

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tandan Kosong sawit

Dewasa ini perkebunan kelapa sawit telah menyebar di 22 propinsi yang ada di Indonesia, pada tahun 2010 luasnya mencapai 8,3 juta Ha, sekitar 41% merupakan perkebunan rakyat (Ditjenbun, 2012). Semakin luas perkebunan kelapa sawit maka semakin meningkatnya produksi dan jumlah limbah kelapa sawit. TKS adalah tandan yang sudah diambil buah segar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Komponen utama TKS adalah selulosa dan lignin, sehingga limbah ini disebut sebagai limbah lignoselulosa (Widiastuti dan Panji, 2007). Limbah tandan kelapa sawit (TKS) merupakan limbah padat yang jumlahnya cukup banyak, namun pemanfaatannya masih terbatas.



Gambar 2.1 Tandan Kosong Sawit

Tandan kosong sawit (TKS) mengandung beberapa komponen yang penting, seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam jumlah yang banyak. Persentase beberapa komponen kimia yang terkandung dalam Tandan kosong sawit (TKS) ditunjukkan pada table 2.1.

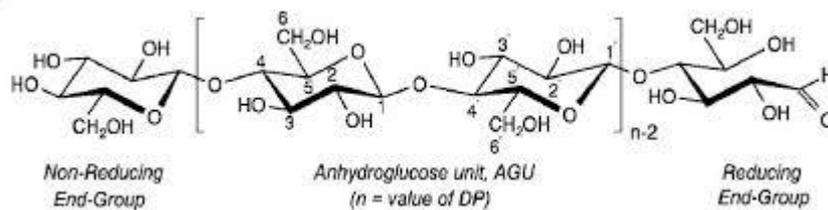
Tabel 2.1 Komposisi Tandan Kosong Sawit (TKS)

Komposisi	Kadar (%)
Kadar Air	8,56
Lignin	25,83
Holoselulosa	56,49
α -Selulosa	33,25
Hemiselulosa	23,24
Zat ekstraktif	4,19

(Ropiah, 2010).

2.2 Selulosa

Selulosa merupakan serat berwarna putih, tidak larut dalam air panas dan dingin, alkali dan pelarut organik netral seperti alkohol dan benzene (Stephenson, 1950). Selulosa merupakan komponen terbanyak yang terkandung dalam TKS yang mencapai 43-44%. Selulosa memiliki rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$, molekul selulosa berbentuk linear dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan hidrogen antar molekul. Sebagai akibat dari struktur yang berserat dan ikatan hidrogennya sangat kuat, selulosa mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tidak larut dalam kebanyakan pelarut (Sjöstrom, 1998). Selulosa merupakan senyawa organik yang terdapat pada dinding sel bersama lignin yang berperan dalam mengkokohkan struktur tumbuhan. Selulosa terdiri atas rantai panjang unit-unit glukosa yang terikat dengan ikatan 1-4 β -glukosida (Sukarta, 2008). Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur molekul selulosa (Coffey dkk., 1995)

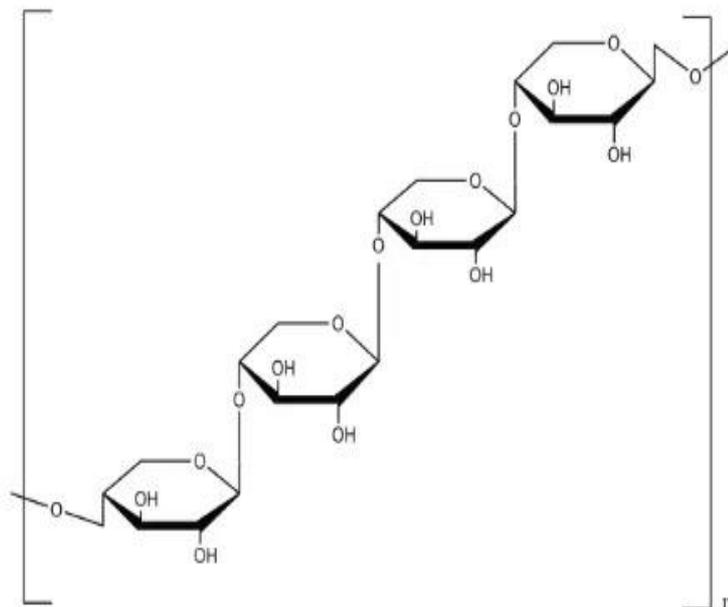
Menurut Elita (2016), selulosa dapat dibedakan berdasarkan derajat polimerisasi (DP) dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida 17,5% yaitu :

- A. *Alpha cellulose* (α -selulosa) adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan natrium hidroksida 17,5% atau larutan basa kuat dengan DP 600-1500. Alpha selulosa dipakai sebagai penduga dan atau penentu tingkat kemurnian selulosa.
- B. *Beta cellulose* (β -selulosa) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan natrium hidroksida 17,5% atau basa kuat dengan DP 15-90, dapat mengendap bila dinetralkan.
- C. *Gamma cellulose* (γ -Selulosa) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan natrium hidroksida 17,5% atau basa kuat dan tidak mengendap jika dinetralkan memiliki DP nya kurang dari 15.

Kemurnian selulosa sering dinyatakan melalui parameter α -selulosa. Biasanya semakin tinggi kadar α -selulosa, maka semakin baik mutu bahannya (Kusumawati, 2011).

2.3 Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polisakarida dengan berat molekul kecil berantai pendek bila dibandingkan dengan selulosa dan banyak ditemukan pada kayu lunak. Hemiselulosa disusun oleh pentosan ($C_5H_8O_4$) seperti xylosa, arabinosa dan heksosan ($C_6H_{10}O_5$) seperti manosa, glukosa, galaktosa. Pentosan terdapat pada kayu keras, sedangkan heksosan terdapat pada kayu lunak (Maga, 1987). Struktur hemiselulosa disajikan pada Gambar 2.3



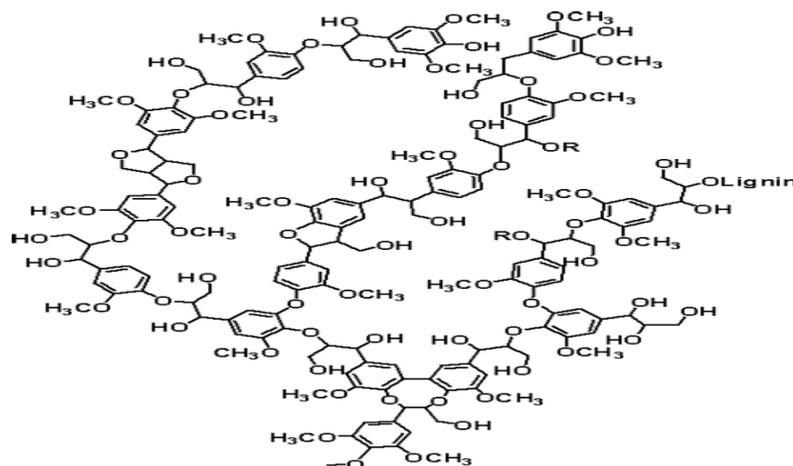
Gambar 2.3 Struktur hemiselulosa ((Harmsen dkk., 2010).

Hemiselulosa pada suhu rendah tidak larut dalam air. Proses hidrolisis hemiselulosa dilakukan pada suhu yang lebih rendah daripada selulosa yang mana kelarutannya akan terus bertambah seiring dengan naiknya suhu (Harmsen dkk., 2010).

Hemiselulosa dapat mengalami reaksi oksidasi menjadi senyawa keto dan aldo dan dapat membentuk adisi pada gugus hidroksil. Hemiselulosa akan mengalami reaksi oksidasi dan degradasi terlebih dahulu daripada selulosa, karena rantai molekul hemiselulosa lebih pendek dan bercabang (Fengel dan Wenger, 1985).

2.4 Lignin

Lignin adalah suatu konstituen utama kayu, merupakan polimer fenol yang rumit yang mempunyai kemiripan superfisial dengan senyawa fenol sintesis. Lignin merupakan “semen” yang mengikat fibril-fibril selulosa bersama-sama dan banyak memberikan stabilitas dimensi kayu. Menduduki sekitar (25- 30)% kayu, lignin merupakan polimer yang sangat melimpah yang mesti mencapai potensinya berkaitan dengan aplikasi-aplikasi polimer. Saat ini sebagian besar lignin yang diproduksi dalam operasi pembuburan kayu dibakar sebagai bahan bakar pada tempat pembuburan. Struktur lignin bervariasi menurut sumbernya, tetapi suatu pendekatan dari segmen lignin kayu lunak mengilustrasikan kompleksitasnya. Berat molekul lignin diperkirakan sangat tinggi, tetapi karena proses dari pemisahan selulosa tak terelakkan lagi menyebabkan degradasi, untuk menyatakan sampai tingkat berapa tingginya adalah hal yang tidak mudah. Karena lignin mengandung sejumlah besar cincin-cincin benzena aktif, lignin yang terdegradasi cepat bereaksi dengan formaldehida, yang telah menyebabkan pengembangan komersial terbatas dalam bidang bahan perekat kayu lapis. Sulfonat-sulfonat lignin yang diperoleh dari pembuburan kayu juga dipakai sebagai bahan perekat, asphalt extender dan oil-well drillin mud additives. Reaksi dengan propilena oksida misalnya, menghasilkan turunan-turunan hidroksipropil yang telah dikonversi ke poliuretana thermoset (Stevens, 2001).



Gambar 2.4 Struktur lignin (Sjöström 1993; Fengel dan Wegener 1985).

Lignin adalah bahan biomasa bersama selulosa dan hemiselulosa sebagai penyusun utama tanaman. Dengan teknologi pretreatment konvensional, pada

temperatur rendah (sedikit di atas 100 °C) lignin terurai menjadi methoxy phenols dengan menggunakan teknik hidrolisis. Hidrolisis lignin menggunakan katalis alkali akan menghasilkan residu dan menjadi penghalang (inhibitor) pada proses enzimatik untuk mengkonversi selulosa dan hemiselulosa menjadi gula reduksi (Toor dkk., 2011).

2.5 Nanoselulosa

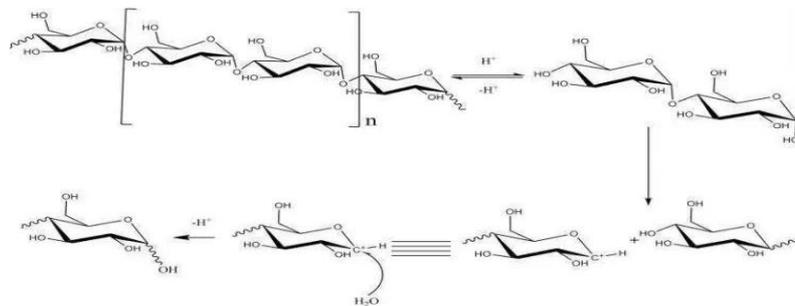
Nanoselulosa memiliki kristalinitas tinggi dengan diameter berkisar 5-70 nm dengan panjang 100-250 nm (Utami, 2018). Nanoselulosa memiliki keunggulan dibandingkan dengan selulosa, antara lain densitasnya rendah, memiliki reaktivitas kimia yang tinggi, kekuatan dan modulusnya tinggi. Sifat-sifat tersebut membuat nanoselulosa memiliki potensi dengan nilai guna tinggi dan dapat diaplikasikan lebih meluas. Dengan adanya perubahan dari selulosa menjadi nanoselulosa menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari selulosa dapat dimanfaatkan sebagai filler penguat polimer, aditif untuk produksi biodegradable, penguat membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat (Ioelovich, 2012).

2.5.1 Sintesis Nanoselulosa

Penelitian tentang nanoselulosa sudah banyak dilakukan dengan metode penelitian yang berbeda-beda. Salah satunya yaitu metode yang telah dilakukan oleh Arup Mandal (2011), dimana sintesis nanoselulosa dari α -selulosa terdiri dari empat tahap, yaitu hidrolisis asam, sentrifuse, ultrasonikasi, dan freezer drying. Pada tahap hidrolisis asam, α -selulosa ditambah H_2SO_4 dan dibantu oleh proses pemanasan selama 5 jam dengan suhu 50°C sambil diaduk.

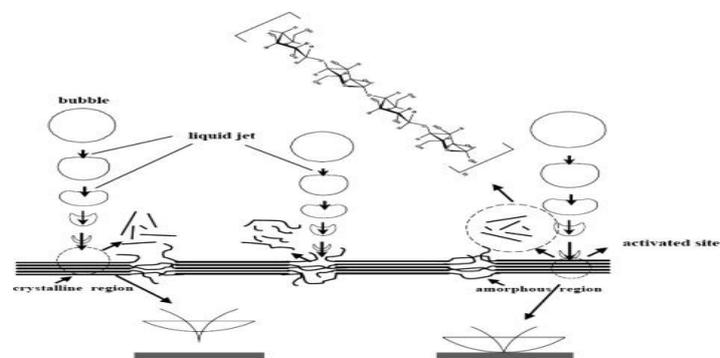
Lalu larutan hasil hidrolisis asam ditambah akudes, hal ini bertujuan untuk memberhentikan reaksi berlebih yang terjadi saat proses hidrolisis asam. Proses hidrolisis asam bertujuan untuk menghilangkan bagian amorf dari rantai selulosa sehingga isolasi kristal selulosa dapat dilakukan (Isdin, 2010). Berdasarkan fasanya polimer dibagi menjadi dua jenis, yaitu: Amorf merupakan polimer yang tersusun tidak teratur dan memiliki suhu transition glass (T_g). Contoh fase amorf yaitu karet dan polietena yang ada pada kehidupan sehari-hari, Kristalin merupakan polimer yang mempunyai susunan rantai yang teratur dan memiliki titik leleh. Contohnya pati, selulosa, dan lain-lain (Stevano, 2013).

Pembuatan nanoselulosa oleh hidrolisa asam terjadi pada temperatur yang cukup tinggi dan berada pada media asam dalam waktu yang cukup lama. Akibat dari keadaan menyebabkan terjadinya reaksi yaitu selulosa terhidrolisa menjadi selulosa dengan berat molekul yang rendah. Keaktifan asam pekat untuk menghidrolisis selulosa berbeda-beda. Untuk keaktifan yang sangat tinggi dimiliki oleh asam oksalat, asam nitrat, asam sulfat dan asam klorin adalah asam yang aktif, sedangkan asam-asam organik merupakan asam asam yang tidak aktif. Asam sulfat yang pekat (75%) akan menyebabkan selulosa berbentuk gelatin, asam nitrat pekat akan menyebabkan selulosa membentuk ester sedangkan asam fosfat pada temperatur rendah akan menyebabkan sedikit berpengaruh pada selulosa (Solechudin dan Wibisono, 2002). Mekanisme hidrolisis asam secara reaksi kimia dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Mekanisme hidrolisis asam (Yue dkk., 2007).

Tahap sentrifuse, tahap ini dilakukan untuk memisahkan antara endapan dengan larutan berdasarkan perbedaan berat molekul. Tahap selanjutnya yaitu ultrasonikasi yang bertujuan untuk menurunkan ukuran nanoselulosa dengan bantuan gelombang ultrasonik.



Gambar 2.6 Mekanisme pembentukan nanoselulosa dengan ultrasonikasi (Li dkk., 2012).

Tahap yang terakhir yaitu *freeze drying* yang digunakan untuk memisahkan nanoselulosa dari sisa akuades. *Freeze drying* atau liofilisasi adalah suatu cara pengeringan tanpa pemanasan. Cara ini cocok untuk sampel yang sensitif terhadap panas serta sampel yang mudah teroksidasi dalam keadaan panas. Langkah pertama dalam *freeze drying* yaitu dengan membekukan sampel, yang kemudian di vakum untuk menghilangkan kandungan air dalam sampel (Settle, 1997).

2.5.2 Kegunaan Nanoselulosa

Senyawa nanoselulosa telah banyak digunakan dalam bidang industri dan kehidupan sehari-hari. Misalnya dapat digunakan sebagai filler penguat polimer, aditif untuk produksi biodegradable, penguat membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat (Ioelovich, 2012).

Nanoselulosa dapat dimodifikasi menjadi berbagai macam produk, seperti:

1. Biomedical

Nanokomposit dibuat lapis demi lapis (*Layer-By-Layer*) dengan polidialildimetilamonium klorida (PDDA) menghasilkan komposit berlapis yang dapat digunakan dibidang biomedical (Podsaidlo dkk., 2005).

Nanokomposit dibuat dari campuran antara nanoselulosa dengan kopolimer polyvinyl alcohol dan polyvinyl acetate, hasil menunjukkan semakin banyak filler (bahan pengisi nanoselulosa) yang terdapat dalam lembaran polimer dapat meningkatkan sifat termal dan derajat kristalinitas pada saat polimer kering (Rohani dkk., 2008).

2. Material Biokompatibel

Nanoselulosa ditambah dengan polyelectolyte multilayer (PEM) yang kemudian lembaran yang memiliki sifat mekanik dan optic yang baik (Cranston dan Gray, 2006).

3. Katalis dan Katalis Pendukung

Template komposit dibuat dari nanoselulosa untuk titania berpori. Material titania 2 memiliki luas permukaan yang tinggi (170-200 m²/g) yang dapat digunakan sebagai katalis, dan pendukung katalis (Shin dan Exarhos, 2007).

4. Biomaterial dalam bidang pangan

Nanoselulosa ditambahkan kedalam larutan 1-(2-hidroksietil)-3-metilimidazolinium klorida ([HeMIM]Cl) yang mengandung matrik selulosa yang

kemudian membentuk lembaran komposit. Lembaran komposit ini mengalami peningkatan sifat mekanik (kekuatan tarik), stabilitas termal dan ramah lingkungan (Man Z. dkk., 2011). Nanoselulosa dicampur dengan kitosan untuk menghasilkan nanokomposit, penambahan nanoselulosa mengakibatkan naiknya nilai kekuatan tarik (tensile strength) sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengepakan makanan (Khan dkk., 2012).

5. Polimer Komposit

Nanokomposit dibuat dari poliureta dengan fraksi rendah selulosa, menghasilkan polimer komposit yang mengalami peningkatan kekuatan tarik, dan modulus young.

6. Perangkat Sensor Gas

Shopsowitz dkk. (2011), membuat karbon mesoporous kiral nematik yang merupakan hasil turunan dari nanoselulosa yang dikomposit dengan lembaran SiO₂. Karbon mesoporous memiliki peran penting dalam perangkat elektronik contohnya perangkat sensor gas.

7. Bahan aktif anti racun

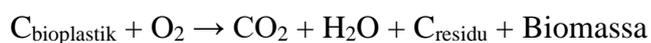
Asam polilaktik (PLA) ditambah dengan nanoselulosa sehingga menghasilkan nanokomposit yang berguna untuk bahan aktif anti racun. Penambahan nanoselulosa memperkuat sifat barrier pada hasil polimer komposit (Fortunati dkk., 2012).

2.6 Bioplastik (Plastik Biodegradable)

Bioplastik merupakan salah satu biopolimer yang dapat terurai secara alami oleh bantuan bakteri, jamur, alga atau mengalami hidrolisis dalam larutan berair. Plastik biodegradable atau lebih dikenal dengan bioplastik merupakan plastik yang sifatnya dapat kembali ke alam karena dapat terurai secara alami di alam oleh aktivitas mikroorganisme (Najih, 2018). ASTM (*American Society for Testing of Materials*) dan ISO (*International Standards Organization*) mendefinisikan plastik biodegradable sebagai plastik yang bisa mengalami perubahan signifikan dalam struktur kimia pada kondisi lingkungan yang spesifik. Plastik biodegradable mengalami degradasi melalui aksi natural dari jamur (fungi), bakteri, dan alga (Anggarini, 2013).

Degradasi (*degradation*) merupakan proses satu arah (*irreversible*) yang mengarah pada perubahan signifikan dari suatu struktur material, dengan cara kehilangan komponen, misalnya berat molekul atau berat struktur, disertai dengan pemecahan (*fragmentation*). Degradasi disebabkan oleh kondisi lingkungan dan terjadi dalam satu tahap atau lebih, sedangkan plastik biodegradable menunjukkan keadaan plastik yang terdegradasi sebagai hasil dari aktivitas alam yang melibatkan mikroorganisme seperti bakteri, jamur dan alga. Plastik biodegradable dapat terdegradasi oleh lingkungan 15 tertentu misalnya tanah, kompos, atau lingkungan perairan (Anggarini, 2013).

Tingkat degradasi bioplastik bervariasi tergantung suhu, stabilitas polimer dan tersedianya oksigen. Proses degradasi secara kimia lingkungan terbagi menjadi 2 lingkungan degradasi, yaitu lingkungan biotik dan abiotik. Degradasi dalam lingkungan biotik umumnya terjadi karena serangan mikroba seperti; bakteri, kapang, ganggang dan lainnya, sedangkan proses degradasi pada lingkungan abiotik meliputi degradasi karena sinar UV, panas, hidrolisis, oksidasi (Ikhwanuddin, 2018). Menurut Mandal (2017), degradasi dapat terjadi secara aerob (memerlukan oksigen) dan anaerob (tanpa oksigen). Adapun proses degradasi bioplastik secara aerob, yaitu :



Dan proses degradasi bioplastik secara anaerob :



Menurut Utami, dkk (2014), Bioplastik dapat diklasifikasikan ke dalam 4 kategori berdasarkan komposisi kimianya, asal dan metode sintesis, yaitu :

1. Polimer langsung dari biomassa (misalnya pati, protein dan selulosa).
2. Polimer yang dihasilkan oleh sintesis kimia dari monomer bioderived (misalnya PLA, berbasis bio PE).
3. Polimer yang dihasilkan oleh mikroba fermentasi (misalnya polihidroksi alkanoat).

4. Polimer yang dihasilkan oleh bahan kimia dari kedua monomer bio yang diturunkan dan monomer berbasis minyak bumi (misalnya polibutilen suksinat/PBS, politrimetilen tereftalat/PTT).

Bioplastik dapat diubah menjadi biomassa H_2O , CO_2 atau CH_4 melalui tahapan depolimerisasi dan mineralisasi. Depolimerisasi terjadi karena enzim ekstraseluler yang terdiri atas endo dan ekso enzim. Endo enzim memutus ikatan internal pada rantai utama polimer secara acak dan ekso enzim memutus unit monomer pada rantai utama secara berurutan. Bagian- bagian oligomer yang terbentuk dipindahkan ke dalam sel dan menjadi mineralisasi. Proses mineralisasi membentuk CO_2 , H_2O , CH_4 , O_2 garam-garam, mineral dan biomassa (Sari, 2020).

Menurut Reddy, dkk (2013), ada beberapa keuntungan dari bioplastik, yaitu:

1. Mengurangi emisi CO_2 : Satu metrik ton bioplastik menghasilkan antara 0,8 dan 3,2 metrik ton karbon dioksida lebih sedikit dari satu ton metrik plastik berbasis minyak bumi.
2. Alternatif yang murah : mengatasi masalah semakin berkurangnya sumber minyak bumi dengan kenaikan harga minyak yang semakin meningkat sebagai bahan pembuatan plastik konvensional.
3. Mengurangi limbah : penggunaan bioplastik mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan oleh plastik konvensional.
4. Manfaat untuk ekonomi di pedesaan : Harga tanaman, seperti jagung, telah meningkat tajam ditengah kepentingan global dalam produksi biofuel dan bioplastik. Beberapa negara di seluruh dunia telah memanfaatkan tanaman sebagai bahan baku alternatif minyak untuk menjaga lingkungan dan memenuhi ketersediaan energi.
5. Reduced Carbon Footprint : Plastik berbasis minyak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai bahan baku utama. Selain itu, plastik berbasis minyak seperti PP dan PS memerlukan lebih banyak energi selama proses pengembangan plastik bila dibandingkan dengan bioplastik. Analisis Siklus Hidup untuk khusus PP atau PS plastik menunjukkan carbon footprint sekitar 2,0 kg setara CO_2 per kg plastik (dari buaian hingga gerbang pabrik).

Emisi CO₂ ini 4 kali lebih tinggi dari emisi CO₂ untuk resin Poly Lactic Acid (PLA).

6. Multiple end-of-life options: Bahan baku yang berharga dapat direklamasi dan didaur ulang menjadi produk baru, mengurangi kebutuhan bahan baru dan dampak negatif terhadap lingkungan dari 'digunakan' produk plastik dapat dikurangi, jika tidak, dihilangkan.

Bioplastik berbahan dasar selulosa memiliki sifat hidrofobik (tahan air), mudah dibentuk dan memiliki stabilitas yang tinggi. Selulosa merupakan polimer glukosa yang berbentuk rantai linier dan bersifat semikristalin sehingga memiliki sifat yang kuat dan kaku serta tidak mudah larut dalam air. Karena hidrogen antar ikatan polimer sangat kuat, maka perlu dilakukan penambahan plasticizer gliserol yang bertujuan untuk mereduksi polimer hidrogen. Gliserol juga berfungsi sebagai crosslinking atau jembatan antar molekul selulosa karena interaksi dengan gugus OH dalam struktur selulosa. Gliserol merupakan plasticizer yang efektif karena memiliki kemampuan untuk mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intramolekuler sehingga dapat memperlemah kekakuan dari polimer, sekaligus meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas polimer.

2.7 Standar Nasional Indonesia (SNI) Bioplastik

Badan Standardisasi Nasional telah menetapkan Standar Nasional Indonesia untuk bahan plastik biodegradable atau bioplastik. Standar mutu bioplastik harus dipenuhi sebagai syarat produk yang ramah lingkungan. Pada tahun 2016, Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah mengeluarkan standar bioplastik berdasarkan aspek lingkungan yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu dapat dilihat pada Tabel 2.2. Dalam memenuhi syarat mutu bioplastik yang baik, perlu diperhatikan juga karakteristik bioplastik, yaitu sifat mekanik. Sifat mekanik biopolimer merupakan gabungan antara kekuatan yang tinggi dan elastisitas yang baik, sifat ini disebabkan oleh adanya dua macam ikatan dalam bahan biopolimer, yaitu ikatan yang kuat antara atom dan interaksi antara rantai polimer yang lemah (Ikhwanuddin, 2018). Adapun sifat mekanik dari plastik yang sesuai SNI dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Kriteria, Ambang Batas dan Metode Uji/Verifikasi Bioplastik

No.	Aspek Lingkungan	Persyaratan
1	Penggunaan bahan aditif	Tidak menggunakan zat warna azo
2	Degradibilitas	Pertumbuhan mikroba pada permukaan produk >60% selama 1 minggu
3	Kandungan logam berat	Kandungan logam berat dalam produk: Cd : < 0,5 ppm Pb : < 50 ppm
4	Tensile Elongation	Kuat beban yang diberikan maksimal kurang dari 50 kgf/cm ²

*)Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2016

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Plastik sesuai SNI

No.	Karakteristik	Nilai
1	Kuat Tarik (Mpa)	24,7 – 302
2	Elongasi (%)	21 – 220
3	Hidrofobisitas (%)	99

*)Sumber : Melani, dkk., 2017

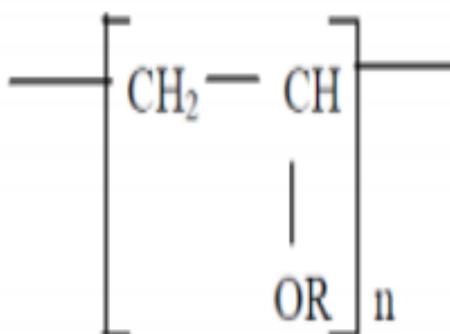
2.8 Termoplastik Pati Singkong (TPS)

Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa, dan terdiri atas amilosa dan amilopektin (Jacobs dan Delcour 1998). Pati dapat diperoleh dari bijibijian, umbi-umbian, sayuran, maupun buah-buahan. Sumber alami pati antara lain adalah jagung, labu, kentang, ubi jalar, pisang, barley, gandum, beras, sagu, amaranth, ubi kayu, ganyong, dan sorgum. Pemanfaatan pati asli masih sangat terbatas karena sifat fisik dan kimianya kurang sesuai untuk digunakan secara luas. Oleh karena itu, pati akan meningkat nilai ekonominya jika dimodifikasi sifat-sifatnya melalui perlakuan fisik, kimia, atau kombinasi keduanya (Liu dkk., 2005). Pati singkong adalah pati yang didapatkan dari umbi singkong (*Manihot utilissima*). Sampai saat ini, pati singkong telah banyak dieksploitasi secara komersial dan

masih merupakan sumber utama kebutuhan pati. Pati yang diperoleh dari ekstraksi umbi singkong ini akan memberikan warna putih jika diekstraksi secara benar. Pati singkong memiliki granula dengan ukuran 5-35 μm dengan rata-rata ukurannya di atas 17 μm .

2.9 Polivinil Alkohol (PVA)

Polivinil alkohol (PVA) merupakan zat yang tidak berasa, tidak berbau, dapat terurai oleh alam dan biokompatibel. Selain dapat terlarut dalam air, Polivinil alkohol juga dapat larut dalam etanol. Namun, zat ini tidak dapat larut dalam pelarut organik. Struktur kimia polivinil alkohol (PVA) disajikan pada Gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.7 Struktur kimia Polivinil Alkohol

Polivinil alkohol adalah polimer sintetik yang larut dalam air dengan rumus $(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$. PVA berfungsi sebagai agen pelapis, pelumas, zat penstabil, dan dapat meningkatkan viskositas agen. Dalam formulasi farmasi polimer PVA digunakan terutama dalam farmasi dan topikal formulasi oftalmik sebagai penstabil agen untuk emulsi. PVA juga digunakan sebagai zat penambah viskositas untuk formulasi kental seperti produk oftalmik. PVA juga digunakan untuk pelumasan yang digunakan dalam air mata buatan dan lensa kontak. Dalam formulasi rilis berkelanjutan untuk pemberian oral dan di patch transdermal. Polivinil alkohol dapat dibuat menjadi mikrosfer bila dicampur dengan larutan glutaraldehyde. PVA bersifat tidak berbau, berwarna putih sampai berwarna krim, dan bentuknya bubuk granular.

2.10 Karakterisasi Nanoselulosa dari TKS dan Karakterisasi Komposit Termoplastik Pati Singkong (TPS)-Film Polivinil Alkohol (PVA)-Nanoselulosa (NC)

2.10.1 Uji Organoleptik

Uji organoleptik adalah cara untuk mengukur, menilai atau menguji mutu komoditas dengan menggunakan kepekaan alat indra manusia, yaitu mata, hidung, mulut dan ujung jari tangan. Uji organoleptik juga disebut pengukuran subyektif karena didasarkan pada respon subyektif manusia sebagai alat ukur (Girsang, 2018). Uji Organoleptik pada Nanoselulosa berdasarkan sifat fisik yang berwarna putih berbentuk padatan kristal serta tidak memiliki bau.

2.10.2 Analisis Rendemen %yield

Cara untuk mengetahui rendemen terhadap selulosa yang digunakan, maka perhitungan dilakukan dengan rumus :

$$Rendemen = \frac{\text{berat serbuk selulosa yang dihasilkan}}{\text{berat sampel hasil isolasi selulosa}} \times 100\%$$

2.10.3 Analisis Kadar α -selulosa

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kuantitas unsur α -selulosa yang terkandung dalam bahan baku hasil isolasi α -selulosa dan produk nanoselulosa. Semakin besar kadar α -selulosa yang terkandung dalam hasil pemurnian TKS dan nanoselulosa, maka semakin baik mutunya. Metode yang digunakan pada analisis ini menggunakan SNI 0444:2009.

2.10.4 Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Spektroskopi IR adalah sebuah metode analisis instrumentasi pada senyawa kimia yang menggunakan radiasi sinar infra merah. Spektroskopi IR berguna untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada senyawa organik. Bila suatu senyawa diradiasi menggunakan sinar inframerah, maka sebagian sinar akan diserap oleh senyawa, sedangkan yang lainnya akan diteruskan. Serapan ini diakibatkan karena molekul senyawa organik mempunyai ikatan yang dapat bervibrasi.

Prinsip kerja spektroskopi IR adalah adanya interaksi energi dengan materi. Misalkan dalam suatu percobaan berupa molekul senyawa kompleks yang

ditembak dengan energi dari sumber sinar yang akan menyebabkan molekul tersebut mengalami vibrasi. Sumber sinar yang digunakan adalah keramik, yang apabila dialiri arus listrik maka keramik ini dapat memancarkan infrared. Interpretasi awal dari spektrum inframerah dapat menggunakan beberapa daerah serapan yang khas pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.4. Bilangan Gelombang Beberapa Jenis Ikatan (Dachriyanus, 2004)

Bilangan Gelombang (ν , cm^{-1})	Jenis Ikatan
3750 – 3000	O-H, N-H (<i>Stretch</i>)
3000 – 2700	-CH ₃ , -CH ₂ , C-H aldehyd (<i>Stretch</i>)
2400 – 2100	-C≡C-, C≡N (<i>stretch</i>)
1900 – 1650	C=O (asam karboksilat, aldehyd, keton, amida, ester, anhidrida) <i>stretch</i>
1675 – 1500	C=C (aromatik dan alifatik), C=N (<i>Stretch</i>)
1475 – 1300	C-H <i>bending</i>
1300 – 1200	C – O (asam karboksilat) <i>stretch</i>
1050 – 1000	C – O eter
1000 – 650	C=C-H, Ar-H <i>bending</i>
860 - 800	-p- <i>disubstitusi</i>

2.10.5 SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM (Scanning Electron Microscope) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Fungsi SEM adalah dengan memindai terfokus balok halus elektron ke sampel. Elektron berinteraksi dengan sampel komposisi molekul. Energi dari elektron menuju ke sampel secara langsung dalam proporsi jenis interaksi elektron yang dihasilkan dari sampel. Serangkaian energi elektron terukur dapat dihasilkan yang dianalisis oleh sebuah mikroprosesor yang canggih yang menciptakan gambar tiga dimensi atau spektrum elemen yang unik yang ada dalam sampel dianalisis.

Nanoselulosa memiliki kristalinitas tinggi dengan diameter berkisar 5-70 nm dengan panjang 100-250 nm (Utami, 2018). Analisis SEM dilakukan dengan cara sampel dipasang pada pita karbon dan diamati pada tegangan 1,5kV (Hastuti, 2018) pengujian SEM ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk material dari nanoselulosa.

2.10.6 Uji Kuat Tarik (Tensile Strength)

Pengujian kuat tarik bioplastik bertujuan untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam menahan berat beban, berapakah nilai kuat tarik maksimum yang mampu dicapai. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM D 638-02. Sampel dipotong menjadi ukuran 2 x 10 cm, kemudian dijepit 1,5 cm di kedua panjang sisinya. Uji kuat tarik dilakukan dengan menggunakan alat Mechanical Universal Testing Machine. Menurut Jabbar, 2017 untuk menghitung nilai kuat tarik dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$$

Dimana :

σ = Kuat tarik (kg/cm²)

F_{maks} = Beban maksimum (kg)

A_0 = Luas penampang awal (cm²)

2.10.7 Uji Elongasi (Persen Perpanjangan Putus)

Pengujian persen perpanjangan pada saat putus dilakukan untuk mengetahui seberapa besar nilai persentase elongasi bioplastik. Proses pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan alat Universal Testing Machine dengan cara memasang sampel pada alat uji kemudian mencatat batas awal sampel, lalu diberikan gaya tarik pada sampel hingga putus sehingga didapatkan data batas akhir. Menurut Ghufron, dkk., 2018, nilai elongasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

dimana :

ε = Elongasi (%)

L_0 = Batas awal (cm)

L_1 = Batas akhir (cm)

2.10.8 Uji Degradasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat tingkat penguraian bioplastik di dalam tanah. Proses dilakukan dengan cara memendam atau mengubur sampel bioplastik menggunakan media tanah gembur dan kompos

alami. Sampel bioplastik ditimbang sebagai massa awal (m_0). Kemudian dikubur dalam tanah dengan interval waktu 10-20 hari. Setelah itu, sampel yang telah dikubur diambil kembali dan dikeringkan lalu ditimbang massa akhir (m_1).

Nilai persentase pengurangan massa rata-rata bioplastik diperoleh melalui persamaan (Hartatik, dkk., 2014 dalam Amalia, 2019).

$$\% \text{ Kehilangan massa} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Dimana :

m_0 = Massa awal bioplastik (gr)

m_1 = Massa akhir bioplastik (gr)

Setelah didapatkan persentase kehilangan massa, maka dapat dihitung perkiraan lamanya waktu terdegradasi secara keseluruhan (100%) menurut Sari, 2020, melalui persamaan sebagai berikut:

$$\text{Perkiraan waktu degradasi} = (100\% / \% \text{ kehilangan massa}) \times \text{waktu uji}$$

2.10.9 Uji Ketahanan Air

Proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa kadar air yang dapat diserap oleh sampel bioplastik. Daya serap air bioplastik dianalisis menggunakan metode ASTM D 570-98. Sampel dipotong menjadi ukuran 10 x 10 mm kemudian 30 menimbang beratnya (W_0) lalu direndam dalam gelas kimia yang berisi aquadest pada suhu 23⁰C selama 24 jam. Setelah 24 jam, sampel diambil lalu dibersihkan menggunakan kain kering dan ditimbang (perubahan berat mendekati 0,001 gr). Menurut Hairani, 2014, persentase air yang diserap dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\% \text{ Air yang terserap} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Dimana :

W_0 = Berat sampel sebelum direndam air (gr)

W_1 = Berat sampel setelah direndam air (gr)