

Review: Produksi Plastik *Biodegradable* Berbahan Dasar Tongkol Jagung sebagai Bahan Kemasan

Eka Cahya Muliawati*, Mohammad Haris Afrimansyah, Muhammad Yusron Firnanda, Putri Riau Cantika Al-Mubayyina, Nimas Qusnul Khotimah, Niken Larasati, dan Riswanda Estiwardani

Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

*ekacahya@itats.ac.id

OPEN ACCESS

Citation: Eka Cahya Muliawati, Mohammad Haris Afrimansyah, Muhammad Yusron Firnanda, Putri Riau Cantika Al-Mubayyina, Nimas Qusnul Khotimah, Niken Larasati, dan Riswanda Estiwardani. 2025. Review: Produksi Plastik *Biodegradable* Berbahan Dasar Tongkol Jagung sebagai Bahan Kemasan. *Journal of Research and Technology* Vol. 11 No. 1 Juni 2025: Page 177–194.

Abstract

Plastic is generally made from synthetic polymers derived from petroleum processing. The non-degradable nature of synthetic plastics has led to serious environmental pollution and waste accumulation. One promising solution is the use of biodegradable plastics that can decompose naturally. This review aims to examine the methods and outcomes of producing biodegradable plastic from corn cobs. Corn cobs contain cellulose fibers, which have great potential as natural polymers for the production of eco-friendly plastics. The production methods reviewed include extraction, casting, blending, composite formation, and other techniques adapted to the characteristics of the materials and application needs. This review analyzes 44 publications from 2018 to 2024. The most favorable results were obtained using a combination of corn cob, coconut coir, and carboxymethyl cellulose (CMC), with glycerol as a plasticizer. This formulation showed an elongation strength of up to 17.8 MPa, the fastest biodegradation time of 6 days, and a water absorption rate of 26.02%. These values exceed the Indonesian National Standard (SNI) for thermoplastic starch (TPS)-based biodegradable plastics, which typically have tensile strengths ranging from 5 to 15 MPa.

Keywords: Biodegradable, Plastic, Corncobs, Glycerol, CMC.

Abstrak

Plastik umumnya terbuat dari bahan polimer sintetis hasil olahan minyak bumi. Karakteristik plastik sintetis yang sulit terurai menyebabkan penumpukan limbah dan pencemaran lingkungan yang serius. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah penggunaan plastik biodegradable yang dapat terurai secara hayati. Review ini bertujuan untuk mengkaji metode

dan hasil produksi plastik biodegradable berbahan dasar tongkol jagung. Salah satu kandungan utama tongkol jagung adalah serat selulosa, yang berpotensi dimanfaatkan sebagai polimer alami untuk pembuatan plastik ramah lingkungan. Metode pembuatan plastik biodegradable yang dikaji meliputi ekstraksi, casting, blending, komposit, dan metode lainnya yang disesuaikan dengan karakteristik material dan kebutuhan aplikasi. Review ini menganalisis 44 literatur terbitan tahun 2018 hingga 2024. Hasil terbaik ditemukan pada kombinasi bahan dasar tongkol jagung, sabut kelapa, dan CMC dengan plasticizer gliserol, yang menunjukkan hasil uji elongasi hingga 17,8 MPa, waktu biodegradasi tercepat selama 6 hari, dan daya serap air sebesar 26,02%. Nilai ini melampaui standar SNI untuk plastik biodegradable jenis termoplastik pati (TPS) yang memiliki kisaran kekuatan tarik 5–15 MPa.

Keywords: Biodegradable, Plastik, Tongkol Jagung, Gliserol, CMC.

1. Pendahuluan

Plastik konvensional umumnya terbuat dari polimer sintetis hasil olahan minyak bumi yang digunakan secara luas dalam kehidupan sehari-hari (Dewajani et al., 2024). Meskipun praktis dan tahan lama, plastik jenis ini memiliki kelemahan utama yaitu sulit terurai secara alami, sehingga menjadi penyumbang utama pencemaran lingkungan. Pengolahan limbah plastik dengan pembakaran dapat menimbulkan emisi berbahaya dan polusi udara yang berdampak pada kesehatan, khususnya sistem pernapasan. Sementara itu, metode penguburan juga memiliki kekurangan karena plastik membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terurai (Mulyana et al., 2024).

Sebagai alternatif, bioplastik dikembangkan untuk menggantikan plastik sintetis karena berasal dari bahan alami seperti pati, selulosa, protein, dan biopolimer lain yang dapat diperbarui dan terurai secara hayati (Dewajani et al., 2024). Bioplastik tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga memiliki kemampuan sebagai pembatas terhadap transmisi massa seperti oksigen, uap air, dan senyawa terlarut, menjadikannya cocok digunakan dalam aplikasi pangan seperti pembungkus buah, sosis, sup instan, dan permen (Dewajani et al., 2024).

Salah satu potensi bahan baku lokal untuk produksi bioplastik adalah tongkol jagung, yang merupakan limbah pertanian dari hasil perontokan atau konsumsi jagung. Limbah ini sering dibuang sembarangan dan mencemari lingkungan, terutama selama musim hujan saat saluran air mudah tersumbat (Isiaka et al., 2015). Padahal, tongkol jagung mengandung komponen lignoselulosa, terdiri dari 40–60% selulosa, 20–30% hemiselulosa, dan 25–30% lignin (N. K. Sari et al., 2022), yang menjadikannya kandidat ideal sebagai sumber polimer alami untuk pembuatan plastik biodegradable (Afdal et al., 2022).

Namun, bahan alami seperti amilum atau selulosa dari tongkol jagung memiliki kekurangan, seperti sifat getas dan mudah patah. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan plasticizer seperti gliserol, sorbitol, dan kitosan untuk meningkatkan elastisitas dan fleksibilitas bahan. Gliserol merupakan plasticizer hidrofilik yang umum digunakan karena kompatibel dengan pati, pektin, gelatin, dan protein, serta dapat meningkatkan fleksibilitas film polimer (N. K. Sari et al., 2022). Sorbitol juga berperan sebagai plasticizer yang dapat mengurangi kerapuhan dan permeabilitas oksigen pada edible film (N. K. Sari et al., 2021), sedangkan kitosan dikenal karena sifat antimikroba, biodegradabilitas, dan kompatibilitas biologisnya (Diani & Gall, 2006).

Selain plasticizer, filler seperti Carboxymethyl Cellulose (CMC) juga digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik plastik biodegradable. Penambahan CMC dapat meningkatkan kekuatan tarik melalui pembentukan ikatan antara gugus hidroksil (–OH) pada pati dan gugus karboksilat (–COOH) pada CMC, yang memperkuat struktur rantai polimer (Ihsan & Ratnawulan, 2023). Filler lain seperti PLA (Polylactic Acid) dan Carbon Fiber (CF) juga sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan air, sekaligus mempertahankan sifat biodegradabilitasnya (Buddhakala & Buddhakala, 2023).

Melalui pendekatan ini, pembuatan plastik biodegradable berbasis tongkol jagung tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan terhadap plastik sintetis, tetapi juga memberi nilai tambah pada limbah pertanian. Dalam review ini, dipaparkan metode dan karakteristik plastik biodegradable berbasis tongkol jagung serta kombinasi bahan tambahan seperti sabut kelapa, gliserol, dan CMC yang menghasilkan performa terbaik dalam hal kekuatan tarik, kecepatan biodegradasi, dan daya serap air.

2. Metode Penelitian

Review Bahan

Bahan Baku Utama

Tongkol Jagung

Bahan baku utama yang digunakan pada review jurnal ini untuk membuat *biodegradable* plastik adalah tongkol jagung seperti pada Tabel 1 yaitu Perbandingan Komposisi Bahan Penyusun Plastik Biodegradable Berbasis Tongkol Jagung. Alasan karena sifat termoplastiknya yang mudah dibentuk dan dicetak, maka tongkol jagung memiliki potensi besar sebagai bahan baku pembuatan plastik *biodegradable*.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Bahan Penyusun Plastik Biodegradable Berbasis Tongkol Jagung

No	Bahan	Komposisi Umum (%)	Fungsi Utama	Pengaruh terhadap Sifat Bioplastik	Referensi
1	Tongkol Jagung (pati)	40–70%	Bahan utama (pati termoplastik)	Membentuk matriks plastik, <i>biodegradable</i>	(Montero et al., 2021), (Nurhayati et al., 2025)
2	Ampas Tebu	10–30%	Kombinasi	Meningkatkan kekuatan	(Latif et al., 2024)

No	Bahan	Komposisi Umum (%)	Fungsi Utama	Pengaruh terhadap Sifat Bioplastik	Referensi
3	Sabut Kelapa	(dalam campuran) 5–20%	sumber selulosa & hemiselulosa Kombinasi serat selulosa alami	mekanik dan daya biodegradasi Memperkuat struktur, meningkatkan sifat tarik dan biodegradasi	(Jumaidin et al., 2023)
4	Nanokristal Selulosa	1–5%	Agen penguat nano	Meningkatkan kekuatan tarik, transparansi, dan <i>barrier</i> air	(Silvério et al., 2014), (Montero et al., 2021)
5	Gliserol	20–30% dari massa pati	Plasticizer (pelembut)	Meningkatkan fleksibilitas dan elongasi, mempercepat degradasi	(Caicedo et al., 2022), (Harussani et al., 2021)
6	Kitosan	5–15%	Plasticizer & antimikroba	Antimikroba, daya tahan, meningkatkan degradasi	(De Carli et al., 2022), (Mitantsoa et al., 2021)
7	Sorbitol	15–25%	Plasticizer alternatif	Meningkatkan elastisitas, mengurangi permeabilitas oksigen	(Caicedo et al., 2022)
8	Asam Asetat	1–5%	Katalis untuk gelatinisasi	Membantu pelarutan dan struktur gel bioplastik	(Pangestu et al., 2019)
9	CMC (Filler)	5–10%	Penguat matriks	Menambah kekuatan tarik dan viskositas	(Mustapha et al., 2018)
10	Kalsium Silikat	2–8%	Filler anorganik	Memperkuat dan meningkatkan ketahanan struktural	(Noor Isnaini Azkiya et al., 2023)
11	Polylactic Acid (PLA)	10–20%	Bahan campuran biodegradable	Memperbaiki sifat mekanik dan biodegradasi	(Martinez Villadiego et al., 2022)
12	Kalsium Karbonat	5–10%	Filler murah dan kaku	Mengurangi biaya, meningkatkan kekakuan	(Amirah et al., 2019)
13	Montmorillonit (MMT)	1–3%	Nanofiller	Meningkatkan <i>barrier</i> , kekuatan, dan ketahanan termal	(Slavutsky et al., 2012)

Bahan Kombinasi

– Ampas Tebu

Ampas tebu dapat digunakan sebagai kombinasi pembuatan *biodegradable* plastik. Hal ini dikarenakan ampas tebu memiliki proporsi selulosa dan hemiselulosa yang signifikan.

– Sabut Kelapa

Sabut kelapa mengandung selulosa yang dapat digunakan sebagai kombinasi bahan baku untuk membuat bioplastik.

– Nanokristal

Penambahan nanokristal selulosa dapat meningkatkan sifat intrinsik bahan-bahan seperti sifat mekanik, optik, dan penghalang air yang baik.

– *Plasticizer*

- Gliserol

Penambahan gliserol pada pembuatan biodegradable plastik sebagai plasticizer karena dapat meningkatkan fleksibilitas film. Gliserol memiliki fleksibilitas tinggi sehingga dapat meningkatkan elongasi. Gliserol dapat memberikan kontrol terhadap penyerapan air bioplastik agar sesuai terhadap biodegradabilitas. Penggunaan gliserol juga dapat mempercepat laju biodegradasinya.

- Kitosan

Penambahan Kitosan pada pembuatan biodegradable plastik sebagai plasticizer karena bersifat biokompatibel, biodegradable, tidak beracun, antimikroba. Kitosan dapat memberikan ketahanan air yang tinggi, meningkatkan biodegradasi bioplastik, dan dengan penambahan kitosan dapat memberikan sifat antimikroba sehingga dapat meningkatkan aplikasinya untuk pengemasan makanan.

- Sorbitol

Penambahan Sorbitol pada pembuatan biodegradable plastik sebagai plasticizer karena dapat mengurangi kerapuhan film sehingga elastisitas film meningkat dan dapat mengurangi permeabilitas film terhadap oksigen. Penggunaan sorbitol dengan konsentrasi tinggi dapat meningkatkan elongasi dan memberikan fleksibilitas tinggi, dapat mempercepat tingkat degradasi, dan dapat memberikan ketahanan air terbaik dengan penyerapan air yang rendah.

- Asam Asetat

Asam asetat digunakan untuk membantu proses polimerisasi dan gelatinisasi pati. Melalui hidrolisis suspensi pati dengan bantuan asam dan pemanasan, pati menjadi lebih mudah larut, menghasilkan viskositas yang rendah serta membentuk struktur gel yang lebih kuat.

– *Filler*

Penambahan *filler* berperan dalam meningkatkan kekuatan tarik plastik biodegradable. *Filler* yang digunakan dalam beberapa jurnal adalah *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), kalsium silikat, *Polylactic Acid* (PLA), dan kalsium karbonat, Montmorillonit (MMT).

Review Metode

– Metode Ekstraksi

Metode ini digunakan untuk mengekstraksi tongkol jagung yang akan digunakan dalam pembuatan *biodegradable* plastik

– Metode *Casting*

Metode ini bertujuan untuk menghasilkan lembaran tipis atau film *biodegradable* dengan ketebalan seragam dan sifat mekanis yang diinginkan, seperti fleksibilitas, transparansi, dan kekuatan.

– Metode *Blending*

Metode *blending* bertujuan mencampur dua atau lebih polimer untuk meningkatkan sifat

mekanis, fleksibilitas, atau biodegradabilitas plastik.

– Metode Komposit

Metode ini digunakan untuk menggabungkan polimer *biodegradable* dengan pengisi (*filler*) alami, seperti serat atau partikel organik, untuk meningkatkan kekuatan, daya tahan, dan sifat fungsional material.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini, pembahasan difokuskan pada potensi pemanfaatan tongkol jagung sebagai bahan baku dalam produksi plastik *biodegradable*, khususnya dalam aplikasi kemasan ramah lingkungan. Tongkol jagung, sebagai limbah lignoselulosa pertanian yang melimpah dan belum banyak dimanfaatkan secara optimal, mengandung selulosa dan hemiselulosa yang dapat diolah menjadi biopolimer seperti polihidroksialkanoat (PHA) atau polilaktat (PLA). Dalam berbagai penelitian, bahan ini menunjukkan potensi tinggi dalam menghasilkan plastik yang mudah terurai di lingkungan tanpa meninggalkan residu berbahaya, sehingga sangat relevan dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap plastik konvensional berbasis minyak bumi. Pemanfaatan tongkol jagung juga sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah berkelanjutan, menjadikannya alternatif yang menjanjikan bagi industri kemasan masa depan. Berikut ini pada Tabel 2 adalah hasil *review* dari berbagai penelitian pembuatan bioplastik berbahan dasar tongkol jagung dan kombinasinya.

Tabel 2. *Review* Hasil Penelitian Pembuatan Bioplastik

No	Bahan	Metode	Uji Kuat Tarik (Mpa)	Uji Elongasi (%)	Uji Biodegradasi (Hari)	Uji Daya Serap (%)	Referensi
1.	Tongkol jagung + gliserol	<i>Solution casting</i>	403,392	28	15	27,86	(Mulyana et al., 2024)
2.	Selulosa tongkol jagung + gliserol + nanokristal + kitosan	<i>Blending</i>	1,343	-	28	21	(Escamilla-García et al., 2022)
3.	Tongkol jagung + resin poliester	Komposit	535,60	81	30	-	(Isiaka et al., 2015)
4.	Tongkol jagung + polimer AGX	Ekstruksi AGX dan ekstraksi tongkol jagung	76	35	-	27	(Prateep et al., 2020)
5.	Tongkol jagung + komposit kayu plastik + sabut kelapa	Komposit	6884	17,8	-	-	(Pratheep et al., 2021)
6.	Tongkol jagung + gliserol	Ekstraksi dan <i>solution casting</i>	79,5	86	28	-	(Montazeri & Amar, 2021)
7.	Tongkol jagung + Montmorillonit(MMT)	Ekstraksi dan <i>solution casting</i>	-	-	190	-	(Sihotang & Tambunan, 2022)

No	Bahan	Metode	Uji Kuat Tarik (Mpa)	Uji Elongasi (%)	Uji Biodegradasi (Hari)	Uji Daya Serap (%)	Referensi
8.	Tongkol jagung + minyak atsiri cengkeh	Isolasi + <i>spread plate</i>	-	-	-	-	(Susanti & Malang, 2024)
9.	Tongkol Jagung + Spi, gliserol, larutan asam akrilik	Metode <i>casting</i>	273	40	-	-	(Husseinsyah et al., 2015)
10.	Tongkol Jagung + kitosan dan asam asetat	Metode <i>casting</i>	-	-	98	-	(Diani & Gall, 2006)
11.	Tongkol jagung + gliserol	Metode <i>casting</i>	11,96	-	-	26,02	(Mulyana et al., 2024)
12.	Tongkol jagung + gliserol asam asetat, natrium benzoat	<i>Solution casting</i>	21,23	58,67	45	5,29	(Nanda & Singh, 2022)
13.	Tongkol jagung+ gliserin	Pemanasan dan <i>casting</i>	6,217	1,50	250	-	(Paudel & Janaswamy, 2024)
14.	Tongkol jagung + gliserol, sorbitol	Ekstraksi pati dan <i>casting</i>	0,536	21.4	-	-	(Techniques, 2022)
15.	Tongkol jagung + kitosan, gliserol	<i>Solution casting</i>	-	-	17	17,21	(N. K. Sari et al., 2021)
16.	Tongkol jagung + kitosan + asam asetat dan sailisilaldehida	<i>Solution casting</i>	52	13,80	83		(Chan et al., 2018)
17.	Tongkol Jagung + asam polylactic + nanotitanium dioxide	<i>Compressing molding</i>	60	7	78	20,00	(Buddhakala & Buddhakala, 2023)
18.	Tongkol jagung + bubuk pectin + gliserol	<i>Solution casting</i>	-	-	14	10,57	(Caicedo et al., 2022)
19.	Tepung jagung + katalis selenium larutan asam + bromocresol	<i>Blending</i>	2,58	24	-	-	(Iheanacho et al., 2024)
20.	Tongkol jagung + gliserol + kitosan	<i>Blending</i>	-	-	15	-	(Prayudi & Susanto, 2001)
21.	Tongkol jagung + kitosan + sorbitol	Ekstraksi pati dan pencampuran	2,775	16,94	10	28,38	(Afdal et al., 2022)
22.	Tongkol jagung + gliserol-sorbitol	<i>Blending</i>	0,536	21,4	-	-	(N. K. Sari et al., 2022)
23.	Alkali LCNF+pati+gliserol+cuka putih	Komposit	2,983	35	-	-	(Chong et al., 2021)
24.	Tongkol jagung yang diubah menjadi <i>Graphene Oxide</i> (GO) & <i>Carbon Nanodots</i> (CD) + gliserol	Komposit	0,8	17,5	12	51,43	(Johannes et al., 2021)

No	Bahan	Metode	Uji Kuat Tarik (Mpa)	Uji Elongasi (%)	Uji Biodegradasi (Hari)	Uji Daya Serap (%)	Referensi
25.	Serbuk tongkol jagung + HDPE + MAPE	Komposit	31,7	-	-	33,6	(Adefisan & McDonald, 2019)
26.	Pati dari limbah tongkol jagung + kalsium silikat + kalsium karbonat	<i>Blending</i>	2,1	35	30	-	(Hilmi et al., 2021)
27.	Pati jagung + asam asetat + gliserol	<i>Blending</i>	2,5	50	60	-	(D. Y. Sari et al., 2023)
28.	Pati jagung + pati beras + gliserol	<i>Blending</i>	2,3	40	45	-	(Bio-plastics, 2019)
29.	Pati jagung + gliserol + sorbitol	<i>Blending</i>	3,0	60	50	-	(Abotbina et al., 2021)
30.	Pati jagung + serat tunas bambu dari tiga spesies(<i>Dendrocqlamus asper</i> , <i>Bambusa vulgaris</i> , <i>Gigantochloa apus</i>)	Komposit	3,5	35	40	-	(Casiño et al., 2023)
31.	Pati bonggol jagung + gliserol + CMC	Metode casting	11,96	-	6	26,02	(Ihsan & Ratnawulan, 2024)
32.	Pati Jagung, bubuk tongkol jagung, sabut kelapa + gliserol, asam asetat, natrium benzoat	Komposit	-	-	45	-	(Paudel & Janaswamy, 2024)
33.	Pati tudung jagung + cuka putih, gliserol	<i>Blending</i>	-	-	250	2,96	(Latif et al., 2024)
34.	Tongkol jagung + polipropilena, NiMi berbasis arang, kalium	<i>Blending</i>	-	-	-	-	(Zhou et al., 2023)
35.	Pati tongkol jagung + gliserol + sorbitol	<i>Blending</i>	0,423	6,64	-	-	(Ihsan & Ratnawulan, 2023)
36.	<i>Poly lactic acid</i> (PLA) + <i>filler</i> sabut kelapa dan kitosan	<i>Blending</i>	44,23	-	36	-	(Silvia & Ridwan, 2023)
37.	<i>Potato starch</i> / Agar composite + nanokristal ZnO	Komposit	-	-	28	-	(Rojas et al., 2024)
38.	Pati sagu dan karet alam + gliserol	<i>Blending</i>	20,733	-	298	-	(Cheong et al., 2010)
39.	Pati talas + minyak kastor+kitosan	<i>Blending</i>	11,740	18,905	-	-	(Hasan et al., 2019)
40.	Polihidroksialkanoat + asam (PHA-g-AA)	Komposit	10	40	30	60	(Wu, 2014)

No	Bahan	Metode	Uji Kuat Tarik (Mpa)	Uji Elongasi (%)	Uji Biodegradasi (Hari)	Uji Daya Serap (%)	Referensi
dan sekam padi (RH)							
41.	Pati singkong + glukomanan, kitosan, ZnO, dan CMC	Komposit	2022,2 3	-	63	-	(Hasan et al., 2019)
42.	Tepung talas + PVA, gliserol, asam sitrat dan CaCO ₃	<i>Solution casting</i>	-	-	70	56,30	(Saraswati et al., 2023)
43.	Tepung jagung + kitosan, gliserol, CaCO ₃ , asam asetat	<i>Casting</i>	0,1208	60	91.43	-	(D. Y. Sari et al., 2023)
44.	Pati tapioka (<i>tapioca starch</i>) + polivinil alkohol (Polyvinyl Alcohol-PVA), silika <i>aerogel</i>	Komposit	8,90	-	-	1,24	(Harsojuwono et al., 2020)

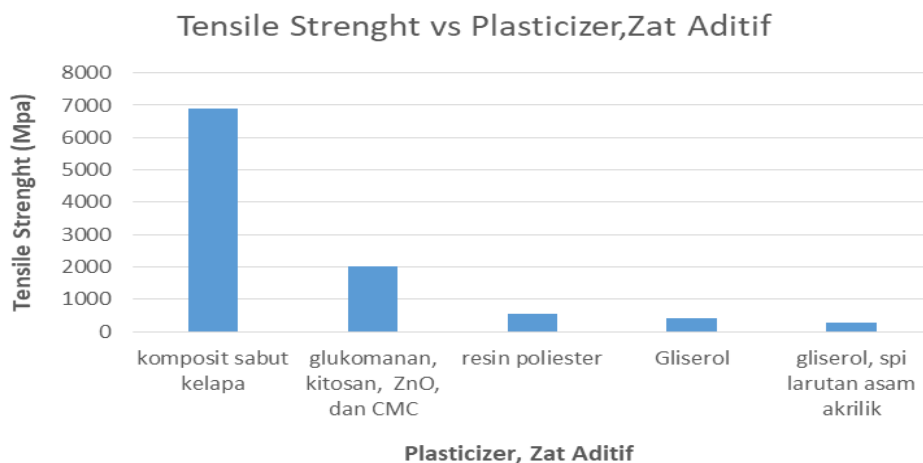
Berdasarkan Gambar pada Grafik 1, nilai kuat tarik (tensile strength) tertinggi yang diperoleh mencapai 6884 MPa, yang dihasilkan dari kombinasi bahan baku tongkol jagung, sabut kelapa, dan bubuk kayu sebagai komposit (Pratheep et al., 2021). Hasil uji mekanis menunjukkan bahwa penambahan bubuk tongkol jagung dan sabut kelapa secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik pada komposit kayu plastik berbasis limbah.

Serat alami seperti tongkol jagung dan sabut kelapa dikenal memiliki kandungan selulosa yang tinggi, yang berkontribusi besar terhadap sifat mekanik, khususnya kekuatan tarik (Mohanty et al., 2005). Kandungan selulosa ini memperkuat interaksi antara serat dan matriks, sehingga menghasilkan struktur material komposit yang lebih kuat dan tahan terhadap gaya tarik eksternal (Satyanarayana et al., 2009).

Di sisi lain, bahan tambahan seperti glukomanan dan kitosan memiliki kekuatan mekanik sedang (Rhim, Park, et al., 2006). Penambahan partikel ZnO pada formulasi komposit berperan sebagai penguat melalui peningkatan interaksi antar molekul, sedangkan carboxymethyl cellulose (CMC) berfungsi untuk meningkatkan stabilitas mekanis sistem (Espitia et al., 2012). Meskipun demikian, kekuatan tarik yang dihasilkan dari kombinasi ini masih belum dapat menyamai kinerja serat alami seperti sabut kelapa (Khalil et al., 2012).

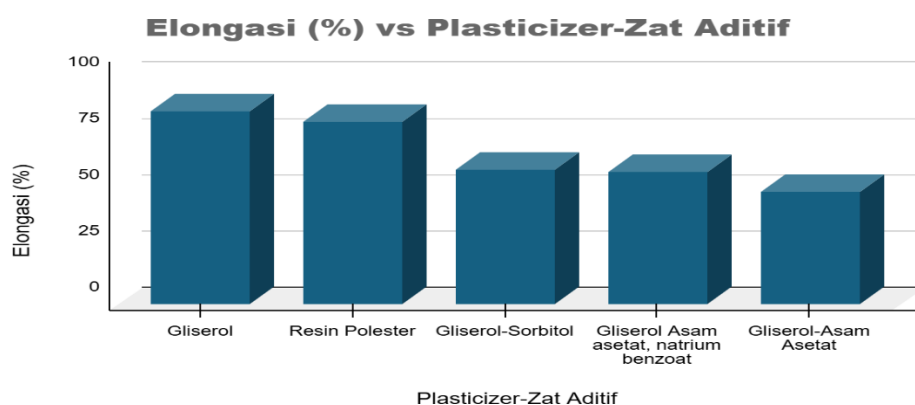
Resin poliester yang digunakan sebagai matriks dalam komposit memiliki sifat mekanik sedang, dengan karakteristik kaku namun rapuh (Wambua et al., 2003). Tanpa adanya penguat tambahan, resin ini kurang mampu menahan gaya tarik yang besar (Holbery & Houston, 2006). Penambahan gliserol sebagai plasticizer memang meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas material, namun menyebabkan penurunan kekuatan tarik akibat melemahnya interaksi antar rantai polimer (Sanyang et al., 2016). Demikian pula, penggunaan asam akrilik sebagai

modifikator struktur material cenderung menurunkan kekuatan tarik karena meningkatkan elastisitas dan mengurangi kekakuan struktur material komposit (George et al., 2001).



Gambar 1. Perbandingan *Tensile Strength* dan *Plasticizer*, *Zat Aditif*

Pada Gambar 2, penambahan gliserol pada bioplastik menghasilkan nilai elongasi yang tinggi karena gliserol efektif dalam melemahkan ikatan antar molekul polimer, sehingga meningkatkan kelenturan material (Sanyang, Sapuan, et al., 2015). Sifat hidrofiliknya membuat gliserol kompatibel dengan polimer alami, memungkinkan distribusi molekul yang lebih merata dalam matriks (Ibrahim et al., 2019). Selain itu, gliserol memiliki viskositas rendah yang memudahkan pencampuran dengan polimer dan meningkatkan elongasi (Nair et al., 2011). Oleh karena itu, penambahan gliserol sebagai plasticizer dapat menghasilkan elongasi tertinggi dibandingkan dengan plasticizer dan zat aditif lainnya seperti resin poliester, gliserol-sorbitol, gliserol-asam asetat, dan natrium benzoat (Sanyang et al., 2016).



Gambar 2. Perbandingan Elongasi dengan *Plasticizer* dan *Zat Aditif*

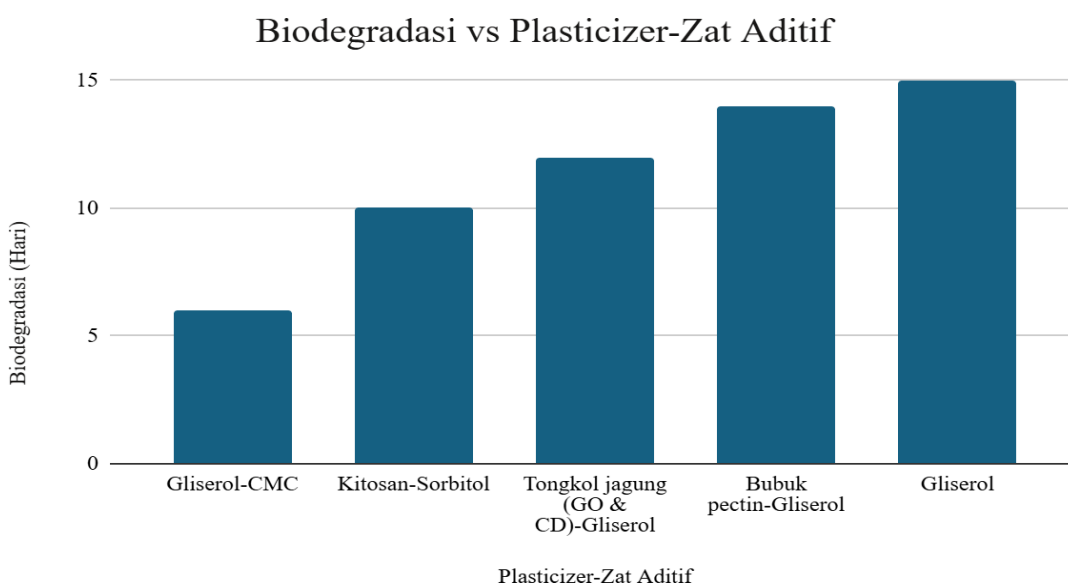
Pada Gambar 3, penambahan kombinasi gliserol–CMC menghasilkan biodegradasi tercepat yaitu dalam waktu 6 hari (Sanyang et al., 2016). Hal ini dikarenakan CMC (Carboxymethyl Cellulose) merupakan polimer alami yang larut dalam air dan meningkatkan

kerentanan material terhadap penguraian oleh mikroorganisme (Fama et al., 2005). Kombinasi dengan gliserol menciptakan struktur yang lebih fleksibel dan lebih mudah dihancurkan oleh aktivitas biologis (Sanyang, Ishak, et al., 2015).

Kombinasi kitosan–sorbitol menunjukkan waktu biodegradasi yang sedikit lebih lama dibandingkan gliserol–CMC, karena kitosan merupakan biopolimer alami dengan sifat antimikroba yang memperlambat aktivitas mikroorganisme (Rhim, Mohanty, et al., 2006). Namun, kombinasi ini tetap memungkinkan biodegradasi karena sorbitol sebagai plasticizer meningkatkan fleksibilitas material dan menurunkan tingkat kristalinitas (Bonilla et al., 2013).

Pada kombinasi tongkol jagung yang telah dimodifikasi menjadi Graphene Oxide (GO) dan Carbon Nanodots (CD) dengan gliserol, waktu biodegradasi mencapai sekitar 12 hari. Hal ini disebabkan oleh kandungan lignoselulosa dalam tongkol jagung yang membentuk struktur lebih kompleks dan tahan terhadap degradasi biologis (Lee et al., 2014). Meskipun demikian, keberadaan gliserol membantu meningkatkan fleksibilitas dan keteruraian oleh mikroorganisme (Thakur et al., 2017).

Kombinasi pektin dan gliserol menunjukkan waktu biodegradasi sekitar 13 hari. Pektin sebagai polisakarida yang larut dalam air mempermudah degradasi karena membentuk titik-titik lemah dalam struktur bahan (Thakur et al., 2017). Sementara itu, gliserol murni memiliki waktu biodegradasi paling lama, yakni sekitar 15 hari, menunjukkan bahwa meskipun gliserol memperbaiki fleksibilitas, struktur materialnya lebih stabil terhadap penguraian mikroba (Isiaka et al., 2015). Secara umum, kombinasi zat aditif alami dengan gliserol sangat memengaruhi kecepatan biodegradasi dengan cara meningkatkan titik lemah struktural atau memperkuat interaksi antara material dan mikroorganisme (Ilyas et al., 2018).



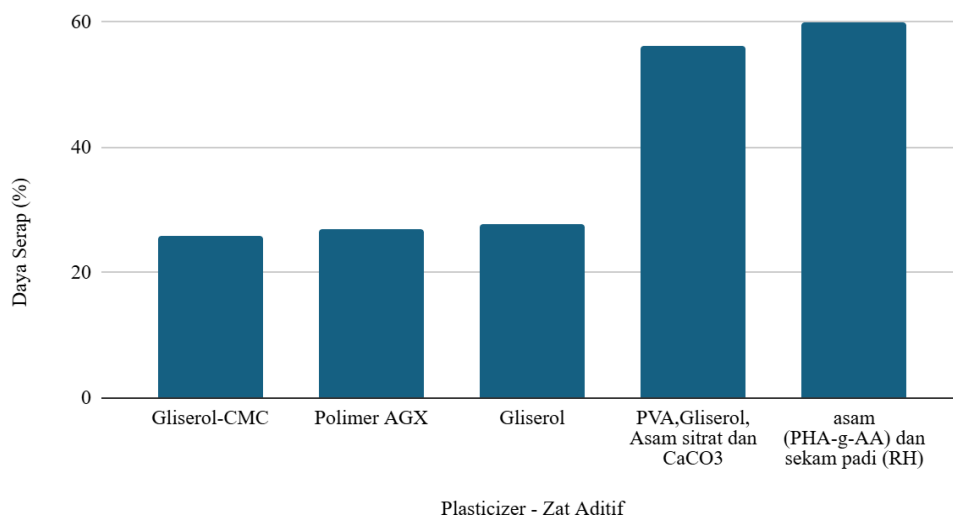
Gambar 3. Perbandingan Biodegradasi dengan *Plasticizer*, Zat Aditif

Berdasarkan Gambar 4, dapat diketahui bahwa penambahan gliserol dan CMC memiliki

daya serap terbaik, kombinasi diantara keduanya menghasilkan daya serap terkecil yaitu sebesar 26,02%. Dimana daya serap air yang semakin tinggi maka menunjukkan bioplastik yang dihasilkan memiliki daya tahan rendah apabila terkena air dan sebaliknya. Gliserol berfungsi sebagai *plasticizer* yang meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas bahan, tetapi kombinasi dengan CMC yang bersifat hidrofilik cenderung membatasi kemampuan bahan menyerap air secara signifikan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh jaringan yang lebih rapat sehingga pengikatan molekul air menjadi lebih sulit. Selain itu, kemampuan daya serap yang rendah juga dapat disebabkan oleh dominasi sifat plastis dari gliserol, yang mengurangi jumlah situs aktif pada matriks untuk berinteraksi dengan molekul air. Akibatnya, meskipun CMC memiliki sifat hidrofilik, daya serap total tetap lebih kecil dibandingkan kombinasi bahan lain pada grafik. Sedangkan penambahan bioplastik berbahan dasar Polihidroksialkanoat dengan penambahan asam (PHA-g-AA) dan sekam padi (RH) menghasilkan % daya serap sangat tinggi yaitu sebesar 60%.

Daya serap yang tinggi dari bioplastik berbahan Polihidroksialkanoat (PHA-g-AA) dan RH disebabkan oleh kombinasi dari sifat hidrofilik yang dimiliki oleh kedua komponen tersebut. Kehadiran kelompok hidroksil pada sekam padi dan kelompok karboksilat pada PHA-g-AA memungkinkan terjadinya interaksi dengan air, meningkatkan kemampuan penyerapan air pada komposit ini. Struktur berpori dari sekam padi juga berkontribusi besar pada kapasitas serapnya. Dengan demikian, komposit ini dapat menyerap lebih banyak air dibandingkan dengan bioplastik lainnya yang tidak mengandung bahan hidrofilik atau berpori.

Daya Serap vs Plasticizer - Zat Aditif



Gambar 4. Perbandingan Daya Serap dengan *Plasticizer*, Zat Aditif

Penambahan Ide Pembuatan Bioderadable Plastik

Berdasarkan beberapa jurnal yang telah di *review*, menurut (Prateep, 2019) hasil penelitian pembuatan bioplastik yang terbuat dari tongkol jagung dan *filler* sabut kelapa

menunjukkan hasil *tensile strength* tertinggi. Oleh karena itu diperlukan penambahan bahan tambahan untuk meningkatkan kualitas bioplastik, karena *tensile strength* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan bioplastik menjadi terlalu kaku. Menurut (Mukhlisien, 2021) pembuatan bioplastik berbahan dasar tongkol jagung dan penambahan *plasticizer* gliserol diperoleh elongasi terbaik yaitu sebesar 86 % karena gliserol memiliki sifat hidrofilik.

Selain itu menambahkan CMC sebagai bahan aditif mampu meningkatkan biodegradabilitas dan menurunkan daya serap hal ini ditunjukkan pada penelitian menurut (Heni, 2024) dengan bahan baku tongkol jagung dan penambahan CMC + gliserol didapatkan hasil uji biodegradabilitas terbaik selama 6 hari dan uji daya serap sebesar 26,02%. Sehingga tambahan ide untuk melakukan penelitian baru kedepannya yaitu dengan Judul “Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Tongkol Jagung dengan Penambahan Sabut Kelapa dan CMC serta *plasticizer* Gliserol”

4. Kesimpulan

Bioplastik berbasis tongkol jagung menunjukkan potensi besar sebagai material ramah lingkungan yang dapat menggantikan plastik sintetis. Tongkol jagung, yang kaya akan selulosa dan merupakan limbah pertanian, dapat dimanfaatkan melalui berbagai metode seperti *solution casting*, *composite preparation*. Kombinasi tongkol jagung dengan *filler* sabut kelapa, *plasticizer* gliserol dan bahan tambahan seperti CMC mampu meningkatkan kualitas dari bioplastik yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abotbina, W., Sapuan, S. M., Sultan, M. T. H., Alkbir, M. F. M., & Ilyas, R. A. (2021). *Development and Characterization of Cornstarch-Based Bioplastics Packaging Film Using a Combination of Different Plasticizers*. 1–18.
- Adefisan, O. O., & McDonald, A. G. (2019). Evaluation of the strength, sorption and thermal properties of bamboo plastic composites. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 21(1), 3–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000101>
- Afdal, K., Herawati, N., & Hasri, H. (2022). Pengaruh Konsentrasi Sorbitol sebagai Plasticizer pada Pembuatan Plastik Biodegradable dari Tongkol Jagung. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 23(1), 67. <https://doi.org/10.35580/chemica.v23i1.33918>
- Bio-plastics, R. S. (2019). *Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials*. 1–14.
- Bonilla, J., Atar'es, L., Vargas, M., & Chiralt, A. (2013). Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 9–16.
- Buddhakala, M., & Buddhakala, N. (2023). Physical, Mechanical and Antibacterial Properties of Biodegradable Bioplastics from Polylactic Acid and Corncob Fibers with Added Nano Titanium Dioxide. *Trends in Sciences*, 20(4). <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6473>
- Caicedo, C., Díaz-Cruz, C. A., Jiménez-Regalado, E. J., & Aguirre-Loredo, R. Y. (2022). Effect of Plasticizer Content on Mechanical and Water Vapor Permeability of Maize

- Starch/PVOH/Chitosan Composite Films. *Materials*, 15(4).
<https://doi.org/10.3390/ma15041274>
- Casiño, V. J. A., Delos, N. Q., Jr, R., Casas, R. Y., Saldo, I. J. P., Pen, M. J., Jade, M., & Reinforced, C. B. (2023). *Characterization of Cornstarch-Based Bioplastic Reinforced with Three Different Species of Bamboo Shoots*. 11(1), 25–33.
<https://doi.org/10.12691/env-11-1-4>
- Chan, M. Y., Koay, S. C., Husseinsyah, S., & Sam, S. T. (2018). Cross-linked Chitosan/Corn Cob Biocomposite Films with Salicylaldehyde on Tensile, Thermal, and Biodegradable Properties: A Comparative Study. *Advances in Polymer Technology*, 37(4), 1229–1239.
<https://doi.org/10.1002/adv.21784>
- Cheong, K. S., Balasubramaniam, J. R., Hung, Y. P., Chuong, W. S., & Amartalingam, R. (2010). Development of Biodegradable Plastic Composite Blends Based on Sago Derived Starch and Natural Rubber. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 18(2), 411–420.
- Chong, T. Y., Chan, Y. S., Law, M. C., Kim, J., & Ling, U. (2021). The Thermo-Mechanical Properties of Corn Cob Lignin-Containing Cellulose Nanofibril Reinforced Bioplastics. *Research Square*, 1–21.
- De Carli, C., Aylanc, V., Mouffok, K. M., Santamaria-Echart, A., Barreiro, F., Tomás, A., Pereira, C., Rodrigues, P., Vilas-Boas, M., & Falcão, S. I. (2022). Production of chitosan-based biodegradable active films using bio-waste enriched with polyphenol propolis extract envisaging food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213(January), 486–497.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.155>
- Dewajani, H., Rachmawati, D., Nabilla, C. B., & Novianti, F. T. (2024). Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Bonggol Jagung dengan Penambahan Minyak Atsiri Sebagai Antioksidan Preparation of Bioplastic from Corn Cob Starch with the Addition of Essential Oils as Antioxidants. *Jurnal Lmiah Teknik Kimia*, 21(3), 194–201.
- Diani, J., & Gall, K. (2006). Finite Strain 3D Thermoviscoelastic Constitutive Model. *Society*, 51(7), 1–10. <https://doi.org/10.1002/pen>
- Escamilla-García, M., García-García, M. C., Gracida, J., Hernández-Hernández, H. M., Granados-Arvizu, J. Á., Di Pierro, P., & Regalado-González, C. (2022). Properties and Biodegradability of Films Based on Cellulose and Cellulose Nanocrystals from Corn Cob in Mixture with Chitosan. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18).
<https://doi.org/10.3390/ijms231810560>
- Espitia, P. J. P., Soares, N. F. F., dos Reis Coimbra, J. S., de Andrade, N. J., Cruz, R. S., & Azevedo, E. A. (2012). Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1447–1464.
- Fama, L., Rojas, A. G., Goyanes, M., Gerschenson, G., & Goyanes, S. (2005). Gelling and emulsifying properties of corn and cassava starches modified with carboxymethyl cellulose and their use in edible films. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 941–950.
- George, J., Sreekala, M. S., & Thomas, S. (2001). The effect of acrylic acid grafting on the mechanical and thermal properties of pineapple leaf fibre reinforced polyethylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32(7), 787–795.
- Harsojuwono, B. A., Mulyani, S., & Arnata, I. W. (2020). Bio-plastic composite characteristics of the modified cassava starch-glucomannan in variations of types and addition of

- fillers. *Journal of Applied Horticulture*, 22(3), 176–183. <https://doi.org/10.37855/jah.2020.v22i03.32>
- Harussani, M. M., Sapuan, S. M., Firdaus, A. H. M., El-Badry, Y. A., Hussein, E. E., & El-Bahy, Z. M. (2021). Determination of the tensile properties and biodegradability of cornstarch-based biopolymers plasticized with sorbitol and glycerol. *Polymers*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/polym13213709>
- Hasan, M., Zulfadli, Nazar, M., Rahmayani, R. F. I., Fajri, G., & Fansuri, H. (2019). Thermomechanical and morphology of biodegradable film made of taro starch and chitosan plasticized by castor oil. *Rasayan Journal of Chemistry*, 12(3), 1390–1398. <https://doi.org/10.31788/RJC.2019.1235326>
- Hilmi, A., Radtra, A., Udjiana, D. S., Si, M., Kimia, J. T., Malang, P. N., Soekarno, J., & No, H. (2021). *PEMBUATAN PLASTIK BIODERADABLE DARI PATI LIMBAH TONGKOL JAGUNG (ZEA MAYS) DENGAN PENAMBAHAN FILLER KALSIUM SILIKAT DAN KALSIUM KARBONAT*. 7(9), 427–435.
- Holbery, J., & Houston, D. (2006). Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. *JOM*, 58(11), 80–86.
- Husseinsyah, S., Yeng, C. M., & Mann, T. K. (2015). *Chemical Treatment on Corn Cob by Acrylic Acid and Its Reinforced Soy Protein Isolated / Corn Cob Biocomposite Films*. <https://doi.org/10.1002/vnl>
- Ibrahim, S. H., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Zuhri, M. Y. M., & Atikah, M. S. N. (2019). Effect of plasticizers on the mechanical and thermal properties of starch-based bioplastics: A review. *Polymers*, 11(12), 1933.
- Iheanacho, B. C., Ajoge, H. N., Ismail, U., Zoum, F. A., Ifeanyi-Nze, F. O., Okunbi, F. O., Edeh, C. F., Chimezie, N. N., Udoh, E. A., Nworie, J. O., Oseni, T. O., Mark, M. U., Akpowu, G. A., Kolapo, D. A., Odibo, A. O., Edun, O. J., Zogini, U. C., & Ekwunwue, C. O. (2024). A Comprehensive Study on the Production and Characterization of Eco-Friendly Biodegradable Plastic Films from Dent Corn Starch. *Archives of Advanced Engineering Science*, XX(March), 1–10. <https://doi.org/10.47852/bonviewaaes42022946>
- Ihsan, M. B., & Ratnawulan. (2023). Effect of Carboxymethyl Cellulose (CMC) Addition on the Quality of Biodegradable Plastic from Corn Cob. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5117–5125. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.4010>
- Ihsan, M. B., & Ratnawulan, R. (2024). The Effect of Carboxymethyl Cellulose (CMC) Addition on The Quality of Biodegradable Plastic from Corn Cob. *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 10–16. <https://doi.org/10.29303/jossed.v5i1.4000>
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., & Harussani, M. M. (2018). Biodegradation of biopolymer composites: A review. *Polymers*, 10(12), 1349.
- Isiaka, O., Okikiola, A., Funto, O., & Opeyemi, B. (2015). Effect of Corn Cob Particulate on the Mechanical and Biodegradability Properties of Reinforced Polyester Composites. *American Journal of Materials Science and Technology*, 4(3), 125–136. <https://doi.org/10.7726/ajmst.2015.1010>
- Johannes, A. Z., Pingak, R. K., Sutaji, H. I., & Bukit, M. (2021). A preliminary study of bioplastic composites based on carbon materials from paper waste and corn waste. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2017/1/012004>

- Jumaidin, R., Shafie, S., Ilyas, R. A., & Muchlis. (2023). Effect of Coconut Fiber Loading on the Morphological, Thermal, and Mechanical Properties of Coconut Fiber Reinforced Thermoplastic Starch/Beeswax Composites. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 31(S1), 157–173. <https://doi.org/10.47836/pjst.31.S1.09>
- Khalil, H. P. S. A., Bhat, A. H., & Yusra, A. F. I. (2012). Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 963–979.
- Latif, S., Ahmed, M., Ahmed, M., Ahmad, M., Al-Ahmary, K. M., & Ali, I. (2024). Development of Plumeria alba extract supplemented biodegradable films containing chitosan and cellulose derived from bagasse and corn cob waste for antimicrobial food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 266(P1), 131262. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131262>
- Lee, S. H., Doh, W. H., & Cho, M. S. (2014). Lignocellulose-based composites for bioplastics. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 2641–2645.
- Martinez Villadiego, K., Arias Tapia, M. J., Useche, J., & Escobar Macías, D. (2022). Thermoplastic Starch (TPS)/Polylactic Acid (PLA) Blending Methodologies: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(1), 75–91. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02207-1>
- Mitantsoa, J. T., Ravelonandro, P. H., Arimalala, F., & Rafihavanana, R. (2021). Elaboration and characterization of bioplastic films based on bitter cassava starch (Manihot esculenta) reinforced by chitosan extracted from crab (Shylla seratta) shells. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 9(6), 1–14.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: An introduction. In *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (pp. 1–36). CRC Press.
- Mohd Zain, A. H., Ab Wahab, M. K., & Ismail, H. (2019). Effect of Calcium Carbonate Incorporation on the Properties of Low Linear Density Polyethylene/Thermoplastic Starch Blends. *Journal of Engineering Science*, 15(2), 97–108. <https://doi.org/10.21315/jes2019.15.2.7>
- Montazeri, M., & Amar, H. (2021). *Kajian Pembuatan Film Plastik Biodegradable Dari Ekstrak Bonggol Jagung*. 2(1), 1–5.
- Montero, B., Rico, M., Barral, L., Bouza, R., López, J., Schmidt, A., & Bittmann-Hennes, B. (2021). Preparation and characterization of bionanocomposite films based on wheat starch and reinforced with cellulose nanocrystals. *Cellulose*, 28(12), 7781–7793. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04017-z>
- Mulyana, E., Purnamasari, I., & Yerizam, M. (2024). Plastik Biodegradable Dari Selulosa Tongkol Jagung Menggunakan Metode Solution Casting. *Jurnal Daur Lingkungan Agustus*, 2024(2), 11–16. <https://doi.org/10.33087/daurling.v7i2.308>
- Mustapha, A., Jai, J., Noorsuhana, M. Y., Iranati, Z., Sharif, M., Fatin, N., Yusof, N. M., & Idris, S. A. (2018). Characterization of Biocomposite Film Coating for Food Paper Packaging. *Article in International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 325–330. <https://www.researchgate.net/publication/329100821>
- Nair, S. S., Dufresne, A., & Ragauskas, A. J. (2011). Polysaccharide nanocomposites reinforced using nanocrystalline cellulose. *Polymer Advanced Technologies*, 22(5), 595–606.
- Nanda, A., & Singh, N. (2022). Preparation and Antimicrobial Activity of Corn Cob and Coir Reinforced Biodegradable Starch Biocomposite Films for Food Packaging Application.

- Asian Food Science Journal*, 21(7), 53–66.
<https://doi.org/10.9734/afsj/2022/v21i730440>
- Noor Isnaini Azkiya, S. Sigit Udjiana, Arya Rizqy Irangga, & Anatasya Tania Febiyanti. (2023). The Potential of Cassava Peel Waste as a Material of Biodegradable Plastic using Calcium Silicate Filler. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 7(2), 85–91.
<https://doi.org/10.33795/jtkl.v7i2.1721>
- Nurhayati, I., Kurniawati, C. T., & Kholif, M. Al. (2025). Sustainable Bioplastics from Sweet Corn Cob Waste: Influence of Zinc Oxide and Glycerol on Mechanical Properties and Biodegradability. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.26554/ijems.2025.9.1.1-11>
- Pangestu, A. R., Shara, R. T., & Mufrodi, Z. (2019). Biodegradable Plastic from Cassava and Organic Acid as a Synthetic Plastic Replacement. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.26555/chemica.v6i1.13721>
- Paudel, S., & Janaswamy, S. (2024). Corncob-derived biodegradable packaging films: A sustainable solution for raspberry post-harvest preservation. *Food Chemistry*, 454(April), 139749. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139749>
- Prateep, V. G., Priyanka, E. B., Gousanal, J. J., Antony, P. T. B., & Kavin, E. D. (2020). *Bahan Hari Ini : Prosiding kayu plastik Machine Translated by Google*. xxxx.
- Pratheep, V. G., Priyanka, E. B., Thangavel, S., Gousanal, J. J., Antony, P. T. B., & Kavin, E. D. (2021). Investigation and analysis of corn cob, coir pith with wood plastic composites. *Materials Today: Proceedings*, 45(xxxx), 549–555.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.288>
- Prayudi, T., & Susanto, J. P. (2001). Pengaruh ukuran partikel chitosan pada proses degradasi limbah cair tekstil. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(3), 296–299.
- Rhim, J. W., Mohanty, A. K., Singh, S. P., & Drzal, L. T. (2006). Effect of the processing methods on the performance of bioplastic films based on polylactic acid and natural materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 101(6), 3736–3742.
- Rhim, J. W., Park, H. K., Ha, C. S., & Rhim, Y. W. (2006). Mechanical and barrier properties of biodegradable cellulose films prepared from rice straw. *LWT - Food Science and Technology*, 39(6), 616–622.
- Rojas, M. L., Asmat-Campos, D., Carreño-Ortega, A., & Raquel-Checca, N. (2024). Physical and thermal improvement of bioplastics based on potato starch/agar composite functionalized with biogenic ZnO nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282(October). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137468>
- Sanyang, M. L., Ishak, M. N. A., Sapuan, S. M., & Rahman, A. R. A. (2015). Effect of plasticizers on mechanical and thermal properties of sugar palm starch-based films. *Starch - Stärke*, 67(9–10), 719–728.
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2015). Effect of plasticizers on mechanical and thermal properties of sugar palm starch-based films. *Starch - Stärke*, 67(9–10), 719–728.
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm starch. *Polymers*, 8(7), 246.

- Saraswati, E., Syahbanu, I., Kimia, A. J., Matematika, F., Ilmu, D., Alam, P., & Tanjungpura, U. (2023). Characteristic of Biodegradable Plastic with PVA Polymer and Calcium Carbonate (CaCO₃) Filler. *Jurnal ILMU DASAR*, 24(1), 83.
- Sari, D. Y., Jonuarti, R., & Hidayat, R. (2023). MAKING OF BIODEGRADABLE PLASTIC BASED ON CORN STARCH (*Amylum Maydis*) WITH ADDITION OF ACID (? ? ? ? ?) AND GLISEROL PLASTICIZER. 16(2), 152–161.
- Sari, N. K., Ernawati, D., & Wurjani, W. (2022). Edible Film from Corn Cob and Plasticizer with Mixing Process. *MATEC Web of Conferences*, 372, 01001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202237201001>
- Sari, N. K., Regita, A. H., Putra, D. W. D., Ernawati, D., & Wurjani, W. (2021). Optimizing Edible Film from Corn Cobs with Surface Response Method. *E3S Web of Conferences*, 328. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132808009>
- Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G. C., & Wypych, F. (2009). Natural fibre--polymer composites: Status and future. *Journal of Materials Research and Technology*, 1(2), 117–126.
- Sihotang, S. H., & Tambunan, P. M. (2022). Vol. 14 40 No. 2. 14(2), 90–99.
- Silvério, H. A., Flauzino Neto, W. P., Da Silva, I. S. V., Rosa, J. R., Pasquini, D., De Assunção, R. M. N., Da Silva Barud, H., & Ribeiro, S. J. L. (2014). Mechanical, thermal, and barrier properties of methylcellulose/cellulose nanocrystals nanocomposites. *Polimeros*, 24(6), 683–688. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1691>
- Silvia, D., & Ridwan, R. (2023). Increasing the Mechanical Properties of Biodegradable Plastic Based on Poly Lactic Acid (Pla) With the Addition of Coconut Coil (Coir) and Chitosan. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, 21(01). <https://doi.org/10.30811/jstr.v21i01.4231>
- Slavutsky, A. M., Bertuzzi, M. A., & Armada, M. (2012). Water barrier properties of starch-clay nanocomposite films. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15(3), 208–218. <https://doi.org/10.1590/s1981-67232012005000014>
- Susanti, A., & Malang, P. N. (2024). Antimicrobial Activity of Biodegradable Plastic Based On Antimicrobial Activity of Biodegradable Plastic Based on Corncob Waste Incorporated With Clove. April.
- Techniques, A. (2022). Corn Cob Char as Catalyst Support for Developing Carbon Nanotubes from Waste Polypropylene Plastics : Comparison of Activation Techniques.
- Thakur, R. A., Thakur, V. K., & Arotiba, O. A. (2017). Pectin-based materials in water purification: Fabrication, characterization and applications. *Carbohydrate Polymers*, 180, 273–283.
- Wambua, P., Ivens, J., & Verpoest, I. (2003). Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 63(9), 1259–1264.
- Wu, C. (2014). Preparation and Characterization of Polyhydroxyalkanoate Bioplastic-Based Green Renewable Composites from Rice Husk. <https://doi.org/10.1007/s10924-014-0662-y>
- Zhou, H., Mao, Y., Zheng, Y., Liu, T., Yang, Y., Si, C., Wang, L., & Dai, L. (2023). Complete conversion of xylose-extracted corncob residues to bioplastic in a green and low carbon footprint way. *Chemical Engineering Journal*, 471(June), 144572. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144572>.