3. HASIL PENELITIAN

3.1. Karakteristik Limbah Kulit Jagung

Jagung merupakan salah satu tanaman yang paling banyak ditanam di dunia. Setiap tahun dihasilkan sekitar 45 juta ton limbah kulit jagung yang mengandung lebih dari 60% selulosa. Seperti yang telah diketahui bahwa selulosa memiliki keuntungan seperti tidak beracun, melimpah, biaya rendah, *biodegradable*, dan kekuatan mekanik tinggi (Ibrahim, *et al*., 2019). Serat kulit jagung berdasarkan penelitian Mendes *et al*, (2014), dapat menghemat 90% dari biaya dan mudah diperoleh dibandingkan serat lainnya (Xiong *et al*, 2012). Selulosa memiliki struktur yang teratur sehingga dengan kristalinitas yang tinggi maka sifat mekanik juga lebih baik. Dapat dijelaskan bahwa serat selulosa terdiri dari daerah kristalinitas yang terorganisir dengan baik dan berkontribusi terhadap kekuatan dan kekakuan yang tinggi, dan daerah amorf yang membuat serat lebih lunak dan fleksibel (Kambli *et al*, 2018).

Pada penelitian - penelitian ini akan dilakukan dengan metode ekstraksi serat selulosa dari limbah kulit jagung. Serat selulosa limbah kulit jagung diekstraksi melalui perlakuan kimia. Serat kulit jagung dilakukan dua perlakuan kimia yang berbeda yaitu perlakuan alkali (*alkali treatment*) dan proses pemutihan (*bleaching process*) (Chun *et al*., 2020; Tan *et al*., 2021). Kristalinitas yang tinggi dapat diperoleh dengan penghilangan kandungan hemiselulosa dan lignin yang ada di daerah amorf yang mengarah untuk memperoleh hanya selulosa. Perlakuan alkali dan proses pemutihan bertujuan untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin pada serat limbah kulit jagung sehingga diperoleh selulosa murni (Chun *et al*., 2020). Penambahan senyawa - senyawa kimia bertujuan untuk menurunkan kadar lignin yang menjadi pengikat silang diantara komponen selulosa dan hemiselulosa sehingga selulosa terlepas dan hemiselulosa akan larut (Yang *et al*., 2016). Pada

perlakuan alkali dan pemutihan dengan penambahan senyawa - senyawa kimia juga dapat meningkatkan kecerahan pada serat (Chun *et al*., 2020).

Karakteristik serat kulit jagung dan kemasan *biodegradable* diketahui dari metode ekstraksi yang dipengaruhi oleh konsentrasi, suhu, waktu reaksi, dan senyawa kimia tambahan (Kargarzadeh *et al*., 2012). Sifat mekanik komposit diperkuat dengan serat kulit jagung dipengaruhi oleh ukuran termasuk diameter dan panjang, stabilitas termal dari matriks, kekuatan serat, dan sifat antar muka serat dan matriks (Łączny *et al*., 2021). Berikut ini merupakan tabel mengenai metode pengolahan, karakteristik dan morfologi limbah kulit jagung yang dijumpai di beberapa literatur yang telah terkumpul.

Tabel 7. Karakteristik Limbah Kulit Jagung

No.	Bagian Limbah	Komposisi Limbah	Metode Pengolahan Limbah	Kondisi Proses Pengolahan Limbah				Karakteristik Limbah	Sumber	Jenis dan Peringkat Publikasi
				Proses Pengolahan Limbah	Senyawa Kimia Tambahan	Suhu	Waktu			
1	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi	Pra Perlakuan	Air suling	60^{o}C	3 jam	Ukuran serat pendek (15 - 20 mm)	Chun *et al*., (2020)	*Research*, Q1
				Perlakuan Alkali	NaOH 5%	suhu kamar	4 jam	Warna serat kecoklatan, permukaan serat kasar		
				Proses Pemutihan	H_2O_2 5%	70^{o}C	60 menit	Warna serat putih, kandungan hemiselulosa dan lignin hilang		

2	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi dengan metode Halliwell (Soxhlet)	Perlakuan Alkali	NaOH 10%	I: 100 ^{o}C II: 120 ^{o}C III: 140 ^{o}C IV: 160 ^{o}C	60 menit	komposisi serat selulosa 50-55%, serat berwarna kecoklatan, sangat keras, dan rapuh.	Kambli *et al*., (2018)	*Research*, Q1
					Ammonium Oksalat $(NH_4)_2C_2O_4$ 0,5%			Menghilangkan lipid (pektin) pada serat		
				Proses pemutihan	Natrium klorit (NaOCl) 1%, dalam Asam asetat (CH_3COOH)			komposisi serat yaitu 55% selulosa, 40% hemiselulosa, 56,9% kristalinitas		
					KOH 5% dan		60	Menghilangkan		

					24%		menit	hemiselulosa pada serat		
3	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi	Perlakuan alkali	NaOH	85^{o}C	30 menit	Diameter serat 20 mm, serat kasar, 64,82% selulosa, 6,4% lignin, 39,46% kristalinitas	Huda & Yang, (2008)	*Research*, Q1
				Enzyme Treatment	Enzyme puplzyme & selulase	50^{o}C.	60 menit	83,5% selulosa. 5,96% lignin, 46,40% kristalinitas		

4	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi	Perlakuan Alkali	NaOH pada konsentrasi : I: 2,5 g/l II: 5 g/l III: 7,5 g/l IV: 10 g/l	95 ^{o}C	I: 30 menit, II: 60 menit III: 90 menit IV: 120 menit	Komposisi selulosa 80–87%.	Yilmaz *et al*., (2013b)	*Research*, Q3
				Enzyme Treatment	cellulase 2% dan xylanase 0,5%	50^{o}C	60 menit	Menghilangkan hemiselulosa pada serat		
5	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi	Pra perlakuan	Air suling	70^{o}C	4 jam	selulosa 35,3%, hemiselulosa 37,5%, lignin 7,9%, kristalinitas 54 - 88%	Mendes *et al*., (2014)	*Research*, Q1

				Perlakuan Alkali	NaOH 5%	suhu kamar	120 menit			
				Proses pemutihan	H_2O_2 24% dan NaOH 4%	45^{o}C	120 menit			
6	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi dengan metode Halliwell (Soxhlet)	Perlakuan Alkali	NaOH 10%	I: 100 ^{o}C II: 120 ^{o}C III: 140 ^{o}C IV: 160 ^{o}C	60 menit	Panjang serat 40 - 180 mm, diameter 130 - 140 nm. Kompsosisi selulosa 50-55%, hemiselulosa 39%, lignin 7,5%, kristalinitas 56,9%,	Kambli *et al*., (2016)	*Research*, Q2
				Proses pemutihan	NaOCl 1% dalam asam asetat 0,05 N		60 menit			

7	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi	Perlakuan Alkali	NaOH 1%	90^{o}C	1,5 jam	Perubahan warna dari kecoklatan hingga kuning-putih. morfologi serat dengan permukaan kasar, tidak beraturan.	Tan *et al*., (2021)	*Research*, Q1
8	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi	Perlakuan Alkali	NaOH 4% dan H_2O_2 1%			Komposisi serat selulosa 47% dan kristalinitas 67,6%. Rata - rata panjang 134 nm dan diameter 22,95 mm, bentuk tidak beraturan	Lenhani *et al*., (2021)	*Research*, Q2
				Proses pemutihan	NaOH 4% dan NaOCl 1,7% dalam asam asetat	-	-			
9	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi	Pra perlakuan	Air suling	60^{o}C	3 jam	Komposisi serat yaitu selulosa	de Andrade *et al*.,	*Research*, Q1

				Perlakuan Alkali	NaOH 2%	80^{o}C	4 jam	yaitu 52,99% kulit jagung	(2019)	
				Proses Pemutihan	NaOCl 1,7%	80^{o}C	6 jam	Panjang serat 298,3 nm dan diameter 7,3 nm.		
10	Kulit Jagung	Selulosa	Ekstraksi menggunakan Soxhlet	Pra perlakuan	Air suling	-	16 hari	Komposisi selulosa 47,59 - 62,87%, hemiselulosa 27,28 - 13,62%, lignin 8,98 - 5,55 %, kristalinitas 49,85 - 59,49%. Morfologi permukaan serat menjadi lebih kasar, diameter serat 81 - 124 mm	Sari *et al*., (2018)	*Research*, Q2
				Perlakuan Alkali	NaOH pada konsentrasi : I : 0,5% II: 2% III: 5% IV: 8%	suhu kamar	120 menit			
					alcohol acetate / ethanol	-	8 jam			

11	Kulit jagung	5% Selulosa	Ekstraksi	Perlakuan Alkali	NaOH 1%	70^{o}C	2 jam	meningkatkan sifat mekanik, rasio aspek serat sehingga menghasilkan dispersi serat yang lebih baik dalam komposit	Saenghirunwattana *et al*., (2014)	*Research*, Q1
				Perlakuan silane	*vinyltriethoxysilane* 1,5%	-	1,5 jam	meningkatkan sifat mekanik sampel		

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa bagian limbah yang banyak ditemukan yaitu kulit jagung (Chun *et al.*, 2020; Tan *et al*., 2021). Komposisi limbah yang banyak digunakan adalah selulosa (Sari *et al*., 2018; Yilmaz *et al*., 2013b). Perlakuan kimia yang dilakukan pada proses pengolahan limbah yaitu perlakuan alkali atau perlakuan silane dan proses pemutihan (Mendes *et al*., 2014; Lenhani *et al*., 2021). Perlakuan alkali dan proses pemutihan bertujuan untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin pada serat limbah kulit jagung sehingga diperoleh selulosa murni (Chun *et al*., 2020; Kambli *et al*., 2018). Menurut Saenghirunwattana *et al*., (2014) perlakuan alkali dan perlakuan silane bertujuan tidak hanya menghilangkan kotoran alami pada bahan namun meningkatkan sifat mekanik, rasio aspek serat sehingga menghasilkan dispersi serat yang lebih baik dalam komposit. Senyawa - senyawa kimia yang digunakan pada perlakuan limbah kulit jagung adalah NaOH pada proses perlakuan alkali (Lenhani *et al*., 2021; Tan *et al*., 2021), *vinyltriethoxysilane* pada perlakuan silane (Saenghirunwattana *et al*., 2014) NaOCl & H_2O_2 pada proses pemutihan (de Andrade *et al*., 2019; Chun *et al*., 2020), asam asetat (CH_3COOH) untuk menetralkan bahan (Huda & Yang, 2008; Kambli *et al*., 2016). Metode yang digunakan adalah metode ekstraksi, yang sebelumnya sudah dilakukan pra perlakuan dan perlakuan bahan dengan tujuan untuk memudahkan proses ekstraksi berlangsung (Lenhani *et al*., 2021; Tan *et al*., 2021). Analisis limbah yang diperoleh dari serat kulit jagung berupa kandungan selulosa yaitu 50-55% (Kambli *et al*., 2016), 80–87% (Yilmaz *et al*., 2013b), 83,5% (Huda & Yang, 2008). 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). Nilai kristalinitas 50-70% kristalinitas (Lenhani *et al*., 2021; Sari *et al*., 2018), morfologi permukaan serat kasar (Tan *et al*., 2021; Sari *et al*., 2018).

3.2. Metode Pengolahan Kemasan *Biodegradable*

Setelah serat kulit jagung diproses dengan metode ekstraksi, maka dilanjutkan dengan pencampuran serat dengan penambahan senyawa kimia yang berfungsi sebagai *coupling agent* dan polimer plastik, lalu campuran di ekstruksi dengan

ekstruder. Ekstrudat yang dihasilkan disimpan pada suhu ruang, lalu dikeringkan pada suhu tertentu selama beberapa hari. Selanjutnya, sampel diinjeksi dan dicetak pada suhu dan tekanan yang sudah ditentukan (Chen *et al*., 2018, Łączny *et al*., 2021). Beberapa penelitian mengenai metode pengolahan bio-komposit limbah kulit jagung dengan metode dan kondisi proses pengolahan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Karakteristik Limbah Kulit Jagung

No.	Bagian Limbah	Kemasan *Biodegradable*	Kondisi Proses Pengolahan					Sumber	Jenis dan Peringkat Publikasi
			Metode Pengolahan Kemasan *Biodegradable*	Senyawa Kimia Tambahan	Suhu	Waktu	Kondisi Lain		
1	Kulit jagung	*Film composite*	*Mixing* dengan *Single screw extruder*	1-allyl-3-methylimidazolium chloride (AmimCl)	120 ^{o}C	4 jam	-	Zhang *et al*. (2017)	*Research*, Q1
			Pencetakan (*molding*)		-	-	-		
			Pengeringan (vakum)		80 ^{o}C	12 jam	-		
2	Kulit jagung	*Film Biodegradable*	*Solution casting* (*Mixing*)	kitosan, gliserol, asam oleat	-	-	-	Hernawan *et al*. (2020)	*Research*, Q4

3	Kulit jagung	*Biocomposites*	*Mixing*	*Maleic anhydride* (MAH)	180 ^{o}C	4 menit	kecepatan 60 rpm	EL-Zayat *et al*. (2021)	*Research*, Q3
			Compression molding		180 ^{o}C	20 menit	-		
4	Kulit jagung	*Poly Lactic Acid* (PLA)	Pencampuran (*Mixing*) dengan *Single Screw Extruder*	gliserol, silan	150, 160, 170 ^{o}C	-	kecepatan sekrup 100 rpm	Saenghirunwattana *et al*. (2014)	*Research*, Q1
			Compression Molding		160 ^{o}C	-	tekanan 100 bar		
5	Kulit jagung	*Poly Vinyl Acid* (PVA)	Pengeringan (oven)	butanox	70 ^{o}C	24 jam	-	Mir Md *et al*. (2021)	*Research*, Q3
			Compression molding		180 ^{o}C	5 menit	-		
			Pencampuran (*mixing*)		-	4 menit	-		

6	Kulit jagung	*Bio-composite polystyrene*	*Compounding* dengan *mixer*	-	190 ^{o}C	5 menit	kecepatan 50 rpm	Ariel *et al*. (2021)	*Research*, Q2
			Single screw extruder	-	200 ^{o}C	-	kecepatan 30 rpm		
7	Kulit jagung	*Polypropylene* (PP)	*Hot press technique*	-	105 ^{o}C	4 menit	kecepatan 5 MPa	Sari *et al*. (2020)	*Research*, Q1
			Pendinginan	-	suhu ruang	-	kecepatan 3 MPa		
8	Kulit jagung	*Poly Vinyl Acid* (PVA)	*Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) *technique*	-	-	-	tekanan vakum 1 bar	Chun *et al*. (2020)	*Research*, Q1
			Pendinginan	-	suhu ruang	24 jam	-		
			Pengeringan (oven)	-	60 ^{o}C	12 jam	-		

9	Kulit jagung	*Poly (propylene) Composites* (PP)	Pengeringan	-	85 ^{o}C	24 jam	-	Huda & Yang, (2008)	*Research*, Q1
			Pendinginan	-	21 ^{o}C	-	kelembaban relatif 65%		
10	Kulit jagung	*Poly Vinyl Acid* (PVA)	Pencampuran	-	90 ^{o}C	5 jam	-	Xiao *et al*. (2016)	*Research*, Q1
			Pencetakan dan Pengeringan	-	suhu ruang	5 hari	-		
11	Kulit jagung	*Low density polyethylene* (LDPE)	Pengeringan	-	80 ^{o}C	-	-	Youssef *et al*. (2015)	*Research*, Q2
			Mixing	-	165 ^{o}C	-	kecepatan 60 rpm		
			Melt Compounding & *Compression molding*	-	175 ^{o}C	-	5 MPa		

12	Kulit jagung	PSf (*polysulfone)*	*Immersion phase inversion*	Larutan N-methyl-2-pyrrolidone (NMP)	suhu ruang	-	-	Yang *et al*. (2016)	*Research,* Q2
			Mixing	*Polyvinylpyrrolidone* (PVP)	60 ^{o}C	8 jam	kecepatan 300 rpm		
			Solution casting	-	60 ^{o}C	12 jam	kecepatan 300 rpm		
13	Kulit jagung	*Food Packaging*	*Evaporation Solvent* pada pengeringan vakum oven	-	40 ^{o}C	-	-	Tan *et al*. (2021)	*Research,* Q1
14	Kulit jagung	*Biodegradable plastic*	*Mixing*	sorbitol, kitosan, asam asetat, air distilasi	-	-	-	Amalia *et al*. (2020)	*Research,* Q4
			Pencetakan (*Mold*) pada kertas *polytetrafluorethylene*	-	-	-	-		

			Pengeringan (oven)	-	80^{o}C	90 menit	-		
15	Kulit jagung	*Poly Lactic Acid* (PLA)	Pencampuran	-	suhu ruang	8 menit	kecepatan 60 rpm	Luo *et al*. (2019)	*Research*, Q3
			Pengeringan	-	100^{o}C	4 jam	-		
			Injection molding	-	180 ^{o}C	-	tekanan injeksi 70 MPa		
16	Kulit jagung	*Poly Lactic Acid* (PLA)	Pencampuran	-	suhu ruang	8 menit	kecepatan : 60 rpm	Luo *et al*. (2014)	*Research*, Q1
			Pengeringan	-	105^{o}C	4 jam			
			Injection Molding	-	190^{o}C	5 menit	-		
17	Kulit jagung	*Biocompo sites*	Pencampuran	gliserol	-	10 menit	kecepatan : 5000 rpm	Lenhani *et al*. (2021)	*Research*, Q2

			Pengeringan	-	85^{o}C	16 jam	-		
18	Kulit, jagung	*biocomposites* PLA	*Solution Casting method*	kitosan, gliserol, asam asetat,	40^{o}C	24 jam	-	de Andrade *et al*. (2019)	*Research*, Q1
			Pengeringan dengan desikator vakum	-	35 ± 2^{o}C	20 jam	-		
19	Kulit jagung	*Poly Lactic Acid* (PLA)	*Single screw extrusion*	-	I :150^{o}C II : 155^{o}C III : 155^{o}C	-	kecepatan : 30 rpm	Łączny *et al*. (2021)	*Research*, Q2
			Pengeringan	-	40^{o}C	48 jam	-		
			Injection Molding	-	I : 170^{o}C II : 170^{o}C III : 175^{o}C	pendinginan 60 detik	tekanan injeksi : 248 bar		

20	Kulit jagung	*Biocomposites*	*Solution Casting Method*	kitosan, asam asetat	-	30 menit	-	Yeng *et al*. (2013)	*Research*, Q3
			Pengeringan	-	suhu ruang	48 jam	-		
			Pencampuran	*Glutaraldehyde* (GLA), kitosan	-	-	-		
21	Kulit jagung	*Biobased composites* (*bio-polyethylene*), *High density polyethylene* (HDPE)	*Compounding*	*Maleic anhydride polyethylene* (MAPE)	suhu *mixer* bertahap hingga 210 ^{o}C	2 menit	kecepatan sekrup 300 - 3000 rpm	Tarrés *et al*. (2021)	*Research*, Q2
			Injection Molding	-	175, 180, 185, 185 190 ^{o}C	-	Tekanan injeksi 300 - 600 bar		

22	Kulit jagung	*Biocomposites Polypropylene* (PP)	*Injection Molding*	*Maleic anhydride-grafted polypropylene* (MAPP)	175 ^{o}C - 190 ^{o}C	-	tekanan injeksi 120 bar	Flandez *et al*. (2012)	*Research*, Q3
23	Kulit jagung	*Biocomposites Film*	Pencampuran	Resin fenol formaldehida (*Phenolic Resin*), barium sulfat, alumunium oksida	suhu ruang	5 menit	-	Liu *et al*. (2019)	*Research*, Q1
			Thermopressing	-	60 ^{o}C	30 menit	40 MPa		
	Kulit jagung	*Biocomposites* PLA	*Single screw extrusion*	-	190 ^{o}C	-	-		

24			Pengeringan	-	110 ^{o}C	4 jam	kecepatan 50 rpm	Faludi *et al*. (2013)	*Research*, Q1
			Compression molding	-	190 ^{o}C	-	-		
25	Kulit jagung	*Composites based Polypropylene* (PP)	*melt-mixing*	*Maleic Anhydride Polypropylene* (MAPP)	180 ^{o}C	10 menit	kecepatan 80 rpm	Delgado-Aguilar *et al*. (2013)	*Research*, Q1
			Pengeringan	-	80 ^{o}C	24 jam	-		
			Injection Molding	-	175, 175, 190 ^{o}C	-	tekanan injeksi 120 bar		
26	Kulit jagung	*Biocomposites Polybutylene Succinate*	*Compounding*	-	160 ^{o}C	7 menit	-	Likittheerakarn *et al*. (2017)	*Research*, Q4
			Injection Molding, melt-mixing	-	230^{o}C	20 detik	Tekanan injeksi 85		

		(PBS)					bar		
			Pendinginan	-	suhu ruang	8 detik	-		
27	Kulit jagung	*Polypropylene* (PP)	*melt-mixing*	*maleic anhydride-grafted polypropylene* (MAPP)	180 ^{o}C	10 menit	80 rpm	Rodriguez *et al*. (2010)	*Research*, Q3
			Pengeringan	-	80 ^{o}C	24 jam	-		
			Injection molding	-	180 ^{o}C	-	-		

28	Kulit jagung	*High density polyethylene* (HDPE)	*Extrusion* menggunakan *twin screw extruder*	*myristic acid - high density polyethylene* (MA-HDPE), asam stearat,	140 - 175 ^{o}C		kecepatan 190 rpm	Chen *et al*. (2018)	*Research,* Q2
			Pendinginan	-	suhu ruang	-	-		
			Injection molding	-	140 - 165 ^{o}C	-	tekanan injeksi 60 MPa		
29	Kulit jagung	*High density polyethylene* (HDPE)	*Extrusion* menggunakan *twin screw extruder*	*maleic anhydride-grafted polypropylene* (MAPP), asam stearat,	140 - 175 ^{o}C	-	-	Chen *et al*. (2018)	*Research,* Q1
			Injection molding	-	140 - 165 ^{o}C	-	Tekanan injeksi 60 MPa		

Berdasarkan pada Tabel 8, dapat dilihat bahwa bagian limbah jagung yang ditemukan yaitu kulit jagung (Zhang *et al*., 2017; Ariel *et al*., 2021; Faludi *et al*., 2013; Liu *et al*., 2019). Produk - produk untuk pembuatan kemasan *biodegradable* yang ditemukan berupa *high density polyethylene* (HDPE) (Chen *et al*., 2018), *low density polyethylene* (LDPE) (Youssef *et al*., 2015), *poly lactic acid* (PLA) (Łączny *et al*., 2021), *poly vinyl acid* (PVA) (Xiao *et al*., 2016), *polypropylene* (PP) (Delgado-Aguilar *et al*., 2013), *polybutylene succinate* (PBS)(Likittheerakarn *et al*, 2017), dan *polysulfone* (PSf) (Yang *et al*., 2016). Kombinasi bagian limbah jagung dengan *biodegradable plastic* dapat menghasilkan *film* bio-komposit yang digunakan untuk meningkatkan karakteristik produk kemasan *biodegradable* tersebut. Metode pengolahan produk kemasan *biodegradable* yaitu *melt-mixing* (Rodriguez *et al*., 2010), *extrusion* (Chen *et al*., 2018), *injection molding* (Delgado-Aguilar *et al*., 2013), *solution casting* (Yeng *et al*., 2013), dan *thermopressing* (Liu *et al*., 2019). Beberapa senyawa kimia tambahan yang ditemukan untuk meningkatkan karakteristik kemasan *biodegradable* seperti kitosan, gliserol, *maleic anhydride*, asam asetat dan lainnya (Delgado-Aguilar *et al*., 2013; Likit Theerakarn *et al*, 2017; Faludi *et al*., 2013; Tarrés *et al*., 2021).

3.3. Karakteristik Produk Kemasan *Biodegradable*

Karakteristik produk 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). Kekuatan tarik dan *Modulus Young* akan meningkat seiring dengan peningkatan komposisi serat yang digunakan pada proses pengolahan kemasan *biodegradable* (Youssef *et al*., 2015). Perpanjangan (*elongation*) dengan penggabungan serat kulit jagung dapat meningkatkan elongasi komposit. Hal ini berasal dari gugus OH pada serat kulit jagung yang memberikan efek plastisasi pada komposit (Xiao *et al*., 2016). Pemrosesan suhu tinggi dapat berkontribusi pada pengemasan rantai polimer yang lebih rapat namun kemungkinan akan mengeluarkan air (Yang *et al*., 2016). Peningkatan penyerapan air dengan peningkatan komposisi limbah (selulosa) karena air bertindak sebagai senyawa kimia dalam bahan yang memungkinkan

adanya adhesi antarmuka yang lebih baik sehingga mengurangi lebar antarmuka antara serat dan komposit, dengan mengurangi penyerapan air melalui area luar permukaan ke bagian dalam serat (Sari *et al*., 2020; Saenghirunwattana *et al*., 2014).

Ukuran serat dan komposisi limbah (selulosa) pada komposit yang digunakan untuk pembuatan kemasan *biodegradable* dapat mempengaruhi karakteristik produk (Huda & Yang, 2008). Menurut Shahzad, (2012) menyatakan bahwa dengan semakin besar ukuran diameter serat maka nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan modulus *Young* yang dihasilkan akan semakin rendah. Untuk mengetahui sifat mekanik dari komposit dapat digunakan komposisi serat dan konsentrasi bahan tambahan yang berbeda. Senyawa kimia tambahan digunakan karena produk - produk kemasan *biodegradable* sebagai pengemas memiliki beberapa kekurangan seperti ketahanan termal yang rendah dan sifat mekanik yang buruk. Untuk itu, produk biopolimer harus bernilai dan berkinerja lebih tinggi, seperti ketahanan termal, dan nilai perpanjangan yang tinggi yang juga membutuhkan senyawa kimia tambahan. Konsentrasi senyawa kimia tambahan yang dipakai dapat mempengaruhi besar kecilnya hasil karakteristik produk kemasan *biodegradable* (Faruk *et al.*, 2012; Poletto *et al.*, 2014; Xiong *et al.*, 2012). Beberapa penelitian mengenai karakteristik produk kemasan *biodegradable* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Karakteristik Produk Kemasan *Biodegradable*

No.	Komposisi Limbah	Ukuran Serat	Konsentrasi Senyawa Kimia Tambahan	Kemasan *Biodegradable*	Karakteristik Produk Kemasan *Biodegradable*					Sumber
					Kekuatan Tarik (*Tensile strength*) (MPa)	*Modulus Young* (GPa)	Perpanjangan (*Elongation*) (%)	Daya Serap Air (*Water Absorption*) (%)	Suhu Termal (^{o}C)	
1	Selulosa (50%)	15 mm	1% AmimCl	*Film composite*	67 MPa	4,4 GPa	2,7%	-	-	Zhang *et al*. (2017)
	Selulosa (70%)	20 mm			59 MPa	3,5 GPa	4%			
2	Selulosa (40%)	24 mm	0% MAPP	*Polypropylene* (PP)	34,1 MPa	4,28 GPa	2,1 %	-	250 - 340 ^{o}C	Flandez *et al*. (2012)
			6% MAPP		49,5 MPa	4,3 GPa	4,3 %			

3	Selulosa (5%)	-	1% NaOH dan 1,5% Silane	*Poly Lactic Acid* (PLA)	17 MPa	0,71 GPa	-	13,5 %	-	Saenghirunwattana *et al*. (2014)
	Selulosa (10%)				14 MPa	0,35 GPa		17,5%		
4	Selulosa (30%)	-	5% *hydrogen peroxide* (H_2O_2)	*Bio-composite polystyrene*	32,3 MPa	2,9 GPa	6,4%	-	220 - 450 ^oC	Ariel *et al*. (2021)
5	Selulosa (40%)	40 mm	-	*Polypropylene* (PP)	133 MPa	5,51 GPa	6,87%	0, 98 - 1,3%	-	Sari *et al*. (2020)

6	Selulosa (30%)	40 mm	-	*Composite film*	8,6 MPa	0,79 GPa	-	-	-	Huda & Yang, (2008)
	Selulosa (35%)				8,9 MPa	0,95 GPa	-	-	-	
	Selulosa (40%)				7,3 MPa	0,92 GPa	-	-	-	
	Selulosa (50%)				6,0 MPa	0,65 GPa	-	-	-	
	Selulosa (60%)				3,8 MPa	0,61 GPa	-	-	-	
	Selulosa (70%)				3,1 MPa	0,54 GPa	-	-	-	
7	Selulosa	-	-	*Poly Vinyl Acid* (PVA)	55,5 MPa	-	18%	-	200 - 400 ^{o}C	Xiao *et al*. (2016)

8	Selulosa (10%)	-	-	*Low Density Polyethylene* (LDPE)	24,3 MPa	0,46 GPa	-	8%	150 - 450 ^{o}C.	Youssef *et al*. (2015)
	Selulosa (15%)				17,9 MPa	0,45 GPa		14 %		
	Selulosa (20%)				17,7 MPa	0,41 GPa		22 %		
9	Selulosa	-	-	PSf (*polysulfone)*	11,84 MPa		8,3%	-	100 - 400 ^{o}C	Yang *et al*. (2016)

10	Selulosa	-	-	*Food Packaging*	42,1 MPa	0,63 GPa	4,6%	-	< 370 ^{o}C	Tan *et al*. (2021)
11	Selulosa	-	0,4% kitosan	*Biodegradable plastic*	11,7 MPa	0,11 GPa	10,2%	-	100 – 160^{o}C	Amalia *et al*. (2020)
12	Selulosa (10%)	-	-	*Poly Lactic Acid* (PLA)	96,3 MPa	5,0 GPa	-	-	-	Luo *et al*. (2019)
	Selulosa (20%)				50,1 MPa	5,4 GPa				
13	Selulosa (1%)	-	-	*Poly Vinyl Acid* (PVA)	37,2 MPa	2,7 GPa	2,7%	11%	-	Fortunati *et al*. (2013)
	Selulosa (5%)				35,5 MPa	2,4 GPa	2,4%	15,9%		

			0% MAPP		34,1 MPa	4,28 GPa	2,1 %		-	
14	Selulosa (40%)	16 mm	6% MAPP	*Polypropylene* (PP)	49,5 MPa	4,3 GPa	4,3%	-		Rodriguez *et al*. (2010)
15	Selulosa (50%)	10 mm	-	*Poly Lactic Acid* (PLA)	46,7 MPa	2,7 GPa	2,3 %	-	150 ^{o}C	Łączny *et al*. (2021)
		20 mm			42,9 MPa	2,6 GPa	2,1 %			
16	Selulosa (40%)	-	-	*Poly Lactic Acid* (PLA)	54,5 MPa	4 GPa	15%	-	-	Faludi *et al*. (2013)

Berdasarkan Tabel 9, dapat diketahui bahwa karakteristik kemasan *biodegradable* diketahui dari kekuatan tarik (*tensile strength*), *modulus Young*, perpanjangan (*elongation*), daya serap air (*water absorption*) dan suhu termal (Kambli *et al.*, 2018; Zhang *et al*., 2017; Huda & Yang, 2008; Saenghirunwattana *et al*., 2014). Komposisi limbah yang digunakan adalah selulosa. Dapat dilihat bahwa dengan semakin besar komposisi selulosa yang digunakan, maka kekuatan tarik akan semakin kecil, seperti pada penelitian Youssef *et al*., (2015) yang menggunakan selulosa 10%, 15% dan 20% maka kekuatan tarik secara berurutan yaitu 24,3, 17,9 dan 17,7 MPa. Begitu pula dengan *modulus Young* yang semakin kecil dengan peningkatan komposisi limbah 50% dan 70% secara berturut - turut yaitu 4,4 GPa dan 3,5 GPa (Zhang *et al.,* 2017). Namun, berbeda dengan 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%. Diketahui juga perpanjangan yang tertinggi secara berurutan yaitu 18% (Xiao *et al*., 2016) 15,3% (Huda & Yang, 2008), an 10,2% (Amalia *et al*., 2020). Beberapa penelitian ditemukan bahwa daya serap air yang diperoleh yaitu 11,7% (Saenghirunwattana *et al*., 2014), 15% (Youssef *et al*., 2015) dan 15,9% (Fortunati *et al*., 2013). Suhu termal yang ditemukan rata - rata sekitar 100 - 400^{o}C (Yang *et al*., 2016; Xiao *et al*., 2016).