

4. PEMBAHASAN

4.1. Keberadaan Pustaka

Pustaka yang digunakan dalam menulis *review* ini terbatas jumlahnya. Sebagian besar pustaka yang ditemukan dan digunakan sebagai bahan dalam menulis *literature review* ini yaitu terdiri dari *research article*, sedangkan untuk *review article* hanya ditemukan dan digunakan dalam jumlah yang sangat sedikit. Jurnal-jurnal penelitian dalam bahasa Inggris dengan peringkat Q1 merupakan jurnal penelitian yang paling banyak dijumpai dibandingkan dengan jurnal-jurnal penelitian dalam bahasa Indonesia, dimana yang paling banyak yaitu memiliki peringkat S1 dan S2. Jurnal-jurnal penelitian yang terbit pada tahun 2021 masih cukup banyak dijumpai, sehingga hal ini membuktikan jika ilmu dan teknologi terus berkembang, sehingga mendorong para peneliti untuk melakukan penelitian-penelitian terkait dengan keberadaan limbah daun nanas untuk menghasilkan kemasan *biobased* atau *biodegradable*.

Research article yang diperoleh pada penulisan *literature review* ini umumnya memiliki bahasan yang terkait dengan LIMBAH DAUN NANAS DAN POTENSI PENGOLAHANNYA SEBAGAI KEMASAN *BIOBASED* ATAU *BIODEGRADABLE*, serta disebutkan juga analisis dari daun nanas, ekstraksi selulosa, bahan tambahan, komposisi (*pineapple leaf fiber*) PALF, cara pembuatan, dan karakteristik pada kemasan *biobased* atau *biodegradable*. Jurnal-jurnal penelitian lain yang banyak ditemukan lebih banyak membahas tentang keberadaan dari serat daun nanas yang dimanfaatkan sebagai bahan bangunan maupun sebagai bahan otomotif, dimana di dalamnya sebagian besar menjelaskan tentang cara pengolahan dengan berbagai macam perlakuan dan membandingkan hasil yang diperoleh berdasarkan karakteristik produk. *Research article* yang ditemukan umumnya juga menjelaskan apa saja yang menjadi kelebihan dan kekurangan dari limbah daun nanas yang digunakan selama proses pengolahan (kandungan serat, metode, karakteristik). Hal ini akan digunakan sebagai poin-poin yang akan dibahas sebagai peluang dan tantangan pada pembahasan

penggunaan limbah daun nanas dalam aplikasi kemasan *biobased* atau *biodegradable*.

4.2. Ekstraksi Selulosa Serat Daun Nanas

Daun nanas sangat terkenal akan kandungan seratnya, dimana pada daun segar akan menghasilkan 2-3% serat (Asim *et al.*, 2015). Berdasarkan Tabel 3, komposisi limbah nanas dan komponen serat yang paling banyak digunakan yaitu bagian daun dan serat selulosa. Serat selulosa adalah biopolimer alami yang melimpah, terbarukan, tidak beracun, dan bersifat termoplastik. Selulosa menjadi komponen utama dari tanaman, dimana sepertiga tanaman terdiri dari selulosa (Yusof *et al.*, 2015). Kandungan serat yang tinggi seperti selulosa dapat dimanfaatkan sebagai komponen penguat dalam pembuatan kemasan ramah lingkungan (Kamsiati *et al.*, 2017). Kandungan serat selulosa yang paling banyak ditemukan pada Tabel 3., yaitu sebesar 70–82%, yang dapat bertindak sebagai penguat pada komposit bioplastik (Peng *et al.*, 2011). Fungsi dasar dari selulosa yaitu menahan kekuatan tanaman dalam berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda (Iqbal *et al.*, 2017). Selain itu, kandungan yang tinggi dari selulosa pada daun nanas memiliki manfaat untuk menjaga kelembaban dan memberikan sifat hidrofilik (Malou *et al.*, 2017).

Pada Tabel 3., didapatkan bahwa proses ekstraksi *pineapple leaf fiber* (PALF) umumnya menggunakan pelarut berupa natrium hidroksida (NaOH). Perlakuan alkali dengan natrium hidroksida (NaOH) ini dianggap sebagai proses yang paling layak dan paling banyak digunakan karena perlakuannya sederhana dan hemat biaya. Indeks kristal yang lebih tinggi dapat diperoleh dari kandungan selulosa dengan menghilangkan daerah amorf dari serat yang diberi perlakuan alkali (Rahman *et al.*, 2021). Larutan NaOH dapat memberikan sifat mekanik yang optimal untuk komposit yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) (Feng *et al.*, 2020). Penggunaan larutan natrium hidroksida (NaOH) pada proses ekstraksi dapat merusak struktur lignin, sehingga kandungan selulosa akan meningkat dan dapat memberikan sifat mekanik yang lebih optimal (Lestari *et al.*, 2018). Natrium Hidroksida (NaOH) pada proses ekstraksi bertindak sebagai pelarut alkali yang

dapat melarutkan kandungan hemiselulosa dan lignin, sehingga menghasilkan rendemen selulosa dalam jumlah yang lebih banyak (Zhou et al, 2010).

Ekstraksi dari *pineapple leaf fiber* (PALF) memiliki mekanisme untuk menghancurkan daun yang sederhana dimana hanya menggunakan mesin dekortikator (Yusof et al., 2015). Setelah bundel serat diperoleh, maka dilakukan pemisahan fisik dari satu sama lain yang dikenal sebagai proses *scutching*. Dengan proses *scutching* diperoleh jenis serat panjang dan pendek, hal ini yang akan digunakan sebagai parameter sifat ekstraksi. Efektivitas dari proses ekstraksi adalah dengan dilakukan evaluasi berdasarkan panjang serat yang diperoleh sehingga tercapai rasio serat yang optimal (Todkar dan Patil, 2019).

Pineapple leaf fiber (PALF) secara mekanis diekstraksi dari daun nanas segar. Oleh karena itu, serat masih mengandung lebih banyak residu seluler seperti lignin dan hemiselulosa, yang menyatukan serat (Kaewpirom dan Worrarat, 2014). Proses ekstraksi memiliki fungsi untuk menghilangkan sejumlah lignin, lilin dan minyak, memulihkan permukaan luar dinding sel serat, dan mengekspos panjang pendek serat (Chollakup et al., 2011). Dari hasil pemetaan ekstraksi selulosa daun nanas didapatkan hasil suhu dan waktu yang digunakan oleh beberapa peneliti sangat beragam antara 60°C - 90°C dengan waktu 2 – 3 hari. Penggunaan suhu 70°C dengan waktu ekstraksi selama 3 hari lebih optimal, karena menghasilkan jenis serat pendek yang lebih baik (Rahman et al., 2018). Semakin bertambahnya suhu dan waktu yang digunakan maka akan semakin seragam hasil ekstraksi (Zarwinda dan Sartika, 2018). Hal ini dibuktikan dengan hasil pemetaan pada Tabel 3., dimana proses ekstraksi yang dilakukan oleh Ramli et al. (2017) menghasilkan jenis serat panjang yang lebih seragam dibandingkan dengan jenis serat pendek karena menggunakan waktu ekstraksi selama 2 hari dengan suhu 60°C.

Serat daun nanas diklasifikasi berdasarkan jenis seratnya yang akan digunakan pada proses pembuatan kemasan *biobased* atau *biodegradable*. Panjang dari jenis serat pendek biasanya memiliki ukuran sebesar kurang lebih 1 mm (Smitthipong

et al., 2015). Panjang dari jenis serat pendek yang dihasilkan dari berbagai penelitian sangat beragam yaitu berkisar 1-6 mm, dimana hal tersebut akan mempengaruhi karakteristik dari produk kemasan *biodegradable* yang akan dihasilkan. Ramli *et al.* (2017) menyatakan, panjang serat yang tergolong sebagai serat panjang memiliki panjang sebesar 30 mm. Umumnya kemasan *biodegradable* dari jenis serat panjang memiliki keunggulan pada karakteristik yang akan dihasilkan yaitu berupa kekuatan tarik yang lebih tinggi.

Panjang serat, komposisi serat, dan jenis serat dapat menentukan karakteristik mekanik komposit yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) (Rahman *et al.*, 2021). Jenis serat yang diperoleh dari hasil ekstraksi mengandung serat panjang lebih kuat daripada komposit serat pendek. Serat panjang memberikan kekuatan tarik yang lebih besar pada matriks termoplastik. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Ramli *et al.* (2017) pada Tabel 4., yang memiliki kekuatan tarik masing-masing sebesar 114,03 MPa. Dalam kasus serat pendek, ujung serat bertindak sebagai konsentrator tegangan dan tidak efektif dalam mentransmisikan beban dari matriks ke serat. Selain itu, sulit untuk mengontrol tingkat orientasi serat pendek dibandingkan dengan serat panjang (Chollakup *et al.*, 2011). Selain itu, berdasarkan panjang seratnya panjang pada penelitian dari Ramli *et al.* (2017), terlihat bahwa kekuatan tarik yang relatif lebih tinggi yaitu sebesar 114,03 MPa diamati untuk komposit dengan panjang serat 30 mm (panjang serat kritis).

4.3. Pembuatan Kemasan *Biobased* atau *Biodegradable* dengan Karakteristik Produk

Proses pencetakan komposit dilakukan dengan cara pengepresan, dimana *pineapple leaf fiber* (PALF) secara kontinyu diapit di antara film tipis dan dicetak dengan menggunakan mesin *hot press*, sampel kemudian didinginkan hingga suhu kamar (Sheikh *et al.*, 2016). Pada proses pencetakan kemasan *biobased* atau *biodegradable* pada Tabel 4., umumnya jika tekanan ataupun suhu yang digunakan semakin tinggi maka waktu yang diperlukan untuk pencetakan akan semakin sedikit. Hal ini sesuai dan dapat dibuktikan pada penelitian Chollakup *et al.* (2011), dimana menggunakan suhu pengepresan 240°C dan tekanan 12,5 Mpa selama 3 menit, sedangkan pada penelitian Kaewpirom dan Worrarat (2014), menggunakan suhu yang kecil sebesar 50°C, tetapi dengan tekanan yang tinggi yaitu sebesar 70 Mpa hanya memerlukan waktu 25 detik.

Pada metode ekstraksi dipengaruhi oleh parameter suhu, waktu, dan tekanan (Kargarzadeh *et al.*, 2012). Waktu merupakan parameter yang paling penting karena dapat mempengaruhi hasil karakteristik dan sifat mekanik produk. Karakteristik bioplastik dapat ditentukan pada hasil dari kekuatan tarik (tensile strength), modulus Young, perpanjangan (elongation), dan penyerapan air (Kambli *et al.*, 2018). Panjang serat yang digunakan akan mempengaruhi hasil dari kekuatan mekanik pada selulosa, dimana semakin panjang serat maka akan meningkatkan nilai kekuatan tarik dan modulus Young (Shahzad, 2012). Sifat tarik sangat penting untuk menentukan nilai dari elongasi, kekuatan tarik, dan modulus young. Kekuatan tarik dihasilkan dari pemberian gaya secara maksimum hingga film putus dibagi dengan luas penampang awal film (Shahzad, 2012). Semakin tinggi nilai kekuatan tarik yang dihasilkan maka komposit yang dihasilkan semakin elastis.

Persen perpanjangan (elongasi) merupakan perubahan panjang maksimum dari benda uji hingga putus (Zhou *et al.*, 2010). Pengukuran elongasi dilakukan dengan cara membandingkan rasio perubahan panjang yang terjadi dengan panjang awal benda uji. Semakin tinggi nilai % elongasi yang dihasilkan maka komposit yang

dihasilkan semakin elastis. Modulus Young atau sering disebut dengan modulus elastisitas dapat didefinisikan sebagai tingkat kekakuan dari suatu benda. Semakin tinggi nilai modulus Young yang dihasilkan maka benda menjadi semakin kaku atau tidak elastis. Nilai modulus Young dapat dihitung melalui slope dari kemiringan garis elastisitas. Penyerapan air yang tinggi menjadi kelemahan tersendiri bagi kemasan yang terbuat dari serat alam karena dapat terjadi kerusakan mekanik pada produk berupa pengembangan (Zhou et al, 2010). Pengujian penyerapan air dilakukan untuk dapat mengetahui ketahanan dari produk kemasan *biobased* atau *biodegradable* terhadap difusi air.

Untuk mengetahui kualitas dari produk kemasan *biodegradable* serat daun nanas dapat dilihat dari hasil karakteristik produk yang dihasilkan. Pada penulisan *literature review* ini karakteristik yang digunakan yaitu berdasarkan hasil pengukuran elongasi (perpanjangan), kekuatan tarik, modulus young, dan penyerapan air. Untuk kemasan *biodegradable* yang menggunakan bahan tambahan bio-polimer seperti pati akan menghasilkan karakteristik seperti kekuatan tarik yang lebih stabil. Hal ini dibuktikan dengan hasil kekuatan tarik pada penelitian Liu *et al.* (2005) dan Smitthipong *et al.* (2015) pada Tabel 6., secara berturut-turut memiliki nilai sebesar 33 MPa dan 30 MPa.

Produk bioplastik yang dapat ditingkatkan dari serat daun nanas yaitu PP, PVA, PLA, dan LDPE. *Polypropylene* (PP) merupakan polimer yang banyak dikombinasikan dengan serat alam sebagai komposit karena sifat mekanik yang baik serta hanya memerlukan biaya yang rendah. PLA atau yang sering disebut *poly lactic acid* merupakan termoplastik yang ramah lingkungan karena berasal dari alam sehingga dapat diperbaharui (Reichert *et al.*, 2020). *Polyvinyl alcohol* (PVA) tergolong sebagai polimer sintetik yang mudah ditemukan karena jumlahnya yang melimpah, larut air, mudah terurai, serta memiliki ketahanan terhadap senyawa kimia yang baik (Xiao *et al.*, 2016). *Low density polyethylene* (LDPE) merupakan jenis polimer *polyethylene* (PE) yang banyak digunakan sebagai matriks dalam pembuatan bio-komposit sebagai kemasan dibandingkan dengan *high density polyethylene* (HDPE) (Chun *et al.*, 2018). Kemasan

biodegradable serat daun nanas dengan komposit PLA dan PVA umumnya berbentuk lapisan tipis yang digunakan sebagai *coating* (melapisi makanan), sedangkan untuk kemasan yang terbuat dari PP dan *low density polyethylene* (LDPE) dan diperkuat dengan serat daun nanas (*biobased*) umumnya berbentuk seperti kemasan.

Berdasarkan tingkat keelastisitasan pada pengujian kemasan *biobased* dari serat daun nanas pada Tabel 4., yaitu dengan campuran dengan *Polypropylene* (PP) dan *low density polyethylene* (LDPE). Hal ini dikarenakan hasil dari persen elongasi dan kekuatan tarik tinggi, sedangkan nilai modulus young dan daya penyerapan air tinggi. Bio-komposit dari *poly lactic acid* (PLA) dan *polyvinyl alcohol* (PVA) dengan penguat serat daun nanas banyak yang menghasilkan nilai penyerapan air dan modulus young yang tinggi, serta persen elongasi dan kekuatan tarik yang rendah sehingga akan menghasilkan produk kemasan yang kurang elastis.

Penambahan polimer termoplastik berupa polipropilena (PP) dan *low density polyethylene* (LDPE) dapat meningkatkan karakteristik dari kemasan *biodegradable*, meskipun kekuatan tarik dan elongasi dari jenis polimer murni memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit campuran (Jun dan Juwono, 2010). Hal ini dibuktikan pada Tabel 4., dengan penelitian dari Kasim *et al.* (2016), yang menggunakan bahan tambahan berupa PP menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 63 MPa. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahman *et al.* (2019), dengan bahan tambahan LDPE menghasilkan elongasi yang tinggi yaitu sebesar 75%.

Berdasarkan penelitian dari Liu *et al.* (2005), penambahan *compatibilizer* pada proses pembuatan kemasan *biobased* atau *biodegradable* digunakan untuk meningkatkan interaksi antara serat dan matriks dalam 30% bio-komposit berbasis *pineapple leaf fiber* (PALF). Dengan adanya penambahan *compatibilizer* maka dapat meningkatkan dispersi serat yang menghasilkan peningkatan efisiensi penguatan serat. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian dari Liu *et al.* (2005),

dimana kekuatan tarik dari produk yaitu sebesar 33 MPa. Hal ini disebabkan adanya molekul *compatibilizer* yang semakin memperbesar ikatan antara matriks *pineapple leaf fiber* dan asam poli laktat (PLA). Komposit serat daun nanas atau *pineapple leaf fiber* (PALF) yang diberi perlakuan isosianat menghasilkan kekuatan yang besar karena ikatan yang lebih baik antara serat dan matriks. Hal ini dibuktikan pada penelitian dari Suwanruji *et al.* (2017) pada Tabel 4., dimana kekuatan tarik dari produk yang dihasilkan yaitu sebesar 50 MPa.

Berdasarkan penelitian-penelitian pada Tabel 4., perpanjangan (elongasi) dari produk dapat menurun dengan meningkatnya proporsi *pineapple leaf fiber* (PALF) pada komposisi, hal ini dibuktikan bahwa komposit akan menjadi kaku dan rapuh (Chollakup *et al.*, 2011). Dalam semua kasus penambahan serat ke komposit, perpanjangan putus lebih rendah dibandingkan dengan matriks polimer asli (tanpa adanya penggunaan serat daun nanas). Hal ini dikarenakan *pineapple leaf fiber* (PALF) pada umumnya memiliki persentase elongasi yang rendah dibandingkan dengan matriks polimer. Hal ini sesuai dengan hasil perpanjangan putus pada penelitian dari Motaleb *et al.*, (2018) yaitu sebesar 14% dengan proporsi serat daun nanas (PALF) sebesar 30%, sedangkan perpanjangan pada penelitian Rahman *et al.* (2018) yaitu sebesar 4,2% dengan proporsi PALF sebesar 50%. Jadi, perpanjangan komposit akan menurun atau berkurang dengan penambahan serat nanas, sehingga perpanjangan putus menurun yang menunjukkan komposit menjadi rentan setelah penambahan serat.

Pineapple leaf fiber (PALF) dapat menyerap air paling banyak dengan peningkatan yang signifikan per harinya dibandingkan dengan serat lainnya (Aji *et al.*, 2013). Kandungan serat daun nanas yang lebih tinggi menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih tinggi tetapi daya penyerapan airnya akan berkurang (Feng *et al.*, 2020). Hal ini dibuktikan pada Tabel 4., penelitian Liu *et al.* (2005), dimana komposit yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) 30% memiliki penyerapan air yang lebih tinggi yaitu sebesar 77 %, hal ini dikarenakan adanya penetrasi air ke dalam celah antara serat dan matriks. Sedangkan, pada penelitian yang dilakukan oleh Feng *et al.* (2020), menyatakan jika hasil dari penyerapan air

pada komposit yang diperkuat dengan serat *pineapple leaf fiber* (PALF) sebanyak 50% mengalami penurunan yaitu penyerapan air sebesar 4,5 %.

Informasi yang didapat pada Tabel 4., diamati bahwa hasil modulus young komposit meningkat dengan peningkatan komposisi serat yang digunakan pada pembuatan kemasan *biobased* atau *biodegradable* (Arib *et al.*, 2006). Modulus tarik dan kekuatan tarik komposit meningkat secara signifikan, dibandingkan dengan resin murni. Untuk modulus young dari komposit menghasilkan nilai yang lebih tinggi seiring dengan meningkatnya proporsi *pineapple leaf fiber* (PALF) dibandingkan dengan tanpa penambahan PALF (Kengkhetkit dan Amornsakchai, 2014). Hal ini dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh Kasim *et al.* (2016), menyatakan jika penambahan serat 60% PALF dapat meningkatkan nilai dari modulus young sebesar 538% dibandingkan modulus young pada polipropilen polos. Penambahan serat PALF sebanyak 30% merupakan komposisi yang optimal dalam pembuatan kemasan *biobased* atau *biodegradable*, karena menghasilkan modulus young sebesar 4000 MPa atau 4 GPa (Kaewpirom dan Worrarat, (2014); Kengkhetkit dan Amornsakchai, 2014). Hasil tersebut dianggap tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah pada produk, sehingga tingkat dari elastisitasnya tepat.

Pada penelitian dari Chollakup *et al.* (2011), menyatakan bahwa kekuatan tarik komposit bergantung pada kandungan *pineapple leaf fiber* (PALF). Komposit polipropilen (PP) yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) yang mengandung 60% serat menunjukkan sifat tarik yang tinggi yaitu sebesar 63 MPa (Kasim *et al.*, 2016). Penggunaan lebih banyak serat daun nanas (PALF) dapat meningkatkan sifat regangan dalam komposit, dan ikatan adhesi yang baik telah dikembangkan antara serat daun nanas (PALF) dan polipropilen (PP). Berdasarkan literatur penelitian pada Tabel 6., didapatkan komposisi serat PALF yang paling banyak digunakan dalam pembuatan kemasan *biodegradable* yaitu sebesar 30%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kengkhetkit dan Amornsakchai (2014), menyatakan jika penggunaan 30% berat PALF tampaknya menghasilkan kekuatan tarik yang maksimum (optimal) yaitu sebesar 45 MPa.

Penggunaan serat daun nanas dalam pembuatan kemasan *biodegradable* memiliki sifat mekanis yang terbatas, hal ini dapat diselesaikan dengan adanya penambahan *plasticizer* maka dapat meningkatkan sifat mekanis dari produk tersebut. *Plasticizer* yang umumnya digunakan dalam penelitian pembuatan kemasan *biobased* atau *biodegradable* yaitu *plasticizer* jenis gliserol. *Plasticizer* jenis gliserol ini memberikan hasil karakteristik yang lebih baik pada produk, jika dibandingkan dengan jenis *plasticizer* lainnya (Iriani *et al.*, 2015). Penambahan gliserol pada proses pembuatan kemasan *biodegradable* yang bertindak sebagai *plasticizer* dapat bertindak dalam menghasilkan kelenturan yang lebih tinggi, sehingga nilai elongasi semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Iriani *et al.* (2015), dimana dengan adanya penambahan gliserol menghasilkan nilai elongasi atau perpanjangan yang tinggi yaitu sebesar 70%.

Kemasan *biodegradable* berbasis kedelai (bio-polimer), memiliki modulus young yang akan terus meningkat dengan adanya penambahan PALF (Liu *et al.*, 2005). Selain itu, modulus young komposit yang diperkuat serat PALF 30% berat meningkat setelah menambahkan *plasticizer* berupa gliserol yaitu sebesar 4400 MPa atau sebesar 4,4 GPa. *Plasticizer* tersebut dapat meningkatkan dispersi serat yang menghasilkan peningkatan efisiensi elastisitas pada serat. Penemuan lain yang ditemukan yaitu dimana dengan penambahan bahan tambahan berupa *maleic anhydride* (MA) *coupling agent* dapat membantu untuk lebih meningkatkan modulus young pada komposit, tetapi dapat mengurangi perpanjangan putus (0,55 %) dari komposit yang dihasilkan (Kaewpirom dan Worrarat, 2014). Di sisi lain, penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dalam proses pembuatan kemasan *biodegradable* dapat mengurangi daya penyerapan air pada produk (Krisnadi dkk., 2019). Hal ini dibuktikan dengan penelitian dari Razali *et al.* (2019), dimana dengan adanya tambahan gliserol maka daya penyerapan air yang didapatkan sebesar 45 %. Dengan demikian, PALF dapat digunakan dalam pembuatan produk komposit ramah lingkungan untuk aplikasi kemasan plastik konvensional dengan demikian, serat sintetis dapat dengan mudah diganti dengan PALF (Motaleb *et al.*, 2018).

Pada tabel proses pembuatan kemasan biobased atau biodegradable yang menggunakan *plasticizer* berupa *Maleic Anhydride Polyethylene* (MAPE) yaitu pada penelitian dari Siregar et al. (2019). Kekuatan tarik komposit jauh lebih unggul setelah adanya penambahan *plasticizer* berupa *Maleic Anhydride Polyethylene* (MAPE). Penambahan *maleic anhydride* (MA) *coupling agent* juga memiliki fungsi yang penting dalam meningkatkan kekuatan tarik dan modulus young pada hasil akhir produk kemasan *biodegradable* yang dihasilkan (Kaewpirom dan Worrarat, 2014). Hal ini dibuktikan pada penelitian dari Siregar et al. (2019) pada Tabel 4., dimana memiliki hasil pengujian kekuatan tarik sebesar 34,60 MPa dengan penambahan MAPE sebanyak 10%. Hasil pengujian tarik juga dipengaruhi dengan adanya penambahan bahan tambahan seperti *maleic anhydride* (MA) *coupling agent*, dimana menunjukkan peningkatan kekuatan tarik komposit. Hal ini dibuktikan dengan adanya penambahan *maleic anhydride coupling agent*, komposit tersebut menunjukkan kekuatan tarik sebesar 41 MPa, yaitu 34% lebih tinggi dari komposit *non-coupling agent*, dan sekitar 104% lebih tinggi dari PLA murni (Chollakup et al., 2011). Penambahan MAPE lebih lanjut dapat menyebabkan pengurangan kekuatan lebih lanjut dan ini disebabkan oleh adanya banyak produk sampingan yang telah terbentuk dan mengganggu reaksi kopling, yang menghasilkan kekuatan ikatan yang lemah pada antarmuka (Lu et al., 2005).

Biokomposit yang diberi perlakuan basa pada proses ekstraksi dalam penelitian Jain et al. (2019) pada Tabel 4., menunjukkan adanya penyerapan air yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bio-komposit yang tanpa perlakuan alkali. Hal ini karena penghilangan hemiselulosa dan lignin, kandungan relatif gugus hidroksil pada permukaan serat meningkat setelah perlakuan NaOH yang membantu meningkatkan adhesi antara serat yang diberi perlakuan NaOH dan matriks PLA (Sheikh et al., 2016). Di sisi lain, komposit yang mengandung PALF yang diberi perlakuan NaOH pada proses ekstraksi menunjukkan % perpanjangan putus yang lebih rendah (Rahman et al. (2021). Persen dari perpanjangan putus hanya sebesar 3%, hal ini dikarenakan setelah adanya perlakuan alkali berupa

natrium hidroksida karena dapat meningkatkan tingkat kekakuan dari komposit (Vaithanomsat *et al.*, 2021). Kekuatan tarik komposit kemasan *biobased* atau *biodegradable* dari serat daun nanas juga tergantung pada perlakuan alkali. Pada saat konsentrasi alkali (NaOH) meningkat, maka kekuatan tarik juga meningkat (Kasim *et al.*, 2016). Hal ini sesuai dengan penelitian Ramli *et al.* (2017) pada Tabel 4., yang menggunakan natrium hidroksida dalam proses ekstraksi, sehingga menjadi salah satu faktor penunjang meningkatnya nilai kekuatan tarik komposit yaitu sebesar 114,03 MPa.



4.4. Peluang Pengembangan

4.4.1. Penyempurnaan Proses

Keberadaan limbah daun nanas memiliki peluang yang tinggi dalam industri pengemasan karena kandungan yang tinggi khususnya pada serat selulosa. Faktor lain yaitu keberadaannya yang mudah ditemukan, ramah lingkungan, dan proses pengolahan yang sederhana sangat berpeluang untuk dijadikan bahan dalam pembuatan kemasan *biobased* atau *biodegradable*. Hal ini juga sudah didukung dengan adanya penelitian-penelitian yang membahas mengenai pembuatan kemasan *biodegradable* dari serat daun nanas pada Tabel 3 dan 4.

Berdasarkan hasil pengolahan terkini limbah daun nanas menjadi produk kemasan *biodegradable* didapatkan peluang penggunaan limbah dan hasil dari ekstraksi daun nanas pada aplikasi pangan yaitu dapat menghasilkan kemasan *biodegradable*. Panjang serat dan proporsi serat pada komposit yang digunakan untuk pembuatan kemasan *biodegradable* akan mempengaruhi kekuatan tarik, perpanjangan, modulus young, dan penyerapan air. Pada Tabel 3., proporsi dan panjang serat yang optimal untuk sifat-sifat komposit yang optimal dicapai pada proporsi berat serat 30% dan panjang serat 3 mm (Gebremedhin dan Rotich, 2020).

Penggunaan NaOH sebagai pelarut memiliki dua efek pada serat yaitu dapat meningkatkan kekasaran permukaan (*interlocking*) yang lebih baik dan dapat meningkatkan jumlah selulosa yang terdapat pada permukaan serat, sehingga meningkatkan jumlah tempat untuk reaksi antara serat. Sifat mekanik yang akan dihasilkan juga tergantung pada jumlah selulosa yang dihasilkan (Berzin *et al.*, 2019). Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa polimer yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) diolah dengan alkali yang diproduksi dalam penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan sifat mekanik jika dibandingkan dengan polimer biasa (Sheikh *et al.*, 2016).

4.4.2. Penyempurnaan Produk

Dari hasil pengolahan terkini limbah daun nanas menjadi produk kemasan

biodegradable pada Tabel 4., didapatkan peluang pembuatan limbah daun nanas beserta karakteristik produk pada aplikasi pangan yaitu dapat menghasilkan kemasan *biodegradable*. Komposit yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) dapat menemukan aplikasi besar di bidang pertanian dan industri pengemasan karena proses fabrikasinya yang sederhana dan memiliki sifat biodegradabilitas yang bermanfaat bagi pertanian (Kalambettu *et al.*, 2015). Penggunaan serat daun nanas atau *pineapple leaf fiber* (PALF) dalam penguat plastik atau polimer telah ditunjukkan dalam banyak karya penelitian (Mishra dkk., 2001; Hujuri dkk., 2007; Chattopadhyay dkk., 2009; Threepopnatkul dkk., 2009; Chollakup *et al.*, 2011), tetapi masih belum banyak dipraktekkan.

Kekuatan tarik optimum pada kandungan *pineapple leaf fiber* (PALF) 30% dimana memiliki sifat mekanik komposit yang bervariasi, sehingga dapat dengan mudah diterapkan dalam industri plastik (Kengkhetkit dan Amornsakchai, 2014). Kekuatan tarik komposit meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan serat pada Tabel 4., (Kaewpirom dan Worrarat, 2014; Suwanruji *et al.*, 2017). Komposit *polylactic acid* (PLA) yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) yang mengandung 30% serat menunjukkan sifat tarik yang optimal (Kaewpirom dan Worrarat, 2014). Penggunaan serat pendek pada setiap *pineapple leaf fiber* (PALF) yang digunakan dalam aplikasi kemasan *biobased* atau *biodegradable* akan meningkatkan sifat mekanik pada komposit (Kengkhetkit dan Amornsakchai, 2012).

Komposit yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) 15% berat memiliki penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan dengan bio-komposit berbasis kedelai yang diperkuat PALF 30% memiliki penyerapan air yang lebih tinggi karena penetrasi air ke dalam celah antara serat dan matriks (Liu *et al.*, 2005). Biokomposit PLA (*polylactic acid*) yang diperkuat *pineapple leaf fiber* (PALF) secara signifikan ($p < 0,05$) menunjukkan nilai kekuatan tarik dan modulus young yang lebih tinggi dibandingkan dengan *polylactic acid* (PLA) biasa (Sheikh *et al.*, 2016). Oleh karena itu, karakteristik ini menjadikan PALF baik digunakan untuk aplikasi di industri pengemasan, karena memiliki sifat mekanik yang menarik

seperti yang dinyatakan di atas (Berzin *et al.*, 2018).

Penyesuaian sifat mekanik komposit dari produk kemasan *biobased* atau *biodegradable* dapat dengan mudah diterapkan di industri plastik. Selain itu, juga memberikan manfaat bagi lingkungan, yaitu energi dan emisi yang terkandung lebih rendah, jadi menggunakan PALF tepat untuk menggantikan bahan plastik *non-biodegradable* (Kengkhetkit dan Amornsakchai, 2014). Oleh karena itu penggunaan PALF dalam pembuatan kemasan *biobased* atau *biodegradable* harus dipertimbangkan untuk dapat diproduksi secara berkelanjutan karena menguntungkan bagi lingkungan. Penggunaan PALF tidak hanya untuk menggantikan plastik turunan minyak yang mahal, tetapi juga untuk meningkatkan kinerja mekanis dari produk yang dihasilkan (Kengkhetkit dan Amornsakchai, 2012).

4.5. Tantangan Kemasan *Biobased* atau *Biodegradable* Serat Daun Nanas

4.5.1. Proses Pembuatan

Berdasarkan Tabel 3 dan 4., dari pengolahan terkini limbah daun nanas menjadi produk kemasan didapatkan tantangan pada cara ekstraksi dan karakteristik dari produk yang dihasilkan. Serat alam umumnya bersifat hidrofilik yang menurunkan kompatibilitas dengan matriks dalam komposit polimer dan kecenderungan sifat mekanik yang lebih rendah (Sheikh *et al.*, 2016). Serat daun nanas atau *pineapple leaf fiber* (PALF) yang bersifat sangat higroskopis, karena kandungan selulosa yang sangat tinggi dapat membuat komposit sangat rentan terhadap degradasi terhadap penyerapan air (Aji *et al.*, 2013). Untuk mereduksi sifat hidrofilik serat maka dilakukan perlakuan yang berbeda untuk meningkatkan sifat adhesi dengan polimer dalam komposit.

Dengan adanya perlakuan basa berupa NaOH pada proses ekstraksi daun nanas telah meningkatkan sifat mekanik pada komposit PALF/polimer. Namun, pada konsentrasi basa yang berlebihan, kekuatan komposit cenderung lemah karena seratnya rusak. Hal ini terjadi karena adanya disintegrasi serat pada konsentrasi alkali yang lebih tinggi, sehingga kekuatan tarik akan menurun pada konsentrasi

NaOH di atas 5% (Kasim et al., 2016). Larutan alkali 5% adalah konsentrasi optimum untuk perlakuan NaOH pada pembuatan kemasan *biodegradable* (Mathivanan et al., 2020).

4.5.2. Kemasan *Biobased* atau *Biodegradable*

Bahan kemasan yang ramah lingkungan memiliki beberapa kelemahan, terutama memiliki stabilitas mekanik yang lebih rendah (Wahyuningsih et al., 2016). Hal ini dibuktikan pada penelitian Arib et al. (2006) pada Tabel 6., dimana elastisitas dari polipropilen menurun dengan penambahan serat daun nanas (PALF), sehingga perpanjangan putus (elongasi) juga menurun, yaitu sebesar 10% dan menunjukkan komposit menjadi getas setelah penambahan serat daun nanas. Persentase perpanjangan putus (% elongasi) cukup tinggi dalam kasus resin polimer murni menjadi tantangan tersendiri bagi produk ramah lingkungan seperti kemasan *biodegradable* dari serat daun nanas. Kelemahan utama yang ditemukan pada serat selulosa dalam komposit adalah penyerapan air yang tinggi dari serat dan komposit (Mishra et al., 2001). Akibatnya, komposit dapat mengalami kekuatan tarik tidak efektif, ketidakstabilan bentuk yang akan dihasilkan, serta ikatan antara interaksi serat-matriks yang buruk terjadi karena kelembabannya tinggi (Kalambettu et al., 2015; Suwanruji et al., 2017; Jain et al., 2019).

Berdasarkan Tabel 4., kekuatan tarik dan modulus tarik komposit PALF/LDPE akan mengalami sedikit penurunan dengan penambahan fraksi berat serat 60%. Peningkatan lebih lanjut dalam fraksi berat serat (pada 60% berat) menurunkan kekuatan tarik sebesar 24,44%. Hal ini karena pada fraksi berat serat yang lebih tinggi, serat bertindak sebagai aliran dan serat tidak selaras dengan matriks (Rahman et al., 2019). Penggabungan sabut menyebabkan penurunan kekuatan tarik dari komposit asam polilaktat/serat daun nanas/serat kelapa, hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari matriks asam polilaktat tampaknya lebih tinggi daripada komposit asam polilaktat/serat daun nanas/serat kelapa (Siakeng et al., 2019). Sifat fisik dari komposit dipengaruhi oleh komposisi serat, dimana semakin tinggi komposisi serat maka semakin rendah nilai yang dicatat untuk setiap pengujian penyerapan air (Razali et al., 2019).