

**THE EFFECT OF POLYCAPROLACTONE CONCENTRATION AND MALEIC ACID ANHYDRIDE COMPATIBILIZER ON THE CHARACTERISTICS OF MAIZENA-GLUCOMANNAN BIOPLASTIC COMPOSITES**

**PENGARUH KONSENTRASI POLIKAPROLAKTON DAN KOMPATIBILISER ASAM MALEAT ANHIDRIDA TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT BIOPLASTIK MAIZENA-GLUKOMANAN**

**R. Zulfan Hasibuan, B. Admadi Harsojuwono<sup>\*</sup>, A. A. M. Dewi Anggreni**

Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Kode pos : 80361; Telp/Fax : (0361) 701801.

Diterima 14 Juli 2022 / Disetujui 15 Agustus 2022

**ABSTRACT**

*The weaknesses of cornstarch and glucomannan bioplastic composites is they are hydrophilic, as a result, these bioplastic composites have swelling values, WVTR, tensile strength, elongation at break, and young modulus do not comply with the Standar Nasional Indonesia. This study was to determine the effect of the concentration of polycaprolactone and maleic anhydride and their interaction on the characteristics of the cornstarch-glucomannan bioplastic composite, and to determine the concentration of polycaprolactone and maleic anhydride compatibilizer which can produce the best cornstarch-glucomannan bioplastic composite. This study used a randomized block design with two factors. The concentration of polycaprolactone which consists of 3 levels 10%, 12.5%, and 15%. Factor II is the concentration of maleic anhydride which consists of 3 levels 2.5%, 5%, and 7.5%. The variables observed were tensile strength, elongation at break, young modulus, swelling, WVTR, biodegradation and FTIR. The data obtained were analyzed for diversity (ANOVA) and continued with Duncan's test. The results showed that the concentration of polycaprolactone and maleic anhydride and their interaction had a significant effect on tensile strength, young modulus, WVTR, and swelling except for the elongation at break and biodegradation. Concentration of 15% polycaprolactone and 5% maleic anhydride produced the best composite bioplastic with a tensile strength of 16.16 MPa, elongation at break of 2.610%, modulus young of 627 MPa, swelling of 30.26%, WVTR 0.64g/m<sup>2</sup>.hour and degradation time for 7.33 days. Cornstarch-glucomannan bioplastic composites with concentrations of polycaprolactone and maleic anhydride produced new functional groups, namely carbonyl groups C=O and alkynes C≡C.*

**Keywords :** Bioplastic composite, cornstarch, glucomannan, polycaprolactone, maleic anhydride.

**ABSTRAK**

Kelemahan komposit bioplastik pati jagung dan glukomanan adalah bersifat hidrofilik sehingga komposit bioplastik tersebut memiliki nilai pembengkakan, WVTR, kuat tarik, perpanjangan putus,

---

\* Korespondensi Penulis:

Email: [bambang.admadi@unud.ac.id](mailto:bambang.admadi@unud.ac.id)

dan modulus young tidak sesuai dengan Standar Nasional Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi polikaprolakton dan maleat anhidrida serta interaksinya terhadap karakteristik komposit bioplastik pati jagung-glukomanan, dan untuk mengetahui konsentrasi kompatibilitas polikaprolakton dan maleat anhidrida yang dapat menghasilkan komposit bioplastik pati jagung-glukomanan terbaik. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor. Konsentrasi polikaprolakton yang terdiri dari 3 taraf yaitu 10%, 12,5%, dan 15%. Faktor II adalah konsentrasi maleat anhidrida yang terdiri dari 3 taraf yaitu 2,5%, 5%, dan 7,5%. Variabel yang diamati adalah kekuatan tarik, perpanjangan putus, modulus young, pengembangan, WVTR, biodegradasi dan FTIR. Data yang diperoleh dianalisis keragamannya (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi polikaprolakton dan maleat anhidrida serta interaksinya berpengaruh nyata terhadap kuat tarik, modulus young, WVTR, dan pengembangan kecuali untuk perpanjangan putus dan biodegradasi. Konsentrasi polikaprolakton 15% dan maleat anhidrida 5% menghasilkan bioplastik komposit terbaik dengan kekuatan tarik 16,16 MPa, perpanjangan putus 2,610%, modulus young 627 MPa, pembengkakan 30,26%, WVTR 0,64g/m<sup>2</sup>.jam dan degradasi waktu selama 7,33 hari. Komposit bioplastik glukomanan jagung dengan konsentrasi polikaprolakton dan maleat anhidrida menghasilkan gugus fungsi baru yaitu gugus karbonil C=O dan alkuna C≡C.

**Kata kunci :** Komposit bioplastik, pati jagung, glukomanan, polikaprolakton, anhidrida maleat.

## PENDAHULUAN

Pengembangan komposit bioplastik telah dilakukan oleh beberapa peneliti, salah satunya komposit bioplastik dari maizena-glukomanan. Kandungan amilosa pada tepung maizena mencapai 24-26% lebih besar dibandingkan dengan tapioka dan sorgum yaitu 20% dan 17% (Radhiyatullah et al., 2015). Kemampuan dari kandungan amilosa yang tinggi dapat menurunkan kemampuan pati untuk tergelatinisasi namun dapat diimbangi dengan adanya kandungan amilopektin yang tinggi pada maizena sebesar 76% (Carpenter et al., 1990). Penelitian yang dilakukan oleh Indrawati et al., (2019) komposit bioplastik maizena-glukomanan terbaik didapat dari perlakuan suhu 80±2°C dan lama gelatinisasi 4 menit menghasilkan karakteristik kuat tarik 3,390 MPa; elastisitas 35,811 MPa; perpanjangan saat putus 12,3% dan swelling 68,31%. Salah satu kelemahan komposit bioplastik maizena-glukomanan adalah sifatnya yang hidrofilik atau berikatan dengan air mengakibatkan komposit bioplastik tersebut memiliki nilai *swelling*, *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR), kuat tarik, perpanjangan saat putus, dan elastisitas yang belum memenuhi SNI (Darni et al., 2010). Diperlukan bahan untuk memperbaiki sifat tersebut. Salah satu bahan yang berpotensi untuk meningkatkan sifat hidrofobisitas komposit bioplastik adalah polikaprolakton (PCL). Xiao et al., (2009) polikaprolakton (PCL) merupakan poliester yang bersifat biodegradable, biokompatibel serta memiliki sifat mekanik dan hidrofobisitas yang baik.

Kompatibiliser merupakan senyawa spesifik yang digunakan untuk memadukan polimer yang tidak kompatibel menjadi campuran yang stabil melalui ikatan intermolekuler lebih baik dibanding bioplastik dari tapiokanya sendiri. Penelitian yang dilakukan Yuniari (2011) grafting polipaduan *Low Density Polyethylene*-Pati dengan penambahan kompatibiliser maleat anhidridat menyebabkan campuran menjadi kompatibel dan meningkatkan sifat kuat tariknya, distribusi partikel dalam komposit merata dan tidak adanya rongga. Pada penelitian yang dilakukan oleh Harsojuwono (2022) menunjukkan bahwa komposit bioplastik pati termodifikasi, glukomanan dan polivinil alkohol dengan penambahan konsentrasi 20% PCL dan 3,5% asam maleat anhidrida menghasilkan karakteristik terbaik. Nurhajati dan Indrajati (2011) melaporkan komposit terbaik serbuk sabut kelapa dengan matriks sampah styrofoam dengan penambahan kompatibiliser asam maleat

anhidrida 5% dari berat bahan baku menghasilkan densitas 1,2 g/cm<sup>3</sup>, kuat tarik 97,27 kg/cm<sup>2</sup>, perpanjangan putus 6,37%. Penelitian Waryat (2013), menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser asam maleat anhidrat 2,5 – 5% menyebabkan interaksi yang sangat baik antara pati dan LLDPE sehingga meningkatkan sifat mekanik namun cenderung menurun dengan penambahan 7,5%.

Pada penelitian pendahuluan yang telah dilakukan oleh peneliti dengan konsentrasi PCL di atas 15% dan di bawah 10% tidak mampu menghasilkan karakteristik komposit bioplastik karena bersifat rapuh dan kaku sementara itu pemakaian PCL 10% dan 15% dari total matrik, mampu membentuk komposit bioplastik. Berdasarkan uraian di atas, belum ada penelitian yang mengkaji konsentrasi PCL dan kompatibiliser asam maleat anhidrida dalam membentuk komposit bioplastik maizena-glukomanan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh konsentrasi PCL dan kompatibiliser asam maleat anhidrida serta interaksi keduanya terhadap karakteristik komposit bioplastik maizena-glukomanan, serta menentukan konsentrasi PCL dan kompatibiliser asam maleat anhidrida yang tepat untuk menghasilkan komposit bioplastik maizena-glukomanan dengan harapan menghasilkan karakteristik komposit bioplastik yang memenuhi standar yang ditetapkan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tepung maizena (Maizenaku), glukomanan (Ikari), polikaprolakton, asam maleat anhidrida (merck), gliserol yang diperoleh dari Saba Kimia, Denpasar, silica gel dan aquades. Lalu pada bahan terdapat pelarut asam asetat (CH<sub>3</sub>COOH) 1% (Dixi), alkohol 96% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (Calmo) dan asam asetat (CH<sub>3</sub>COOH) 98% (Dixi).

Penelitian ini memerlukan gelas beaker 250 ml (Iwaki), blender (Panasonic), timbangan analitik (Ohaus), *hotplate* (Maspion), sendok pengaduk, *water bath* (WTB11 memert), cetakan teflon ukuran 20 cm, gelas ukur (Iwaki), termometer, pipet tetes, pinset, cawan (Anumbra), oven (CAPP), tabung reaksi (Pyrex) dan desikator (Duran). Alat pengujian yang digunakan diantaranya: uji mekanik (ASTM D638) Strength ZP Recorder 50 N Imada dan FTIR Spektrofotometer (IRPrestidge-21-Shimadzu).

### Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial dengan dua faktor. Faktor I adalah konsentrasi polikaprolakton yang terdiri dari 3 taraf yaitu 10%, 12,5%, dan 15% dari bahan matriks. Faktor II adalah konsentrasi asam maleat anhidrida yang terdiri dari 3 taraf yaitu 2,5%, 5%, dan 7,5% dari bahan matriks. Terdiri dari 9 taraf perlakuan dan masing-masing perlakuan dikelompokkan menjadi 3 berdasarkan waktu proses pembuatan komposit bioplastik maizena-glukomanan sehingga diperoleh 27 unit percobaan. Data diperoleh dari masing-masing perlakuan dianalisis keragamannya, apabila perlakuan berpengaruh nyata terhadap variabel yang diamati maka dilanjutkan dengan Uji Duncan menggunakan Software Microsoft Excel 2016.

### Pelaksanaan Penelitian

Proses pembuatan komposit bioplastik dilakukan dengan beberapa tahapan menurut Saptahadi et al., (2021). Tahap awal yaitu dipersiapkan bahan yang diperlukan. Bahan ditimbang meliputi maizena 4,5 g; glukomanan 1,5 g sehingga total bahan komposit (6g); larutan PCL 20% terdiri dari komposisi bahan {20g polikaprolakton, 40 g alkohol 96%, dan 40 g asam asetat 98%} yang terdiri dari 3 taraf perlakuan yaitu 10%, 12,5 %, dan 15% dari bahan matriks. Kompatibiliser asam maleat

anhidrida terdiri dari 2,5%, 5%, 7,5% dari bahan matriks dan penambahan gliserol 1 g serta larutan asam asetat 1% sesuai perlakuan sehingga total bahan 100 g.

Tahap pembuatan komposit bioplastik dilakukan sebagai berikut: Larutan asam asetat 1% (sesuai dengan formula percobaan pada Tabel 1) dibagi menjadi dua bagian sama rata masing-masing dalam 2 gelas beaker yang berbeda, kemudian gelas beaker 1 diisi 4,5 g maizena dan gelas beaker 2 diisi 1,5 g glukomanan. Beaker glass 1 dipanaskan di atas water bath pada suhu  $75+1^{\circ}\text{C}$  sambil diaduk sampai membentuk gel, beaker glass 2 diaduk sampai homogen dan membentuk gel. Pada beaker glass 3 diisi larutan polikaprolakton 20% sesuai dengan perlakuan. Lalu pada beaker glass 4 diisi dengan asam maleat anhidrida sesuai perlakuan dan dipanaskan sampai mencair. Kemudian gel maizena dan glukomanan dituangkan ke beaker glass asam maleat anhidrida dan diaduk sampai homogen sambil dipanaskan dengan suhu  $75+1^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya campuran ditambahkan larutan polikaprolakton 20%, dipanaskan dan diaduk selama 5 menit hingga terbentuk gel yang homogen. Gel tersebut dituangkan ke cetakan teflon berdiameter 20 cm yang selanjutnya dikeringkan dengan suhu  $60+1^{\circ}\text{C}$  menggunakan oven selama 8 jam. Selanjutnya teflon dan lembar komposit dikeluarkan dari oven dan didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam. Setelah itu lembar komposit bioplastik dilepas dari teflon (modifikasi dari Harsojuwono et al., 2022). Kemudian komposit bioplastik dilakukan pengujian sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Standar Internasional (SI).

Tabel 1. Desain formula percobaan faktorial dalam pembuatan komposit bioplastik maizena dan glukomanan dalam variasi konsentrasi polikaprolakton dan kompatibiliser asam maleat anhidrida

Perlakuan Kombinasi	P1A1	P1A2	P1A3	P2A1	P2A2	P2A3	P3A1	P3A2	P3A3
Komposisi Bahan									
Pati (g)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Glukomanan (g)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Larutan Polikaprolakton 20% (g)	3	3	3	3,75	3,75	3,75	4,5	4,5	4,5
Asam Maleat Anhidrida (g)	0,15	0,3	0,45	0,15	0,3	0,45	0,15	0,3	0,45
Asam Asetat 1% (g)	89,85	89,7	89,55	89,1	88,95	88,8	88,35	88,2	88,05
Gliserol (g)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total (g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### Variabel yang Diamati

Penentuan variabel pengamatan mengikuti standar mutu berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7818:2014 tentang karakteristik bioplastik dan Standar Internasional (SI) EN 317 tentang film plastic, JIS 2-1707 tentang plastic film for food packaging dan ASTM D5988 tentang *determining aerobic biodegradation of plastic materials in soil*. Berdasarkan standar tersebut terdapat 7 variabel yang diamati pada penelitian ini yaitu sifat mekanik bioplastik yang terdiri dari kuat tarik (*tensile strength*), perpanjangan saat putus (*tensile elongation*), elastilitas (*modulus young*) (SNI 7818:2014). Uji pengembangan tebal (*swelling*) (SI EN 317), *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) (JIS 2-1707), biodegradasi (ASTM D5988) dan FTIR.

Perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan variabel mutu/karakteristik komposit bioplastik yang paling banyak memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Standar Internasional (SI), dengan cara membandingkan nilai yang diperoleh dengan standar yang sudah ditetapkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Kuat tarik (*Tensile Strength*)**

Hasil analisis keragaman pada konsentrasi polikaprolakton, kompatibiliser asam maleat anhidrida dan interaksi antar perlakuan berpengaruh sangat nyata ( $p < 0,01$ ) terhadap kuat tarik komposit bioplastik maizena dan glukomanan. Nilai rata-rata kuat tarik komposit bioplastik maizena dan glukomanan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kuat tarik (MPa) komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada perlakuan konsentrasi polikaprolakton dan konsentrasi asam maleat anhidrida

Konsentrasi Polikaprolakton (%)	Konsentrasi Asam Maleat Anhidrida (%)		
	2,5	5	7,5
10	1,40±0,26 <sup>f</sup>	4,52±0,50 <sup>d</sup>	8,20±0,81 <sup>c</sup>
12,5	4,47±1,28 <sup>d</sup>	3,20±0,72 <sup>d</sup>	3,10±0,39 <sup>de</sup>
15	4,40±0,25 <sup>d</sup>	16,16±1,08 <sup>a</sup>	11,92±0,39 <sup>b</sup>

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrat 5% menghasilkan kuat tarik tertinggi dari komposit bioplastik maizena dan glukomanan sebesar (16,16±1,08 MPa). Sementara itu kuat tarik terendah sebesar (1,40±0,26 MPa) dimiliki komposit bioplastik maizena dan glukomanan dengan konsentrasi PCL 10% dan asam maleat anhidrat 2,5%. Penambahan Nilai kuat tarik komposit bioplastik maizena dan glukomanan cenderung meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi PCL dan asam maleat anhidrida. Sifat dari polikaprolakton yang telah digunakan sebagai matriks polimer mampu meningkatkan sifatnya seperti sifat mekanik, stabilitas termal dan laju degradasi (Causin, 2011). Namun pada peningkatan penambahan konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrida 7,5% dapat menurunkan kuat tarik, hal ini terjadi karena interaksi antara komposit bioplastik maizena-glukomanan dengan PCL hanya bersifat fisik dan terbentuknya perbedaan antara permukaan gugus polimer hidrofilik dan hidrofobik meskipun sudah dihubungkan oleh kompatibiliser. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Waryat et al., (2013) penurunan dari kuat tarik disebabkan oleh terjadinya homopolimerisasi yang menyebabkan monomer-monomer asam maleat anhidrida cenderung berikatan sendiri dibandingkan menempel pada komposit bioplastik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Lopez-Castejon et al., (2022) menyatakan semakin tinggi konsentrasi PCL maka menghasilkan nilai yang semakin lemah pada uji mekaniknya serta memberikan kekakuan dan deformabilitas. Berdasarkan SNI plastik 7818:2014 kuat tarik bioplastik yaitu minimal 13,7 MPa. Pada hasil penelitian didapat nilai kuat tarik komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrida 5% dengan nilai kuat tarik 16,16 MPa sudah memenuhi standar SNI 7818:2014.

**Perpanjangan saat putus (*Elongation at Break*)**

Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi PCL dan asam maleat anhidrida serta interaksi antar perlakuan tidak berpengaruh nyata ( $p > 0,05$ ) terhadap perpanjangan saat putus komposit bioplastik maizena dan glukomanan. Berdasarkan Tabel 3 nilai rata-rata

perpanjangan saat putus komposit bioplastik maizena-glukomanan berkisar antara  $1,420\pm 0,04$  -  $3,210\pm 0,37\%$ .

Tabel 3. Nilai perpanjangan saat putus (%) komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada perlakuan konsentrasi polikaprolakton dan konsentrasi asam maleat anhidrida

Konsentrasi Polikaprolakton (%)	Konsentrasi Asam Maleat Anhidrida (%)			Rata-rata
	2,5	5	7,5	
10	$2,57\pm 0,4$	$1,42\pm 0,04$	$2,60\pm 1,09$	$2,20\pm 0,67^a$
12,5	$2,83\pm 0,04$	$2,34\pm 0,82$	$2,62\pm 0,44$	$2,60\pm 0,25^a$
15	$2,83\pm 0,06$	$2,61\pm 0,43$	$3,21\pm 0,37$	$2,88\pm 0,30^a$
Rata-rata	$2,75\pm 0,15^a$	$2,12\pm 0,62^a$	$2,81\pm 0,35^a$	

Perpanjangan saat putus adalah penambahan persen panjang sampel bioplastik dari awal hingga penarikan sampai putus. Pada perlakuan konsentrasi PCL dan asam maleat anhidrida tidak berpengaruh nyata dengan nilai perpanjangan saat putus. Hal ini diduga disebabkan oleh munculnya rantai-rantai pendek yang bersifat fleksibel sehingga mengakibatkan persentase perpanjangan saat putus sama. Terjadinya nilai perpanjangan putus yang sama diduga disebabkan oleh besar konsentrasi PCL dan asam maleat anhidrida yang menghasilkan ikatan hidrogen yang tidak signifikan sehingga nilai elongasi pada setiap sampel sama. Meningkatnya jumlah hidrogen yang terbentuk membuat nilai elongasi semakin kecil dan bioplastik menjadi kaku dan kurang elastis (Muhammad et al., 2021). Semakin kuat bioplastik maka sifat mekaniknya semakin sulit untuk meregang dan memanjang sehingga nilai perpanjangan putus yang dihasilkan kecil (Dewi et al., 2017). Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2014 Standar Nasional Indonesia (SNI) plastik 7818:2014 dengan nilai perpanjangan saat putus untuk plastik yaitu 21-220%. Dari hasil nilai penelitian yang dilakukan perpanjangan saat putus dari komposit bioplastik maizena dan glukomanan belum memenuhi standar SNI.

### Elastisitas (*Modulus Young*)

Pada hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa konsentrasi polikaprolakton dan asam maleat anhidrida serta interaksi antar perlakuan berpengaruh sangat nyata ( $p < 0,01$ ) terhadap elastisitas komposit bioplastik maizena dan glukomanan. Nilai elastisitas komposit bioplastik maizena-glukomanan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai elastisitas dari komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrida 5% menghasilkan nilai tertinggi sebesar ( $627,09\pm 72$  MPa). Sementara itu perlakuan konsentrasi PCL 10% dan asam maleat anhidrida 2,5% menghasilkan nilai terendah ( $56,94\pm 20,82$  MPa) yang tidak berbeda nyata dengan konsentrasi PCL 12,5% dan asam maleat anhidrida 2,5%, PCL 12,5% dan asam maleat anhidrida 5%, serta PCL 15% dan asam maleat anhidrida 2,5%. Pada konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrida 7,5% menunjukkan nilai elastisitas yang menurun hal ini diduga sejalan dengan hasil uji kuat tarik bahwa interaksi antara komposit bioplastik dengan PCL terdapat perbedaan antar permukaan gugus polimer hidrofilik dan hidrofobik meskipun adanya penambahan kompatibiliser. Nilai elastisitas pada suatu film akan berbanding lurus dengan kuat tarik tetapi berbanding terbalik dengan persentase perpanjangan putus (Darni et al., 2010). Hal ini sesuai dengan pernyataan (Tong et al., 2017) bahwa modulus young sangat bergantung pada kuat tarik dan perpanjangan putus. Hasil dari penelitian ini memiliki nilai elastisitas yang lebih tinggi dibanding elastisitas yang dilakukan oleh (Harsojuwono et al., 2022).

Tabel 4. Nilai elastisitas (MPa) komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada perlakuan konsentrasi polikaprolakton dan konsentrasi asam maleat anhidrida

Konsentrasi Polikaprolakton (%)	Konsentrasi Asam Maleat Anhidrida (%)		
	2,5	5	7,5
10	56,94±20,82 <sup>d</sup>	319,69±45,4 <sup>bc</sup>	359,74±157,5 <sup>bc</sup>
12,5	157,59±44,11 <sup>d</sup>	162,15±109,0 <sup>d</sup>	119,02±12,06 <sup>d</sup>
15	155,38±10,29 <sup>d</sup>	627,09±72 <sup>a</sup>	374,29±35,15 <sup>b</sup>

Berdasarkan SNI plastik 7818:2014 nilai elastisitas suatu bioplastik adalah minimal 400-1120 MPa. Nilai elastisitas komposit bioplastik sudah memenuhi standar SNI 7818:2014 dengan nilai elastisitas sebesar 627,09 MPa pada konsentrasi PCL15% dan asam maleat anhidrida 5%.

#### **Water Vapour Transmission Rate (WVTR)**

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa konsentrasi PCL tidak berpengaruh nyata ( $p>0,05$ ) terhadap WVTR. Konsentrasi asam maleat anhidrida berpengaruh sangat nyata ( $p<0,01$ ) terhadap WVTR, sedangkan interaksi antar perlakuan tidak berpengaruh nyata ( $p>0,05$ ) terhadap nilai WVTR komposit bioplastik maizena-glukomanan. Nilai WVTR komposit bioplastik maizena dan glukomanan berkisar antara 0,19±0,08 – 1,81±0,19 g/m<sup>2</sup>/jam. Nilai WVTR komposit bioplastik maizena dan glukomanan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai WVTR (g/m<sup>2</sup>/jam) komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada perlakuan konsentrasi polikaprolakton dan konsentrasi asam maleat anhidrida

Konsentrasi Polikaprolakton (%)	Konsentrasi Asam Maleat Anhidrida (%)			Rata-rata
	2,5	5	7,5	
10	1,46±0,57	1,56±0,70	0,82±0,27	1,29±0,40 <sup>a</sup>
12,5	1,81±0,19	1,36±0,36	0,19±0,04	1,12±0,84 <sup>a</sup>
15	1,50±0,46	0,51±0,56	0,19±0,08	0,74±0,68 <sup>a</sup>
Rata-rata	1,60±0,19 <sup>a</sup>	1,14±0,56 <sup>b</sup>	0,41±0,36 <sup>c</sup>	

Penambahan konsentrasi asam maleat anhidrida pada komposit bioplastik menghasilkan nilai WVTR yang semakin kecil. Hal itu dikarenakan laju transmisi uap air berkaitan erat dengan ketebalan dari bioplastik, ketebalan bioplastik menyebabkan tekstur bioplastik semakin kaku dan keras sehingga kemampuan bioplastik untuk menahan uap air semakin baik (Jacoeb et al., 2014). Hasil penelitian Waryat et al., (2013) menyatakan bahwa kompatibiliser berfungsi sebagai penghubung antara komponen hidrofobik dan hidrofilik serta optimalnya ikatan antar permukaan yang terbentuk antara pati dan PCL. Hasil nilai WVTR yang dihasilkan pada penelitian ini diduga juga karena sifat asam maleat anhidrida yang tidak mengikat air akibat adanya difusi uap air pada film akan terhambat (Krochta et al., 1994). Pada hasil analisis keragaman nilai WVTR menghasilkan perbedaan nilai yang tidak signifikan diduga disebabkan bahwa partikel pada konsentrasi PCL mengalami aglomerasi mengelompok sehingga menyebabkan distribusi PCL secara tidak merata. Hasil penelitian dapat dilihat bahwa, nilai WVTR yang dihasilkan karena terbentuknya ikatan kompleks antara komposit bioplastik maizena-glukomanan dengan PCL dan asam maleat anhidrida. Hal ini juga disebabkan karena peningkatan dari jumlah polimer yang akan

memperkecil rongga dalam gel yang terbentuk sehingga gaya ikat antar polimer semakin meningkat dan menyebabkan penurunan perpindahan air bioplastik terhadap gas, uap dan porositasnya (Hasan et al., 2007). Sifat hidrofilik merupakan karakteristik bahan yang mengikat air sehingga akan mempengaruhi nilai WVTR (Darni et al., 2010).

Berdasarkan Japan International Standard (JIS) 2-1707 maksimal nilai laju transmisi uap air bioplastik adalah 0,0292 g/m<sup>2</sup>/jam. Dari hasil penelitian ini laju transmisi uap air komposit bioplastik maizena dan glukomanan belum memenuhi standar.

### Pengembangan tebal (*Swelling*)

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa konsentrasi PCL dan asam maleat anhidrida serta interaksi antar perlakuan berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap nilai swelling komposit bioplastik maizena dan glukomanan. Nilai swelling komposit maizena-glukomanan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai *Swelling* (%) komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada perlakuan konsentrasi polikaprolakton dan konsentrasi asam maleat anhidrida

Konsentrasi Polikaprolakton (%)	Konsentrasi Asam Maleat Anhidrida (%)		
	2,5	5	7,5
10	42,69±6,62 <sup>a</sup>	34,64±1,48 <sup>bc</sup>	31,51±1,28 <sup>cd</sup>
12,5	35,82±6,12 <sup>cd</sup>	30,55±1,50 <sup>cd</sup>	29,38±0,80 <sup>e</sup>
15	30,75±0,44 <sup>cd</sup>	38,01±1,14 <sup>b</sup>	23,44±1,90 <sup>f</sup>

Tabel 6 menunjukkan bahwa komposit bioplastik maizena dan glukomanan dengan konsentrasi PCL 10% dan asam maleat anhidrida 2,5% menghasilkan nilai swelling tertinggi (42,69±6,62). Sementara itu konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrida 7,5% memiliki nilai terendah (23,44±1,90). Pada Tabel 6 ditunjukkan nilai swelling mengalami penurunan seiring penambahan konsentrasi PCL dan asam maleat anhidrida, namun pada konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrida 5% mengalami kenaikan yang signifikan. Hal tersebut diduga karena sifat dari hidrofilik pada komposit bioplastik dan sifat hidrofobik dari PCL yang menyebabkan terjadinya gugus fungsi -OH bebas sehingga menghasilkan nilai swelling yang tinggi karena terbentuknya ikatan hidrogen dengan molekul air sehingga nilai swelling mengalami peningkatan. Karakteristik pengembangan tebal yang memiliki perbedaan polimer merupakan hasil dari berbagai jenis dan rasio bahan penyusunnya sehingga akan mengubah sifat kimia, fisik dan mekanik jika salah satu gugus fungsi utama hidroksil mengalami reaksi (Warastuti et al., 2017). Penambahan asam maleat anhidrida menyebabkan interaksi yang sangat baik terhadap matriks polimer sehingga komposit bioplastik menjadi sangat kompatibel dan homogen (Yuniari., 2011). Berdasarkan standar plastik internasional (EN 317) besarnya swelling untuk plastik adalah maksimal 1,44%. Hasil penelitian ini nilai swelling belum memenuhi standar internasional.

### Biodegradasi

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa konsentrasi PCL, konsentrasi asam maleat anhidrida, serta interaksi antar perlakuan tidak berpengaruh nyata ( $p > 0,05$ ) terhadap waktu biodegradasi komposit bioplastik maizena dan glukomanan. Nilai hasil uji biodegradasi komposit bioplastik berkisar antara 6,33 - 7,33 hari. Perhitungan laju biodegradasi bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan oleh komposit bioplastik yang dihasilkan mampu terurai oleh lingkungan.

Tabel 6. Nilai biodegradasi (hari) komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada perlakuan konsentrasi polikaprolakton dan konsentrasi asam maleat anhidrida

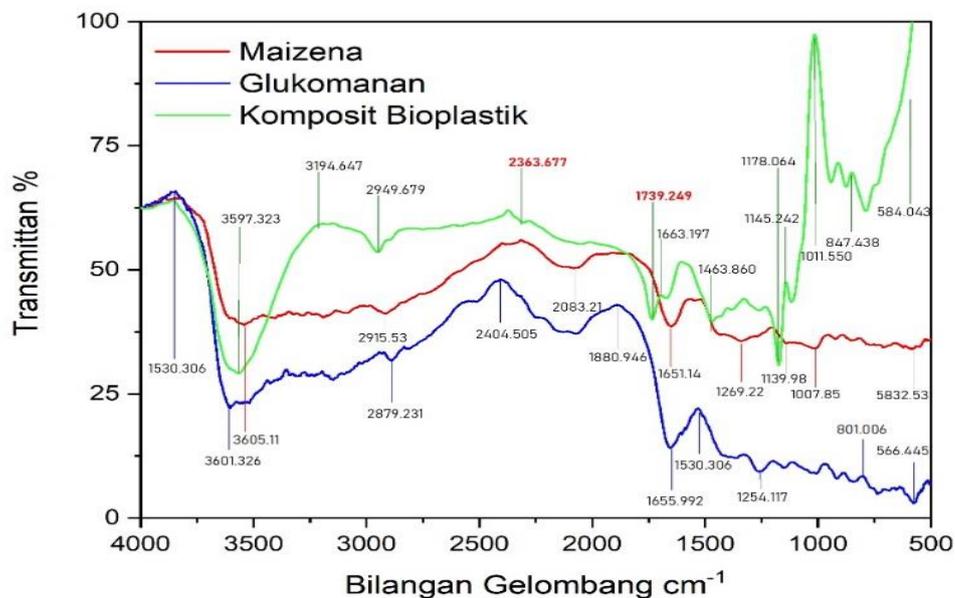
Konsentrasi Polikaprolakton (%)	Konsentrasi Asam Maleat Anhidrida (%)			Rata-rata
	2,5	5	7,5	
10	6,67±0,58	6,33±0,58	7,33±0,58	6,56±0,83 <sup>a</sup>
12,5	6,67±0,58	6,67±0,58	7,00±0,58	6,67±0 <sup>a</sup>
15	7,00±0,00	7,33±0,58	7,33±0,58	7,22±0,19 <sup>a</sup>
Rata-rata	6,78±0,19 <sup>a</sup>	6,56±0,83 <sup>a</sup>	7,11±0,38 <sup>a</sup>	

Komponen pemutusan ikatan kimia dari rantai polimer terjadi pada saat perusakan terhadap struktur permukaan bahan polimer oleh mikroba berdasarkan penelitian (Hasan et al., 2007). Bioplastik yang terbuat dari bahan alam cepatnya terdegradasi serta tidak adanya perbedaan yang nyata pada penelitian ini. Penelitian Mukhsin et al., (2018) perpaduan komposit bioplastik PCL, PLA, bentonite, dan kitosan mengalami proses perubahan warna pada permukaan yang dialami secara 3 minggu namun polimer tidak mengalami kerusakan selama waktu proses pendegradasian. Pada hasil penelitian Dewi et al., (2011) penambahan PCL pada bahan matriks komposit bioplastik menghasilkan proses degradasi lebih cepat dibanding bahan polistiren. Pada bahan matriks bioplastik yang terdapat pati memiliki gugus hidroksil OH sehingga terdekomposisi menjadi potongan-potongan kecil sampai menghilang dikarenakan lingkungan, mengalami proses kerusakan atau penurunan mutu karena putusnya ikatan rantai pada polimer (Darni et al., 2008). Kumar dan Thakur (2017), senyawa yang dihasilkan pada proses degradasi biopolimer akan menghasilkan senyawa sederhana seperti; CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

Berdasarkan Standar Internasional (ASTM D5988) bahwa besarnya nilai biodegradasi pada plastik yaitu maksimal 60 hari. Nilai dari laju komposit bioplastik maizena dan glukomanan pada penelitian berkisar antara 6,33 - 7,33 hari. Kemampuan degradasi sudah memenuhi Standar Internasional (ASTM D5988).

### Gugus Fungsi

Sampel yang digunakan untuk pengujian FTIR adalah tepung maizena, tepung glukomanan dan sampel bioplastik pada perlakuan terbaik yaitu konsentrasi PCL 15% dan asam maleat anhidrida 5% dengan tiga variabel yaitu kuat tarik 16,16 MPa, elastisitas 627,09 MPa dan waktu degradasi 7,33 hari. Hasil pengujian FTIR spectroscopy dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bilangan gelombang maizena, glukomanan, dan komposit bioplastik maizena-glukomanan dengan konsentrasi polikaprolakton 15% dan asam maleata anhidrida 5%

Gambar 1 menunjukkan bilangan gelombang yang terbentuk pada maizena menghasilkan beberapa gugus fungsi hidrokarbon  $-(\text{CH}_2)_n$ , hidroksil O-H, karboksil C-O, alkena C=C, alkana C-H, dan monomer alkohol O-H. Pada bilangan gelombang glukomanan yang menghasilkan gugus fungsi hidrokarbon  $-(\text{CH}_2)_n$ , alkana C-H, hidroksil O-H, karboksil C-O, alkena C=C, dan monomer alkohol. Pada gelombang yang terbentuk pada komposit bioplastik yang memenuhi standar, terdapat perbedaan beberapa gugus fungsi yang ada pada maizena dan glukomanan yaitu gugus karbonil C=O dan alkuna C $\equiv$ C. Hal tersebut menunjukkan proses pembuatan bioplastik merupakan proses pencampuran secara fisik dengan adanya interaksi hidrogen antar rantai N atau H pada bahan penyusun yang berinteraksi dengan PCL dan asam maleat anhidrida.

Pada daerah serapan di bawah  $600 \text{ cm}^{-1}$  merupakan daerah serapan senyawa hidrokarobon (Pavia et al., 2009). Hasil analisis menunjukkan komposit bioplastik adanya serapan gugus hidrokarbon  $-(\text{CH}_2)_n$  pada bilangan gelombang  $564,043 \text{ cm}^{-1}$ , gugus alkena (C-H) pada bilangan gelombang  $847,438 \text{ cm}^{-1}$ , gugus hidroksil (O-H) pada bilangan gelombang  $1011,550 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1145,242 \text{ cm}^{-1}$ , gugus karboksil (C-O) pada bilangan gelombang  $1178,064 \text{ cm}^{-1}$ , gugus alkena (C=C) pada bilangan gelombang  $1663,791 \text{ cm}^{-1}$ , gugus karbonil (C=O) pada bilangan gelombang  $1739,249 \text{ cm}^{-1}$ , gugus alkuna (C $\equiv$ C) pada bilangan gelombang  $2363,677 \text{ cm}^{-1}$ , gugus alkana (C-H) pada bilangan gelombang  $2949,679 \text{ cm}^{-1}$ , dan gugus hidroksil (O-H) pada regangan alkohol pada bilangan gelombang  $3618,938 \text{ cm}^{-1}$ .

Berdasarkan Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa gugus fungsi komposit bioplastik merupakan gabungan dari gugus fungsi spesifik yang terdapat pada masing-masing komponen penyusun bioplastik tersebut. Gugus gabungan yang terbentuk akibat adanya proses *grafting* sehingga terjadinya perubahan letak gugus fungsi, gugus OH- putus dan berganti posisi dengan gugus dari PCL dan asam maleat anhidrida. Komposit bioplastik yang dihasilkan mempunyai gugus fungsi yang sama dengan bahan matriks yang digunakan dan berinteraksi sehingga masih memiliki sifat-sifat seperti komponen penyusunnya yaitu plastis dan mudah terurai. Bioplastik yang terbentuk

masih memiliki sifat hidrofilik seperti komponen penyusunnya. Sifat hidrofilik dari bioplastik ini juga dapat dilihat dari adanya gugus OH- pada bioplastik yang terdapat pada bilangan gelombang 1011,550 dan 1145,242.

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Konsentrasi polikaprolakton berpengaruh nyata terhadap kuat tarik, elastisitas, dan swelling, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap perpanjangan saat putus, *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) dan biodegradasi. Konsentrasi asam maleat anhidrida berpengaruh nyata terhadap kuat tarik, elastisitas, *swelling*, WVTR tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap perpanjangan saat putus dan biodegradasi. Interaksi antar perlakuan berpengaruh nyata terhadap kuat tarik dan elastisitas, sedangkan tidak berpengaruh nyata terhadap perpanjangan saat putus, WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*), *swelling*, dan biodegradasi

Komposit bioplastik maizena dan glukomanan terbaik diperoleh pada perlakuan konsentrasi PCL 15% dan konsentrasi asam maleat anhidrida 5% yang memenuhi standar kuat tarik, elastisitas, dan biodegradasi. Karakteristik komposit bioplastik terbaik sebagai berikut kuat tarik 16,16 MPa, perpanjangan saat putus 2,620 %, elastisitas 627 MPa, swelling 30,26%, WVTR 0,64 g/m<sup>2</sup>.jam dan waktu degradasi selama 7,33 hari. Komposit bioplastik yang dihasilkan mempunyai gugus fungsi (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>, gugus alkena (C-H), gugus hidroksil (O-H), gugus karboksil (C-O), gugus alkena (C=C), gugus karbonil (C=O), gugus alkuna (C≡C), gugus alkana (C-H), dan gugus hidroksil (O-H) pada regangan alkohol dengan bilangan gelombang berturut-turut sebesar 564,043 cm<sup>-1</sup>, 847,438 cm<sup>-1</sup>, 1011,550 cm<sup>-1</sup>, 1145,242 cm<sup>-1</sup>, 1178,064 cm<sup>-1</sup>, 1663,791 cm<sup>-1</sup>, 1739,249 cm<sup>-1</sup>, 2363,677 cm<sup>-1</sup>, 2949,679 cm<sup>-1</sup>, dan 3618,938 cm<sup>-1</sup>.

### Saran

Saran pada penelitian selanjutnya yaitu diperlukannya pengembangan dan penelitian terhadap formulasi baru dengan menambahkan bahan yang bersifat hidrofobik dan kompatibel seperti selulosa, kitosan atau protein untuk memperbaiki nilai swelling, WVTR, dan perpanjangan saat putus sehingga komposit bioplastik maizena dan glukomanan dapat memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) maupun Standar Internasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arshak K., and K. Olga. 2006. *Advanced Materials and Techniques for Radiation Dosimetry*. Artech House. Book News, Inc. Portland.
- Carpenter, G., F.C. Lee and D.Y. Chen. 1990. An 1800-V 300-A nondestructive tester for biopolarpower trasistors. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 5(3):314-322.
- Causin, V. 2011. Nanocomposites improve performance of biodegradable polymers. *Society of Plastics Engineers*. 10:1-2.
- Cottam, E., D.W. Hukins., K. Lee., C. Hewitt., and M.J. Jenkins. 2009. Effect of sterilisation by gamma irradiation on the ability of polycaprolactone (PCL) to act as a scaffold material. *Medical Engineering & Physics*. 31(2):221-226.
- Darni, Y. dan H. Utami. 2010. Studi pembuatan dan karakterisasi sifat mekanik dan hidrofobisitas bioplastik dari pati sogum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 7(4):88-93.

- Darni, Y., H. Utami., dan S.N. Asriah. 2009. Peningkatan hidrofobisitas dan sifat fisik plastik biodegradable pati tapioka dengan penambahan selulosa residu rumput laut *euchema spinosum*. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*. 7(2):88-93.
- Dewi, N.L.G.S., B. A. Harsojuwono., dan A. Hartiati. 2017. Karakteristik bioplastik alginat dari rumput laut *ulva lactuca* (tinjauan suhu dan lama gelatinisasi). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 5(3):66-73.
- Harsojuwono, B.A., I.W. Arnata., and A. Hartiati. 2022. The Improvement of the modified Starch—Glucomannan—Polyvinyl alcohol biothermoplastic composite characteristics with polycaprolactone and anhydride maleic acid. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:844485.
- Harsojuwono, B.A., I.W. Arnata., and S. Mulyani. 2017. Biodegradable plastic characteristics of cassava starch modified in variations temperature and drying time. *J. Chem. Proc. Eng. Res.* 49:1–5.
- Hasan, M., I.M. Arcana., Sulastri., Rusman., dan L. Hanum. 2007. Plastik ramah lingkungan dari polikaprolakton dan pati tapioka dengan penambahan refined bleached and deodorized palm oil (RBDPO) sebagai pemlastis alami. *Jurnal Purifikasi*. 8(2):133-138.
- Hasanah, Y.R., dan Haryanto. 2017. Pengaruh penambahan filler kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dan clay terhadap sifat mekanik dan biodegradable plastik dari limbah tapioka. *Jurnal Techno*. 18(2):96-107.
- Hidayani, T.R., E. Pelita., dan D. Nirmala. 2017. Pembuatan dan karakterisasi plastik biodegradable dari limbah polipropilena dan pati biji durian dengan penambahan maleat anhidrida sebagai agen pengikat silang. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. 39(1):17-24.
- Indrawati, C., B.A. Harsojuwono., dan A. Hartiati. 2019. Karakteristik komposit bioplastik glukomanan dan maizena dalam pengaruh variasi suhu dan waktu gelatinisasi. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 7(3):468-477.
- Jacoeb, A.M., R. Nugraha., dan S.P.S.D. Utari. 2014. Pembuatan edible film dari pati buah lindur dengan penambahan gliserol dan karaginan. *Jurnal Hasil Perairan*. 17(1):34-4.
- Kumar, S. and K.S. Thakur. 2017. Bioplastics - classification, production and their potential food applications. *Journal of Hill Agriculture*. 8:118-129.
- López-Castejón, M.L., M.L. Reviriego., E. Álvarez-Castillo., J.M. Aguilar., and C. Bengoechea. 2022. eco-composites from silkworm meal and polycaprolactone: effect of formulation and processing conditions. *Polymers*. 14(12):2342
- Lu, D.R., C.M. Xiao., and S.J. Xu. 2009. Starch-based completely biodegradable polymer materials. *Journal of Express Polymer*. 3(6):366-375.
- Machado, A.V., and J.A. Covos. 2000. Monitoring polyolefin modification along the axis of a twin screw extruder maleic anhydride grafting. *Journal Of Polymer Science part A*. 38:3919-3932.
- Muhammad., R. Ridara., dan Masrullita. 2021. Sintesis bioplastik dari pati biji alpukat dengan bahan pengisi kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 9(2):01-11.
- Mukhsin., M. Sami., dan T. Rihayat. 2018. Karakterisasi paduan PCL (polycaprolactone), PLA (polylactidacid), bentonit dan kitosan nanokomposit. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 2(1):200-206.
- Nayiroh, N. 2013. *Teknologi material komposit*. <http://nurun.lecturer.uinmalang.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf>. Diakses 26 Mei 2022.
- Nurhajati, D.W., dan I.N. Indrajati. Kualitas Komposit Serbuk Sabut Kelapa Dengan Matrik Sampah Styrofoam Pada Berbagai Jenis Compatibilizer. *Jurnal Riset Industri*. 5(2):143-151.
- Pavia, D.L., G.M. Lampman, G.S. Kriz., and D.R. Vyvyan. 2009. *Introduction to Spectroscopy*. Saunders College, Philadelphia.

- Radhiyatullah, A., N. Indriani dan M.H.S. Ginting. 2015. Pengaruh berat pati dan volume plasticizer gliserol terhadap karakteristik film bioplastik pati kentang. *Jurnal Teknik Kimia*. 4(3):35-39.
- Tong, Z., Y. Chen., and, Y. Liu. 2017. Preparasion, characterization and properties of Alginate/Poly(g-glutamic acid) composite microparticles. *Mar. Drugs*. 15:1–14.
- Warastuti, Y., N. Suryani., dan N.S. Suryani, 2017. Pembuatan komposit polikaprolakton-kitosan-hidroksiapatit iradiasi untuk aplikasi biomaterial. *J. Isot. Rad. App*. 10:11–22.
- Waryat., M. Romli., A. Suryani., I. Yuliasih., S. Johan, dan A. Nasiri. 2013. Karakteristik mekanik, permeabilitas dan biodegrabilitas plastik biodegradable berbahan baku komposit pati termoplastik-LLDPE. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 23(2):153-163.
- Xiao, X., and R. Liu 2009. Preparation and characterization of hydroxyapatite/polycaprolactone-chitosan composites. *Mater sci:Mater Med*. 20:2375-2383.
- Yuniari, A. 2011. Morfologi dan sifat polipaduan low density polyethylene pati tergrafting maleat anhidrat. *Jurnal Riset Industri*. 5(3):239-247.
- Yuniari, A. 2011. Morfologi dan sifat polipaduan low density polyethylene pati tergrafting maleat anhidrat. *Jurnal Riset Industri*. 5(3):239-247.
- Zhou, J., and F. Yan. 2004. Effect of polyethylene-graft-maleic anhydride as compatibilizer on the mechanical and tribological behaviours of ultrahigh-molecular weight polyethylene/copper composite. *Journal Applied Polymer Science*. 93:948-955.