

## 4. PEMBAHASAN

### 4.1. Metode Pengolahan Bio-Komposit Limbah Kulit Jagung

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa metode pengolahan limbah yang digunakan adalah ekstraksi. Metode ekstraksi yang banyak digunakan pada penelitian ini adalah metode ekstraksi secara kimiawi. Proses ekstraksi serat kulit jagung secara kimiawi dibagi dalam beberapa tahap yaitu perlakuan alkali (*alkali treatment*) dan proses pemutihan (*bleaching process*) (Chun *et al.*, 2020; Tan *et al.*, 2021). Salah satu metode ekstraksi yang ditemukan adalah ekstraksi dengan menggunakan soxhlet. Ekstraksi soxhlet adalah salah satu metode tradisional yang telah banyak digunakan untuk ekstraksi senyawa bioaktif dari berbagai sumber alami. Selama beberapa dekade, metode ini berfungsi dalam berbagai proses yang berkaitan dengan ekstraksi senyawa bioaktif (Fagbemi *et al.*, 2021). Keuntungan dari metode ekstraksi soxhlet adalah dapat digunakan pada senyawa dengan kelarutan rendah.

Pra perlakuan selulosa dari kulit jagung dilakukan dalam beberapa tahap yaitu perendaman, pencucian, pengeringan, pemotongan dan pengayakan (Chun *et al.*, 2020). Kulit jagung yang telah dibersihkan, kemudian dikeringkan untuk menghilangkan kadar air didalamnya. Tujuan dari pengurangan kadar air adalah untuk menghindari pembusukan. Setelah itu, sampel dihaluskan dan diayak. Pengayakan bertujuan untuk menghasilkan ukuran serbuk halus dengan luas permukaan besar sehingga kontak molekul bahan kimia tambahan dengan senyawa aktif yang terkandung dalam sampel lebih cepat (Mendes *et al.*, 2014). Setelah itu dilakukan proses ekstraksi serat kulit jagung dalam beberapa tahap yaitu perlakuan alkali (*alkali treatment*) dan proses pemutihan (*bleaching process*) (Chun *et al.*, 2020; Tan *et al.*, 2021).

Pada pra perlakuan bahan, kulit jagung direndam ke dalam wadah plastik berisi air suling. Proses ini berlangsung sekitar 15 hari, dan disimpan pada suhu kamar.

Setelah beberapa hari, kulit jagung yang sudah lunak dikupas dan diperoleh serat dari kulit jagung. Lalu, serat kulit jagung dicuci beberapa kali untuk menghilangkan kontaminan dari kulit jagung, diayak dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C. Selanjutnya, dilakukan metode ekstraksi dengan perlakuan kimia yaitu perlakuan alkali. Perlakuan alkali adalah salah satu metode pengolahan kimia yang paling efisien untuk modifikasi permukaan serat alam. Umumnya, perlakuan alkali telah ditunjukkan untuk meningkatkan sifat mekanik dari biokomposit yang diperkuat serat. Untuk perlakuan alkali dilakukan perendaman serat dalam larutan NaOH 5% selama 4 jam pada suhu kamar. Terdapat 2 aspek pada perlakuan alkali yaitu pertama, perlakuan alkali memecah serat menjadi serat kecil dan lebih pendek karena adanya gangguan ikatan hidrogen antara serat. Kedua, menginduksi perubahan struktur mikro yang signifikan dalam kristal selulosa. Untuk perlakuan basa pada perlakuan alkali, serat direndam dalam larutan natrium hidroksida dalam jangka waktu dan suhu yang ditentukan. Selama proses ini, Na<sup>+</sup> masuk ke dalam kristal selulosa dan menyebabkan pembengkakan (*swelling*) serat. Bagian dari gugus hidroksil pada permukaan serat akan terionisasi menjadi alkoksida. Gugus hidroksil diperoleh kembali dengan pencucian air. Perlakuan alkali mengarah pada pembentukan kristal selulosa yang lebih stabil dibandingkan dengan sampel yang tidak diberi perlakuan (Zhang *et al.*, 2017).

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa senyawa kimia tambahan yang paling banyak digunakan pada perlakuan alkali adalah NaOH. Penambahan natrium hidroksida (NaOH) pada proses perlakuan alkali (*alkali treatment*) berfungsi untuk memisahkan selulosa dari hemiselulosa dan lignin, di mana dua komponen tersebut harus dilarutkan dan diendapkan sehingga diperoleh selulosa murni (Zhou *et al.*, 2010). Hal ini sesuai dengan penelitian Yang *et al.*, (2016), NaOH dapat menurunkan kadar lignin yang menjadi pengikat silang diantara komponen selulosa dan hemiselulosa sehingga selulosa terlepas dan hemiselulosa akan larut. Perendaman serat jagung dengan NaOH bertujuan untuk meningkatkan ikatan antara matrik dan serat (perekat). Hemiselulosa perlu dihilangkan karena dapat

menyebabkan kerapuhan dan menurunkan sifat kemasan *biodegradable* (Zhou *et al.*, 2010). Berdasarkan penelitian Yilmaz (2013b) memperoleh serat dari kulit jagung dengan perlakuan alkali pada konsentrasi yang berbeda dari 2,5 sampai 10 g/L NaOH, durasi waktu yang berbeda antara 30 sampai 120 menit pada suhu didih. Penelitian membuktikan bahwa parameter perlakuan untuk menghasilkan sifat mekanik terbaik yaitu pada konsentrasi NaOH 5-10 g/L dan rentang durasi 60-90 menit.

Perlakuan alkali adalah metode untuk membersihkan dan menyesuaikan permukaan serat untuk menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan perlekatan antarmuka antara serat alami dan matriks polimer. Berdasarkan penelitian Huda & Yang (2008) bahwa tujuan dari perlakuan alkali kulit jagung juga dapat meningkatkan adhesi antar serat dan matriks dengan menghilangkan kotoran alami (pektin, lignin, hemiselulosa) dari permukaan serat dan meningkatkan kekasaran permukaan serat. Rodrigues *et al.*, (2010) membuktikan bahwa perlakuan dengan NaOH konsentrasi tinggi dapat merusak dinding sel karena ekstraksi yang berlebihan antara lignin dan hemiselulosa. Ketika serat lignoselulosa digunakan sebagai serat penguat dalam bahan komposit, perlakuan permukaan kimia dari serat selulosa memungkinkan untuk bereaksi dengan permukaan serat dan membentuk jembatan ikatan kimia antara serat dan matriks (Ashori *et al.*, 2012).

Selanjutnya, dilakukan proses pemutihan dengan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Proses pemutihan (*bleaching*) merupakan proses perusakan (degradasi) dari sisa lignin yang masih tersisa dalam pulp dengan perlakuan alkali untuk merubah warna (coklat menjadi putih) dan memberikan kecerahan yang lebih tinggi pada *pulp*. Penambahan Hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) digunakan sebagai bahan pemutih (*bleaching agent*) pada *film* bio-komposit yang telah menunjukkan peningkatan sifat tarik dan ikatan sifat termal; misalnya meningkatkan modulus elastisitas dan kekuatan tarik karena kandungan CHF meningkat dibandingkan dengan *film* bio-komposit yang tidak dilakukan proses pemutihan (*bleaching process*) (Wong & Chan, 2018). Selain

penambahan  $H_2O_2$ , proses pemutihan juga dapat ditambahkan NaOCl. Berdasarkan Tabel 7, pada penelitian Lenhani *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa NaOCl merupakan bahan pemutih serat selulosa berbentuk kristal putih yang tidak merusak secara destruktif apabila diproses pada temperatur tinggi ( $100^\circ C$ ) selama beberapa jam. Penambahan NaOCl bertujuan untuk meningkatkan kecerahan warna putih pada serbuk hasil pemutihan (Chun *et al.*, 2020). Padatan yang dihasilkan lalu dicuci beberapa kali dengan air suling dingin hingga pH netral/ pH 7. Selanjutnya, bahan dikeringkan dan disimpan dalam lemari es selama 24 jam (Liu *et al.*, 2016; Piyaporn, 2015).

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa *pulp* direndam larutan NaOCl dalam larutan asam asetat ( $CH_3COOH$ ) dan dipanaskan selama 60 menit (Kambli *et al.*, 2016). Penambahan ammonium oksalat ( $(NH_4)_2C_2O_4$ ) digunakan pada perlakuan silane untuk menghilangkan lipid (pektin) dari serat (Kambli *et al.*, 2018). Asam asetat bersifat korosif dan berfungsi untuk mengawetkan, menetralkan, melunakkan dan sebagai pengental atau katalis. Asam asetat ( $CH_3COOH$ ) sebagai pemberi suasana asam dan menghidrolisis amilosa. Amilosa yang terhidrolisis oleh asam asetat lalu tergelatinisasi, dimana gelatin terbentuk dari amilosa akan membentuk kristal *film plastic biodegradable* (Liu *et al.*, 2014). Setelah proses pemanasan, dilanjutkan penyaringan dan pencucian dengan aquades sampai pH menjadi netral (Chun *et al.*, 2020). Tahapan ini dilakukan untuk menghilangkan sisa lignin yang masih tertinggal pada sampel. Lignin mudah larut dalam pelarut basa atau asam. Hilangnya lignin dimaksudkan untuk memutus ikatan antara hemiselulosa dan selulosa sehingga hemiselulosa larut dalam pelarut NaOCl dan  $H_2O_2$  yang tersisa endapan selulosa. Faktor - faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi pelarutan lignin, selulosa dan hemiselulosa adalah tekanan, suhu dan konsentrasi larutan selama proses pengolahan.

Berdasarkan penelitian – penelitian terdahulu, proses pemutihan dapat menghilangkan hemiselulosa dan lignin sehingga menghasilkan serat selulosa yang hampir murni (96%) (Kambli *et al.*, 2018; Sari *et al.*, 2018). Selanjutnya,

selulosa dilakukan pencucian dan pengeringan pada oven hingga diperoleh serbuk selulosa (Yilmaz *et al.*, 2013b).

Pada Tabel 7, dapat dilihat bahwa pada ekstraksi menggunakan kisaran suhu  $<100^{\circ}\text{C}$  (Mendes *et al.*, 2014; Chun *et al.*, 2020). Kisaran suhu pada proses pengolahan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya depolimerisasi dan degradasi pada sampel (Mihiretu & Gorgens, 2019). Salah satu parameter yang paling penting adalah waktu, dimana perbedaan waktu pengolahan dapat mempengaruhi hasil karakteristik bahan. Waktu retensi yang digunakan berbeda – beda tergantung dari proses pengolahan. Pada pra perlakuan pada kisaran waktu perendaman selama 16 hari. Hal ini dikarenakan proses perendaman ini bertujuan untuk memperoleh ekstrak serat kulit jagung (Sari *et al.*, 2018). Sedangkan pada penelitian Mendes *et al.*, (2014); de Andrade *et al.*, (2019) waktu pra perlakuan bahan pada kisaran 3 - 4 jam untuk menghilangkan zat pengotor yang masih terdapat pada bahan. Untuk perlakuan alkali dan pemutihan menggunakan waktu pengolahan selama berjam – jam (de Andrade *et al.*, 2019; Saenghirunwattana *et al.*, 2014).

#### **4.2. Karakteristik Limbah Kulit Jagung**

Pada Tabel 7, berdasarkan penelitian Kambli *et al.*, (2018), menunjukkan karakteristik serat kulit jagung yang dilihat dari warna serat yang diperoleh setelah perlakuan alkali yang diberi larutan NaOH yaitu kecoklatan. Perubahan warna serat menunjukkan bahwa sebagian lignin telah hilang setelah perlakuan NaOH. Selain itu, warna kecoklatan juga mengindikasikan bahwa masih terdapat zat pengotor lain selain lignin dan hemiselulosa. Selanjutnya, warna serat berubah menjadi putih dan cerah setelah proses pemutihan (*bleaching*) dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  karena sebagian besar lignin telah dihilangkan dari serat.

Serat yang ditambahkan larutan NaOH maka sebagian lignin dan hemiselulosa dihilangkan dari serat sehingga menghasilkan permukaan serat yang kasar. Permukaan serat kasar mampu membentuk *interlock* mekanik yang baik setelah

proses perendaman dengan komposit. Oleh karena itu *interlock* mekanik lebih kuat daripada antar muka matriks serat dalam meningkatkan sifat mekanik komposit (Chun *et al.*, 2020). Beberapa penelitian telah meneliti proses perlakuan alkali pada serat kulit jagung. Menurut Yilmaz *et al.*, (2014) melakukan penelitian terkait pengaruh proses pengeringan dan konsentrasi enzim xilanase pada sifat mekanik serat kulit jagung. Ditemukan bahwa proses pengeringan tidak berdampak negatif terhadap sifat mekanik atau fisik serat kulit jagung. Konsentrasi NaOH dan waktu perendaman yang tepat dapat menghasilkan sifat mekanik bio-komposit yang optimal. Konsentrasi NaOH yang banyak digunakan adalah 5-10%, sedangkan waktu perendaman yaitu 30 – 120 menit (Kambli *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2021). Pada umumnya, konsentrasi 5% NaOH dan waktu perendaman 1 jam banyak digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimal (Mendes *et al.*, 2014; Sari *et al.*, 2018).

Proses pemutihan dengan penambahan  $H_2O_2$  menyebabkan fibrilasi pada serat kulit jagung. Hal ini dikarenakan sebagian besar lignin dan hemiselulosa dihilangkan secara efektif dari serat, sehingga permukaan serat yang diolah menjadi lebih kasar. Sedangkan perendaman dalam larutan asam asetat ( $CH_3COOH$ ) serta pengeringan dapat meningkatkan kecerahan warna serat yang diperoleh (Kambli *et al.*, 2018). Komposit yang diberi perlakuan pemutihan ini menunjukkan kekuatan tarik dan *modulus Young* yang lebih baik. Terdapat beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa perlakuan alkali dan proses pemutihan meningkatkan ikatan antarmuka antara serat dan matriks, sehingga meningkatkan transfer tegangan pada daerah antarmuka dan pada akhirnya menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih baik (Chun *et al.*, 2018, Wong & Chan, 2018). Berdasarkan hasil penelitian Chun *et al.*, (2020) pada Tabel 7, pada serat terdapat rongga mikro dan adhesi antar muka yang menurunkan kekuatan mekanik komposit. Hal ini dikarenakan adanya spesimen komposit yang patah akibat perlakuan dengan NaOH dan  $H_2O_2$ .

Serupa dengan penelitian Kambli *et al.*, (2016); Tan *et al.*, (2021), morfologi serat kulit jagung murni yaitu permukaan halus sedangkan serat kulit jagung yang diberi perlakuan kimia maka permukaan kasar, tidak beraturan, dan berongga. Penelitian Huda & Yang, (2008), menunjukkan hasil yang diperoleh dari proses pengolahan serat kulit jagung seperti diameter serat yang diperoleh sekitar 20 mm. Komposisi serat selulosa yang dihasilkan yaitu 50 - 55% (Kambli *et al.*, 2016) dan panjang serat 15-20 mm (Chun *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian Yilmaz *et al.*, (2013b) kandungan selulosa yang diperoleh yaitu 80-87%. Sedangkan menurut Huda & Yang, (2008) kandungan selulosa yang didapatkan sebesar 83,5%. Kandungan hemiselulosa yang diperoleh yaitu 13- 27% (Sari *et al.*, 2018) serta kandungan lignin yaitu 5 - 9% (Kambli *et al.*, 2016; de Andrade *et al.*, 2019). Karakteristik selulosa yang diperoleh karena adanya struktur kristalin (daerah teratur) dan amorf (tidak beraturan) serta beberapa mikrofibril yang membentuk fibril sehingga menjadi serat selulosa. Dapat dilihat pada Tabel 7, bahwa nilai kristalinitas serat yang diperoleh 40 - 90% (Mendes *et al.*, 2014; Huda & Yang *et al.*, 2008).

Berdasarkan penelitian Kambli *et al.*, (2018) pada Tabel 7, dilakukan metode ekstraksi serat kulit jagung dilakukan beberapa percobaan selama 60 menit dengan empat tingkat suhu berbeda, yaitu 100, 120, 140, dan 160°C dengan konsentrasi NaOH 10%. Ditemukan bahwa penggunaan suhu 100°C tidak mencukupi untuk ekstraksi serat dari kulit jagung. Hasil rata - rata serat kulit jagung yang diekstraksi pada suhu 120, 140, dan 160°C yaitu 50-55%. Serat kulit jagung yang diekstraksi pada suhu tinggi dihasilkan serat berwarna kecoklatan, sangat keras dan rapuh. Hal ini dapat disebabkan karena degradasi antara lignin yang dihilangkan pada serat kulit jagung dalam kondisi suhu tinggi. Kristalinitas kulit jagung yang diperoleh yaitu 56,9%, dimana nilai kristalinitas yang diperoleh cukup tinggi.

#### **4.3. Metode Pengolahan Produk Kemasan *Biodegradable***

Pengolahan produk *biodegradable* dapat diolah menjadi berbagai macam produk, salah satunya adalah kemasan makanan (*food packaging*). Kemasan *biodegradable* telah berhasil diproduksi dengan menggunakan konversi kemasan konvensional termasuk *melt-mixing*, *thermopressing* / *thermo-mechanical processing* (TPS), *extrusion*, pengecoran pelarut (*solvent casting method*), pencetakan kompresi (*compression molding*), dan pencetakan injeksi (*injection molding*).

Metode pencampuran (*melt-mixing*) digunakan untuk mencampur serat kulit jagung dengan senyawa kimia tambahan yang ditambahkan polimer komposit lalu dilelehkan sebelum dituang ke dalam cetakan. Faktor – faktor yang mempengaruhi proses pencampuran seperti kecepatan, ukuran partikel, suhu dan waktu. Dapat dilihat pada Tabel 8, bahwa pada penelitian Youssef *et al.*, (2015) untuk proses pencampuran menggunakan kecepatan 60 rpm pada suhu 165°C, penelitian Delgado-Aguilar *et al.*, (2013) menggunakan kecepatan 80 rpm pada suhu 180°C, penelitian Yang *et al.*, (2016) untuk proses pencampuran menggunakan kecepatan 300 rpm pada waktu 8 jam. Sesuai dengan teori (Saenghirunwattana *et al.*, 2014), Dengan semakin besar kecepatan pencampuran, maka semakin lama waktu pencampuran dan semakin kecil ukuran partikel yang dicampur sehingga distribusi partikel semakin homogen. Semakin tinggi suhu penahanan maka kecepatan proses meningkat.

Metode cetakan kompresi (*compression molding*) digunakan untuk proses pembuatan kemasan *biodegradable*. Selama proses kompresi, serat dicampur dengan senyawa kimia tambahan dan polimer dilelehkan lalu dituangkan ke dalam cetakan. Suhu cetakan yang digunakan harus di atas 60 °C. Sesuai dengan penelitian EL-Zayat *et al.*, (2021) pada Tabel 8, dimana proses pencetakan kompresi dilakukan pencampuran serat kulit jagung, senyawa kimia tambahan (*maleic anhydride*) dan polimer, lalu campuran dilelehkan pada suhu 180°C dan dituang ke dalam cetakan. Serupa dengan penelitian Saenghirunwattana *et al.*, (2014) yang mencampur serat dengan senyawa kimia tambahan (gliserol) dan



polimer, lalu campuran dilelehkan pada suhu 160°C dan dituang ke dalam cetakan.

Metode cetakan injeksi (*injection molding*) digunakan dalam proses pengolahan kemasan *biodegradable* dan dapat diproduksi dalam skala besar dengan waktu siklus pendek (Perez *et al.*, 2016). Teknik pemrosesan ini biasanya dilakukan melalui tahap pencampuran serat dan senyawa kimia tambahan lalu campuran dimasukkan ke dalam injektor dan dipanaskan. Lalu ditambahkan tekanan injeksi untuk membuat campuran mengalir melalui nosel ke dalam rongga cetakan. Setelah injeksi, tekanan dikurangi dan dipertahankan konstan selama periode yang diperlukan untuk memungkinkan pengikatan silang. Parameter kontrol utama dari metode cetakan injeksi adalah suhu, tekanan dan waktu (injeksi dan penahanan) (Álvarez *et al.*, 2021). Tekanan penahanan (*holding pressure*) adalah parameter proses yang mempengaruhi volume dan fase suhu transisi. Tekanan penahanan yang lebih tinggi menyebabkan volume yang lebih rendah, suhu transisi yang lebih tinggi dan penyusutan bahan yang lebih kecil. Suhu penahanan (*holding temperature*) yang lebih rendah menghasilkan waktu penahanan yang lebih lama. Waktu penahanan (*holding time*) merupakan faktor yang mempengaruhi penyusutan bahan. Dengan waktu penahanan yang lebih lama maka polimer memiliki waktu yang cukup untuk difusi volume bebas untuk menyusut (Wang *et al.*, 2020).

Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat pada penelitian Tarrés *et al.*, (2021) bahwa proses pencetakan injeksi dilakukan dengan pencampuran serat dan senyawa kimia tambahan (*maleic anhydride polyethylene (MAPE)*), lalu campuran dimasukkan ke dalam mesin pencetakan injeksi pada suhu 175 - 190 °C dan tekanan injeksi antara 300 - 600 bar. Serupa dengan penelitian Flandez *et al.*, (2012) bahwa proses pencetakan injeksi dilakukan dengan pencampuran serat dan senyawa kimia tambahan (*maleic anhydride polypropylene (MAPP)*), lalu campuran dimasukkan ke dalam mesin pencetakan injeksi pada suhu 175 - 190 °C dan tekanan injeksi antara 120 bar. Selain itu pada Tabel 8, dapat dilihat bahwa

penggunaan senyawa kimia tambahan yang paling banyak untuk metode pengolahan produk kemasan *biodegradable* yaitu *maleic anhydride* (MAH) (El-Zayat *et al.*, 2021; Tarrés *et al.*, 2021; Delgado-Aguilar *et al.*, 2013). *Maleic anhydride* (MAH) merupakan senyawa organik yang sering digunakan dalam bahan komposit karena meningkatkan kompatibilitas antara serat dan matriks polimer. Kelebihan dari MAH yaitu efektif digunakan pada konsentrasi rendah, memiliki energi permukaan yang rendah, dapat diperoleh secara komersial dan tidak membutuhkan perlakuan awal terhadap serat atau polimer kemasan *biodegradable* sebelum proses pembuatannya (Akonda *et al.* 2019).

Metode *thermo-mechanical processing* (TPS) dimulai dari tahap pencampuran (*mixing*) bahan untuk mendapatkan bahan seperti adonan, diikuti dengan pencetakan di bawah tekanan dan panas. Pencampuran dilakukan selama kurang lebih 10 menit (Luo *et al.*, 2014). Setelah disimpan beberapa hari pada suhu kamar, bahan yang diperoleh selanjutnya dilakukan pencetakan kompresi (*compression molding*) pada suhu 180°C, tekanan 100 bar selama 5 menit. Hasil dari pencetakan tersebut adalah spesimen persegi panjang dengan tebal 3 mm (Mir Md *et al.*, 2021).

Metode *extrusion* (ekstrusi) adalah salah satu metode yang sangat efisien untuk memproduksi dan mengubah bentuk plastik pada skala industri. Pengolahan bahan berbasis bio untuk kemasan dengan metode ekstrusi terdapat dua jenis pengolahan yaitu *single screw extruder* dan *twin screw extruder*. *Single screw extruder* digunakan untuk pengolahan polimer seperti *injection moulding* dan *solution casting film extrusion*. *Twin screw extruder* digunakan untuk pencampuran polimer. Metode ekstrusi dilakukan dengan pencampuran bahan diikuti dengan ekstrusi menggunakan *single screw extruder* pada kecepatan 100 rpm, suhu 150-170°C (Saenghirunwattana *et al.*, 2014). Setelah adonan disimpan pada suhu kamar, selanjutnya dilakukan pencetakan kompresi (*compression molding*) pada suhu 160 °C, tekanan 100 bar selama 5 menit (El-Zayat *et al.*, 2021). Untuk proses ekstrusi, pelet biopolimer biasanya dipanaskan dengan aliran udara dengan titik

embun rendah, sambil mengaduk pelet yang meleleh sehingga menghindari aglomerasi yang tidak diinginkan (Reichert *et al.*, 2020). Serat kulit jagung yang diberi perlakuan alkali dengan penambahan larutan NaOH 5% menghasilkan bio-komposit dengan sifat tarik dan *modulus* yang baik, namun mengalami peningkatan muatan serat hingga 7% yang mengakibatkan sifat mekanik yang rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh ketidak efektifan pencampuran bahan dengan *single screw extruder*. Oleh karena itu, untuk memperoleh dispersi serat yang lebih baik dan meningkatkan sifat fisik dan mekanik pada sampel maka *twin screw extruder* lebih sering digunakan pada proses pencampuran (Saenghirunwattana *et al.*, 2014).

Selain itu, metode pengecoran pelarut (*solvent casting method*) dengan pelarut seperti asam asetat digunakan untuk melarutkan resin kemasan *biodegradable* (Malek *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian de Andrade *et al.*, (2019) pada Tabel 8, dapat dilihat bahwa pembuatan film bio-komposit melalui metode pengecoran pelarut (*solution casting*). Pertama - tama, serat kulit jagung ditambahkan kitosan 1,5% ke dalam larutan asam asetat 1%, lalu diaduk pada suhu 40°C hingga homogen. Kemudian, larutan bio-komposit kulit jagung dituang ke dalam cetakan dan dikeringkan pada suhu kamar selama 48 jam untuk menghasilkan film bio-komposit. Dalam proses pencetakan injeksi (*injection molding*), polimer - polimer dipanaskan dan diinjeksikan ke dalam cetakan untuk menghasilkan potongan dalam bentuk yang ditentukan (Łączny *et al.*, 2021). Pencetakan injeksi biasanya digunakan untuk memproduksi peralatan makanan (Luo *et al.*, 2019).

Berdasarkan penelitian Sari *et al.*, (2020) pada Tabel 8, sampel komposit dibuat dengan *hot press technique*. Persiapan serat kulit jagung dengan pemotongan (40 mm) dan diletakkan pada cetakan. Resin polimer dituang ke dalam cetakan yang telah diisi serat kulit jagung, lalu dipanaskan pada 105°C selama 4 menit, diikuti dengan pendinginan pada suhu ruang. Sebelum proses pembuatan, semua sampel telah direndam dalam air namun dengan perbedaan volume (2,5 - 10%) dan waktu yang berbeda yaitu 24 dan 72 jam.

#### 4.4. Karakteristik Produk Kemasan *Biodegradable*

Karakteristik kemasan *biodegradable* diketahui dari sifat mekanik dan fisik komposit seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), *modulus Young*, perpanjangan (*elongation*), daya serap air (*water absorption*), dan suhu termal (Kambli *et al.*, 2018; Saenghirunwattana *et al.*, 2014). Dari sumber penelitian telah membuktikan bahwa serat kulit jagung memiliki karakteristik seperti kekuatan tarik yang tinggi, dan memiliki daya serap yang relatif rendah. Serat kulit jagung digunakan sebagai serat alam yang bertujuan untuk bahan penguat dalam polimer dan komposit. Beberapa penelitian membuktikan bahwa struktur morfologi, stabilitas termal dan komposisi kimia merupakan kriteria penting untuk memilih bahan yang digunakan sebagai pengisi (penguat) komposit (Brinchi *et al.*, 2013; Huda *et al.*, 2008; Faruk *et al.*, 2012; Poletto *et al.*, 2014; Xiong *et al.*, 2012).

Untuk mengetahui sifat mekanik dari komposit dapat digunakan komposisi serat dan konsentrasi bahan tambahan yang berbeda. Peningkatan kekuatan tarik dan *modulus Young* juga dipengaruhi komposisi senyawa kimia yang ditambahkan (de Andrade *et al.*, 2019). Senyawa - senyawa kimia seperti NaOH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> atau NaOCl pada proses pengolahan limbah serat kulit jagung dapat meningkatkan *modulus Young* dan kekuatan tarik. Perlakuan alkali dan pemutihan bahan menyebabkan permukaan serat kasar sehingga meningkatkan ikatan antarmuka antara serat dan matriks polimer, pada akhirnya menghasilkan komposit yang lebih kaku dan komposit dengan sifat mekanik yang lebih baik (Chun *et al.*, 2018; Wong & Chan., 2018). Perlakuan alkali meningkatkan kekasaran permukaan, menghasilkan *interlocking* mekanik yang lebih baik antara serat dan matriks. Pengurangan diameter serat disebabkan oleh penghilangan hemiselulosa dan lignin sehingga meningkatkan rasio aspek (panjang/diameter) dan luas permukaan serat sehingga meningkatkan adhesi selulosa. Maka, gugus hidroksil pada serat kulit jagung yang diberi perlakuan alkali dapat bereaksi dengan gugus karboksil pada permukaan polimer kemasan *biodegradable* (Luo *et al.*, 2014).

Kekuatan tarik (*tensile strength*) merupakan tarikan maksimum yang dapat dicapai hingga polimer dapat tetap bertahan atau sebelum putus. Analisis kekuatan tarik digunakan untuk kekuatan dan deformasi dari polimer pada titik putus yang bertujuan untuk mengetahui besarnya gaya yang dicapai untuk mencapai tarikan maksimum pada setiap satuan luas area polimer untuk merenggang atau memanjang (Rodriguez *et al.*, 2010). Pada Tabel 9, dapat dilihat bahwa kekuatan tarik terbesar yaitu 133 MPa (Sari *et al.*, 2020). Kekuatan tarik (*tensile strength*) produk kemasan *biodegradable* dari serat limbah kulit jagung tergantung dari konsentrasi bahan. Pada konsentrasi serat kulit jagung maupun senyawa kimia seperti NaOH pada proses perlakuan alkali meningkat, maka kekuatan tarik sampel juga akan meningkat. Biopolimer komposit dengan penambahan serat memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan biopolimer murni dalam proses pengolahannya. Kekuatan tarik yang tinggi pada proses ekstraksi dengan penambahan senyawa kimia dapat meningkatkan perpanjangan dan penurunan *modulus Young*.

Penelitian Mir Md *et al.*, (2021) membuktikan bahwa dengan panjang serat (17 mm) maka terjadi penurunan kekuatan tarik komposit karena distribusi resin yang tidak tepat ke dalam serat dan penurunan area kontak antara serat dan matriks. Perlakuan NaOH serat kulit jagung meningkatkan kekuatan tarik secara signifikan ( $p < 0,05$ ). Hal ini disebabkan oleh peningkatan *interlocking* antara serat dan matriks (Chun *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian Zhang *et al.*, (2017) pada Tabel 9, dapat dilihat bahwa komposisi serat limbah kulit jagung meningkat dari 33% menjadi 50% maka kekuatan tarik juga meningkat secara signifikan. Kekuatan tarik pada komposisi serat (50%) yaitu 67 MPa, namun ketika komposisi kulit jagung meningkat hingga 70% maka kekuatan tarik sedikit menurun menjadi 59 MPa. Hal ini disebabkan oleh komposisi serat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kekuatan tarik (Huda & Yang, 2008).

Modulus *young* atau modulus elastisitas merupakan properti penting dalam polimer. Sifat kelenturan yang jauh lebih tinggi dari komposit serat yang

diputihkan dibandingkan dengan komposit serat yang tidak diberi perlakuan dikaitkan dengan adhesi antarmuka yang lebih besar pada komposit serat yang diputihkan. Komposit serat panjang dan alkali memberikan modulus *young* dan kekuatan lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang terbuat dari serat pendek (Alasfar *et al.*, 2022). *Modulus young* yang diamati meningkat ketika penambahan peningkatan komposisi serat yang digunakan pada proses pengolahan produk kemasan biodegradable. Penambahan serat kulit jagung yang optimal sebanyak 30%, karena menghasilkan *modulus Young* sebesar 4 GPa. Berdasarkan penelitian Mir Md *et al.*, (2021), nilai *modulus Young* juga dapat dilihat dari panjang ukuran serat. Ukuran serat pengisi yang digunakan adalah 3, 6 dan 9 cm. Diperoleh nilai *modulus Young* yang lebih tinggi ketika diisi serat 6 cm dibandingkan dengan komposit poliester murni. Hal ini disebabkan karena penggabungan serat kulit jagung dengan kekakuan tinggi ke dalam komposit poliester. Namun, nilai *modulus Young* menurun pada panjang serat 9 cm karena penurunan kontak antara serat dan resin *polymer*.

Untuk membandingkan dari ukuran limbah (selulosa) yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 9, yang menggunakan ukuran limbah 10 mm dan 20 mm. Dalam hal ini, ukuran limbah (20 mm) menghasilkan nilai kekuatan tarik (42,9 MPa), *modulus Young* (2,6 GPa) dan perpanjangan (2,1%). Sedangkan ukuran limbah (10 mm) menghasilkan nilai kekuatan tarik (46,7 MPa), *modulus Young* (2,7 GPa) dan perpanjangan (2,3%) (Łączny *et al.*, 2021). Sesuai dengan penelitian Shahzad, (2012) yang menyatakan bahwa dengan semakin besar ukuran serat maka nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan *modulus Young* yang dihasilkan semakin rendah.

Perpanjangan putus (% *elongation at break*) merupakan persentase perubahan panjang polimer pada saat polimer ditarik hingga putus. Dalam hal ini, kemampuan serat alam untuk menahan perubahan bentuk tanpa perubahan retak. Perpanjangan (*elongation*) dengan penggabungan serat kulit jagung dapat menurunkan elongasi komposit (Xiao *et al.*, 2016). Hal ini berasal dari gugus OH

pada serat kulit jagung yang memberikan efek plastisasi pada komposit polimer *biodegradable*. Berdasarkan penelitian Zhang *et al.*, (2017) pada Tabel 9, perpanjangan yang diperoleh dari serat kulit jagung 2-5%. Pengukuran kekuatan tarik biasanya diikuti dengan pengukuran perpanjangan putus. Perpanjangan digunakan untuk menentukan elastisitas polimer. Semakin tinggi nilai elongasi maka polimer semakin elastis sehingga bahan dapat ditarik lebih lama, sedangkan polimer dengan nilai elongasi rendah akan rapuh.

Penambahan serat kulit jagung sebagai *filler* dapat menurunkan elongasi karena serat dalam matriks membatasi aliran polimer. Hal ini disebabkan oleh pembasahan dan ikatan lebih rendah antara matriks dan serat, transfer tegangan tidak terlalu efektif. Serat dengan nilai elongasi tinggi menunjukkan nilai kekuatan tarik dan modulus *Young* yang lebih rendah. Umumnya, masuknya serat selulosa ke dalam polimer termoplastik, menghasilkan penurunan perpanjangan putus tetapi peningkatan modulus *Young*. Perlakuan kimia permukaan seperti perlakuan alkali (NaOH) meningkatkan perpanjangan serat yang mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik dan permeabilitas uap air tetapi penurunan perpanjangan putus (Petroudy, 2017).

Penelitian Flandez *et al.*, (2012) yang dapat dilihat pada Tabel 9, bahwa penggunaan konsentrasi bahan tambahan yang berbeda dapat menghasilkan perbedaan hasil sifat mekanik seperti 0% MAPP maka kekuatan tarik yang diperoleh yaitu 34,1 MPa sedangkan 6% MAPP maka kekuatan tarik yang diperoleh yaitu 49,5 MPa. Selanjutnya, *modulus Young* yang diperoleh pada 0% MAPP yaitu 4,28 GPa dan pada 6% MAPP yaitu 4,3 GPa. Sedangkan perpanjangan pada 0% MAPP yaitu 2,1% dan pada 6% MAPP yaitu 4,3%. Hal ini berarti bahwa konsentrasi bahan aditif tambahan atau bahan kimia yang dipakai dapat mempengaruhi besar kecilnya hasil karakteristik kemasan *biodegradable* (Brinchi *et al.*, 2013; Huda & Yang, 2008; Faruk *et al.*, 2012; Poletto *et al.*, 2014; Xiong *et al.*, 2012).

Berdasarkan Tabel 9, dapat dilihat bahwa daya serap air yang semakin besar dengan komposisi limbah yang semakin besar seperti pada penelitian Saenghirunwattana *et al.*, (2014) yang menggunakan komposisi selulosa (5%) maka daya serap air yaitu 13,5%, sedangkan komposisi selulosa (10%) maka daya serap air yaitu 17,5%. Serupa dengan penelitian Youssef *et al.*, (2015), yang menggunakan selulosa (10, 15 dan 20%) maka daya serap air semakin meningkat, secara berurutan yaitu 8, 14 dan 22%. Peningkatan penyerapan air dengan peningkatan komposisi limbah (selulosa) karena air bertindak sebagai senyawa dalam bahan yang memungkinkan adanya adhesi antarmuka yang lebih baik sehingga mengurangi lebar antarmuka antara serat dan komposit, mengurangi penyerapan air melalui area luar permukaan ke bagian dalam serat. Serupa dengan penelitian Sari *et al.*, (2020) serat kulit jagung yang direndam dalam air (10%) maka penyerapan air selama 72 jam mengalami peningkatan dari 0,98% menjadi 1,38%. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan penyerapan air dipengaruhi oleh komposisi bahan dan waktu perendaman. Penelitian dari Luo *et al.*, (2017) bahwa komposit HDPE dengan kandungan 50% serat kulit jagung yang dibuat dengan pencetakan injeksi memiliki sifat penyerapan air sebesar 3,88% yang lebih tinggi dari standar 3%, karena kandungan selulosa yang tinggi pada serat.

Suhu termal yang ditemukan pada Tabel 9, ditemukan rata - rata sekitar 100 - 400°C (Yang *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2016). Suhu tinggi pada proses pencetakan (*molding*) dapat meningkatkan rantai polimer. Kekuatan spesimen yang dicetak meningkat seiring dengan peningkatan suhu, spesimen yang dicetak pada suhu tinggi menjadi lebih kaku. Suhu di atas 160°C menyebabkan degradasi termal spesimen selama pencetakan. Pemrosesan suhu tinggi dapat berkontribusi pada pengemasan rantai polimer yang lebih rapat namun kemungkinan akan mengeluarkan air (Yang *et al.*, 2016).

Dapat dilihat pada Tabel 9, bahwa komposit LDPE yang diperkuat serat kulit jagung memiliki *modulus Young* dan kekuatan tarik yang rendah (Youssef *et al.*, 2015). Hal ini disebabkan oleh kandungan serat yang digunakan mencapai 20% dan LDPE yang meleleh dalam komposit sehingga terjadi penurunan kekuatan



tarik dan modulus. Serupa dengan penelitian Luo *et al.*, (2019) yang menyatakan bahwa kekuatan tarik dan modulus Young meningkat seiring meningkatnya kandungan serat. Namun kandungan serat diatas 40% menurunkan kekuatan tarik dan modulus *Young*.

#### 4.5. Jenis Kemasan *Biodegradable*

Potensi pemanfaatan bahan berbasis bio dengan menggunakan sumber daya terbarukan yang dapat didaur ulang secara hayati secara inovatif dari pengolahan produk pertanian untuk kemasan makanan. Sifat penghalang (*barrier properties*) yang memadai juga dapat dipastikan dengan menggunakan bahan berbasis bio (modifikasi) yang dalam penelitian ini menggunakan sumber daya terbarukan yaitu limbah kulit jagung. Serat kulit jagung yang dimurnikan menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam sifat penghalang terhadap gas dan uap, sehingga menghasilkan biokomposit yang terbarukan dalam aplikasi pengemasan.

Beberapa kemasan – kemasan *biodegradable* yang dapat diperkuat dari serat kulit jagung yaitu :

- a. *Polyester* digunakan sebagai bahan plastik *biodegradable* karena ikatan ester yang berpotensi terhidrolisis. *Polyester* terbuat dari dua kelompok yaitu poliester alifatik dan poliester aromatik. Beberapa *polyester biodegradable* yang telah diproduksi secara komersial yaitu seperti *poly lactic acid* (PLA) dan *polyvinyl alcohol* (PVA). *Poly lactic acid* (PLA) adalah poliester termoplastik berbasis bio yang paling banyak dikomersialkan dan tersedia yang berasal dari sumber daya terbarukan seperti jagung. *Poly lactic acid* (PLA) merupakan biopolimer komposit yang berasal dari sumber daya terbarukan. PLA banyak digunakan karena proses pembuatannya yang sederhana dan cepat. PLA juga dapat memenuhi kriteria lingkungan karena banyak digunakan pada produk seperti kemasan makanan, kantong plastik, peralatan sekali pakai, dan cangkir (Reichert *et al.*, 2020). Selain itu, PLA sebagai bahan yang berkelanjutan karena memungkinkan untuk dikomposkan.

- b. PLA dengan kekuatan tarik 70 MPa dan *modulus Young* yaitu 3000 MPA / 3 GPa, namun memiliki kelemahan seperti kerapuhan yang tinggi, sifat mudah terbakar yang tinggi, stabilitas termal yang buruk dan sifat penghalang (*barrier properties*) yang buruk (Łączny *et al.*, 2021).
- c. *Polyvinyl alcohol* (PVA) telah diteliti sebagai matriks yang memiliki potensial untuk komposit yang dapat terurai secara hayati. PVA merupakan polimer sintetik yang jumlahnya melimpah dengan biaya rendah, larut air, biokompatibilitas dan *biodegradability*, ketahanan terhadap senyawa kimia yang baik, sifat penghalang gas (*gas barrier properties*), sifat termal yang rendah (Xiao *et al.*, 2016 ; Bhardwaj *et al.*, 2020). Akibat dari kelemahan PVA untuk kemasan makanan, maka berbagai upaya dilakukan seperti penambahan *filler* ke dalam PVA. *Filler* yang digunakan adalah serat selulosa dari kulit jagung. Serat ini digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik *film* bio-komposit PVA (Abral *et al.*, 2019a, Chun *et al.*, 2020).
- d. *Polypropylene* (PP) adalah polyolefin yang banyak digunakan untuk membuat komposit yang diperkuat dengan serat alami (*natural fiber*) karena biaya yang rendah dan sifat mekanik yang baik (ketahanan kimia). Namun, PP memiliki kekurangan seperti kerugian lingkungan (*non-biodegradability*, daur ulang yang sulit, dan asal dari sumber yang tidak terbarukan) (Sari *et al.*, 2020). Maka dari itu, dilakukan metode perawatan / modifikasi limbah kulit jagung untuk mendapatkan serat yang cocok untuk aplikasi komposit sehingga PP dapat digunakan untuk pembuatan komposit berbasis serat-polimer. Sebagian besar PP dapat diproses di bawah 200 °C untuk memastikan degradasi selulosa yang rendah selama preparasi komposit. Sesuai dengan penelitian Delgado-Aguilar *et al.*, (2013) pada Tabel 8, suhu 175 - 190 °C pada proses pengolahan komposit PP.
- e. *Polybutylene succinate* (PBS) adalah poliester alifatik dengan biodegradabilitas yang baik, sifat mekanik dan ketahanan termal yang stabil (Reichert *et al.*, 2020). Penelitian Likittheerakarn *et al.*, (2017) pada Tabel 8, PBS digunakan dalam aplikasi pengemasan makanan seperti *film* dan

- f. mangkuk karena memiliki kristalinitas tinggi, sifat termal yang baik dengan sifat mekanik yang mirip dengan *polypropylene* (PP).
- g. *Polysulfone* (PSf) merupakan salah satu jenis plastik rekayasa khusus dengan berbagai sifat yang baik seperti kekuatan mekanik yang tinggi, stabilitas termal, dan ketahanan kimia. Penelitian Yang *et al.*, (2016) pada Tabel 8, membran PSf membutuhkan modifikasi hidrofilik untuk mempertahankan karakteristiknya. Metode modifikasi hidrofilik seperti modifikasi pelapisan dan pencampuran.
- h. *Polyethylene* (PE) merupakan bahan komoditas termoplastik yang digunakan dalam produksi produk plastik seperti wadah makanan dan kantong plastik. Jenis PE yang banyak digunakan untuk kemasan *biodegradable* yaitu *high density polyethylene* (HDPE) dan *low density polyethylene* (LDPE). Dalam penelitian, biasanya campuran HDPE/LDPE digunakan sebagai matriks untuk pembuatan bio-komposit. PE biasanya nonpolar dan hidrofobik sedangkan bahan alami bersifat polar dan hidrofilik sehingga terjadi perbedaan hidrofobitas antara bahan pengisi alami dan bahan polimer (Chen *et al.*, 2018). *Low density polyethylene* (LDPE) pada proses pencampuran dan pencetakan kemasan *biodegradable* menggunakan suhu dibawah 190°C (Sciancalepore *et al.*, 2022). Hal ini sesuai dengan penelitian Youssef *et al.*, (2014) pada Tabel 8, yang menggunakan suhu 175°C pada proses pencampuran dan pencetakan LDPE.

Kemasan *biodegradable* memiliki beberapa standar karakteristik yang sebelum diaplikasikan yang dapat diketahui dari sifat penghalangnya (*barrier properties*). *Barrier properties* (sifat penghalang) sangat penting untuk memperkirakan dan memprediksi umur simpan kemasan *biodegradable*. Umumnya plastik relatif *permeable* terhadap molekul kecil seperti uap air, gas, air dan cairan yang memberikan karakteristik transfer massa, mulai dari sifat penghalang yang sangat baik. Uap dan oksigen adalah dua komponen yang penting dalam aplikasi pengemasan karena dapat ditransfer dari lingkungan internal atau eksternal melalui dinding polimer menghasilkan perubahan keberlanjutan dalam kualitas

produk dan umur simpan. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) penting untuk kemasan yang dimodifikasi atmosfer (MAP) karena dapat memperpanjang umur simpan produk. *Oxygen transmission rate* (OTR) merupakan sifat penghalang oksigen (*barrier oxygen*) pada kemasan makanan. Ketika kemasan memiliki koefisien permeabilitas oksigen rendah, tekanan oksigen di dalam kemasan menurun ke titik dimana memperlambat oksigen dan memperpanjang umur simpan produk. *Water vapour transmission rate* (WVTR) merupakan sifat penghalang uap air pada kemasan makanan yang terkait dengan keseimbangan kadar air. Selain oksigen dan uap air, *carbon dioxide transmission rate* (CO<sub>2</sub>TR) juga termasuk sifat penghalang (*barrier properties*) pada aplikasi kemasan (Auras *et al.*, 2004).

#### 4.6. Peluang Kemasan *Biodegradable*

Pemanfaatan serat alam dari jagung (*Zea mays L.*) yang melimpah, murah dan ramah lingkungan memiliki potensi yang cukup besar sebagai pengisi komposit polimer. Beberapa biopolimer yang dapat digunakan untuk tujuan pengemasan termasuk pati, selulosa, kitosan, poli asam laktat (PLA), dan *polyvinyl acid* (PVA) di antara banyak lainnya. Produk seperti botol, toples, kaleng, ember, wadah makanan, gelas sekali pakai, film kemasan, dan kantong sampah dapat diproduksi dengan polimer *biodegradable* (Reichert *et al.*, 2020). Di antara kemasan *biodegradable*, poli asam laktat (PLA) telah terbukti memiliki sifat yang memungkinkannya bersaing dengan plastik berbasis minyak bumi di berbagai bidang aplikasi (Ashok *et al.*, 2014; Jabeen *et al.*, 2015).

Peluang polimer *biodegradable* untuk pembuatan kemasan *biodegradable* dapat menggantikan bahan kemasan yang berasal dari minyak bumi sehingga membatasi dampak lingkungan yang terkait dengan produksi dan pembuangannya. Industri pengemasan makanan kini mulai menggunakan kemasan *biodegradable* yang ringan untuk mengurangi penggunaan bahan, limbah, dan juga biaya transportasi (Scarfato *et al.*, 2015). Eksploitasi polimer *biodegradable* dan campurannya untuk polimer alami sebagai bahan kemasan berbasis polimer dapat memberikan manfaat termasuk biaya rendah, aksesibilitas, *biodegradability*, kemampuan

proses yang fleksibel, meningkatkan dan mengembangkan bahan polimer dengan sifat yang diinginkan (Babu *et al.*, 2013; Imam *et al.*, 2012).

Pada Tabel 7, dapat dilihat bahwa bagian limbah yang banyak digunakan adalah kulit jagung. Produksi kemasan *biodegradable* dari limbah kulit jagung dalam industri pengemasan makanan juga memiliki peluang yang tinggi karena ketersediaan limbah kulit jagung yang melimpah. Faktor lain yang mendukung peluang limbah kulit jagung pada kemasan *biodegradable* yaitu adanya komposisi limbah selulosa yang melimpah. Selain itu, peluang penggunaan metode ekstraksi dalam proses pengolahan kemasan *biodegradable* yaitu mudah digunakan pada skala industri serta bahan tambahan dan alat yang digunakan tidak memerlukan biaya yang tinggi. Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat bahwa pengolahan kemasan *biodegradable* yang dicampur dengan serat kulit jagung tidak membutuhkan waktu lama (beberapa jam) sehingga berpeluang dalam produksi skala besar di industri pangan.

#### **4.7. Tantangan Kemasan *Biodegradable***

Berdasarkan Tabel 9, dapat dilihat bahwa pada karakteristik produk kemasan *biodegradable* terdapat beberapa tantangan yang terjadi ketika proses pengolahan limbah kulit jagung hingga menjadi kemasan *biodegradable* yaitu perpanjangan serat kulit jagung yang semakin besar maka nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan *modulus Young* yang dihasilkan semakin rendah (Zhang *et al.*, 2017; Fortunanti *et al.*, 2013). Selain itu pada penelitian Luo *et al.*, (2019) yang menyatakan bahwa kekuatan tarik dan *modulus Young* meningkat seiring dengan meingkatnya kandungan serat. Namun kadungan serat diatas 40% menurunkan kekuatan tarik dan modulus *Young*. Daya serap air pada proses pengolahan kemasan *biodegradable* yang rendah (8%) (Youssef *et al.*, 2015), (11%) (Fortunanti *et al.*, 2013). Beberapa faktor dan kriteria yang diperlukan dalam memproduksi pengemasan *biodegradable* keberlanjutan yaitu ketersediaan bahan terbarukan dan limbah pertanian dalam jumlah yang layak secara komersial,

proses pengolahan produksi yang mudah, biaya dan persaingan dengan polimer sintetik serta pemanfaatan ataupun masa pakai produk kemasan *biodegradable*. Tantangan yang diperoleh dari proses pengolahan produk kemasan *biodegradable* yaitu kurangnya kompatibilitas menyebabkan dispersi yang tidak merata dan kekuatan mekanik yang rendah. Hal ini menjadi permasalahan dalam penggunaan dan pemrosesan produk kemasan *biodegradable*, sehingga diperoleh alternatif seperti pencampuran biopolimer plastik dengan bahan alami yang dapat terurai secara hayati (Maraveas, 2020).

Proses produksi kemasan *biodegradable* dari serat kulit jagung harus ditingkatkan lebih lanjut agar dapat bersaing dengan penambahan bahan kimia (John *et al.*, 2007). Salah satu tantangan terkait teknis utama untuk penerimaan polimer berbasis bio oleh konsumen adalah kesulitan mencapai sifat mekanik dan penghalang yang sebanding dengan polimer sintesis konvensional dengan mempertahankan biodegradabilitas. Keterbatasan utama biopolimer plastik terhadap aplikasi industri yang lebih luas adalah ketahanan termal yang buruk dan sifat penghalang gas yang terbatas sehingga sulit digunakan pada sektor industri seperti pengemasan (Sinha *et al.*, 2003). Selain itu, kelembaban dan degradasi hidrolitik kemasan *biodegradable* sangat penting selama pembuatan, pengiriman, penyimpanan, dan penggunaan akhir produk kemasan *biodegradable* (Cairncross *et al.*, 2006).

Salah satu kemasan *biodegradable* seperti PLA memiliki kerapuhan yang menjadi hambatan utama untuk aplikasi komersial dalam skala besar. Berbagai cara yang ada pada proses produksi PLA yaitu pencampuran dengan polimer, kopolimerisasi dengan plastisitas digunakan untuk menguatkan kemasan *biodegradable* PLA yang rapuh. Kelemahan utama dari metode ini adalah penurunan kekuatan tarik dan modulus PLA yang dibuat lebih keras. Dengan demikian, bahan berbasis polilaktida yang memiliki keseimbangan *stiffness – toughness* yang baik dengan kandungan polilaktida berbasis bio yang tinggi masih sulit dipahami.