

**CHARACTERISTICS OF BIOTHERMOPLASTIC COMPOSITES FROM
THERMOPLASTIC STARCH/THERMOPLASTIC GLUCOMANNAN/POLYLACTIC
ACID IN VARIOUS TYPES AND CONCENTRATIONS OF COMPATIBILIZER**

**KARAKTERISTIK KOMPOSIT BIOTHERMOPLASTIK DARI PATI
TERMOPLASTIK/GLUKOMANAN TERMOPLASTIK/POLIASAM LAKTAT
DALAM VARIASI JENIS DAN KONSENTRASI COMPATIBILIZER**

**Ruth Natasya Octaviani Saragih¹, Bambang Admadi Harsojuwono^{1*}, Lutfi Suhendra¹,
Amna Hartiati¹, Sri Suhartini²**

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus
Bukit Jimbaran, Badung, Indonesia

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang,
Indonesia

Diterima 11 Agustus 2024 / Disetujui 17 September 2024

ABSTRACT

Biotermoplastik is a one of the innovation to improve the physical and mechanical properties of bioplastics. This study aims to determine the effect of the type and concentration of compatibilizer on the characteristics of biotermoplastic composites and to determine the type and concentration of the right compatibilizer to produce the best characteristics of biotermoplastic composites of thermoplastic starch/thermoplastic glucomannan/polylactic acid (TPS/TPG/PLA). This research utilizes a Completely Randomized Design (CRD) with 6 treatments, namely J1K1 (maleic acid anhydride 5%), J1K2 (maleic acid anhydride 7,5%), J1K2 (maleic acid anhydride 10%), J2K1 (stearic acid 5%), J2K2 (stearic acid 7,5%), and J2K3 (stearic acid 10%), with 3 replications. The variables observed in this study were tensile strength, elongation at break, elasticity, swelling, density, melting point and biodegradation time. The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and further tested using the Honestly Significant Difference (HSD) test. The results showed that the type and concentration of compatibilizer had a very significant effect on the values of tensile strength, elongation at break, elasticity, swelling, density, melting point and biodegradation time. The best characteristics of biotermoplastic composites of thermoplastic starch/thermoplastic glucomannan/polylactic acid were obtained by using 10% anhydrous maleic acid compatibilizer with a tensile strength value of 30.43 MPa, an elongation at break of 0.90%, elasticity of 3.38 GPa, swelling of 0.51%, density of 1.52 g/cm³, melting point of 149.77°C and biodegradation time of 17.667 days.

Keywords: *Biotermoplastic composites, compatibilizer, thermoplastic glucomannan, thermoplastic starch, polyolactic acid*

ABSTRAK

Biotermoplastik adalah salah satu inovasi yang dilakukan untuk meningkatkan dan memperbaiki sifat fisik dan mekanik dari bioplastik. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh jenis dan konsentrasi *compatibilizer* terhadap karakteristik komposit biotermoplastik serta menentukan jenis dan konsentrasi *compatibilizer* yang tepat untuk menghasilkan karakteristik terbaik dari komposit biotermoplastik pati termoplastik/glukomanan termoplastik/poliasam laktat (TPS/TPG/PLA). Penelitian ini menggunakan

* Korespondensi Penulis :
Email: bambang.admadi@unud.ac.id

Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan yaitu J1K1 (asam maleat anhidrat 5%), J1K2 (asam maleat anhidrat 7,5%), J1K3 (asam maleat anhidrat 10%), J2K1 (asam stearat 5%), J2K2 (asam stearat 7,5%) dan J2K3 (asam stearat 10%) dengan 3 kali ulangan. Variabel yang diamati pada penelitian ini meliputi kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, densitas, titik leleh dan waktu biodegradasi. Data dianalisis sidik ragam (ANOVA) dan diuji lanjut menggunakan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, densitas, titik leleh dan waktu biodegradasi. Karakteristik terbaik dari komposit biotermoplastik pati termoplastik/glukomanan termoplastik/poliasam laktat diperoleh dengan menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat 10% dengan nilai kuat tarik 30,43 MPa, nilai perpanjangan saat putus 0,90%, elastisitas 3,38 GPa, pengembangan tebal 0,51%, densitas 1,52 g/cm³, titik leleh 149,77°C dan waktu biodegradasi 17,667 hari.

Kata kunci : komposit biotermoplastik, kompatibelizer, glukomanan termoplastik, pati termoplastik, poliasam laktat.

PENDAHULUAN

Bioplastik adalah satu produk polimer sintetik yang sangat populer karena memiliki keunggulan seperti fleksibel, ringan, tahan lama dan tidak mudah pecah (Hartatik et al., 2014). Adanya keunggulan tersebut menjadikan plastik banyak dipergunakan dalam kehidupan sehari-hari. Plastik biasa digunakan untuk berbagai peralatan rumah tangga, peralatan otomotif, berbagai macam wadah, peralatan, dan kemasan. Disamping keunggulan yang dimiliki, ternyata plastik juga memberikan dampak buruk bagi lingkungan yaitu sebagai pencemar lingkungan karena plastik yang terbuat dari minyak bumi sulit dirurai oleh mikroba (Harsojuwono et al., 2022; Saputra & Supriyo, 2020)

Guna mengurangi pencemaran lingkungan akibat sampah plastik, perlu dikembangkan plastik *biodegradable*. Plastik jenis ini mempunyai karakteristik mirip plastik sintetis dari bahan baku minyak bumi tapi sangat mudah diurai oleh mikroorganisme (Albar et al., 2021). Salah satu plastik *biodegradable* adalah komposit biotermoplastik yaitu campuran dua atau lebih polimer dari bahan biologis dengan bahan lain yang dapat meleleh ketika dipanaskan dan mengeras kembali ketika didinginkan (Harsojuwono et al., 2023).

Menurut Torres et al. (2007) keberhasilan pengembangan komposit biotermoplastik sebagai bahan kemasan ramah lingkungan dipengaruhi banyak faktor diantaranya jenis dan konsentrasi *compatibilizer* yang digunakan. Menurut (Waryat et al., 2013) *compatibilizer* mempunyai peranan penting dalam menentukan karakteristik komposit biotermoplastik. Lebih lanjut dijelaskan bahwa *compatibilizer* berperan sebagai jembatan penghubung antara bahan pembentuk komposit yang bersifat hidrofilik dengan hidrofobik. Harsojuwono et al. (2023) telah menghasilkan komposit biotermoplastik dari pati singkong termodifikasi, glukomanan dan poliasam laktat dengan 7,5% asam maleat anhidrat sebagai *compatibilizer* menghasilkan karakteristik komposit biotermoplastik yang baik, tetapi *elongation at breaknya* bernilai 7.18% yang belum sesuai dengan standar (SNI 7188.7:2016) yang menyebutkan bahwa nilai *elongation at break* biotermoplastik berada diantara 20-220%. (Jeziorska et al., 2018) telah mengembangkan komposit biotermoplastik dari pati termoplastik, poliasam laktat yang diperkuat 5% nanosilica menggunakan 3% pemplastis polydimethylsiloxanol dan 10% *compatibilizer* asam maleat anhidrat menghasilkan suhu transisi gelas 61,5°C dan suhu pelelehan 153°C yang lebih rendah dibanding suhu transisi gelas dan pelelehan PLA murni serta menghasilkan nilai *elongation at break* yaitu 26% yang sudah memenuhi standar SNI. Lebih lanjut dijelaskan bahwa pencampuran glukomanan termoplastik pada PLA bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik biotermoplastik tanpa mengurangi biodegradabilitas dan biokompatibilitasnya. Hasil

penelitian pendahuluan menunjukkan pemakaian 7,5% asam maleat anhidrat maupun 8,0% asam stearat dapat membentuk komposit biotermoplastik dari matrik dengan rasio pati termoplastik : glukomanan termoplastik : PLA= 52,5 : 17,5 : 22,5.

Uraian di atas menunjukkan bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh terhadap karakteristik komposit biotermoplastik. Oleh sebab itu, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis dan konsentrasi *compatibilizer* terhadap karakteristik komposit biotermoplastik serta menentukan jenis dan konsentrasi *compatibilizer* yang menghasilkan karakteristik terbaik dari komposit biotermoplastik pati termoplastik/glukomanan termoplastik/poliasam laktat (TPS/TPG/PLA).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit biotermoplastik diantaranya tepung tapioka dan glukomanan yang diperoleh dari CV. Nura Jaya, poliasam laktat (PLA) diperoleh dari CV. Bandung, gliserol dan aquadest diperoleh dari CV. Batrachem, asam maleat anhidrat dan asam stearat diperoleh dari CV. Sukses Makmur. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain gelas beker (Iwaki), gelas ukur (Iwaki), cawan petri (Iwaki), pengaduk, oven (DHG-9030A), mixer (tipe HMJ-3, rated power 400 watt, voltage 220v, frekuensi 50hz), *hotplate (Arec)*, teflon diameter 20 cm (Maxim), *polybag*, pipet tetes (Onemed), timbangan analitik (Ohaus), alat uji mekanik (ZP Recorder 50 N Imada), mikrometer sekrup (XR), alat kempa panas, *melting point analyzer*.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan yaitu J1K1 (asam maleat anhidrat 5%), J1K2 (asam maleat anhidrat 7,5%), J1K3 (asam maleat anhidrat 10%), J2K1 (asam stearat 5%), J2K2 (asam stearat 7,5%) dan J2K3 (asam stearat 10%) dengan 3 kali ulangan. Data yang didapatkan dianalisis keragamannya (ANOVA) dan diuji lanjut menggunakan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) menggunakan *software* microsoft excel.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap pelaksanaan penelitian yaitu pembuatan pati termoplastik, glukomanan termoplastik serta pembuatan komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA (Harsojuwono et al., 2023 dimodifikasi). Pembuatan pati termoplastik diawali dengan penimbangan tepung tapioka seberat 2 kg dicampur dengan 500 g pemplastis gliserol dan 300 g aquades. Bahan yang sudah sesuai takaran dicampur dan diaduk sampai merata menggunakan mixer dengan kecepatan 240 rpm selama 10 menit. Campuran yang sudah homogen diperam (*aging*) selama 8 hari. Cara pembuatan glukomanan termoplastik sama dengan pati termoplastik tetapi dengan ukuran berbeda yaitu 500 g glukomanan, 125 gram gliserol dan 75 gram aquadest. Setelah itu dilakukan pembuatan komposit yang diawali dengan penimbangan bahan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan, setelah itu PLA dicairkan pada suhu 110°C, setelah cair ditambah *compatibilizer* sesuai perlakuan dan diaduk hingga semuanya mencair. Setelah kedua bahan mencair lalu ditambah 37,5 gram pati termoplastik dan 12,5 gram glukomanan termoplastik dan tetap diaduk hingga merata selama 10 menit. Setelah semua bahan tercampur homogen segera dituang ke dalam alat kempa panas dan dikempa pada suhu 80°C selama 10 menit. Setelah terbentuk lembaran maka dilakukan uji mutu (karakteristik). Komposisi komposit biotermoplastik dari TPS/TPG/PLA dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA.

Perlakuan	Pati termoplastik (g)	Glukomanan-termoplastik (g)	PLA (g)	Asam stearat (g)	Asam maleat anhidrat (g)	Total (g)
J1K1	37,5	12,5	50	5		105
J1K2	37,5	12,5	50	7,5		107,5
J1K3	37,5	12,5	50	10		110
J2K1	37,5	12,5	50		5	105
J2K2	37,5	12,5	50		7,5	107,5
J2K3	37,5	12,5	50		10	110

Variabel yang Diamati

Variabel yang pada pembuatan komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yaitu kuat tarik/*tensile strength* (SNI 7818;2014), perpanjangan saat putus/*elongation at break* (ASTM D638), elastisitas/*young modulus* (SNI 7188.7:2016) (JIS Z 1707), pengembangan tebal/*swelling* (SNI 7188.7:2016) (JIS Z 1707), densitas/*density* (ASTM D792-910), titik leleh/*melting point* (ASTM E324) dan waktu biodegradasi/*degradation time* (ASTM D638).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengetahui gaya atau tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh biotermoplastik sampai terputus. Berdasarkan analisis sidik ragam yang diperoleh, dapat dilihat bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap kuat tarik dari komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA. Nilai rata-rata kuat tarik komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA berada diantara 19,09-27,83 MPa. Nilai kuat tarik komposit biotermoplastik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tertinggi dihasilkan oleh komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat dengan konsentrasi 10% yaitu sebesar 30,43 MPa yang berbeda nyata dengan yang lainnya. Sedangkan nilai kuat tarik terendah diperoleh dari komposit yang menggunakan *compatibilizer* asam stearat dengan konsentrasi 5% yaitu sebesar 19,09 MPa yang berbeda nyata dengan lainnya. Peningkatan konsentrasi *compatibilizer* berbanding lurus dengan nilai kuat tariknya. Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Waryat et al., 2013a) menyebutkan bahwa peningkatan jumlah *compatibilizer* yang digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* dapat meningkatkan sifat mekaniknya, karena campuran bahan yang digunakan akan semakin homogen dan kompatibel.

Dapat dilihat pada Tabel 2, nilai kuat tarik yang menggunakan *compatibilizer* asam maleat memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan asam stearat. Dalam hal ini, asam maleat anhidrat memiliki kemampuan interaksi yang baik dengan bahan penyusun komposit biotermoplastik. Dua gugus karboksilat yang dimiliki oleh asam maleat anhidrat menghasilkan ikatan silang yang kuat antar rantai polimer sehingga struktur dari biotermoplastik semakin kuat. Sementara itu, asam stearat hanya mempunyai satu gugus alkil panjang yang kurang reaktif, sehingga asam stearat memiliki kemampuan yang rendah dalam membentuk ikatan silang dengan polimer lain. Nurhajati & Indrajati (2011) juga menyatakan pada penelitiannya bahwa dalam pembuatan komposit dengan beberapa jenis *compatibilizer*, komposit yang menggunakan asam maleat anhidrat memiliki

nilai kuat tarik yang lebih baik dari pada asam stearat, karena asam maleat anhidrat menjadikan bahan penyusun komposit memiliki ikatan *interfacial* yang lebih baik.

Menurut SNI 7818:2014 nilai minimum kuat tarik yang harus dimiliki oleh bioplastik adalah 13,7 Mpa. Berdasarkan hasil yang telah dilakukan, nilai kuat tarik komposit biotermoplastik pada penelitian ini telah memenuhi standar.

Perpanjangan Saat Putus (*Elongation at Break*)

Uji perpanjangan saat *putus* (*elongation at break*) adalah uji yang dilakukan untuk melihat persentase perpanjangan maksimum yang dimiliki komposit biotermoplastik pada saat putus (Elastomer Insitut Ritcher, 2024). Berdasarkan hasil sidik ragam diperoleh bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap perpanjangan saat putus komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA. Pada penelitian nilai kuat tarik yang dimiliki oleh komposit biotermoplastik berkisar antara 0,90-1,40%. Nilai kuat tarik komposit Biotermoplastik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata kuat tarik/*tensile strength* (MPa) dan perpanjangan saat putus/*elongation at break* (%) komposit bitermoplastik TPS/TPG/PLA dalam variasi jenis dan konsentrasi *compatibilizer*.

Perlakuan	Rata-rata kuat tarik (MPa)	Rata-rata perpanjangan saat putus (%)
Asam maleat 5%	24,66±0,15 ^{cd}	1,40±0,0420 ^a
Asam maleat 7,5%	26,84±0,17 ^{bc}	1,02±0,0174 ^b
Asam maleat 10%	30,43±1,27 ^a	0,90±0,0198 ^c
Asam stearat 5%	19,09±0,70 ^e	1,38±0,0286 ^a
Asam stearat 7,5%	23,84±0,80 ^d	1,02±0,0218 ^b
Asam stearat 10%	27,83±1,26 ^b	1,03±0,0292 ^b

Keterangan : Nilai huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai perpanjangan saat putus terbesar dimiliki komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat 5% dengan nilai 1,40% dan asam stearat 5% dengan nilai 1,38% yang berbeda nyata dengan yang lainnya. Sementara nilai perpanjangan saat putus terendah dihasilkan oleh komposit biotermoplastik yang menggunakan *compatibilizer* asam maleat dengan konsentrasi 10% dengan nilai 0,90%. Nilai perpanjangan saat putus yang cenderung menurun disebabkan oleh peningkatan konsentrasi *compatibilizer* yang digunakan menjadikan ikatan antar komponen penyusun biotermoplastik semakin kuat. Kuatnya interaksi tersebut menjadikan komposit biotermoplastik menjadi kurang fleksibel. Penelitian terkait yang dilakukan oleh (Nur et al., 2020) juga menyebutkan bahwa nilai perpanjangan saat putus akan berbanding terbalik dengan nilai kuat tariknya dan sebaliknya.

Nilai perpanjangan saat putus yang dimiliki oleh komposit yang memakai asam maleat anhidrat dengan konsentrasi 10% dan asam stearat 10% memiliki perbedaan yang nyata. Perbedaan tersebut diduga karena kemampuan asam stearat dalam mengikat komponen penyusun biotermoplastik lebih lemah dibandingkan dengan asam maleat anhidrat, sehingga komposit menjadi lebih getas. Asam stearat juga sering digunakan sebagai *plasticizer*, sehingga penambahan asam stearat diduga dapat merenggangkan ikatan antar polimer, sehingga nilai perpanjangan saat putus bioplastik semakin meningkat (Afif et al., 2018).

Nilai perpanjangan saat putus pada komposit biotermoplastik merupakan parameter penting dalam

pembuatan biotermoplastik. Pada penelitian ini nilai kuat tarik komposit biotermoplastik belum memenuhi standar SNI 7188.7:2016 maupun Standar Internasional/SI (JIS Z1707).

Elastisitas (*Young Modulus*)

Elastisitas (*young modulus*) adalah parameter yang menggambarkan ukuran kekakuan suatu bahan elastis (Britanica, 2024). Berdasarkan analisis sidik ragam yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap elastisitas (*young modulus*) komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA. Nilai elastisitas komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA berkisar antara 2,36-3,38 GPa. Nilai elastisitas (*young modulus*) komposit biotermoplastik data dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai rata-rata elastisitas/*young modulus* (GPa) komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA dalam variasi jenis dan konsentrasi *compatibilizer*.

Perlakuan	Rata-rata elastisitas (GPa)
Asam maleat 5%	1,76±0,057 ^c
Asam maleat 7,5%	2,64±0,053 ^b
Asam maleat 10%	3,38±0,068 ^a
Asam stearat 5%	1,38±0,075 ^d
Asam stearat 7,5%	2,34±0,093 ^b
Asam stearat 10%	2,70±0,164 ^b

Keterangan : Nilai huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai elastisitas tertinggi diperoleh dari komposit biotermoplastik yang menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat 10% dengan nilai 3,38 GPa yang berbeda nyata dengan yang lainnya. Sedangkan nilai elastisitas terendah dihasilkan oleh komposit biotermoplastik yang menggunakan asam stearat 5% dengan nilai 1,38 GPa yang berbeda nyata dengan yang lainnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi *compatibilizer* yang ditambahkan maka nilai elastisitas cenderung meningkat pula. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi konsentrasi *compatibilizer*, maka ikatan silang antar polimer akan semakin meningkat pula, sehingga menjadikan biotermoplastik menjadi lebih kaku. Penggunaan jenis *compatibilizer* yang berbeda juga berpengaruh terhadap nilai elastisitasnya. Pada pemberian konsentrasi *compatibilizer* yang sama, komposit biotermoplastik yang menggunakan asam maleat anhidrat memiliki nilai elastisitas yang lebih tinggi yaitu berkisar antara 1,76-3,38 GPa, sedangkan yang menggunakan asam stearat hanya 1,38-2,70 GPa. Dengan demikian, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa selain menjadi zat penyerasi, asam maleat anhidrat memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memperkuat material biotermoplastik. Semakin kuat dan kaku suatu bahan, maka nilai elastisitas (*young modulus*) juga semakin meningkat. Sehingga material yang dihasilkan membutuhkan gaya yang lebih besar untuk mengalami suatu deformasi tertentu. Hal tersebut sejalan dengan hasil yang didapatkan yaitu nilai kuat tarik yang meningkat dan perpanjangan saat putus menurun seiring bertambahnya konsentrasi *compatibilizer* yang digunakan.

Semakin tinggi nilai elastisitas maka komposit yang dihasilkan juga semakin baik. Pada penelitian ini nilai elastisitas telah memenuhi Standar Internasional (SI) (ASTM D638) yang menyatakan nilai elastisitas biotermoplastik minimal 200 Mpa.

Pengembangan Tebal (*Swelling*)

Uji *swelling* adalah uji yang dilaksanakan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menyerap suatu cairan yang menyebabkan pengembangan pada bahan uji (Saputro & Ovita, 2017).

Berdasarkan analisis sidik ragam yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap *swelling* komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA. Nilai *swelling* komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA berkisar antara 0,5091-3,9491%. Nilai pengembangan tebal (*Swelling*) komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Pengembangan tebal/*Swelling* (%) komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA dalam variasi jenis dan konsentrasi *compatibilizer*

Perlakuan	Rata-rata <i>swelling</i> (%)
Asam maleat 5%	1,70±0,157 ^{cd}
Asam maleat 7,5%	0,78±0,441 ^{de}
Asam maleat 10%	0,51±0,298 ^e
Asam stearat 5%	3,95±0,361 ^a
Asam stearat 7,5%	3,45±0,100 ^{ab}
Asam stearat 10%	2,79±0,772 ^{bc}

Keterangan : Nilai huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%.

Pada Tabel 4 nilai *swelling* tertinggi diperoleh oleh komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan asam stearat 5% yang tidak berbeda nyata dengan komposit biotermoplastik yang menggunakan asam stearat 7,5%. Sementara itu nilai *swelling* terendah diperoleh dari komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan asam maleat anhidrat 10% yang tidak berbeda nyata dengan komposit biotermoplastik yang menggunakan asam maleat 7,5%. Dapat dilihat bahwa konsentrasi *compatibilizer* yang meningkat menyebabkan nilai *swelling* semakin rendah. Hal tersebut dapat terjadi karena peningkatan konsentrasi *compatibilizer* menyebabkan material komposit semakin kompatibel dan menurunkan kemampuannya dalam menyerap air dan menurunkan nilai *swelling*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Dominguez-Candela et al., 2022) dalam pembuatan komposit dari PLA dan *chia seed* juga menyatakan bahwa komposit yang kompatibel dan homogen akan memiliki kemampuan penyerapan air yang lebih sedikit, dibandingkan yang kurang kompatibel.

Tabel 4 juga menunjukkan bahwa jenis *compatibilizer* juga berpengaruh terhadap nilai *swelling* komposit biotermoplastik. Komposit biotermoplastik yang menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat memiliki nilai *swelling* yang lebih kecil dari pada komposit biotermoplastik yang menggunakan *compatibilizer* asam stearat. Peran asam maleat anhidrat sebagai *compatibilizer* membantu meningkatkan ikatan polimer dan menjadikan komposit lebih padat, sehingga mengurangi terbentuknya porositas pada komposit sehingga penyerapan air oleh komposit semakin menurun (Yuniari, 2012). Sedangkan asam stearat dalam hal ini lebih berperan untuk meningkatkan sifat hidrofobik dan kurang dalam mengikat polimer sehingga asam maleat anhidrat lebih baik dalam menurunkan nilai *swelling*.

Menurut SNI 7188.7 : 2016 nilai maksimal untuk *swelling* biotermoplastik adalah 99% dan menurut JIS Z 1707 nilai *swelling* biotermoplastik adalah 70%. Pada penelitian ini komposit biotermoplastik sudah memenuhi standar SNI maupun Standar Internasional (SI).

Densitas (*Density*)

Densitas adalah salah satu sifat fisik dari suatu bahan yang menunjukkan kerapatan dari bahan tersebut. Semakin tinggi nilai kerapatan komposit biotermoplastik, maka semakin tinggi pula nilai kuat tariknya (Darni et al., 2014). Berdasarkan analisis sidik ragam, jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap nilai densitas komposit biotermoplastik

TPS/TPG/PLA. Nilai densitas yang dihasilkan berkisar antara 1,08-1,52 g/cm³. Nilai densitas biotermoplastik TPS/TPG/PLA dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai rata-rata densitas/*density* (g/cm³) komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA dalam variasi jenis dan konsentrasi *compatibilizer*

Rata-rata densitas (g/cm ³)	Rata-rata densitas (g/cm ³)
Asam maleat 5%	1,25±0,015 ^c
Asam maleat 7,5%	1,39±0,035 ^b
Asam maleat 10%	1,52±0,004 ^a
Asam stearat 5%	1,08±0,008 ^d
Asam stearat 7,5%	1,24±0,023 ^c
Asam stearat 10%	1,29±0,012 ^c

Keterangan : Nilai huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai densitas tertinggi diperoleh oleh komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang memakai asam maleat anhidrat 10% yaitu sebesar 1,52 g/cm³ yang berbeda nyata lainnya. Sedangkan komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan asam stearat 5% memiliki nilai densitas terendah yaitu 1,08 g/cm³ yang berbeda nyata dengan lainnya. Komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan asam maleat anhidrat memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dengan kisaran 1,25-1,52 g/cm³ dibanding menggunakan asam stearat yang hanya memiliki kisaran 1,08-1,29 g/cm³.

Berdasarkan Tabel 5, nilai densitas komposit biotermoplastik meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi *compatibilizer*. Semakin rapat dan homogen suatu komposit, maka kristalinitas dan kekerasan komposit akan semakin tinggi. Lebih lanjut dijelaskan bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* juga mempengaruhi kerapatan suatu komposit. (Pamela et al., 2016) menjelaskan bahwa penambahan asam stearat pada komposit menjadikan menyebabkan penurunan kristalinitas karena terjadi reaksi peregangan polimer sehingga menurunkan densitas komposit.

Nilai densitas yang baik untuk komposit biotermoplastik menurut Standar Internasional (SI) ASTM D792-91 adalah 0,91-0,925, sehingga nilai densitas biotermoplastik belum memenuhi standar yang telah ada.

Titik Leleh (*Melting Point*)

Uji Titik leleh (*melting point*) dilakukan untuk mengetahui titik dimana suatu bahan mulai leleh dan habis meleleh ketika diberikan suhu tertentu (Fibriyani, 2017). Berdasarkan hasil analisis sidik ragam yang diperoleh, didapatkan hasil bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap karakteristik komposit biotermoplastik. Titik leleh komposit biotermoplastik yang diperoleh menghasilkan nilai suhu titik leleh 140,73°C±0,60-153,80°C±0,36. Dalam hal ini, komposit biotermoplastik yang menggunakan asam maleat anhidrat memiliki nilai titik leleh yang lebih tinggi dari pada asam stearat. Nilai titik leleh komposit biotermoplastik dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 memperlihatkan bahwa nilai titik leleh yang tinggi dimiliki oleh komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat dengan konsentrasi 5 dan 7,5% dengan nilai berkisar 153,80 - 152,73°C. Disamping itu, nilai titik leleh terendah diperoleh oleh komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan asam stearat 10%, yang berbeda nyata

dengan lainnya.

Tabel 6. Nilai rata-rata titik leleh/*melting point* (°C) komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA dalam variasi jenis dan konsentrasi *compatibilizer*

Perlakuan	Rata-rata titik leleh (°C)
Asam maleat 5%	153,80±0,36 ^a
Asam maleat 7,5%	152,73±0,60 ^a
Asam maleat 10%	149,77±0,61 ^b
Asam stearat 5%	150,13±0,28 ^b
Asam stearat 7,5%	146,43±0,60 ^c
Asam stearat 10%	140,73±0,60 ^d

Keterangan : Nilai huruf yang berbeda dibelakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai titik leleh komposit semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi *compatibilizer*. Selain itu, penggunaan *compatibilizer* yang berbeda juga menunjukkan perbedaan nilai titik leleh yang berbeda nyata. Dapat dilihat pada Tabel 6 bahwa komposit yang menggunakan *compatibilizer* asam stearat mempunyai nilai titik leleh yang lebih rendah dari pada komposit biotermoplastik yang menggunakan asam maleat anhidrat. Penyebab perbedaan tersebut terjadi karena berat molekul asam stearat yang besar yaitu 284,48 g/mol, sedangkan asam maleat anhidrat hanya 98,06 g/mol. Semakin besar berat molekul zat aditif yang ditambahkan maka titik lelehnya juga semakin rendah, karena tingginya berat molekul akan menyebabkan mobilitas polimernya semakin meningkat (Sudirman et al., 2002). Sehingga semakin banyak zat aditif yang ditambah ke dalam matriks komposit biotermoplastik, maka semakin rendah pula titik lelehnya.

Pengujian titik leleh pada komposit biotermoplastik perlu dilakukan untuk mengetahui pengaturan suhu yang tepat sesuai dengan tujuan dibuatnya dan aplikasi komposit biotermoplastik nantinya. Menurut Standar Internasional ASTM E324 nilai titik leleh komposit bioplastik berkisar antara 30-250°C. Dengan demikian nilai titik leleh komposit biotermoplastik pada penelitian ini sudah memenuhi standar.

Biodegradasi (*Degradation Time*)

Uji Biodegradasi (*degradation time*) dilakukan untuk mengetahui jangka waktu suatu bahan terdegradasi pada kondisi tertentu (Fibriyani, 2017). Berdasarkan hasil analisis sidik ragam yang diperoleh, didapatkan hasil bahwa jenis dan konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap biodegradasi komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA. Biodegradasi komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang diperoleh yaitu 12,33-18,67 hari, seperti pada Tabel 7.

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa waktu biodegradasi yang cepat berkisar 12,33 - 12,67 hari yang dimiliki oleh komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan asam maleat anhidrat dan asam stearat 5% yang berbeda nyata dengan lainnya. Sedangkan waktu biodegradasi terlama dimiliki komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang menggunakan asam maleat anhidrat dan asam stearat 10% dengan kisaran 17,67 – 18,67 hari yang berbeda nyata dengan lainnya. Biodegradasi komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA ditandai dengan terbentuknya pori atau patahan dari sampel akibat aktifitas mikroorganisme di dalam tanah.

Pada penelitian ini konsentrasi *compatibilizer* berpengaruh terhadap waktu biodegradasi komposit biotermoplastik. Kenaikan waktu biodegradasi berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi *compatibilizer* yang ditambahkan. Hal tersebut dapat terjadi karena penambahan jumlah

compatibilizer dapat meningkatkan kerapatan atau densitas komposit biotermoplastik, sehingga mikroorganisme didalam tanah lebih sulit untuk masuk dan mengurai komposit biotermoplastik. Sementara itu, komposit yang menggunakan asam maleat anhidrat memiliki waktu biodegradasi yang lebih lama dibandingkan dengan komposit biotermoplastik yang menggunakan asam stearat tetapi tidak memiliki perbedaan yang nyata. Perbedaan *compatibilizer* yang memberikan perbedaan tidak nyata diduga disebabkan karena asam maleat anhidrat juga berfungsi sebagai *plasticizer* yang dapat memecah ikatan polimer, sehingga asam maleat anhidrat ini tidak dapat menambah lama waktu biodegradasi (Clasen et al., 2015) sementara asam stearat merupakan bahan alami yang mudah terurai oleh mikroorganisme, sehingga keberadaan asam stearat dan asam maleat anhidrat ini tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap waktu biodegradasi komposit biotermoplastik. Pada pengujian biodegradasi terdapat juga faktor lain yang mungkin memberikan pengaruh terhadap waktu biodegradasi komposit biotermoplastik. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah jenis tanah, kelembaban tanah, suhu dan pH tanah.

Tabel 7. Nilai Biodegradasi (hari) komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA dalam variasi jenis dan konsentrasi *compatibilizer*

Perlakuan	Rata-rata waktu biodegradasi (hari)
Asam maleat 5%	12,67±0,058 ^c
Asam maleat 7,5%	14,67±0,058 ^b
Asam maleat 10%	18,67±0,058 ^a
Asam stearat 5%	12,33±0,058 ^c
Asam stearat 7,5%	15±0,058 ^b
Asam stearat 10%	17,67±0,058 ^a

Keterangan : Nilai huruf yang berbeda dibelakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Pengujian biodegradasi dilakukan untuk mengetahui laju penguraian komposit biotermoplastik guna mengidentifikasi dampak yang diberikan biotermoplastik terhadap lingkungan. Oleh karena itu, komposit biotermoplastik harus mengikuti standar yang telah ditetapkan untuk menjaga keamanannya. Waktu biodegradasi komposit biotermoplastik menurut Standar Internasional ASTM D638 menyatakan bahwa waktu biodegradasi biotermoplastik maksimal 60 hari. Pada penelitian ini waktu biodegradasi komposit biotermoplastik sudah memenuhi standar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Jenis dan konsentrasi *compatibilizer* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap nilai kuat tarik (*tensile strength*), perpanjangan saat putus (*elongation at break*), elastisitas (*young modulus*), pengembangan tebal (*Swelling*), densitas (*Density*), titik leleh (*Melting Point*) dan waktu biodegradasi (*degradation time*) dari komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA. Komposit biotermoplastik TPS/TPG/PLA yang mempunyai karakteristik terbaik menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat 10% dengan nilai kuat tarik (*tensile strength*) 30,43 MPa, nilai perpanjangan saat putus (*elongation at break*) 0,90%, elastisitas (*young modulus*) 3,38 GPa, pengembangan tebal (*swelling*) 0,51%, densitas (*density*) 1,52 g/cm³, titik leleh (*melting point*) 149,77°C dan waktu biodegradasi (*biodegradation time*) 17,67 hari. Tetapi perpanjangan saat putus (*elongation at break*) dan densitas (*density*) belum memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Saran

Pada penelitian ini disarankan menggunakan *compatibilizer* asam maleat anhidrat dengan konsentrasi 10% karena dapat menghasilkan karakteristik komposit biotermoplastik terbaik. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan penelitian lanjut dalam pengembangan komposit biotermoplastik dengan penambahan *compatibilizer* lain untuk meningkatkan karakteristik biotermoplastik terutama nilai perpanjangan saat putus (*elongation at break*) dan densitas (*density*).

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M., Wijayati, N., dan Mursiti, S. 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Albar, A., Rahmaniah, dan Ihsan. 2021. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Pati Umbi Uwi Ungu, Plasticizer Gliserol dan Kitosan. *Jurnal Teknosains*, 15(3), 253–257.
- Britanica, T. E. of E. 2024. Young,s Modulus. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Youngs-modulus>
- Clasen, S. H., Müller, C. M. O., dan Pires, A. T. N. 2015. Maleic Anhydride As a Compatibilizer and Plasticizer In TPS/PLA Blends. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26(8), 1583–1590. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20150126>
- Darni, Y., Sitorus, T. M., dan Hanif, M. 2014. Produksi Bioplastik dari Sorgum dan Selulosa Secara Termoplastik. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(2), 55-62. <https://doi.org/10.23955/rkl.v10i2.2420>
- Dominguez-Candela, I., Gomez-Caturra, J., Cardona, S. C., Lora-García, J., and Fombuena, V. 2022. Novel Compatibilizers and Plasticizers Developed from Epoxidized and Maleinized Chia Oil in Composites Based on PLA and Chia Seed Flour. *European Polymer Journal*, 173, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111289>
- Fibriyani, D. 2017. Pengolahan Onggok Singkong Sebagai Plastik Biodegradable Menggunakan Plasticizer Gliserin dari Minyak Jelantah. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 6(2), 74-77. <https://doi.org/10.17728/jatp.195>
- Harsojuwono, B. A., Arnata, I. W., dan Hartiati, A. 2023. Pengembangan Pellet Biotermoplastik Berbasis Pati Singkong Termodifikasi dan Glukomanan (Studi Jenis dan Konsentrasi Polimer Sintetis). *Laporan Penelitian. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana*.
- Harsojuwono, B. A., Arnata, I. W., Hartiati, A., Setiyo, Y., Hatiningsih, S., and Suriati, L. 2022. The Improvement of the Modified Starch—Glucomanan—Polyvinyl Alcohol Biothermoplastic Composite Characteristics With Polycaprolactone and Anhydride Maleic Acid. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.844485>
- Hartatik, Y. D., Nuriyah Lailatin, dan Iswarin. 2014. Pengaruh Komposisi Kitosan terhadap Sifat Mekanik dan Biodegradable Bioplastik. *Brawijaya Physics Student Journal*, 2(1).
- Jeziorska, R., Szadkowska, A., Spasowka, E., Lukomska, A., and Chmielarek, M. 2018. Characteristics of Biodegradable Polylactide/Thermoplastic Starch/Nanosilica Composites: Effects of Plasticizer and Nanosilica Functionality. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018 (4571386), 1–15.
- Nur, R. A., Nazir, N., dan Taib, G. 2020. Karakteristik Bioplastik dari Pati Biji Durian dan Pati Singkong yang Menggunakan Bahan Pengisi MCC (Microcrystalline Cellulose) dari Kulit Kakao. *Gema Agro*, 25(1), 1–10. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22225/ga.25.1.1713.01-10>
- Nurhajati, D. W., dan Indrajati, I. N. 2011. Kualitas Komposit Serbuk Sabut Kelapa Dengan Matrik

- Sampah Styrofoam pada Berbagai Jenis Compatibilizer. *Jurnal Riset Industri*, 5(2), 143–151.
- Pamela, V. Y., Syarief, R., Savitri Iriani, E., dan Edhi Suyatma, N. 2016. Karakteristik Mekanik, Termal dan Morfologi Film Polivinil Alkohol dengan Penambahan Nanopartikel ZnO dan Asam Stearat untuk Kemasan Multilayer. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 13(2), 63–73.
- Saputra, M. R. B. S., dan Supriyo, E. 2020. Pembuatan Plastik Biodegradable Menggunakan Pati Dengan Penambahan Katalis Zno Dan Stabilizer Gliserol. *Pentana: Jurnal Penelitian Terapan Kimia*, 1(1), 41–51. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pentana/article/view/11598>
- Saputro, A. N. C., dan Ovita, A. L. 2017. Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik dari Kitosan-Pati Ganyong (*Canna Edulis*). *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(1), 13-21. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i1.8526>
- Sudirman, K., A. K., Gunawan, I., Handayani, A., dan Evi Hertinvyana, dan. 2002. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Polipropilena/Serbuk Kayu Gergaji. In *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science*, 4(1), 20-25.
- Elastomer Institut Richter. 2024. Tensile Strength, Tear Resistance And Elongation At Break. <https://elastomer-institut.de/en/>
- Torres, F. G., Arroyo, O. H., and Gomez, C. 2007. Processing and Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Thermoplastic Starch Biocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20(2), 207–223. <https://doi.org/10.1177/0892705707073945>
- Waryat, Romli, M., Suryani, A., Yulianingsih, I., dan Johan, S. 2013. Penggunaan Compatibilizer Untuk Meningkatkan Karakteristik Morfologi, Fisik Dan Mekanik Plastik Biodegradabel Berbahan Baku Pati Termoplastik Polietilen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(3), 214–221.
- Waryat, Romli, M., Suryani, A., Yuliasih, I., dan Nasiri, S. J. A. 2013. Karakteristik Mekanik, Permeabilitas Dan Biodegradabilitas Plastik Biodegradable Berbahan Baku Komposit Pati Termoplastik-LLDPE. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 23(2), 153–163.
- Yuniari, A. 2012. Sifat Mekanik Dan Morfologi Termoplastik Elastomer (TPE) Hasil Polipaduan NBR/PVC Dan Maleat Anhidrat. *Ajalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 28(1), 18–25.