTIH
(*Gmelina arborea* Roxb.) SEBAGAI PLASTIK *BIODEGRADABLE***

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Pengelolaan Lingkungan Hidup

Disusun dan diajukan oleh

ACHMAD AMIRUDDIN

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020

TESIS

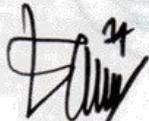
**Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati Putih (*Gmelina arborea*
Roxb.) Sebagai Plastik *Biodegradable***

Disusun dan diajukan oleh

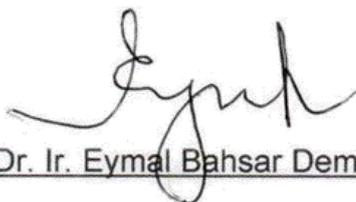
ACHMAD AMIRUDDIN
P032181017

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 10 Juli 2020 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat,


Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si.
Ketua
Dr. Maming, M.Si.
Anggota

Ketua Program Studi
Pengelolaan Lingkungan Hidup


Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmallino, M.Si.

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin


Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Achmad Amiruddin
NIM : P032181017
Program Studi : Pengelolaan Lingkungan Hidup/Teknologi
Lingkungan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau kepemilikan orang lain. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 25 Juni 2020

Yang menyatakan,

Achmad Amiruddin

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis haturkan kepada Zat yang Maha Mengetahui Allah *subhanahu wata'ala* karena berkat izin-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan sebagaimana mestinya. Shalawat dan salam tak lupa pula penulis panjatkan kepada Sang penerima wahyu dan kabar gembira Nabi Muhammad *shollallahu a'laihi wasallam*.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar magister (S2) Pengelolaan Lingkungan Hidup Universitas Hasanuddin Makassar. Tesis ini membahas tentang pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu jati putih sebagai plastik *biodegradable* untuk menggantikan plastik sintetik yang umumnya mencemari lingkungan. Penelitian ini selesai dengan bantuan dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Penghargaan khusus kepada orang tua penulis yaitu Amiruddin dan Sanaria atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan tanpa batas semenjak penulis lahir sampai saat sekarang ini serta kepada saudara penulis Suci Haryati dan Arya Ahmad atas dukungan, motivasi, dan pengorbannya selama penulis menempuh bangku perkuliahan.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan saran dan dukungan dalam penyusunan Tesis sampai saat sekarang ini dan Dr. Maming, M.Si., selaku Pembimbing II, atas segala bimbingan serta kepada Bapak Penguji Dr. Fahrudin, M.Si. dan Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmallino, M.Si. dan Ibu Dr. Paulina Taba, M.Phil. atas dorongan moral dan saran-sarannya sejak dimulai penulisan proposal hingga penulisan tesis ini.

Pada kesempatan ini pula penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A., selaku Rektor Universitas Hasanuddin Makassar, beserta jajarannya.
2. Prof. Dr. Jamaluddin Jompa, Ph.D., selaku Dekan Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Bapak Dr. Ir. Eymal Bahsar Demmalino, M.Si., selaku Ketua Prodi Pengelolaan Lingkungan Hidup Fakultas Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak Muhammad Syahrir, S.Pd., M.Si., selaku Kepala Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Makassar.
5. Bapak dan Ibu Dosen yang telah mengajar dan mendidik penulis, staf Fakultas Pascasarjana Unhas dan Bapak – Ibu laboran Laboratorium Fisika Balai Besar Industri Hasil Perkebunan (BBIHP) Makassar dan Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Makassar.

6. Teman – teman seperjuangan PLH Angkatan 2018 yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
7. Teman-teman “Benzena” khususnya Khairil Afdal, Muhammad Askar, Yusriadi, Susilo Sudarman Desa, Tri Mei Yolanni, Syahriani, Asriani Hayatun dan Nur Awaliah yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama penelitian.
8. Hadira sekeluarga, atas segala dukungan, motivasi kepada penulis selama diperantauan dan seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari tesis ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis memohon maaf atas segala kekurangan. Atas perhatiaannya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.

Makassar, 25 Juni 2020

Penulis

ABSTRAK

ACHMAD AMIRUDDIN. *Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati Putih (*Gmelina Arborea Roxb.*) sebagai Plastik Biodegradable* (dibimbing oleh Muhammad Farid Samawi dan Maming).

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis plastik *biodegradable* yang berasal dari polimer alami yaitu serat selulosa yang terdapat dalam limbah serbuk gergaji kayu jati putih (*Gmelina arborea Roxb.*) dan menentukan massa selulosa berbasis serbuk gergaji kayu jati putih optimum dalam mensintesis plastik *biodegradable*. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara acak (*random sampling*). Tahapan penelitian ini yaitu, ekstraksi selulosa melalui proses delignifikasi dan pemutihan, sintesis plastik *biodegradable* dan uji karakteristik plastik biodegradable (Sifat fisik, Uji mekanik dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dan analisis FTIR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa selulosa berbasis serbuk gergaji kayu jati putih optimum dalam mensintesis plastik *biodegradable* adalah 0,8 gram dengan penambahan kitosan dan plastisizer sorbitol. Hasil nilai daya serap air optimal adalah 40,43%, nilai densitas optimal adalah 1,772 g/mL, uji kuat tarik optimal adalah 5,0449 N/mm² dengan persen pemanjangan 14,81%, dan nilai biodegradasi menunjukkan plastik *biodegradable* dapat terdegradasi dengan presentasi >60% setelah 12 hari. Hasil analisis FTIR plastik *biodegradable* menunjukkan adanya gugus -OH, -NH dan C-O.

Kata Kunci: Polimer, Selulosa, Plastik *Biodegradable*, Degradasi

ABSTRACT

ACHMAD AMIRUDDIN. *The Utilization of White Teak Sawdust (*Gmelina arborea* Roxb.) as Biodegradable Plastic* (supervised by Muhammad Farid Samawi and Maming).

The aims of this research are to synthesize biodegradable plastic derived from natural polymers, i.e. cellulose fibers containing in the waste of white teak sawdust (*Gmelina arborea* Roxb.) and determine cellulose mass based on optimum white teak sawdust in synthesizing biodegradable plastic. The sample was selected using random sampling technique. The stages followed in this research were cellulose extraction through the process of delignification and bleaching, synthesis of biodegradable plastics and testing of characteristics of biodegradable plastic (physical properties, mechanical tests using Universal Testing Machine (UTM) and FTIR analysis). The results of the research indicate that optimum cellulose mass based on teak sawdust in synthesizing biodegradable plastic is 0.8 grams with the addition of chitosan and sorbitol plasticizers. The optimum air absorption value is 40.43%; the optimum tensile strength test is 5.0449 N/mm² with a elongation percent of 14.81%, and the biodegradable value of biodegradable plastic can be degraded by presentation of > 60% after 12 days. The results of FTIR analysis of biodegradable plastic indicate the presence of -OH, -NH and C-O groups.

Key words: polymer, cellulose, biodegradable plastic, degradation

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGAJUAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
E. Ruang Lingkup Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Plastik	8
B. Plastik <i>Biodegradable</i>	11
C. Kayu Jati Putih (<i>Gmelina arborea</i> Roxb.)	20
D. Selulosa	23

E. Kitosan	24
F. <i>Plastisizer</i>	25
G. Karakterisasi	26
1. Densitas	26
2. Daya Serap Air (<i>Water Absorption</i>)	26
3. Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	26
4. Pemanjangan (<i>Elongation</i>)	27
5. Biodegradabilitas	27
H. Kerangka Konseptual Penelitian dan Hipotesis Penelitian	27
BAB III METODE PENELITIAN	30
A. Rancangan Penelitian	30
B. Lokasi Dan Waktu	30
C. Sumber Data	30
D. Alat dan Bahan Penelitian	31
E. Teknik Pengambilan Sampel	31
F. Prosedur Kerja	31
1. Preparasi Bahan Baku Serbuk Gergaji Kayu	31
2. Ekstraksi Selulosa Serbuk Kayu Jati Putih	32
3. Sintesis Plastik <i>Biodegradable</i>	33
G. Pengumpulan dan Analisis Data	33
1. Ketebalan Plastik <i>Biodegradable</i>	33
2. Densitas Plastik <i>Biodegradable</i>	34

3. Daya Serap Air (<i>Water Absorption</i>)	34
4. Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	35
5. Pemanjangan Putus (<i>Elongation at break</i>)	35
6. Biodegradabilitas	36
H. Diagram Alir Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A. Hasil Penelitian	38
B. Pembahasan	42
1. Ekstraksi Selulosa dari Serbuk Gergaji Kayu Jati Putih.....	42
2. Analisa Gugus Fungsi Ekstrak Selulosa dan Plastik <i>Biodegradable</i>	42
3. Densitas Plastik <i>Biodegradable</i>	45
4. Daya Serap Air (<i>Water Absorption</i>)	46
5. Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>).....	48
6. Pemanjangan Putus (<i>Elongation at break</i>)	50
7. Biodegradabilitas Plastik <i>Biodegradable</i>	51
8. Penggunaan Plastik <i>Biodegradable</i> dari Aspek Ekonomi ...	53
BAB V PENUTUP	54
A. Kesimpulan	54
B. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Pohon Kayu Jati Putih (<i>Gmelina arborea</i> Roxb.)	21
Gambar 2. Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati	22
Gambar 3. Struktur Selulosa	24
Gambar 4. Kerangka Konseptual Penelitian	29
Gambar 5. Alur Penelitian	37
Gambar 6. Selulosa berbasis kayu jati putih	38
Gambar 7. Plastik <i>Biodegradable</i>	39
Gambar 8. Biodegradasi plastik selama 12 hari	42
Gambar 9. Gugus fungsi ekstrak selulosa dan plastik <i>biodegradable</i> berbasis kayu jati putih.....	43
Gambar 10. Interaksi selulosa-kitosan dengan sorbitol.....	44
Gambar 11. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap densitas plastik <i>biodegradable</i>	46
Gambar 12. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap daya serap air (%) plastik <i>biodegradable</i>	47
Gambar 13. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap nilai kuat tarik (N/mm ²) plastik <i>biodegradable</i>	49
Gambar 14. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap persen pemanjangan (%) plastik <i>biodegradable</i>	50
Gambar 15. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap biodegradabilitas (%) plastik <i>biodegradable</i>	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Polimer Plastik Berdasarkan Perbedaan Kepadatan.....	10
Tabel 2. Perbandingan Antara Plastik Konvensional dengan Plastik <i>Biodegradable</i> Pada Beberapa Aspek	14
Tabel 3. Standar Karakteristik Plastik <i>Biodegradable</i>	15
Tabel 4. Daftar Beberapa Standar yang Diterbitkan Untuk Biodegradasi Plastik.....	17
Tabel 5. Hasil uji densitas (g/mL) dan daya serap air (%) plastik <i>biodegradable</i>	39
Tabel 6. Hasil uji Kekuatan tarik dan Pemanjangan putus plastik <i>biodegradable</i>	40
Tabel 7. Hasil uji tingkat biodegradabilitas plastik <i>biodegradable</i>	41

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Produksi plastik dan pencemaran lingkungan yang menyertainya telah menunjukkan bahwa limbah plastik telah menjadi masalah lingkungan yang utama. Kurangnya degradabilitas serta masalah air dan pencemaran tanah yang berkembang telah menyebabkan kekhawatiran tentang plastik. Penggunaan plastik yang terlalu banyak dan kapasitas yang tersedia untuk pembuangan limbah plastik yang terbatas, membutuhkan penanganan yang lebih serius terhadap pengelolaan limbah plastik (Tiwari *et al.*, 2018). Ketika limbah plastik dibuang di tempat pembuangan sampah, mereka berinteraksi dengan air dan membentuk bahan kimia berbahaya sehingga kualitas air minum juga dapat dipengaruhi. Saat ini, sebagian besar plastik dibuang ke insinerator. Membakar plastik dalam insinerator akan menghasilkan berbagai zat pencemar yang beracun ke udara, air, dan tanah yang merupakan sumber signifikan polutan kuat, termasuk dioksin dan senyawa organik terklorinasi lainnya yang terkenal dengan efek toksiknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Pavani dan Rajeswari, 2014).

Efek limbah plastik pada organisme laut, manusia, dan lingkungan pada umumnya menjadi perhatian publik, sehingga perlunya

menyelamatkan ekosistem dan kehidupan di dalamnya. Terlepas dari kenyataan bahwa plastik sangat berguna dalam kehidupan sehari-hari, bahan kimia beracun yang digunakan dalam produksi perlu diperhatikan secara menyeluruh untuk memastikan kesehatan dan keamanan lingkungan (Alabi *et al.*, 2019). Mengurangi penggunaan plastik akan meningkatkan peluang memiliki lingkungan yang bersih dan masyarakat yang sehat.

Kementerian Lingkungan Hidup mengasumsikan bahwa, penduduk Indonesia setiap harinya mampu menghasilkan 0,8 kg sampah per orang atau sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Berdasarkan data tersebut, 15% merupakan jenis sampah plastik atau sebanyak 28,4 ribu ton limbah plastik per hari (Iswadi *et al.*, 2017). Kementerian Lingkungan Hidup menyebutkan bahwa plastik berasal dari hasil dari 100 toko atau anggota Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia, yang dalam kurun waktu 1 tahun mencapai 10,95 juta lembar limbah plastik. Jumlah itu ternyata setara dengan luasan 65,7 hektar kantong plastik (Purwaningrum, 2016). Dengan jumlah tersebut, Indonesia menjadi kontributor polutan plastik ke laut terbesar di dunia setelah China, dengan besaran 0,48 - 1,29 juta metrik ton plastik per tahun (Jambeck *et al.*, 2015).

Plastik yang umum ditemukan merupakan jenis plastik sintetik yang terbuat dari polimer sintetik yang sulit terurai secara alami. Sampah plastik mampu menghasilkan pencemaran terhadap tanah, air, makhluk bawah tanah dan udara. Senyawa berbahaya yang terdapat dalam plastik mampu

menjadi racun yang masuk ke dalam tanah dan akan mengurangi mikroorganisme pengurai di dalam tanah seperti cacing. Tidak hanya itu, PCB (Poliklorinasi Bifenil) misalnya, yang sulit terdegradasi walaupun termakan oleh hewan maupun tanaman akan menjadi racun berantai sesuai urutan rantai makanan, dan masih banyak lagi dampak negatif yang ditimbulkan oleh sampah plastik (Purwaningrum, 2016). Semakin meningkatnya sampah plastik di daratan maka akan semakin meningkat pula pencemaran yang akan terjadi di laut. Hal ini dikarenakan, sampah plastik yang pada dasarnya berasal dari daratan akan terbawa arus hingga ke laut, sehingga biota laut dapat terganggu dengan kehadiran plastik.

Kesadaran akan masalah limbah plastik dan dampaknya terhadap lingkungan telah membangkitkan minat baru di bidang polimer yang dapat terdegradasi. Minat terhadap isu-isu lingkungan tumbuh dan ada peningkatan tuntutan untuk mengembangkan bahan yang tidak membebani lingkungan secara signifikan. Plastik *biodegradable* dianggap sebagai alternatif yang lebih baik karena mampu terdegradasi secara alami oleh aktivitas mikroba. Plastik *biodegradable* merupakan plastik ramah lingkungan yang memiliki beragam kegunaan yang potensial dan mampu meningkatkan penggunaan plastik dalam kemasan yang berbasis lingkungan (Vignesh *et al.*, 2016).

Plastik *biodegradable* atau bioplastik merupakan plastik berbahan dasar dari alam atau produk dari makhluk hidup yang dapat diuraikan menggunakan mikroorganisme, sehingga bioplastik lebih ramah lingkungan

dibandingkan dengan plastik komersial (Agustin *et al.*, 2016). Material yang sering dimanfaatkan dalam sintesis plastik *biodegradable* berasal dari jagung, selulosa, mikro biota (Mukhopadhyay *et al.*, 2017) dan lipid atau protein yang ada pada dalam hewan (Felix *et al.*, 2016).

Plastik *biodegradable* umumnya terurai secara alami menghasilkan air, karbon dioksida dan biomassa, dan tidak berada di lingkungan selama bertahun-tahun. Dekomposisi plastik jenis ini mengalami proses yang sama dengan bahan organik. Dengan demikian, plastik *biodegradable* dapat dibuang bersama dengan limbah organik. Selain itu, beberapa bioplastik dapat menjadi komponen sumber energi terbarukan. Dengan adanya material yang dapat terbiodegradasi, maka dapat mengurangi jumlah limbah, menurunkan emisi gas rumah kaca dan memastikan penggunaan sumber daya lingkungan yang berkelanjutan (Krepsztul *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai sintesis bioplastik dengan memanfaatkan biopolimer diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Sutan *et al.*, (2019) dengan memanfaatkan pati dari kulit singkong-serat sabut siwalan yang menghasilkan nilai kuat tarik 2,094 N/mm². Oktaviani *et al.*, (2019), memanfaatkan pati sagu menghasilkan nilai kuat tarik 9,34 N/mm². Pemanfaatan pati sebagai baku dalam mensintesis bioplastik memiliki potensi yang besar di Indonesia khususnya, yang mana ada beberapa tanaman yang memiliki kandungan pati yang cukup banyak. Namun, pati lebih banyak dimanfaatkan sebagai sumber pangan bagi manusia. Selain itu, kekurangan lain yang terdapat pada bioplastik

berbahan pati adalah rendahnya kekuatan mekanik. Oleh karena itu, diperlukan adanya alternatif sumberdaya baru yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik yang tersedia melimpah di alam serta dapat terurai dengan cepat, namun yang bukan digunakan sebagai bahan pangan sebagai contohnya selulosa. Selulosa merupakan jenis molekul yang paling banyak ditemukan di alam, seperti pada limbah pertanian dan limbah perkebunan. Kelebihan dari penggunaan selulosa yaitu memiliki nilai kuat tarik yang baik (Sutan *et al.*, 2019)

Penelitian yang dilakukan oleh Chadijah *et al.*, (2018), memanfaatkan selulosa dari ampas tebu menghasilkan nilai kuat tarik sebesar 0,089 Kgf/cm² atau 0,0087 N/mm². Berdasarkan penelitian tersebut, maka selulosa dari limbah serbuk gergaji kayu dapat dimanfaatkan sebagai plastik *biodegradable*. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan limbah serbuk gergaji kayu jati putih dengan penambahan kitosan dan *plastisizer* sorbitol sebagai bahan pendukung dalam peningkatan sifat mekanik dan fungsional plastik *biodegradable* yang dihasilkan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka beberapa hal yang menjadi rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sintesis plastik *biodegradable* dari limbah serbuk gergaji kayu jati putih ?

2. Bagaimana karakteristik plastik *biodegradable* yang dihasilkan?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis plastik *biodegradable* dari limbah serbuk gergaji kayu jati putih; dan
2. Menganalisis karakteristik dari plastik *biodegradable*.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi para peneliti untuk mengembangkan produk plastik *biodegradable* yang ramah lingkungan;
2. Sebagai referensi kepada masyarakat dan pemerintah untuk mengolah dan memanfaatkan limbah serbuk gergaji kayu jati putih sebagai plastik *biodegradable* bahan kemasan yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan; dan
3. Membantu pemerintah dalam menangani pencemaran lingkungan yang bersumber dari limbah plastik.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah sintesis dan karakterisasi plastik *biodegradable* berbasis limbah serbuk gergaji kayu jati putih.

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan limbah serbuk gergaji kayu jati putih dengan variasi selulosa berbasis serbuk gergaji kayu jati putih sebesar 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 g. Adapun karakteristik yang akan diuji meliputi densitas, daya serap air, kuat tarik, pemanjangan putus dan biodegradabilitas.

Penelitian dan uji karakteristik dilakukan dengan skala laboratorium di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Makassar dan Balai Besar Industri Hasil Perkebunan (BBIHP) Makassar. Adapun limbah serbuk gergaji kayu jati putih berasal dari tempat proses penggergajian kayu di Lappa-lappae, Kec. Suppa, Kab. Pinrang, sedangkan bahan lainnya seperti *plastisizer* dan kitosan berasal dari toko bahan kimia di dalam Kota Makassar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Plastik

Plastik merupakan bahan polimer sintesis yang dibuat melalui proses polimerisasi yang tidak dapat dilepaskan dari kehidupan masyarakat sehari-hari. Plastik digunakan dalam berbagai aplikasi, sehingga produksi plastik meningkat secara intensif. Diperkirakan bahwa di masa depan, produksi plastik dapat berlipat ganda pada tahun 2035 dan hampir empat kali lipat pada tahun 2050. Masih dalam skala global, sebagian besar sampah plastik ditimbun dan hanya 9% limbah plastik antara tahun 1950 dan 2015 yang didaur ulang (Mrowiec, 2018). Penggunaan plastik di Indonesia sebagai bahan pengemas pangan untuk memenuhi keperluan sehari-hari sangat banyak. Bahan kemasan yang berasal dari polimer petrokimia ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu ringan, kuat, tidak mudah pecah, transparan, fleksibel serta harganya yang relatif murah (Kamsiati *et al.*, 2017).

Plastik dibagi menjadi dua klasifikasi utama berdasarkan pertimbangan-pertimbangan ekonomi dan kegunaannya, yaitu plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik Komoditi memiliki harga yang relatif lebih murah dibandingkan plastik teknik, namun memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dan daya tahan yang kurang dibandingkan dengan plastik teknik. Plastik komoditi pada dasarnya terdiri atas empat jenis polimer, yaitu PE

(polietilena), PP (polipropilena), PVC (poli(vinil klorida)) dan PS (polistirena). Plastik-plastik teknik yang utama, diantaranya adalah polikarbonat, poliamida dan poliester. Plastik-plastik teknik digunakan dalam berbagai bidang diantaranya bidang transportasi, konstruksi, barang-barang listrik dan elektronik serta mesin industri (Nasution, 2015).

Plastik terbagi menjadi dua jenis berdasarkan sifatnya yaitu *thermosetting* dan *thermoplastic*. *Thermosetting* merupakan plastik yang bila telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dilelehkan kembali dengan cara dipanaskan. Sedangkan *thermoplastic* merupakan bahan bila dipanaskan hingga suhu tertentu, akan meleleh dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik tersebut maka *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang (Purwaningrum, 2016).

Selain memahami polimer yang paling umum digunakan dalam bahan plastik, memahami kegunaan utama mereka di pasar global dapat memberikan wawasan tentang sumber utama sampah plastik. Sebagaimana diketahui, pengemasan mewakili sektor pasar dominan untuk plastik 36%, diikuti oleh bangunan dan konstruksi 16% dan tekstil 15%. Polimer plastik berdasarkan perbedaan tingkat kepadatan dapat dilihat pada Tabel 1 (GESAMP, 2016).

Tabel 1. Polimer plastik berdasarkan perbedaan kepadatan

Polimer	Penggunaan Secara Umum	Berat jenis	Sifat
polistirena (<i>expanded</i>)	<i>cool boxes</i> , pelampung, gelas	0,02-0,64	Mengapung
Polipropilena	tali, tutup botol, pengikat	0,90–0,92	
polietilena	kantong plastik , wadah penyimpanan	0,91–0,95	
stirena-butadiena (SBR)	ban mobil	0,94	
rata-rata air laut		1,03	
Polistirena	peralatan, container/wadah	1,04–1,09	Tenggelam
poliamida atau Nilon	jaring pancing, tali	1,13–1,15	
Polakrilonitril	Tekstil	1,18	
polivinil klorida	film, pipa, wadah	1,16–1,30	
poli metil akrilat	kaca akrilik	1,17-1,20	
Poliuretan	busa kaku & fleksibel untuk isolasi & perabot	1,20	
elulosa asetat	filter rokok	1,22–1,24	
Polietilen tereftalat (PET)	Botol	1,34–1,39	
resin poliester + fiberglass	tekstil, kapal	>1,35	
Rayon	takstil/produk kebersihan	1,50	
politetrafluoroetilen (PTFE)	teflon, plastik isolasi	2,2	

Plastik dalam kehidupan manusia dapat menghemat biaya, bahan mentah, dan energi karena sifatnya yang ringan dan mudah diproduksi. Namun, plastik mempunyai kelemahan dari sisi lingkungan dan keamanan pangan. Material plastik tidak tahan terhadap panas sehingga mencemari produk dengan migrasi komponen monomernya, sehingga berdampak terhadap kesehatan konsumen. Selain itu, kelemahan plastik yang lainnya adalah tidak dapat dihancurkan secara alami (*non-biodegradable*) sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan (Coniwanti *et al.*, 2014).

Tumpukan sampah plastik berbanding lurus dengan tingkat konsumtif penduduk akan bahan kemasan. Berbagai solusi yang telah dilakukan untuk meminimalisir limbah plastik, misalnya dengan menerapkan sistem plastik berbayar, menggunakan kantong belanja dan botol minuman sendiri, namun hal tersebut tidak memberi pengaruh terhadap penggunaan plastik. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain untuk mengurangi limbah plastik, yaitu dengan menggunakan plastik yang ramah lingkungan yang dikenal dengan nama plastik *biodegradable* atau bioplastik.

B. Plastik *Biodegradable*

Plastik *biodegradable* atau bioplastik merupakan jenis plastik yang terdegradasi oleh aktivitas mikroorganisme. Plastik *biodegradable* memiliki manfaat yang sama dengan jenis plastik yang umum digunakan masyarakat yaitu plastik sintetik. Plastik *biodegradable* merupakan plastik

yang ramah terhadap lingkungan karena sifatnya yang dapat kembali ke alam. Pada dasarnya, plastik *biodegradable* diartikan sebagai plastik yang dapat didaur ulang dan dapat terurai secara alami atau dengan bantuan mikroorganisme (Coniwanti *et al.*, 2014).

Plastik *biodegradable* dapat disintesis dari berbagai bahan alami dan hasil dari proses-proses makhluk hidup. Bahan yang sering digunakan dalam sintesis plastik *biodegradable* berasal dari jagung, selulosa, mikro biota (Mukhopadhyay *et al.*, 2017) dan lipid atau protein yang ada pada hewan (Felix *et al.*, 2016). Sintesis plastik *biodegradable* didasarkan pada interaksi antara monomer-monomer penyusunnya yang terhubung melalui ikatan hidrogen.

Plastik *biodegradable* saat ini dikembangkan untuk menggantikan keberadaan plastik sintetik. Coniwanti *et al.*, (2014), mengklasifikasi 3 kelompok polimer yang dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk mensintesis plastik *biodegradable*, yaitu :

1. Gabungan polimer sintetis dengan biopolimer: Plastik ini dibuat dari polimer sintetis dan campuran granula pati (5 – 20%) dengan bahan tambahan (prooksidan dan autooksidan). Polimer ini memiliki angka biofragmentasi sangat terbatas dan biodegradabilitas yang rendah.
2. Polimer mikrobiologi (poliester): Polimer ini diperoleh dengan cara fermentasi atau bioteknologi memanfaatkan mikroba genus *Alcaligenes*. Misalnya diantaranya polihidroksi valerat (PHV), polihidroksi butirat (PHB), asam poliglikolat dan asam polilaktat. Polimer

ini mampu terurai dengan bantuan bakteri, jamur dan alga. Namun, karena proses produksi bahan bakunya yang sulit sehingga membuat harga dari plastik *biodegradable* ini relatif mahal.

3. Polimer pertanian: Polimer ini merupakan biopolimer murni dari hasil pertanian dan tanpa penambahan bahan sintetis. Polimer pertanian ini berupa, *pullulan* (hasil fermentasi pati oleh *Pullularia pullulans*), kitin (pada kulit Crustaceae) dan selulosa (bagian dari dinding sel tanaman). Polimer ini memiliki sifat termoplastik, yaitu mempunyai kemampuan untuk dibentuk atau dicetak menjadi film kemasan. Kelebihan dari polimer jenis ini adalah ketersediaan sepanjang tahun (*renewable*) dan mudah hancur secara alami (*biodegradable*).

Plastik *biodegradable* berbeda dengan plastik sintetis atau konvensional karena plastik *biodegradable* memiliki sifat yang ramah lingkungan karena sifatnya dapat kembali ke alam dan dapat diperbaharui (Afif *et al.*, 2018). Sedangkan plastik sintetis atau konvensional terbuat dari minyak bumi yang berasal dari bahan bakar fosil yang terbatas jumlahnya dan tidak dapat di perbaharui (Arizal *et al.*, 2017), sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan antara plastik konvensional dengan plastik *biodegradable* pada beberapa aspek

Aspek	Plastik konvensional/non <i>biodegradable</i>	Bioplastik/ Plastik <i>Biodegradable</i>
Bahan Baku	Sebagian besar dibuat dari bahan yang tidak dapat diperbaharui (minyak bumi)	Dibuat dari bahan yang dapat diperbaharui
Teknologi	Sudah mapan	Sudah ada produsen yang mengembangkan. Namun, masih banyak yang dalam tahap penelitian .
Lingkungan	Tidak ramah lingkungan (perlu ratusan tahun untuk terdegradasi oleh alam), menghasilkan emisi karbon yang tinggi.	Ramah lingkungan (dapat terdegradasi oleh alam dalam waktu 3-6 bulan), emisi karbon yang lebih rendah.

Sumber: Kamsiati *et al.*, 2017.

Plastik *biodegradable* secara konvensional sering digunakan sebagai bahan kemasan makanan dan minuman, kantong plastik, pengemas souvenir, sedotan air minum (pipet), dan lain-lain. Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan terhadap plastik *biodegradable* yang dapat digunakan berdasarkan standar yang disajikan pada Tabel 3, antara lain: (Arini *et al.*, 2017 dan Saptorahardjo, 2016; Ikhwanuddin, 2018)

Tabel 3. Standar karakteristik plastik *biodegradable*

Parameter	Plastik Konvensional	Plastik <i>Biodegradable</i> Novamont	Plastik <i>Biodegradable</i> Enviplast
Densitas (g/mL)	0.95	-	1,27-1,32
Daya Serap Air	21,5% (Suhu 25 °C) 69,09% (Suhu 100 °C)	-	-
Kuat Tarik (N/mm ²)	24,7-302	22-36	12-18
Pemanjangan Putus (%)	21-220	21-220	225-300
Modulus Elastisitas (MPa)	117-137	90-700	5,3-6
Hambatan pada Permukaan (Ω .mm)	-	-	$10^{7,5}$ - 10^{10}
Titik Leleh (°C)	-	-	140-160

Selain untuk kemasan, plastik *biodegradable* juga dapat dimanfaatkan dalam bidang medis dan farmasi karena plastik *biodegradable* memiliki beberapa keunggulan diantaranya, yaitu (Pratiwi *et al.*, 2016; Ikhwanuddin, 2018):

1. Dapat mengurangi emisi CO₂. Satu metrik ton plastik *biodegradable* menghasilkan antara 0,8 sampai 3,2 metrik ton lebih sedikit karbon dioksida dari satu metrik ton plastik berbasis minyak bumi.
2. Mengatasi masalah sumber minyak bumi yang semakin berkurang dengan kenaikan harga minyak yang semakin meningkat sebagai bahan pembuatan plastik sintetik atau konvensional.

3. Mengurangi limbah yang dihasilkan oleh plastik sintetik atau konvensional yang dapat menyebabkan efek rumah kaca.

Namun, dari beberapa keunggulan yang dimiliki, plastik *biodegradable* juga memiliki kelemahan diantaranya, yaitu (Arikan *et al.*, 2015):

1. Masalah daur ulang. Bahan plastik *biodegradable* sebenarnya dapat mencemari proses daur ulang jika tidak dipisahkan dari plastik konvensional.
2. Mengurangi bahan baku plastik *biodegradable* yang dihasilkan dari sumber terbarukan dapat mengurangi cadangan bahan baku.

Plastik *biodegradable* dirancang untuk memudahkan proses degradasi terhadap reaksi enzimatik mikroorganisme pengurai seperti bakteri dan jamur (Afif *et al.*, 2018). Namun, ada beberapa standar biodegradasi yang diterbitkan agar pemilihan metode pengujian didasarkan pada bidang potensial penerapan uji polimer, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4 (Arikan *et al.*, 2015).

Tabel 4. Daftar beberapa standar yang diterbitkan untuk biodegradasi plastik

Standar	Deskripsi
AS 4736-2006	Plastik <i>biodegradable</i> yang cocok untuk pengomposan dan perawatan mikroba lainnya.
ASTM D5209-92	Metode uji standar untuk menentukan biodegradasi aerobik dari bahan plastik pada lumpur limbah kota.
ASTM D5338-98	Metode uji standar untuk menentukan biodegradasi aerobik dari bahan plastik dalam kondisi pengomposan terkontrol.
DIN V 54900-2	Pengujian komposabilitas plastik, pengujian biodegradabilitas lengkap plastik dalam uji laboratorium.
EN 13432:2000	Persyaratan untuk kemasan dapat dipulihkan melalui pengomposan dan biodegradasi — skema pengujian dan kriteria evaluasi untuk penerimaan akhir pengemasan
ISO 14851:1999	Penentuan biodegradasi aerobik dari bahan plastik dalam metode medium berair dengan mengukur kebutuhan oksigen dalam respirometer tertutup
ISO 15314:2004	Metode untuk paparan laut ISO 16221: 2001 kualitas air - pedoman untuk penentuan biodegradabilitas di lingkungan laut.
CEN/TR 15822	Plastik <i>biodegradable</i> di atau pada pemulihan tanah, pembuangan dan (di bawah persetujuan) masalah lingkungan terkait.
AFNOR NF U52-001	Bahan yang dapat terurai secara hayati untuk digunakan dalam produk mulsa pertanian dan hortikultura - persyaratan dan metode pengujian

Plastik *biodegradable* menawarkan banyak keuntungan seperti peningkatan kesuburan tanah dan pengurangan biaya pengelolaan limbah. Lebih lanjut, plastik yang dapat terurai secara hayati dapat didaur ulang menjadi metabolit yang berguna (monomer dan oligomer) oleh mikroorganisme dan enzim (Mahalakshmi, 2014).

Penelitian tidak bisa lepas dari kegiatan karakterisasi atau pengukuran. Dengan karakterisasi kita bisa yakin bahwa material plastik *biodegradable* pada penelitian ini sudah memenuhi kriteria standar yang ditujukan. Karakterisasi dapat dilakukan dengan menganalisis sifat mekanik dan sifat fungsionalnya.

1. Sifat Mekanik

Sifat mekanik suatu material seperti kekuatan tarik dan pemanjangan putus menunjukkan kekuatan material tersebut (Muthawali, 2011). Analisa kekuatan tarik plastik *biodegradable* dilakukan dengan penambahan beban pada material hingga material tersebut putus. Penambahan panjang material diukur pada saat pengujian kuat tarik. Material mengalami pertambahan panjang karena adanya beban atau gaya yang diberikan pada material tersebut yang dikenal dengan deformasi. Elastisitas (pemanjangan putus) dapat dicari dengan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula. Uji kuat tarik dan pemanjangan putus dapat diuji dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Standar kuat tarik untuk plastik adalah sebesar 24,7-302 N/mm² sedangkan untuk pemanjangan putus adalah 21-220% (SNI 7188.7-2016).

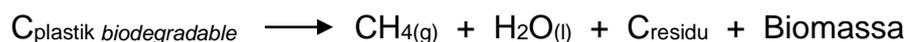
2. Sifat Fungsional

Sifat fungsional adalah sifat yang berhubungan dengan proses persiapan, pengolahan dan penyimpanan suatu bahan. Hal ini dapat diamati dengan uji daya serap air, biodegradabilitas serta gugus fungsi. Uji daya serap air bertujuan untuk mengetahui daya tahan dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan dengan melihat kemampuannya untuk menyerap air.

Uji biodegradabilitas dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan bertujuan untuk menentukan bahan atau material tersebut dapat terurai secara alami atau dengan bantuan mikroorganisme. Degradasi film dapat terjadi pada lingkungan abiotik dan biotik. Proses degradasi pada abiotik dapat berupa degradasi karena panas, sinar UV, oksidasi, hidrolisis, dan lainnya sedangkan degradasi pada lingkungan biotik berupa serangan mikroba misalnya kapang, ganggang, bakteri dan lainnya (Mandal *et al.*, 2017). Proses degradasi plastik *biodegradable* juga dapat terjadi secara aerobik dan anaerobik. Proses yang terjadi pada aerobik yaitu :



Proses degradasi plastik *biodegradable* anaerobik :



C. Kayu Jati Putih

Kayu jati (*Tectona grandis* L.f.) adalah jenis kayu yang paling banyak digunakan karena memiliki corak yang elegan dan unik, awet, stabil, kuat, dan proses pengerjaannya mudah. Umumnya jati dirancang sebagai produk kayu vinir, mebel dan dan gergajian. Kayu memiliki sifat fisik tertentu yang dijadikan sebagai dasar dalam menentukan kualitasnya. Sifat fisik kayu salah satunya yaitu memiliki kerapatan yang sejauh ini paling banyak diteliti dibanding sifat lainnya karena berkaitan dengan perubahan dimensi, pengerjaannya, dan kekuatannya. Sifat dasar terhadap pemanfaatan kayu secara menyeluruh akan membantu dalam memanfaatkan kayu secara maksimal maupun peningkatan kualitas kayunya (Marsoem *et al.*, 2014).

Produksi kayu jati pada tahun 2017 di Indonesia sebanyak 0,54 juta m³. Laporan produksi kayu jati di Pulau Sulawesi adalah 0,15 juta m³ (Badan Pusat Statistik, 2018), sedangkan khusus Provinsi Sulawesi Selatan, produksi kayu jati sebesar 41.608,81 m³ (Badan Pusat Statistik, 2017). Kandungan yang terdapat dalam kayu jati yaitu terdiri dari holoselulosa (63-76%), selulosa (40-50%) dan beberapa kandungan anorganik lainnya. Sifat dan karakteristik kayu jati yang bagus, menjadikan kayu jati banyak digunakan untuk keperluan dekorasi dan konstruksi (Lukmandaru, 2010). Jenis kayu jati yang banyak digunakan yaitu jenis kayu jati putih yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pohon kayu jati putih (*Gmelina arborea* Roxb.)
(Sumber: <https://kupang.tribunnews.com/>)

Kayu jati putih (*Gmelina arborea* Roxb.), adalah salah satu jenis pohon di Indonesia yang tumbuh dengan cukup cepat, tingginya dapat mencapai 30-40 meter, diameter rata-ratanya 60-140 cm dan bentuk batangnya silindris. Sifat kimia dan fisik dari kayu jati putih yaitu terletak pada warnanya mulai dari kayu yang memiliki warna putih krem sampai dengan kuning jerami dan dapat berubah menjadi coklat merah. Kayu mudah digergaji dan diserut dengan hasil licin dan mengkilap, serat agak berpadu bervariasi dari lurus sampai ikal, jumlah serat kayu 64,2% tekstur agak besar. Densitas kayu berkisar 0,38-0,42 dimana nilai densitas tidak dipengaruhi oleh kecepatan tumbuh (Kosasih dan Danu, 2013).

Produksi kayu jati putih di Indonesia pada tahun 2016 adalah 6.806,97 m³. Sedangkan untuk produksi kayu jati putih khusus di Provinsi Sulawesi Selatan adalah 359,06 m³ (Badan Pusat Statistik, 2017). Jumlah ini menunjukkan bahwa penggunaan kayu jati putih sangat populer. Kayu

jati putih sering dimanfaatkan sebagai meubel karena memiliki tekstur yang kuat dan kokoh dan bagus untuk membuat lemari dan berbagai macam perabotan rumah. Seiring dengan meningkatnya produksi dan pemakaian kayu jati putih, maka semakin meningkat pula limbah yang akan dihasilkan bila tidak ditangani. Umumnya, limbah kayu jati putih berasal dari hasil proses penggergajian kayu. Serbuk gergaji atau serbuk kayu bila tidak diolah dengan baik, maka akan mencemari lingkungan, misalnya serbuk kayu yang beterbangan di jalanan sehingga mengganggu para pengguna jalan yang ada di sekitarnya dan bila dibiarkan maka akan semakin menumpuk dan terkadang menghasilkan bau karena interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Limbah serbuk gergaji kayu jati disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Limbah serbuk gergaji kayu jati
(Foto : A. Amiruddin)

Kayu jati putih yang diproses biasanya diangkut dalam 1 truk dengan jumlah batang kayu berkisar antara 20-60 batang dalam bentuk bulat

dengan panjang rata-rata dua meter. Diperkirakan berat puluhan kayu tersebut mencapai hingga 4 m³. Berdasarkan jumlah tersebut, dapat diperkirakan bahwa limbah yang dapat dihasilkan dalam proses penggergajian adalah sekitar 20 kg hingga 70 kg (Basri, Pengusaha Pengolahan Kayu “wawancara”). Limbah yang dihasilkan biasanya dijadikan sebagai bahan campuran pupuk tanaman atau sebagai bahan bakar untuk menggantikan kayu bakar. Namun karena pemanfaatannya terbilang masih kurang, maka diperlukan solusi lain guna mengurangi limbah tersebut. Upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkannya sebagai plastik *biodegradable*.

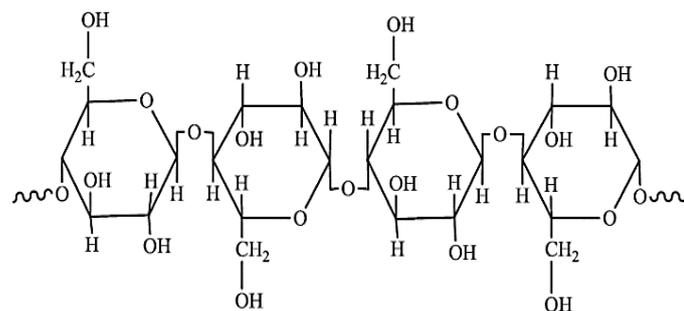
D. Selulosa

Selulosa merupakan polimer glukosa dengan bentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Selulosa bersifat tidak mudah larut dan kristalin karena bentuk strukturnya yang linier. Selulosa tidak mudah terurai secara mekanis maupun kimia. Selulosa di alam berhubungan dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan (Oliveira *et al.*, 2016).

Selulosa adalah biopolimer yang dapat diperoleh dari hasil pertanian. Polimer produk dari pertanian memiliki sifat termoplastik yang berpotensi dimanfaatkan dalam mensintesis plastik. Polimer ini memiliki beberapa keunggulan misalnya dari aspek lingkungan yaitu terbarukan (*renewable*) dan mudah terdegradasi oleh alam atau secara alami (*biodegradable*).

Data tersebut menunjukkan bahwa polimer jenis ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan plastik *biodegradable* yaitu plastik yang mudah terdegradasi oleh alam atau mikroba menjadi komponen yang ramah lingkungan (Pratiwi *et al.*, 2016).

Selulosa dapat diubah menjadi berbagai macam senyawa kimia lain sehingga memiliki nilai tambah. Struktur selulosa yang unik, membuat selulosa cenderung membentuk ikatan hidrogen yang kuat. Hal ini lah yang menyebabkan selulosa sering digunakan sebagai bahan dasar karena memiliki sifat fisik yang tahan terhadap panas, kuat, tahan terhadap pengaruh biologis maupun bahan kimia, tidak mudah mengalami kerusakan karena memiliki daya serap air yang rendah. Adapun struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur selulosa (Mulyadi, 2019)

E. Kitosan

Kitosan merupakan poli-(2-amino-2-deoksi- β -(1-4)-D-glukopiranos) dengan rumus molekul $(C_6H_{11}NO_4)_n$ yang diperoleh dari destilasi kitin. Kitosan berfungsi sebagai perekat dan penguat, karena adanya ikatan

kationik $-NH_2$ yang dapat berikatan hidrogen dengan polimer lain. Struktur rantai polimer yang linear pada kitosan cenderung membentuk fasa kristalin karena mampu menyusun molekul polimer yang teratur. Fasa ini dapat memberikan kekuatan, kekakuan dan kekerasan (Jannah, 2017). Adanya ikatan hidrogen yang kuat akan memperkecil jarak antarmolekul selulosa-kitosan dan meningkatkan kerapatan atau densitas plastik *biodegradable*. Jumlah kitosan berbanding lurus dengan kekuatan tarik film selama terdapat gugus OH bebas yang masih dapat berikatan.

F. *Plastisizer*

Plastisizer (bahan pelembut) merupakan bahan organik dengan berat molekul rendah yang dimanfaatkan pada suatu material untuk meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas polimer sekaligus menurunkan kekakuan dari polimer tersebut. *Plastisizer* yang banyak dimanfaatkan yaitu sorbitol dan gliserol karena senyawa tersebut stabil dan tidak beracun. Gliserol dan sorbitol merupakan *plastisizer* untuk meningkatkan ketahanan dan fleksibilitas film pada saat disimpan pada suhu rendah serta mengurangi kerapuhan. Selain itu, sorbitol memiliki sifat yang tidak mudah menguap sehingga pada saat proses pencampuran yang disertai dengan pemanasan, tidak terjadi pengurangan volume sorbitol (Hidayati *et al.*, 2015). Konsentrasi *plastisizer* berbanding lurus dengan kelarutan. Semakin banyak penambahan *plastisizer* maka akan meningkatkan kelarutan suatu film (Coniwanti *et al.*, 2014).

G. Karakterisasi

1. Densitas

Densitas merupakan pengukuran massa suatu material per unit volume. Semakin tinggi densitas (massa jenis) suatu material, maka semakin besar pula massa setiap volumenya (Ikhwanuddin, 2018).

2. Daya Serap Air

Daya serap air merupakan kemampuan suatu plastik *biodegradable* dalam menyerap air. Semakin besar air yang diserapnya maka semakin mudah material tersebut mengalami kerusakan. Uji ini dilakukan untuk mengetahui ikatan yang terjadi dalam polimer serta tingkatan/keteraturan ikatan dalam polimer yang ditentukan melalui persentase penambahan berat polimer setelah mengalami pengembangan (Illing *et al.*, 2017; Ikhwanuddin, 2018).

3. Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Kuat tarik adalah kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa menjadi putus. Kuat tarik suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula-mula sebelum terdeformasi (Ikhwanuddin, 2018).

4. Pemanjangan Putus (*Elongation at break*)

Pemanjangan putus merupakan penambahan panjang dari spesimen uji atau plastik *biodegradable* hingga mengalami pemutusan. Pemanjangan putus juga merupakan total perpanjangan pada potongan uji pada waktu ketika mengalami pemutusan. Pemanjangan putus diukur oleh penambahan dalam jarak antara dua garis yang ditempatkan dalam potongan uji sebelum proses pemotongan dimulai (Ikhwanuddin, 2018).

5. Biodegradabilitas

Biodegradabilitas merupakan kemampuan suatu plastik *biodegradable* untuk mengalami degradasi (pemutusan rantai utama membentuk fragmen-fragmen dengan berat molekul rendah) yang disebabkan oleh mikroba yang ada di lingkungan luar baik di tanah maupun di air. Uji degradabilitas dilakukan berdasarkan EN13432 menggunakan metode *soil burial test* dengan memanfaatkan mikroba tanah dengan mengubur sampel di dalam tanah (Ikhwanuddin, 2018).

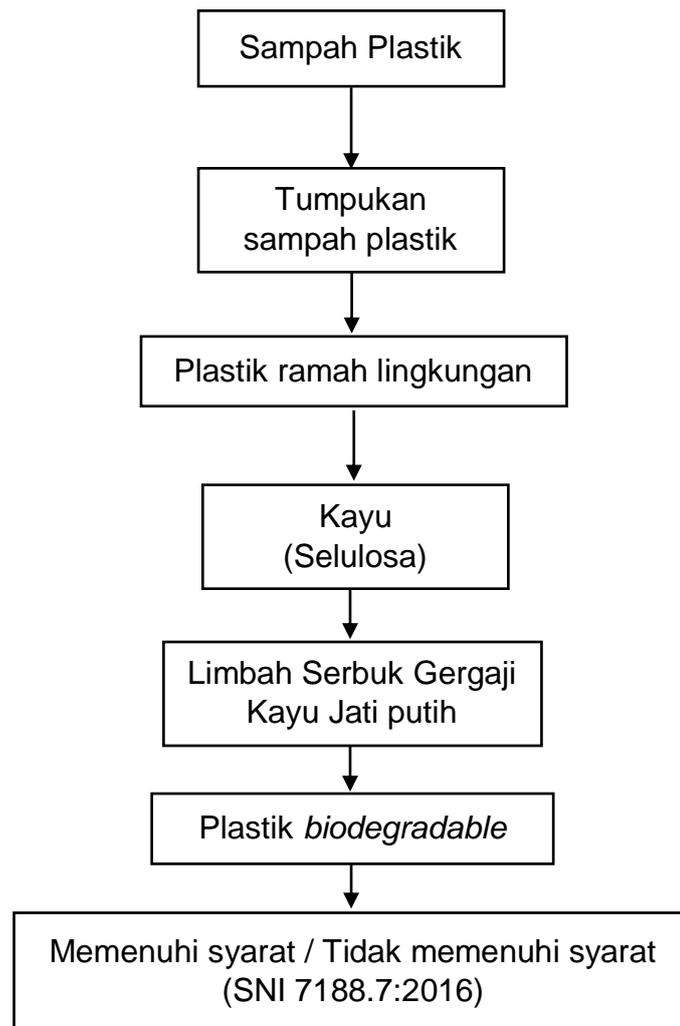
H. Kerangka Konseptual dan Hipotesis Penelitian

1. Kerangka Konseptual

Tumpukan sampah plastik semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan konsumen akan bahan pengemas yang praktis. Selain itu, sampah plastik semakin meningkat karena material yang digunakan dalam proses produksinya menggunakan polimer sintesis yang

sulit terurai secara alami. Semakin meningkatnya sampah plastik maka semakin meningkat pula resiko pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan berbagai upaya guna mengatasi masalah tersebut.

Berbagai upaya yang telah dilakukan guna mengurangi limbah plastik, salah satu penelitian yang saat ini dikembangkan yaitu dengan memanfaatkan limbah yang berasal dari bahan alam yang mudah terurai ketika dibuang ke lingkungan. Limbah yang dapat dimanfaatkan yaitu limbah serbuk gergaji kayu jati putih yang memiliki kandungan selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai plastik *biodegradable*. Penelitian ini dilakukan dengan penambahan kitosan dan *plastisizer* sorbitol sebagai bahan pendukung dalam peningkatan sifat mekanik dan fungsional plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Secara garis besar kerangka konseptual penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka konseptual penelitian

2. Hipotesis

Adapun hipotesis yang dapat diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Limbah serbuk gergaji kayu jati putih dapat dimanfaatkan sebagai plastik *biodegradable*
- b. Penambahan jumlah selulosa berbasis kayu jati putih berpengaruh terhadap sifat mekanik dan sifat fungsional plastik *biodegradable*

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mensintesis plastik *biodegradable* dari limbah serbuk gergaji kayu jati putih, menganalisa karakteristiknya dan mengetahui pengaruh penambahan serbuk gergaji kayu jati putih.

B. Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Makassar dan Balai Besar Industri Hasil Perkebunan (BBIHP) Makassar pada bulan September - Januari 2020. Pengambilan sampel penelitian dilakukan di Lappa-lappae, Kec. Suppa, Kab. Pinrang, Sulawesi Selatan.

C. Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari hasil pengukuran langsung sedangkan data sekunder berasal dari berbagai *literature review* seperti buku dan jurnal.

D. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Universal Testing Machine (UTM) Hydraulic, spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FT-IR), serangkaian alat refluks, penangas air, oven, blender, hotplate, magnetic stirrer, neraca analitik, cetakan film plastik dan alat-alat gelas.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain serbuk gergaji kayu jati putih, akuades (H_2O), asam nitrat (HNO_3) p.a, kertas saring, natrium hidroksida ($NaOH$) p.a, natrium hipoklorit ($NaOCl$), asam asetat (CH_3COOH) p.a, kitosan ($C_6H_{11}NO_4$)_n dan sorbitol ($C_6H_{14}O_6$).

E. Teknik Pengambilan Sampel

Bahan baku serbuk gergaji kayu diambil secara acak dari limbah hasil proses penggergajian kayu dan dimasukkan kedalam wadah kedap udara. Pengujian karakteristik plastik *biodegradable* dilakukan pada setiap produk dengan berbagai variasi selulosa (gram).

F. Prosedur Kerja

1. Preparasi bahan baku serbuk gergaji kayu

Limbah serbuk kayu yang berasal dari kegiatan penggergajian kayu berbentuk serbuk padat dan besar, sehingga perlu dilakukan pengolahan dulu sebelum digunakan sebagai bahan baku sintesis plastik *biodegradable*. Tujuannya adalah agar proses pencampuran antara serbuk kayu dan bahan-bahan lainnya lebih mudah homogen.

Limbah serbuk kayu yang telah didapatkan dibersihkan dari komponen pengotor kemudian dikeringkan. Setelah kering, serbuk gergaji kayu ditimbang 50 gram dan ditambahkan 500 mL akuades. Selanjutnya diaduk selama 2 jam pada suhu 50 °C. Kemudian disaring dan serbuk kayu dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C.

2. Ekstraksi selulosa serbuk kayu jati putih

Secara umum proses ekstraksi selulosa serbuk gergaji kayu dibagi kedalam dua proses yaitu dengan proses delignifikasi dan proses pemutihan (*bleaching*). Proses delignifikasi dilakukan dengan mencampurkan serbuk kayu dengan NaOH 2% sebanyak 500 mL kedalam gelas beaker dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu 80 °C. Selanjutnya disaring dan dicuci hingga filtrat netral. Selanjutnya disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C.

Proses pemutihan (*bleaching*) dilakukan dengan menambahkan produk hasil delignifikasi dengan 250 mL NaOCl 5% dan 8 tetes asam asetat glasial sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan pada suhu 70 °C selama 1 jam. Selanjutnya disaring dan dicuci sampai filtrat netral. Residu yang dihasilkan selanjutnya ditambahkan HNO₃ 0,05 N diaduk dan pada suhu 70 °C selama 1 jam. Campuran selanjutnya disaring dan dicuci hingga filtrat netral. Kemudian residu (ekstrak selulosa) dikeringkan dengan oven selama 1 jam pada suhu 50 °C dan dikarakterisasi dengan FTIR. Selanjutnya selulosa hasil ekstrak diayak dengan

menggunakan saringan 150 mesh untuk digunakan dalam mensintesis plastik *biodegradable*.

3. Sintesis plastik *biodegradable*

Sintesis plastik *biodegradable* dilakukan pada suhu ruang. Kedalam 5 gelas beaker masing-masing sebanyak 1,5 g kitosan ditambahkan dengan asam asetat 1% dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga membentuk gel. Selanjutnya larutan kitosan masing-masing dituang kedalam selulosa hasil ekstrak yang sebelumnya telah ditimbang dengan variasi 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 g dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Selanjutnya ditambahkan *plastisizer* sorbitol 0,5 mL dan dipanaskan pada suhu 80 °C selama 7 menit. Campuran dicetak di atas plat kaca dan dikeringkan dalam oven suhu 60 °C (Chadijah *et al.*, 2018).). Plastik *biodegradable* yang dihasilkan kemudian diuji karakteristiknya.

G. Pengumpulan dan Analisis Data

1. Ketebalan plastik *biodegradable*

Ketebalan plastik *biodegradable* diukur menggunakan jangka sorong (*Tricle Brand Vernier Caliper*) atau mikrometer sekrup. Nilai ketebalan plastik *biodegradable* merupakan rata-rata dari pengukuran tersebut.

2. Densitas plastik *biodegradable*

Pengukuran densitas plastik *biodegradable* dilakukan dengan mengukur berat dan volume sampel. Densitas diukur dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Densitas Bioplastik} = \frac{M_b}{V_b} \quad (1)$$

Keterangan:

M_b = Massa Bioplastik (g)

V_b = Volume Bioplastik (ml)

Sampel dipotong dengan ukuran 20 mm x 20 mm dan ditimbang menggunakan timbangan analitik sampai berat konstan (massa plastik *biodegradable*). Volume plastik *biodegradable* diperoleh dengan mengalikan panjang, lebar dan tebal sampel, dimana panjang, lebar dan tebal sampel diukur menggunakan jangka sorong atau mikrometer sekrup (ikhwanuddin, 2018).

3. Daya serap air (*Water Absorption*)

Pengujian daya serap air menggunakan metode ABNT NBR NM ISO 535. Sampel plastik *biodegradable* dipotong dengan ukuran 25 x 25 mm, kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 5 menit pada suhu 40-50 °C untuk menghilangkan kadar airnya. Sampel ditimbang sampai berat konstan (berat awal, W_o) dan direndam dalam air selama 3 menit (Illing dan Satriawan, 2017).

Selanjutnya, membersihkan air yang berada di permukaan sampel menggunakan tisu dan menimbang sampel setelah perendaman (berat akhir, W_1). Perhitungan daya serap air (%) dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

W_0 = Berat Sampel Awal (g)

W_1 = Berat Sampel Akhir (g)

4. Kuat tarik (*Tensile strength*)

Pengujian kuat tarik dilakukan menggunakan metode uji ASTM D638-02a-2002. Sampel dipotong dengan ukuran 50 x 20 mm kemudian dilakukan pengukuran menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) Hydraulic.

5. Pemanjangan putus (*Elongation at break*)

Pengujian dilakukan menggunakan metode uji ASTM D638-02a-2002. Sampel plastik *biodegradable* dipotong dengan ukuran 50 mm x 20 mm. Kemudian ditarik dan diukur penambahan panjang sampel hingga putus.

6. Biodegradabilitas

Pengujian tingkat biodegradabilitas menggunakan metode *soil burial test* yaitu sampel plastik *biodegradable* dikontakkan secara langsung dengan tanah. Hal pertama dilakukan yaitu memotong sampel dengan ukuran 3 cm x 3 cm, kemudian mengukur berat awalnya (W_0). Selanjutnya ditempatkan dan ditanam dalam wadah yang telah terisi tanah, sampel dibiarkan dalam rentang waktu lima hari sekali hingga sampel mengalami degradasi secara sempurna. Kemudian, mengukur berat setelah terbiodegradasi (W_1). Kehilangan massa diukur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Rahmawati *et al.*, 2019):

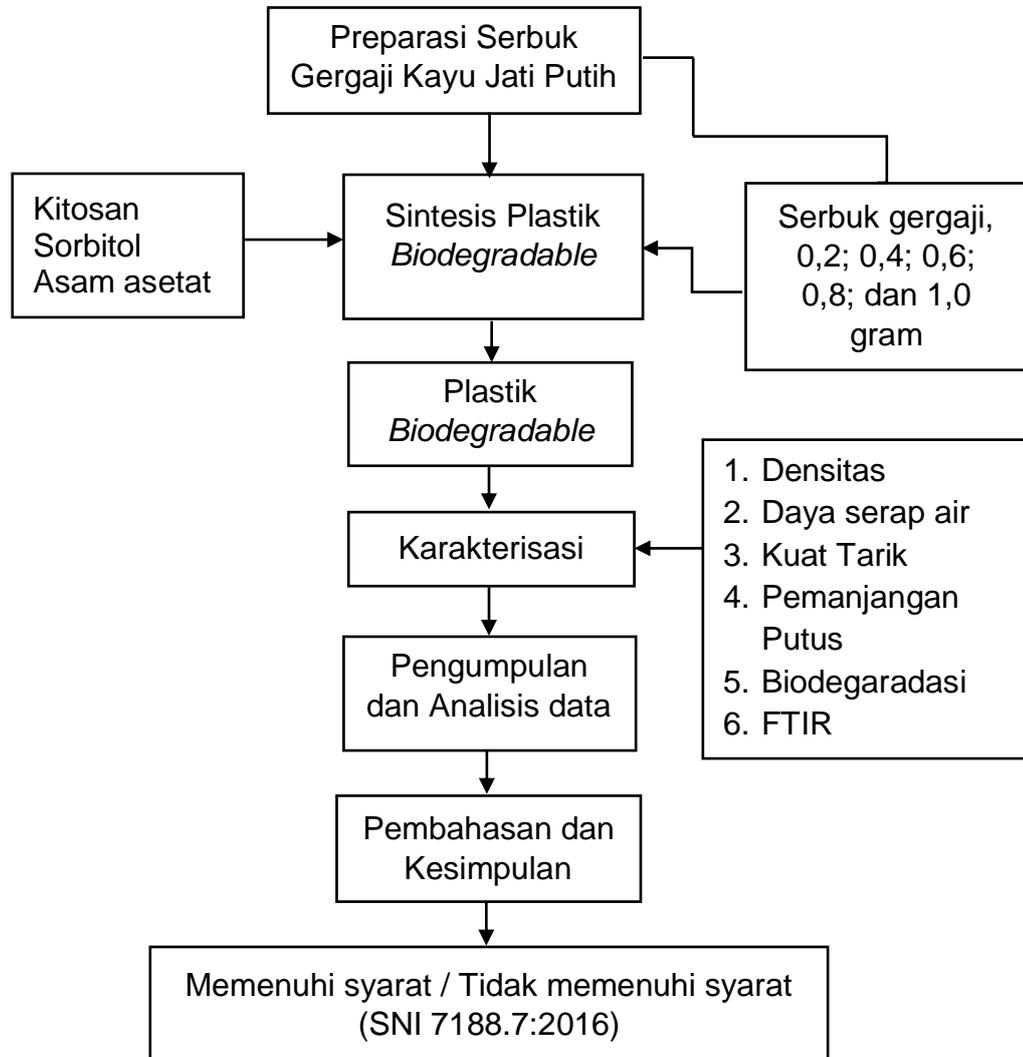
$$\% \text{ Kehilangan massa} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

W_0 = massa sampel sebelum biodegradasi (g)

W_1 = massa sampel setelah biodegradasi (g)

H. Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Alur penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian pertama dilakukan dengan mengekstrak selulosa yang terdapat dalam serbuk gergaji kayu jati putih (*Gmelina arborea* Roxb.). Ekstraksi Selulosa dilakukan dengan proses delignifikasi dan *bleaching*. Hasil selulosa yang diperoleh dari 50 gram serbuk kayu jati putih adalah 19 gram. Selulosa yang dihasilkan dari penelitian ini berwarna putih dan tidak berbau yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Selulosa berbasis kayu jati putih

Penelitian selanjutnya yaitu mensintesis plastik *biodegradable* dari selulosa yang diperoleh. Film plastik *biodegradable* yang dihasilkan berwarna kuning

kecoklatan, bertekstur padat dan memiliki ketebalan sekitar 0,26 – 0,39 mm.

Film plastik disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Plastik *biodegradable* berbasis selulosa kayu jati putih

Penentuan karakteristik plastik *biodegradable* yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Hasil uji densitas (g/mL) dan daya serap air (%) plastik *biodegradable*

Variasi Selulosa (g)	Karakteristik Plastik <i>Biodegradable</i>		
	Ketebalan (mm)	Densitas (g/mL)	Daya Serap Air (%)
0,2	0,23	1,334	73,25
0,4	0,25	1,772	67,30
0,6	0,28	1,577	58,23
0,8	0,34	1,340	40,43
1,0	0,36	1,50	62,13
Plastik Konvensional (Pipet)	50,8	0,94 – 0,96	21,5
Plastik <i>biodegradable</i> Enviplast	-	1,27 – 1,32	-

Berdasarkan Tabel 5, nilai densitas yang dihasilkan dengan variasi selulosa 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 gram masing-masing yaitu 1,334; 1,772; 1,557; 1,340 dan 0,0592 g/mL. Nilai daya serap air yang dihasilkan masing-masing yaitu 73,25%; 67,30%; 58,23%; 40,43% dan 62,13%. Jika dibandingkan dengan plastik konvensional, nilai densitas yang dihasilkan yaitu 0,94-0,96 g/mL; dan daya serap air yaitu 21,5%. Studi lain yang dilakukan oleh Ikhwanuddin (2018), menunjukkan plastik *biodegradable* enviplast memiliki nilai densitas yaitu 1,27-1,32 g/mL.

Tabel 6. Hasil uji kekuatan tarik dan pemanjangan putus plastik *biodegradable*

Variasi Selulosa (g)	Karakteristik plastik <i>biodegradable</i>			
	Kuat Tarik (N/mm ²)	Rata-Rata Kuat Tarik (N/mm ²)	Pemanjangan Putus (%)	Rata-Rata Pemanjangan Putus (%)
0,2	0,2	3,5122	3,5728	18,30
	0,2'	3,6335		20,38
0,4	0,4	3,6530	3,7291	18,40
	0,4'	3,8052		18,86
0,6	0,6	4,5448	4,2927	14,14
	0,6'	4,0405		17,48
0,8	0,8	4,5667	5,0449	13,00
	0,8'	5,5231		16,62
1	1	4,6622	4,7081	17,18
	1'	4,7540		18,32
Plastik Konvensional		24,7-302		21-220
Plastik <i>biodegradable</i> Novamont		22 – 36		21 – 220
Plastik <i>biodegradable</i> Enviplast		12 – 18		225 – 300

Berdasarkan Tabel 6, nilai kuat tarik yang dihasilkan dengan variasi selulosa 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 gram masing-masing yaitu, 3,5728 N/mm²; 3,7291 N/mm²; 4,2927 N/mm²; 5,0449 N/mm² dan 4,7081 N/mm². Nilai persen pemanjangan putus yaitu, 32,15%; 19,34%; 18,63%; 15,81%; 14,81% dan 17,75%. Jika dibandingkan dengan plastik konvensional, nilai kuat tarik yang dihasilkan yaitu 24,7-302 N/mm² dan persen pemanjangan putus yaitu 21-220%. Untuk plastik Novamont, nilai kuat tarik yang dihasilkan yaitu 22-36 N/mm² dan persen pemanjangan putus yaitu 21-220%. Sedangkan nilai kuat tarik plastik enviplast yaitu 12-18 N/mm² dan persen pemanjangan putus yaitu 225-300%.

Tabel 7. Hasil uji tingkat biodegradabilitas plastik *biodegradable*

Variasi Selulosa (g)		Massa (g)					
		0 hari	4 hari	8 hari	12 hari	16 hari	20 hari
0,2	0,2	0,3319	0,3205	0,1690	0,0971	*	-
	0,2'	0,3007	0,2602	0,1620	0,0823	*	-
0,4	0,4	0,3860	0,3686	0,2736	0,0897	*	-
	0,4'	0,3821	0,3165	0,1671	0,1563	-	-
0,6	0,6	0,4035	0,3508	0,2422	0,1139	*	-
	0,6'	0,5186	0,3678	0,2804	0,1357	*	*
0,8	0,8	0,5395	0,4763	0,2598	0,1392	*	*
	0,8'	0,6037	0,5638	0,3013	0,1764	*	-
1	1,0	0,6389	0,4403	0,3398	0,1376	*	*
	1,0'	0,7886	0,4692	0,4250	0,2041	*	*

*) masih terdapat residu film plastik *biodegradable* di tanah (dapat dilihat secara fisik), namun sulit dilakukan penimbangan.

-) residu film plastik *biodegradable* tidak ditemukan



Gambar 8. Biodegradasi plastik selama 12 hari

B. Pembahasan

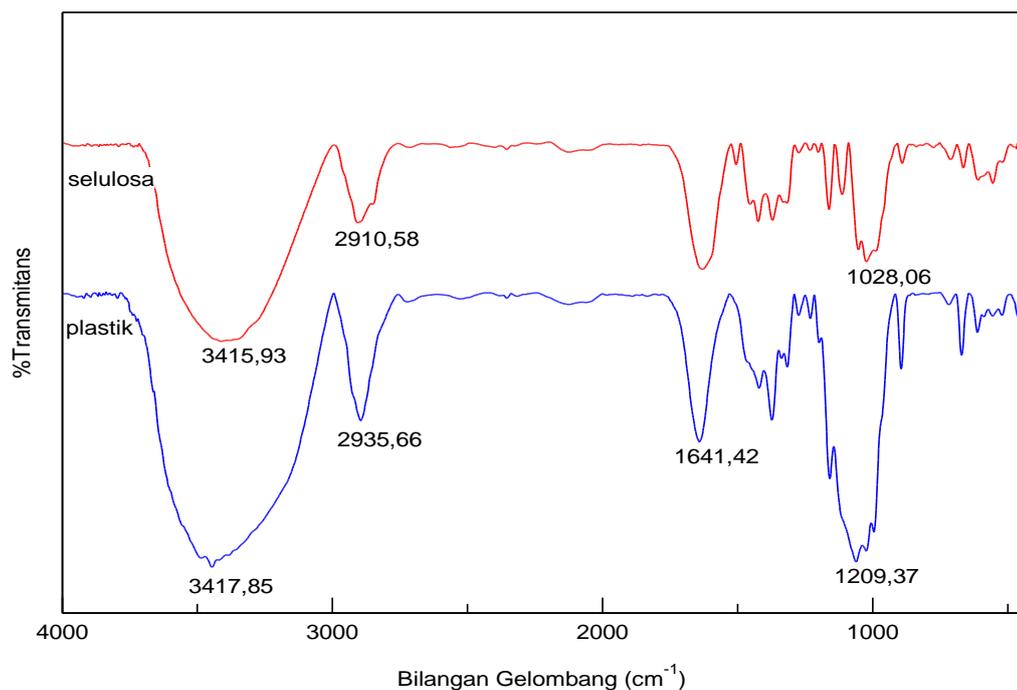
1. Ekstraksi Selulosa dari Serbuk Gergaji Kayu Jati Putih

Ekstraksi selulosa dilakukan dengan perlakuan delignifikasi dan proses pemutihan (*bleaching*). Perlakuan delignifikasi bertujuan untuk penghilangan lignin pada serbuk gergaji kayu jati putih. Selain itu, bertujuan untuk menghilangkan hemiselulosa, garam-garam mineral dan abu. Proses selanjutnya yaitu pemutihan pada pulp yang bertujuan untuk menghilangkan warna kuning kecoklatan pada pulp dan menghasilkan pulp berwarna putih yang disebut selulosa. Selulosa yang dihasilkan ditambahkan dengan larutan asam untuk membantu proses pemutihan dan menghilangkan sisa lignin yang terdapat pada selulosa yang telah diperoleh.

2. Analisa Gugus Fungsi Ekstrak Selulosa dan Plastik *Biodegradable*

Gugus fungsi yang terdapat dalam selulosa tersusun dari monomer ulang glukosa, seperti gugus hidroksil (-OH) dan ikatan C-O glikosidik.

Berdasarkan Gambar 9, spektrum pertama (selulosa) yang dihasilkan menunjukkan bilangan gelombang pada puncak 3415 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus -OH , bilangan gelombang pada $2910,58 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi -CH_2 yang merupakan kerangka pembangun struktur selulosa dan gugus C-O pada bilangan gelombang $1028,06 \text{ cm}^{-1}$.

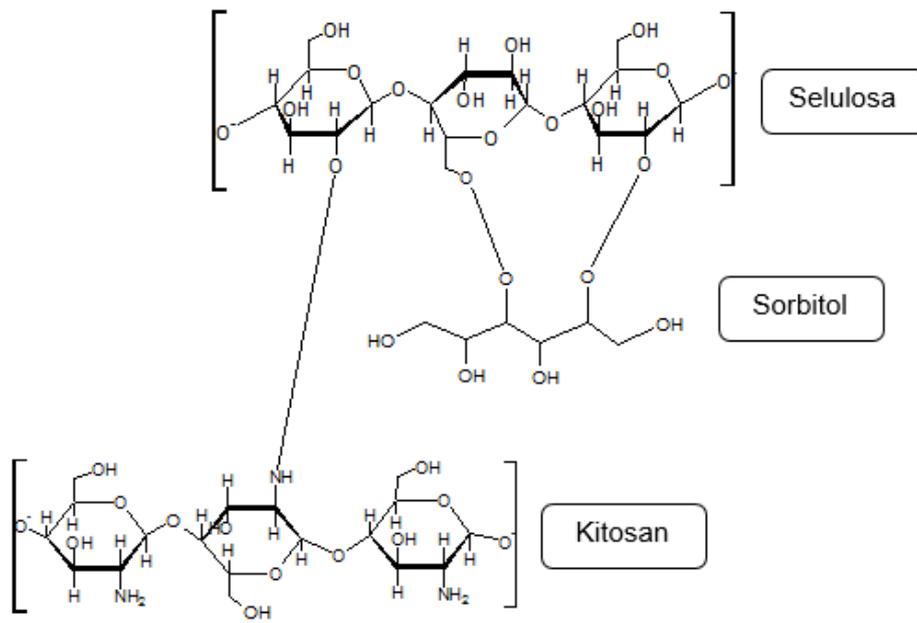


Gambar 9. Gugus fungsi ekstrak selulosa dan plastik *biodegradable* berbasis kayu jati putih

Puncak-puncak yang muncul pada spektrum kedua (plastik) mengalami pergeseran bilangan gelombang yakni gugus O-H mengalami pergeseran menjadi $3417,85 \text{ cm}^{-1}$. Begitupun juga dengan puncak vibrasi C-H pada daerah $2935,66 \text{ cm}^{-1}$, dan juga untuk gugus C-O pada ikatan glikosidik selulosa masih muncul pada daerah $1209,37 \text{ cm}^{-1}$.

Perbedaan antara spektrum pertama (selulosa) dan spektrum kedua (plastic) yaitu muncul puncak baru yang berasal dari molekul kitosan. Gugus N-H pada kitosan, seharusnya muncul puncak pada daerah 3500-3100 cm^{-1} yang merupakan gugus N-H *stretching* dari gugus amina primer kitosan, namun pada penelitian ini diduga tumpang tindih dengan gugus O-H. Penelitian yang dilaporkan oleh Yang *et al.*, (2018) juga mengalami tumpang tindih N-H *stretching* dengan O-H, tetapi didukung dengan munculnya puncak N-H pada daerah 1641,42 cm^{-1} .

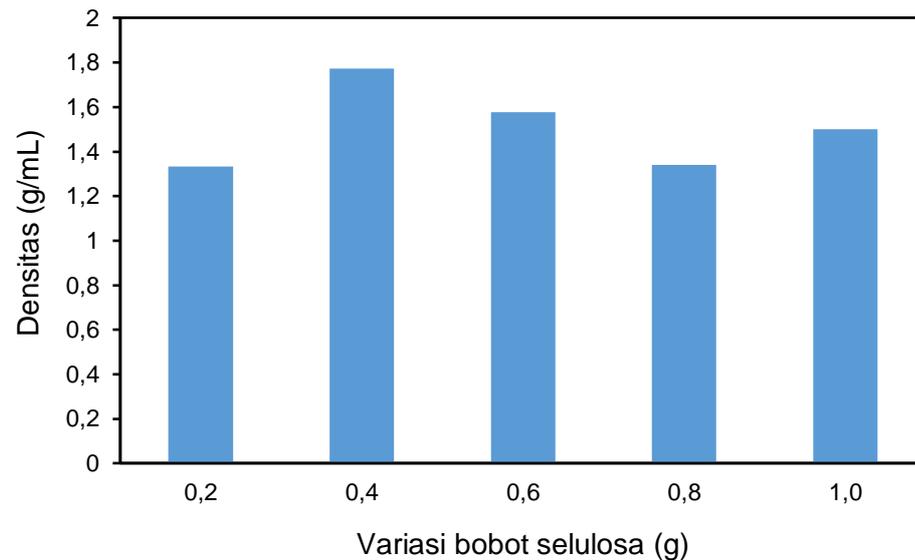
Pembentukan film plastik *biodegradable* didasarkan pada interaksi antara selulosa dengan kitosan melalui ikatan hidrogen (Sumarni, *et al*, 2017). Kelompok $-\text{NH}_2$ kitosan akan berinteraksi dengan gugus $-\text{OH}$ selulosa melalui ikatan hidrogen dan interaksi dipol-dipol, hal inilah yang mengakibatkan peningkatan kuat tarik plastik *biodegradable*. Kemudian penambahan sorbitol akan menyebabkan molekul sorbitol berdifusi kedalam rantai polimer sehingga molekul sorbitol akan berada diantara rantai polimer (antara selulosa dan kitosan) sehingga jarak antara selulosa kitosan meningkat, hal inilah yang menyebabkan perpanjangan atau elastisitas pada plastik *biodegradable* meningkat. Interaksi ini diilustrasikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Interaksi selulosa-kitosan dengan sorbitol

3. Densitas Plastik *Biodegradable*

Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kerapatan atom-atom penyusun material yang saling berikatan atau berinteraksi antara satu atom dengan atom lainnya yang diukur melalui pengukuran massa setiap satuan volume material tersebut. Plastik *biodegradable* berbasis serbuk kayu jati putih memiliki rentang densitas antara 1,334 – 1,772 g/mL. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 11.



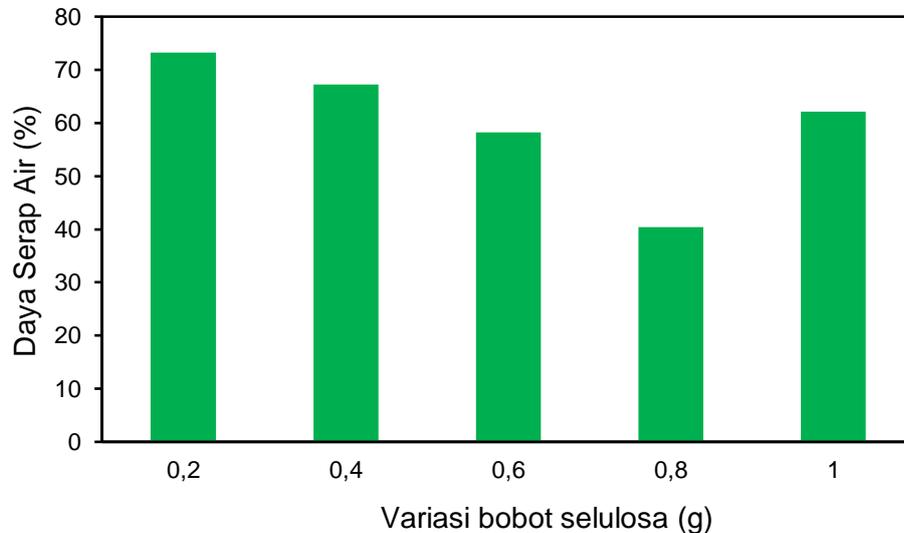
Gambar 11. Hubungan antara penambahan bobot selulosa (g) terhadap densitas plastik *biodegradable*.

Berdasarkan Gambar 11, Nilai densitas yang tinggi menunjukkan bahwa ruang antar molekul saling berdekatan sehingga tidak memberi ruang untuk udara, hal ini berdampak pada sifat plastik *biodegradable* yang mengakibatkan elastisitas menjadi kecil karena molekul yang rapat (Arizal *et al.*, 2017). Hasil pengujian densitas pada penelitian ini telah memenuhi standar plastik konvensional dengan densitas 0,94-0,96 g/mL dan plastik *biodegradable* pasaran dengan merek Enviplast dengan interval densitas sebesar 1,2 - 1,32 g/mL.

4. Daya Serap Air (*Water Absorption*)

Uji daya serap air merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui besarnya persentase air yang terserap oleh sampel. Hasil

pengujian daya serap air plastik *biodegradable* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap daya serap air (%) plastik *biodegradable*.

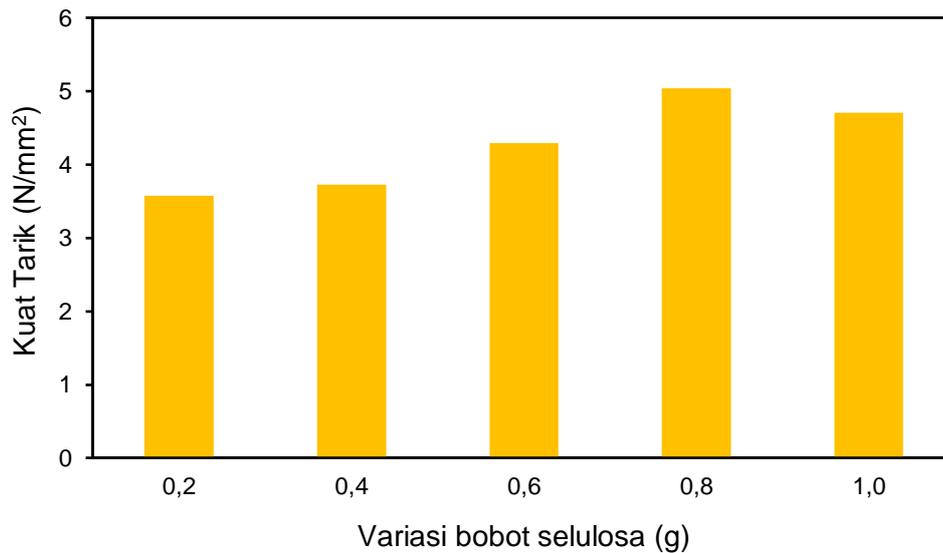
Gambar 12 menggambarkan hubungan antara pengaruh variasi komposisi selulosa dengan nilai daya serap air. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai daya serap air plastik *biodegradable* yang optimum terjadi pada komposisi selulosa 0,8 g dengan nilai daya serap air 40,43%. Sedangkan yang kurang optimum adalah pada komposisi selulosa 0,2 g dengan nilai daya serap air 73,25 %. Penyerapan air dikatakan optimum, ketika ketahanan penyerapan air paling kecil dibandingkan dengan yang lainnya. Persentase daya serap air dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu adanya gugus $-OH$ dalam film plastik *biodegradable* memungkinkan untuk berikatan dengan molekul air sehingga dapat meningkatkan persentase daya serap air. Faktor lain yaitu kerapatan

molekul-molekul dalam film plastik *biodegradable*, semakin rapat film plastik maka semakin kecil kemungkinan air untuk terdistribusi dan berdampak pada kenaikan kuat tarik plastik (Judawisastra, *et al.*, 2017).

Hasil pengujian daya serap air plastik *biodegradable* pada penelitian ini, belum memenuhi standar plastik konvensional karena nilai penyerapan air pada penelitian ini melebihi standar SNI 7188.7:2016 dengan daya serap air sebesar 21,5% dengan suhu peredaman air sebesar 25 °C (Ikhwanuddin, 2018). Penyerapan air ini akan mengakibatkan plastik *biodegradable* lebih mudah terurai karena memudahkan mikroorganisme (jamur, bakteri, dan alga) untuk mempercepat proses degradasi (Illing, *et al.*, 2017).

5. Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Uji kuat tarik merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan plastik *biodegradable* dalam menerima atau menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau putus. Pengujian kuat tarik dilakukan dengan menggunakan metode *Universal Testing Machine* (UTM) dengan ASTM D638-02a-2002. Hasil penelitian kuat tarik plastik *biodegradable* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap nilai kuat tarik (N/mm²) plastik *biodegradable*.

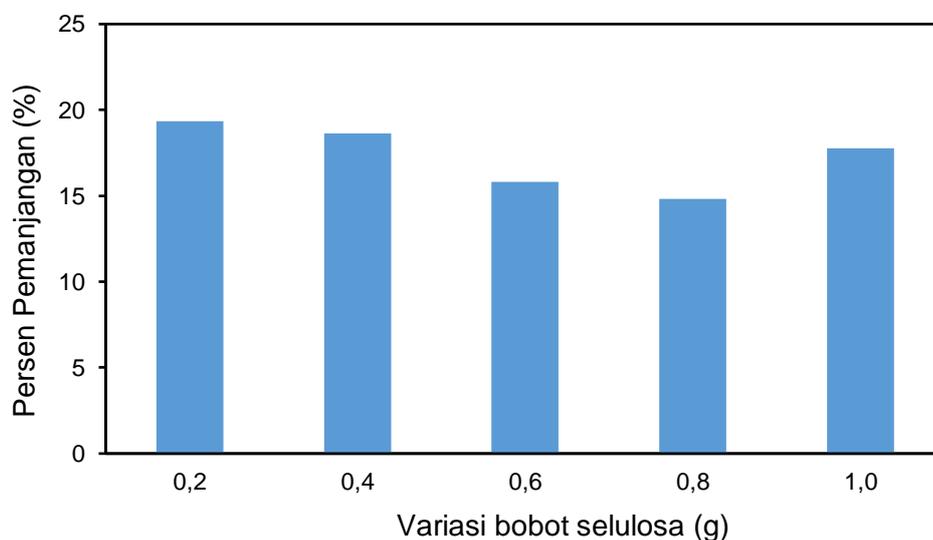
Gambar 13 menunjukkan bahwa selulosa dengan massa 0,8 gram memiliki nilai kuat tarik yang paling tinggi dengan nilai 5,0449 N/mm² dan yang paling rendah adalah selulosa dengan massa 0,2 gram dengan nilai kuat tarik 3,5728 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa komposisi penambahan selulosa yang optimum adalah sebanyak 0,8 gram. Berdasarkan hasil penelitian, nilai kuat tarik yang dihasilkan belum memenuhi standar plastik konvensional dengan nilai kuat tarik sebesar 24,7-302 N/mm²; plastik *biodegradable* Novamont yaitu 22-36 N/mm²; dan plastik *biodegradable* enviplast yaitu 12-18 N/mm².

Penambahan kitosan dapat meningkatkan nilai kuat tarik plastik *biodegradable* (Olivera *et al.*, 2017). Kekuatan tarik tinggi disebabkan oleh interaksi antara kitosan dan polimer selulosa dalam bentuk ikatan hidrogen. Kekuatan tarik menurun dalam variasi massa kitosan 1,0 gram yaitu 4,7081

N/mm² karena peningkatan massa selulosa tidak sebanding dengan jumlah kitosan, sehingga tidak diikuti oleh pembentukan interaksi dengan rantai polimer plastik (Hasan *et al.*, 2017).

6. Pemanjangan putus (*Elongation at break*)

Uji pemanjangan plastik *biodegradable* merupakan bagian dari pengujian kuat tarik, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa panjang kuat mulur plastik *biodegradable* setelah mengalami gaya penarikan sebelum dan sesudah mengalami perputusan. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap persen pemanjangan (%) plastik *biodegradable*.

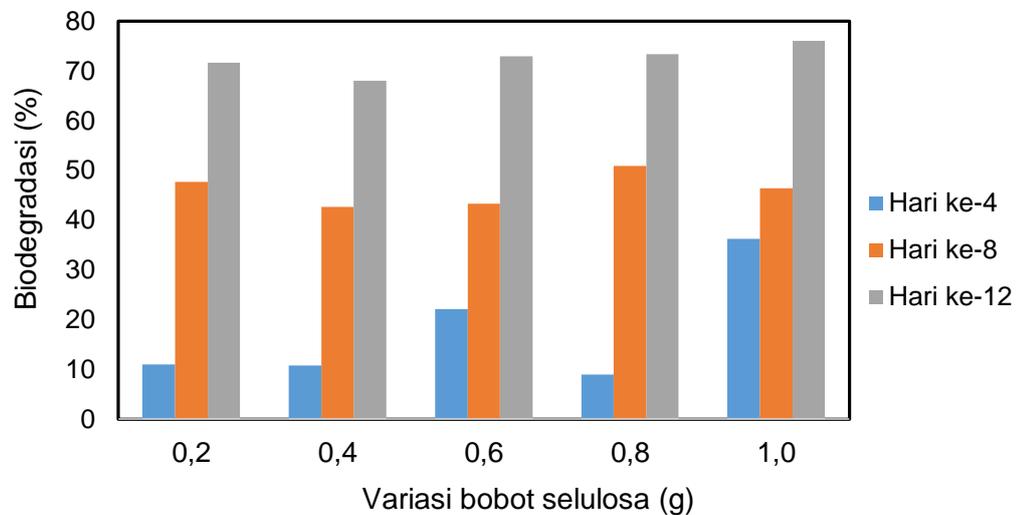
Gambar 14 menunjukkan bahwa selulosa dengan massa 0,2 gram memiliki nilai persen pemanjangan putus yang tertinggi yaitu 19,34 % dan yang terendah yaitu dengan massa selulosa 0,8 gram dengan nilai persen

pemanjangan putus 14,81 %. Hal ini karena plastik dengan penambahan selulosa dengan massa yang semakin banyak menghasilkan plastik *biodegradable* dengan sifat yang keras dan kaku sehingga nilai pemanjangan atau elastisitas plastik *biodegradable* semakin menurun atau semakin kecil. Selain itu penambahan sorbitol dengan tujuan untuk meningkatkan elastisitas dari plastik *biodegradable* diberikan dengan volume yang sama pada setiap perlakuan sehingga pengaruhnya pun sama pada setiap plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Hasil pengujian pemanjangan putus pada penelitian ini telah mendekati standar plastik konvensional dan plastik *biodegradable* Novamont dengan tingkat persen pemanjangan putus sebesar 21-220%. Namun, belum memenuhi standar plastik *biodegradable* merek enviplast yang mana memiliki persentase sebesar 225-300%.

7. Biodegradabilitas Plastik *Biodegradable*

Uji biodegradabilitas dilakukan untuk mengetahui apakah material tersebut dapat terdegradasi atau tidak di lingkungan. Material tersebut dapat terdegradasi dengan proses hidrolisis (degradasi kimiawi), oleh angin dan abrasi (degradasi mekanik), cahaya (fotodegradasi). Material ini juga dapat terdegradasi secara anaerob dan aerob. Biodegradasi film plastik dalam penelitian ini berlangsung secara aerob dengan bantuan mikroorganisme pada tanah dengan menggunakan metode pengujian *soil burial test* dengan tujuan untuk mengetahui persentase degradasi plastik

biodegradable yang terdegradasi sempurna dalam tanah. Hasil pengujian biodegradabilitas plastik *biodegradable* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Hubungan antara variasi bobot selulosa (g) terhadap biodegradabilitas (%) plastik *biodegradable*.

Laju biodegradabilitas plastik *biodegradable* mengacu pada standar EN13432 (persentase degradasi 90% maksimal 6 bulan). Berdasarkan diagram pada Gambar 15, menunjukkan bahwa biodegradasi plastik *biodegradabe* dapat terdegradasi hingga lebih dari 60% selama 12 hari, hal ini menunjukkan bahwa plastik yang dihasilkan telah memenuhi standar pengujian plastik *biodegradable*. Hal Ini dikarenakan, bahan penyusun plastik *biodegradable* berupa selulosa dan kitosan yang merupakan bahan organik dan alami yang mudah terurai oleh aktivitas mikroorganisme.

8. Penggunaan Plastik *Biodegradable* dari Aspek Ekonomi

Plastik *biodegradable* memiliki harga yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan plastik konvensional. Hal ini dikarenakan proses produksi dan operasional dari plastik *biodegradable* yang cukup sulit utamanya dalam meningkatkan sifat mekanik plastik. Harga plastik konvensional pada umumnya yaitu 200-500 rupiah perlembar (cnbcindonesia, 2020) sedangkan harga plastik *biodegradable* yaitu ≥ 4.750 rupiah perlembar (*lampiran 6.d*). Harga plastik *biodegradable* yang relatif mahal, seringkali membuat konsumen untuk berpikir dalam memanfaatkannya. Kualitas plastik konvensional juga lebih bagus dibandingkan kualitas film plastik *biodegradable* yang dihasilkan saat ini. Hal ini dikarenakan sifat mekanik dari plastik konvensional yang lebih bagus.

Plastik *biodegradable* pada dasarnya memiliki manfaat tersendiri bagi masyarakat, misalnya mampu meningkatkan perekonomian pedesaan, harga tanaman seperti jagung misalnya yang telah meningkat karena beberapa tanaman dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam mensintesis plastik *biodegradable* (Pratiwi *et al.*, 2016). Plastik *biodegradable* ini diharapkan nantinya akan merubah pandangan masyarakat dengan mengganti plastik konvensional yang umum digunakan dengan plastik yang mudah terurai.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa plastik *biodegradable* dapat disintesis dari limbah serbuk gergaji kayu jati putih. Karakteristik plastik *biodegradable* yang optimum diperoleh pada bobot selulosa 0,8 gram, 1,5 gram kitosan dan 0,5 mL sorbitol, dengan nilai daya serap air 40,43%, nilai kuat tarik 5,0449 N/mm² dan nilai pemanjangan putus 14,81 %. Biodegradabilitas plastik yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI dan standar EN13432 yaitu dengan persentase degradasi lebih dari 60 % selama 12 hari. Berdasarkan hasil penelitian, plastik *biodegradable* yang dihasilkan memiliki harga yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan plastik pada umumnya yaitu dengan harga \geq 4.750 rupiah perlembar.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan untuk memperbaiki sifat mekanik dan fungsional plastik *biodegradable* dan menentukan biaya yang diperlukan dalam mensintesis plastik *biodegradable* untuk mengetahui nilai ekonomis dan dampak sosial yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- Standar Nasional Indonesia. 2016. 7188.7-2016, Kriteria Ekolabel- Bagian 7: kategori Produk Tas Belanja Plastik dan Bioplastik Mudah Terurai.
- Afif, M., Wijayati, N., & Mursiti, S. 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Dari Pati Biji Alpukat – Kitosan Dengan Plasticizer Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7 (2): 102-109.
- Alabi, O.A., Ologbonjaye, K.I., Awosolu, O. and Alalade, O.E. 2019. Public and Environmental Health Effects of Plastic Wastes Disposal: A Review. *Journal of Toxicology and Risk Assessment*. 5 (1): 1-13.
- Arikan, E.B., & Ozoy, H.D. 2015. A Review: Investigation of Bioplastics. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 9: 188-192.
- Arini, D., Syahrul dan Kasman. 2017. Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian. *Journal of Science and Technology*. 6 (3): 276-283.
- Arizal, Verraprinita, Y.D., Edwin, A., Lia, L. dan Herti, U. 2017. Aplikasi Rumput Laut Echeuma Cottoni pada Sintesis Bioplastik Berbasis Sorgum dengan Plasticizer Gliserol. *Prosiding Seminar Nasional Riset Industri Ke-3*.
- Agustin, Yuana, E. dan Karsono, S.P. 2016. Sintesis Bioplastik dari Kitosan-Pati Kulit Pisang Kepok dengan Penambahan Zat Aditif. *Jurnal Teknik Kimia*. 10 (2): 37-41.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Produksi Kehutanan 2016*. Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Produksi Kehutanan 2017*. Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.
- Badan Litbang Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar. 2013. *Eksplorasi Benih Bitti (Vitex cofassus) di Sulawesi Selatan*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Badan Litbang dan Inovasi.
- Bakar, R. A., Yahya, R. dan Gan, S. N. 2016. Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk. *Procedia Chem*. 19: 189-195.

- Chadijah, S., Rustiah dan Munir. 2018. Determination Of the Optimum Concentration Cellulose Baggase In Making Film Bioplastic. *International Conference On Science*. 979: 1-6.
- Coniwanti, P., Laila, L., dan Alfira, M.R. 2014. Pembuatan Film Plastik Biodegradable dari Pati Jagung dengan Penambahan Khitosan dan Pemplastis Gliserol. *Jurnal Teknik Kimia*. 20 (4): 22 - 30.
- Felix, M., Valme, C., Albert, R. dan Antonio G. 2016. Influence of Sorbitol on Mechanical and Physico-chemical properties of soy Protein-based Bioplastics Processed by Injection molding. *Polymeros*. 26 (4): 277-281.
- Ferreira, C. S., Santos, P. L., Bonacin, J. A. dan Passos, R. R. 2015. Rice Husk Reuse in The Preparation of SnO₂/SiO₂ Nanocomposite. *Material Research*. Vol. 18 (3): 639-643.
- GESAMP. 2016. Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: Part Two of a Global Assessment. *International Maritime Organization*.(93): 220 .
- Hasan, M., Rahmayani, R.F. dan Munandar. 2017. Material Science and Engineering Bioplastic from chitosan and yellow pumpkin starch with castor oil as plasticizer. *International Conference on Advanced Materials for Better Future*. 333: 1-7.
- Hidayati, S., Ahmad, S.Z. dan Astri, A. 2015. Aplikasi Sorbitol pada Produksi Biodegradable Film dari Nata De Cassava. *Reaktor*. Vol. 15 (3): 196-204.
- Ikhwanuddin. 2018. *Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Serbuk Daun Pisang Batu dan Carboxymethyl Cellulose (CMC) yang Diperkuat Oleh Gum Arabic*. Tesis Departemen Fisika, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Illing, I., dan Satriawan, M.B. 2017. Uji Ketahanan Air Bioplastik Dari Limbah Ampas Sagu Dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. *Prosiding Seminar Nasional*. 03 (1): 182-189.
- Iswadi, D., Nurisa, F. dan Erlina, L. 2017. Pemanfaatan sampah plastik LDPE dan PET menjadi bahan minyak dengan proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 1 (2): 1-9.
- Jambeck, JR., Anthony, A., Chris, W., Roland, G., Siegler, T.R., Miriam, P., Ramani, N. dan Kara L.L. 2015. Plastic Waste Inputs from Land Into the Ocean. *Science*. 347 (6223): 768–771.

- Jannah, M., Ratnawulan dan Gusnedi. 2017. Penambahan Gula Jagung terhadap Karakteristik dan Degrasasi Plastik Biodegradable Air Pati Ubi Kayu. *Pillar of Physics*. 1: 81-88.
- Judawisastra, H., Sitohang, R. D. R., Marta, K., dan Mardiayi. 2017. Water Absorption and Its Effect on the Tensile Strength Properties of Tapioca Starch/Polyvinyl alcohol Bioplastics. *Innovation Polymer Science Technology*. 223: 1-10.
- Kamsiati, E., Heny, H. dan Endang, Y.P. 2017. Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu dan Ubi Kayu di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 6 (2): 67-76.
- Kosasih, A.S. dan Danu. 2013. *Manual Budidaya Jati Putih (Gmelina arborea Roxb.)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Peningkatan Produktivitas Hutan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Krepsztul, WJ., Rydzkowski, T., Borowski, G., Szczypiński, M., Tomasz, K. dan Vijay, K.T. 2018. Recent Progress In Biodegradable Polymers And Nanocomposites Based Packaging Materials For Sustainable Environment. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 23: 383-395.
- Lukmandaru, G. 2010. Sifat Kimia Kayu Jati (*Tectona grandis*) pada Laju Pertumbuhan Berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 8 (2): 188-196.
- Mahalakshmi, V. 2014. Evaluation of Biodegradation of Plastics. *International Journal of Innovative Research & Development*. 3 (7): 185-190.
- Mandal, S., Durgesh dan Tumane P. 2017. Optimization And Characterization Of Bioplastic Produce By *Bacillus Cereus*. *International Journal of Recent Scientific Research*. 8 (4): 16565-16571.
- Marsoem, S.N., Prasetyo, V.E., Sulisty, J., Sudaryono dan Lukmandaru, G. 2014. Studi Mutu Kayu Jati Di Hutan Rakyat Gunungkidul III. Sifat Fisika Kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 8 (2): 75-88.
- Mukhopadhyay, R., Sree, K.D., Saneeha, R., Kale, P. dan Iram, U. 2017 Preparation and Characterization of Biodegradable Plastics Out of Food Wastes as Prospective and Eco-Friendly Medical Devices. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*. 5: 134-142.

- Mulyadi, I. 2019. Isolasi dan Karakterisasi Selulosa : Review. *Jurnal Saintika UNPAM*. 1 (2): 177-182.
- Muthawali. 2011. *Kayu Kelapa Sawit*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Mrowiec, B. 2018. Plastics in the circular economy (CE). *Journal of Institute of Environmental Protection*. 29 (4): 16-19.
- Nasution, R.S. 2015. Berbagai Cara Penanggulangan Limbah Plastik. *Journal of Islamic Science and Technology*. 1 (1): 97-104.
- Ningsih, A.S., Erwana, D., Leila, K. dan Elina, M. 2019. Karakteristik Bioplastik dari Pektin Kulit Pisang Kepok. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*.
- Oktaviani, C., Khairat dan Bahruddin. 2019. Modifikasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu Dengan Asam Sitrat Dan Filler Microcrystalline Cellulose (Mcc). *Jurnal Online Mahasiswa*. Edisi 1.
- Oliveira, F.B.B., Julien, Pimenta, Maria, T.B., Curvelo, Antonio, A.S., Belgacem dan Naceur, M. 2016. Production of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse fibers and pith. *Industrial Crops and Products*. 93: 48-57.
- Olivera, D.J.P, Bruni, G.P., Lima, K., Halal, S.L.M.E, da Rosa, G.S, Dias, A. R.G dan da Rosa, Z.E. 2017. *J. Food Chem*. Cellulose fibres extracted from rice husk and oat husks and their application in hidrogel. 221: 153-60
- Pavani, T. dan Rajeswari, T.R. 2014. Impact Of Plastics On Environmental Pollution. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 3: 87-93.
- Pratiwi, Rimadani, Driyanti, R. dan Melisa L.B. 2016. Pemanfaatan Selulosa dari Limbah Jerami Padi (*Oryza sativa*) Sebagai Bahan Plastik biodegradabel. *International Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 3 (3): 83-91.
- Purwaningrum, P. 2016. Upaya Mengurangi Timbunan Sampah Plastik di Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 8 (2): 141-147.
- Rahmawati, H., Mutmainna, I., Ilyas, S., Fahri, A. N., Wahyuni, A. S. H., Afrianti., Setiawan, I., & Tahir, D. 2019. Effect of Carbon on Structural and Bonding Characteristic of Bioplastic Based on Cassava Starch. *ICePTi*.

- Saptorahardjo, A. 2016. Enviplast Stratch Based Bioplastik Compound. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik Kelima*. 2477-3298.
- Sitanggang, Ayu. 2018. Sintesis Eter Selulosa dari Selulosa Kulit Pisang Tanduk melalui Reaksi Esterifikasi dengan Asam Trikloroasetat sebagai Adsorben Ion Logam Seng. *Repositori Institusi USU*.
- Sumarni, W., Prasetya, A. T. dan Rahayu, E. F. 2017. Effect of Glycerol on Physical Properties of Biofilms Gembili Starch (*Dioscorea Esculenta*)-Chitosan. *Proceeding of Chemistry Conferences*. 2: 56-65.
- Sutan, S.M., Maharani, D.M. dan Febriari, F. 2018. Studi Karakteristik Sifat Mekanik Bioplastik Berbahan Pati - Selulosa Kulit Siwalan (*Borassus flabellifer*). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 1 (7): 97-111.
- Tiwari, A.K., Manisha, G. dan Hardesh, K.M. 2018. Recent Development Of Biodegradation Techniques Of Polymer. *International Journal Of Research – GRANTHAALAYAH*. 6 (6): 414-452.
- Yang, J., Kwon, G. J., Hwang, K. dan Kim, D, Y. 2018. Cellulose-chitosan Antibacterial Composite Films Prepared from LiBr Solution. *J. Polym.* 10 (10): 1-7.
- Vignesh, R., Deepika, R.C., Manigandan, P. dan Janani, R. 2016. Screening of Plastic Degrading Microbes From Various Dumped Soil Samples. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 3 (4): 2493-2498.

<https://kupang.tribunnews.com/>

<https://cnbcindonesia.com/>

Lampiran 1. Data uji karakteristik densitas plastik biodegradable

Komposisi Selulosa (g)	Massa (g)	Ketebalan (cm)	Volume (mL)	Densitas (g/mL)
0,2	0,1228	0,023	0,092	1,334
0,4	0,1772	0,025	0,1	1,772
0,6	0,1767	0,028	0,112	1,577
0,8	0,1823	0,034	0,136	1,340
1	0,2168	0,036	0,144	1,50

Lampiran 2. Data uji karakteristik daya serap air (water absorption)

Komposisi Selulosa (g)	Massa (g)		Daya Serap Air (%)
	Awal	Akhir	
0,2	0,1228	0,2159 0,2096	73,25
0,4	0,1772	0,2984 0,2945	67,30
0,6	0,1767	0,2777 0,2815	58,23
0,8	0,1823	0,2614 0,2507	40,43
1,0	0,2168	0,3621 0,3408	62,13

Lampiran 3. Data Uji Kuat Tarik (Tensile Strength)

Variasi bobot selulosa (g)		Kuat Tarik (N/mm ²)	Rata-Rata Kuat Tarik (N/mm ²)
0,2	0,2	3,5122	3,5728
	0,2'	3,6335	
0,4	0,4	3,6530	3,7291
	0,4'	3,8052	
0,6	0,6	4,5448	4,2927
	0,6'	4,0405	
0,8	0,8	4,5667	5,0449
	0,8'	5,5231	
1	1	4,6622	4,7081
	1'	4,7540	

Lampiran 4. Data Uji Pemanjangan Putus (Elongation)

Variasi bobot selulosa (g)		Pemanjangan Putus (%)	Rata-Rata Pemanjangan Putus (%)
0,2	0,2	18,30	19,34
	0,2'	20,38	
0,4	0,4	18,40	18,63
	0,4'	18,86	
0,6	0,6	14,14	15,81
	0,6'	17,48	
0,8	0,8	13,00	14,81
	0,8'	16,62	
1	1	17,18	17,75
	1'	18,32	

Lampiran 5. Data Uji Biodegradabilitas

Variasi bobot Selulosa (g)	Massa (g)						
	0 hari	4 hari	8 hari	12 hari	16 hari	20 hari	
0,2	0,2	0,3319	0,3205	0,1690	0,0971	*	-
	0,2'	0,3007	0,2602	0,1620	0,0823	*	-
0,4	0,4	0,3860	0,3686	0,2736	0,0897	*	-
	0,4'	0,3821	0,3165	0,1671	0,1563	-	-
0,6	0,6	0,4035	0,3508	0,2422	0,1139	*	-
	0,6'	0,5186	0,3678	0,2804	0,1357	*	*
0,8	0,8	0,5395	0,4763	0,2598	0,1392	*	*
	0,8'	0,6037	0,5638	0,3013	0,1764	*	*
1	1,0	0,6389	0,4403	0,3398	0,1376	*	*
	1,0'	0,7886	0,4692	0,4250	0,2041	*	*

Variasi bobot Selulosa (g)	Massa (g)				Tingkat Biodegradasi (%)		
	Awal	Hari ke-4	Hari Ke-8	Hari ke-12	Hari ke-4	Hari Ke-8	Hari ke-12
0,2	0,3163	0,2814	0,1655	0,0897	11,0496	47,6762	71,6408
0,4	0,3840	0,3426	0,2204	0,1230	10,8	42,6246	67,9729
0,6	0,4610	0,3592	0,2613	0,1248	22,1017	43,3250	72,9313
0,8	0,5716	0,5200	0,2806	0,1578	9,0185	50,9184	73,39
1	0,7137	0,4548	0,3824	0,1709	36,2827	46,4238	76,06

Lampiran 6. Contoh perhitungan

a. Densitas plastik *biodegradable*

Densitas plastik *biodegradable*, pada penambahan 0,2 gram selulosa

Massa film plastik = 0,1228 g

Ukuran film plastik :

Panjang (p) = 20 mm = 2 cm

Lebar (l) = 20 mm = 2 cm

Ketebalan (t) = 0,23 mm = 0,023 cm

Volume (mL) = $p \times l \times t$

$$= 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 0,023 \text{ cm}$$

$$= 0,092 \text{ cm}^3 = 0,092 \text{ mL}$$

$$\text{Densitas} = \frac{\text{massa film plastik}}{\text{Volume film plastik}}$$

$$\text{Densitas} = \frac{0,1228 \text{ gr}}{0,092 \text{ mL}} = 1,334 \text{ g/mL}$$

b. Daya serap air plastik *biodegradable*

Perhitungan daya serap air plastik *biodegradable* pada penambahan

0,2 gram selulosa :

Massa film plastik awal W_0 : 0,1228 g

Massa film plastik setelah perendaman 3 menit, W_1 : 0,21275 g

$$\% \text{ Daya serap air} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

$$\% \text{ Daya serap air} = \frac{0,21275 - 0,1228}{0,1228} \times 100\% = 73,25\%$$

c. Biodegradabilitas plastik *biodegradable*

Perhitungan biodegradabilitas plastik *biodegradable* pada penambahan 0,2 gram selulosa :

$$\text{Massa film plastik awal } W_0 = \frac{0,3119 \text{ g} + 0,3007 \text{ g}}{2} = 0,3163 \text{ g}$$

Massa film plastik setelah penanaman selama 12 hari,

$$W_1 = \frac{0,0971 + 0,0823}{2} = 0,0897$$

$$\% \text{ Biodegradasi} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\%$$

$$\% \text{ Biodegradasi} = \frac{0,3163 - 0,0897}{0,3163} \times 100\% = 71,64\%$$

d. Perhitungan sintesis film plastik *biodegradable* (skala laboratorium)

No.	Kegiatan	Biaya operasional
1	Pengadaan alat dan bahan	≥ Rp. 3.000,00
2	Proses ekstraksi selulosa	≥ Rp. 2.500,00
3	Proses sintesis film plastik (8 film plastik)	≥ Rp. 3.000,00
4	Proses merekatkan film plastik (membentuk kantong plastik ukuran 17 cm x 28 cm sebanyak 2 lembar)	≥ Rp. 1.000,00
Jumlah		≥ Rp. 9.500,00

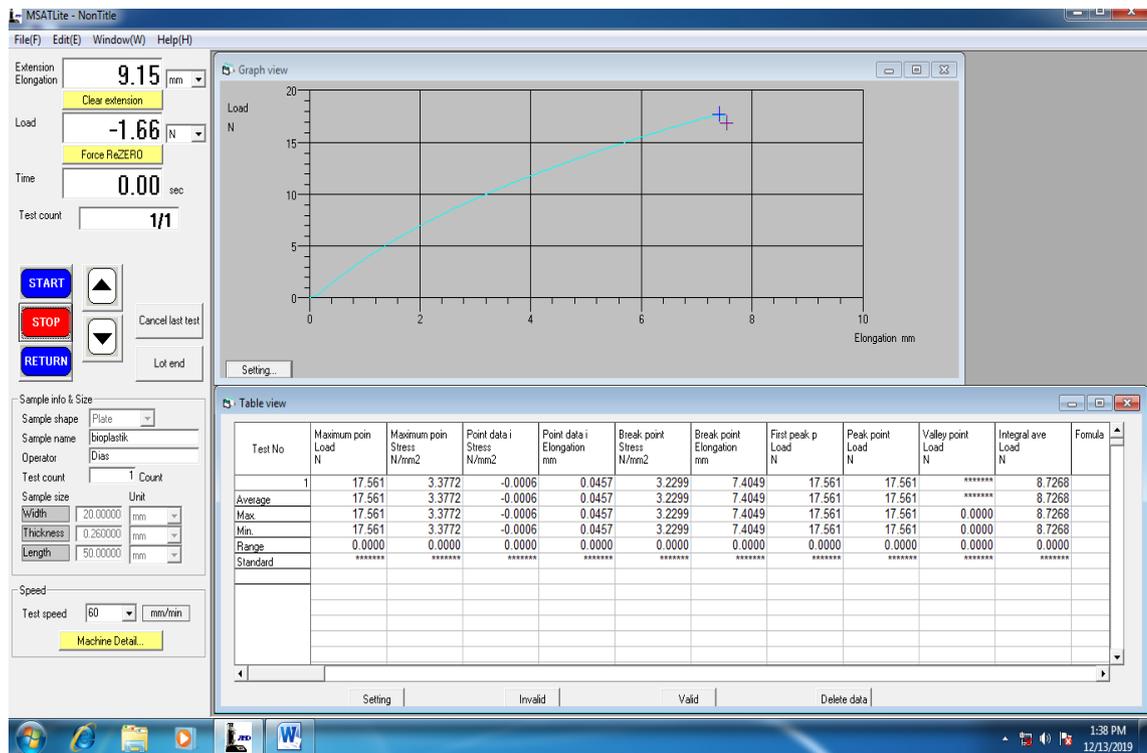
Jadi, untuk membuat 2 lembar kantong plastik, dibutuhkan biaya ≥ 9.500 rupiah atau harga 1 lembar plastik adalah ≥ 4.750 rupiah.

e. Kuat Tarik dan Persen Pemanjangan Putus Plastik *biodegradable*

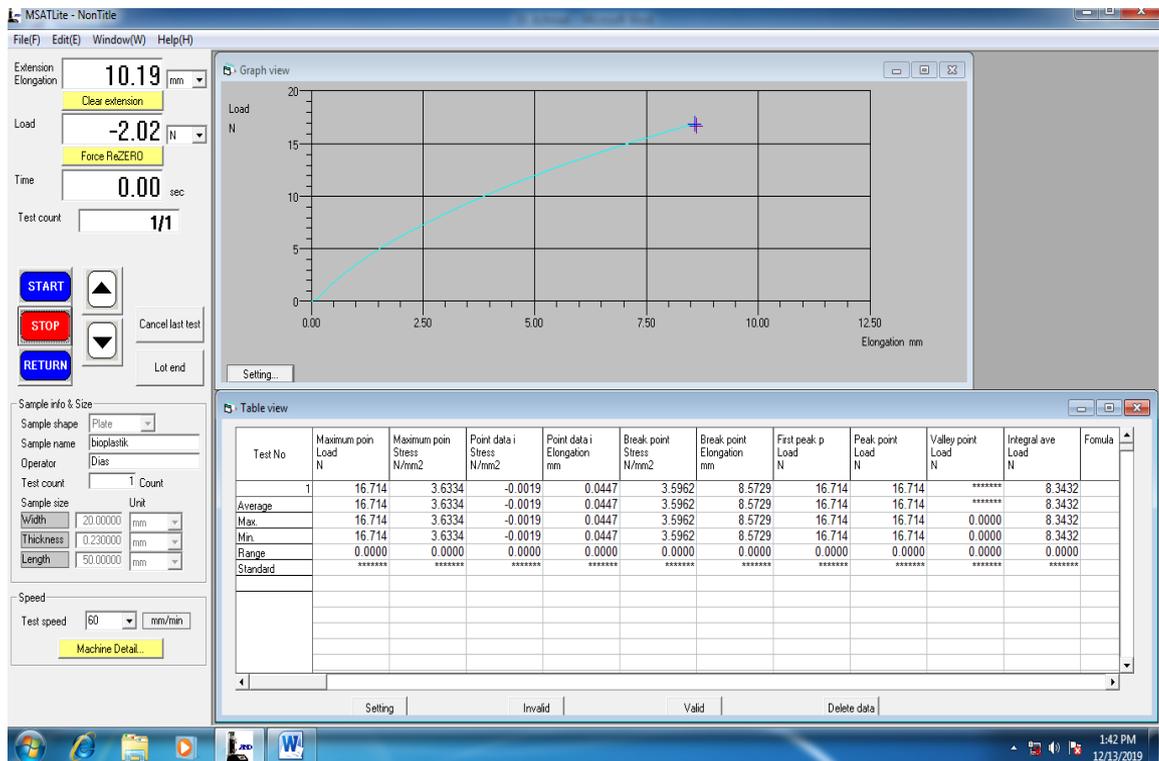
Penentuan nilai kuat tarik dan persen pemanjangan putus plastik

biodegradable pada penambahan 0,2 gram selulosa :

Sampel (0,2)



Sampel (0,2')



Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian

Proses preparasi bahan baku serbuk gergaji kayu jati putih, pencucian dalam air sebanyak 500 mL pada suhu 50 °C



Proses delignifikasi sampel serbuk kayu dengan penambahan 500 mL NaOH 2% pada suhu 80 °C

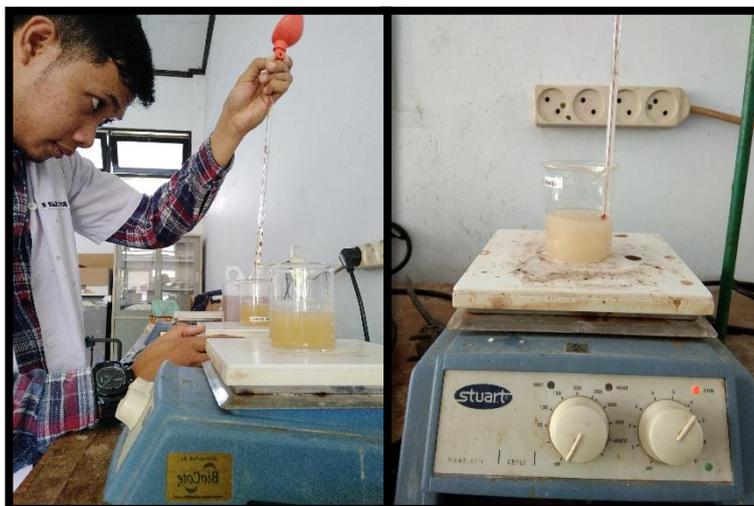


Proses *bleaching* residu yang dihasilkan dengan penambahan 250 mL NaOCl 5% + asam asetat pada suhu 70 °C

dan residu yang dihasilkan dikeringkan dan ditambahkan HNO₃ 0,05 N pada suhu 70 °C



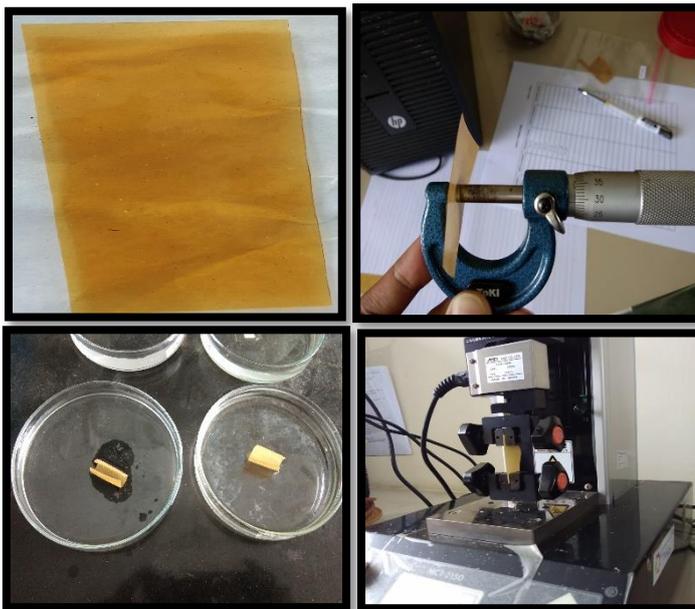
Selulosa berbasis serbuk gergaji kayu jati putih



Proses pembuatan plastik *biodegradable* dengan penambahan selulosa + kitosan + sorbitol



Pencetakan film plastik dan pengeringan di dalam oven pada suhu 60 °C



Uji Daya serap air, Kuat tarik dan Pemanjangan putus film plastik



Uji Biodegradabilitas, Pengamatan dilakukan setiap 4 hari