

Karakteristik Bioplastik Berbahan Dasar Limbah Cair Tahu (*Whey*) dengan Penambahan Kitosan dan Gliserol

Characteristics of Bioplastic Based on Tofu Liquid Waste (Whey) with Chitosan and Glycerol

Bambang Rahadi^{1*}, Putri Setiani¹, Robert Antonius¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145, Indonesia

*Email korespondensi : b.rahadi@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan plastik telah banyak membantu kehidupan manusia, namun saat ini keberadaanya dalam berada dalam jumlah yang mengkhawatirkan. Mayoritas plastik yang bersifat sekali pakai serta proses penguraian yang lambat membuat plastik menumpuk dan mencemari lingkungan. Disisi lain, Indonesia merupakan negara dengan tingkat konsumsi tahu yang tinggi. Produksi tahu menghasilkan *whey* yang biasa dibuang dan mencemari lingkungan. Alternatif penyelesaian terhadap dua masalah ini melalui pembuatan bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan variasi terbaik bioplastik dari limbah cair tahu dengan penambahan kitosan dan gliserol. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dua faktor (massa kitosan dan volume gliserol) dengan 9 variasi perlakuan. Karakterisasi bioplastik dilakukan terhadap parameter ketebalan, sifat mekanik, dan daya serap air. Hasil analisa menunjukkan hasil karakterisasi terbaik terdapat pada bioplastik perlakuan kitosan 2.3 g dan gliserol 1.5 mL atau K2G2. Variasi K2G2 yang memiliki rerata ketebalan 0.056 mm, kuat tarik sebesar 0.1625 kgf.cm⁻², perpanjangan putus sebesar 45%, modulus elastisitas sebesar 0.0036 kgf.cm⁻², dan daya serap air sebesar 26.08%.

Kata kunci: daya serap air, ketebalan, kuat tarik, modulus elastisitas, perpanjangan putus

ABSTRACT

Plastic usage is undeniable for human life. But, the amount of plastic waste is on terrifying level. Plastic characteristics are single used and hardly to decompose caused that waste end up and damaging the environment. Beside, tofu consumption is favored by Indonesian citizen. Tofu production is generated whey that usually thrown away directly then polluting the environment. Solution to tackle that environmental problem is through bioplastic production. This study objectives is to determine the best variation of bioplastic sample from whey with glycerol and chitosan addition. Statistical analysis was done by using Factorial Completely Randomize Design with 2 factors (chitosan mass and glycerol volume) with 9 sampel variation. Bioplastic was analyzed by thickness measurement, mechanical properties, and water absorption. Bioplastic sample with the addition of chitosan of 2.3 g and glycerol of 1.5 mL or K2G2 show the best characteristic. K2G2 bioplastic present the average of thickness measurements of 0.0056 mm, tensile strength of 0.1625 kgf.cm⁻², elongation at break of 45%, elasticity of 0.0036 kgf.cm⁻², water absorption of 26.08%.

Keywords: water absorption, bioplastic thickness, tensile strength, elasticity, elongation at break

PENDAHULUAN

Sejak tahun 1950, plastik berkembang pesat menjadi material utama yang sangat luas penggunaannya bagi kehidupan manusia (UNEP, 2018). Plastik menjadi material yang sangat diminati karena keunggulannya diantaranya ringan, fleksibel, ekonomis, transparan, kuat, mudah dibawa, kedap air dan gas, tidak mudah pecah, dan harganya yang terjangkau (Sharma *et al.*, 2017). Namun, kini keberadaan sampah plastik sudah dalam jumlah yang mengkhawatirkan. Geyer *et al.* (2017) menyebutkan hingga kini jumlah sampah plastik dunia mencapai 6300 juta ton, dan hanya 9% saja yang dapat diolah melalui proses daur ulang dan sisanya masih menumpuk di lingkungan. Dampak dari pencemaran plastik diantaranya adalah pelepasan gas beracun dioksin, mikroplastik, tempat berkembangbiakan vektor penyakit, hingga matinya biota laut (UNEP, 2018).

Tahu merupakan produk pangan favorit di Indonesia dengan tingkat konsumsi mencapai 7.03 kg/kapita/tahun (Kemenperin, 2017). Produksi tahu menghasilkan limbah cair (*whey*) dari proses penggumpalan tahu (Saleh, 2011) sebanyak 43.5 L per kg kedelai yang digunakan (Pohan, 2008). *Whey* mengandung kadar bahan organik yaitu BOD, COD, TSS yang tinggi dan menyebabkan pencemaran lingkungan dalam pembuangannya pada badan air. Penelitian ini ingin mengoptimalkan potensi limbah cair untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bioplastik dari limbah cair tahu. Limbah cair tahu akan dikonversi menjadi material murni selulosa *nata de soya* oleh bakteri *A. xylinum* (Esa *et al.*, 2014). Produk konversi dari limbah cair tahu atau *nata de soya* dapat dimanfaatkan dalam pembuatan bioplastik karena kandungan selulosa yang tinggi sebagai polimer utama penyusun bioplastik. Namun, sifat hidrofilik yang dimiliki oleh bioplastik berbasis pati dan selulosa memiliki keterbatasan diantaranya rendahnya ketahanan air, rapuh, stabilitas yang rendah sehingga rentan terdegradasi, dan buruknya sifat mekanik (Jabeen *et al.*, 2015). Oleh karena itu diperlukan

penambahan bahan alam lainnya guna mengatasi kerapuhan dan meningkatkan sifat mekanik akibat sifat hidrofilik selulosa (Noorbakhsh-Soltani *et al.*, 2018). Pembuatan bioplastik turut menggunakan aditif alami yakni kitosan sebagai penguat (Chillo *et al.*, 2008) dan gliserol sebagai pemlastis (Souza *et al.*, 2012) untuk meningkatkan kualitas bioplastik yang dihasilkan.

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan variasi terbaik bioplastik dari limbah cair tahu dengan penambahan kitosan dan gliserol. Melalui penelitian ini diharapkan dapat menjadi wawasan baru mengenai pemanfaatan *whey* sebagai bahan dasar bioplastik, juga menjadi alternatif penyelesaian permasalahan lingkungan oleh cemaran *whey* dan sampah plastik terutama di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dua faktor yaitu faktor kitosan dan gliserol. Masing masing faktor terdiri atas tiga taraf. Faktor massa kitosan yang digunakan ialah 1.5 (K1), 2.3 (K2), dan 3.1 (K3) gram. Faktor volume gliserol yang digunakan ialah 1.0 (G1), 1.5 (G2), dan 2.0 (G3) mL. Dilakukan 3 kali ulangan pada tiap sampel perlakuan. Analisa statistik menggunakan Uji ANOVA (*Analysis of Variance*) dan uji lanjut dengan metode BNT (Beda Nyata Terkecil). Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah *nata de soya* hasil konversi limbah cair tahu yang diambil dari Pabrik Tahu, ekstrak kitosan dari cangkang kerang, gliserol teknis.

Pembuatan *Nata de soya*

Konversi limbah cair tahu menjadi sumber selulosa untuk pembuatan bioplastik dilakukan dengan membuat *nata de soya*. *Nata de soya* dibuat menggunakan 1 L limbah cair tahu (*whey*) yang kemudian disterilisasi melalui proses pemasakan. Selama proses pemasakan, *whey* ditambah bahan lain meliputi 25 gram gula, 2 gram ZA, dan 15 mL cuka. Kemudian, *whey* yang telah disterilisasi dituang kedalam kontainer dan ditutup menggunakan koran dan karet untuk mencegah kontaminasi.

Ketika suhu *whey* telah lebih rendah (30°C) ditambahkan kultur *A. xylinum* sebanyak 100 mL dan wadah kembali ditutup dan disimpan selama 10 hari hingga terbentuk *nata de soya*.

Pembuatan Bioplastik

1. Larutan kitosan : serbuk kitosan yang telah ditimbang dilarutkan dengan menggunakan asam asetat glasial 1% diatas *magnetic stirrer* pada suhu 80°C , 120 rpm hingga homogen.
2. Larutan selulosa : kristal CaCl_2 sebanyak 8 gram dilarutkan dengan aquades sebanyak 40 mL (1:5). Setelah homogen, 25 gram selulosa dicampurkan dengan larutan CaCl_2 diatas *magnetic stirrer* pada suhu 60°C , 120 rpm hingga homogen.
3. Campuran Bioplastik : larutan kitosan dan selulosa dicampurkan dalam satu *beaker glass* kemudian ditambahkan gliserol sesuai variasi diatas *magnetic stirrer* pada suhu 80°C hingga terbentuk larutan bioplastik yang homogen. Larutan dituangkan ke dalam cetakan kaca 30×20 cm kemudian dikeringkan pada suhu ruangan. Hasil bioplastik digunakan untuk proses karakterisasi.

Karakterisasi Bioplastik

Bioplastik dikarakterisasi terhadap parameter ketebalan, sifat mekanik (kuat tarik, perpanjangan putus, dan modulus elastisitas), dan daya serap air. Karakterisasi ketebalan dilakukan menggunakan mikrometer sekrup 0.01 mm. Karakterisasi sifat mekanik menggunakan alat *Brazilian Test* (*Chicago U-160-A*). Uji daya serap air dengan merendam sampel bioplastik pada 10 mL aquades selama 24 jam untuk mengetahui perbandingan massa awal dan akhir bioplastik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

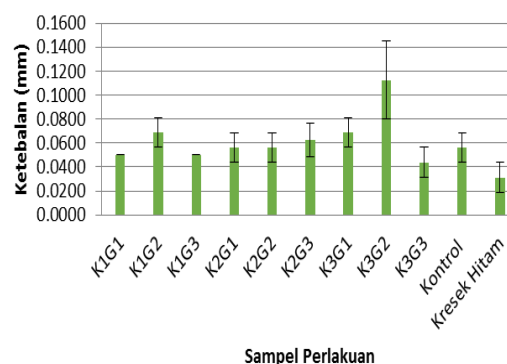
Karakterisasi bioplastik dilakukan terhadap 9 sampel perlakuan bioplastik yakni K1G1 hingga K3G3 juga terhadap sampel kontrol *nata de soya* tanpa penambahan kitosan dan gliserol serta plastik konvensional (kresek hitam). Contoh sampel bioplastik yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sampel bioplastik

Pengaruh Perlakuan terhadap Ketebalan

Uji ketebalan penting dilakukan karena akan mempengaruhi hasil karakterisasi sifat mekanik bioplastik (Zhou, 2016). Ketebalan bioplastik dari tiap variasi perlakuan terdapat pada Gambar 2. Pengukuran ketebalan dilakukan pada 4 titik sampel yang dipilih secara acak. Nilai ketebalan tertinggi terdapat pada variasi K3G3 yaitu 0.04375 mm dan ketebalan terendah pada variasi K3G2 yaitu 0.01125 mm. Ketebalan sampel kontrol adalah 0.05625 mm dan sampel kresek adalah 0.03125 mm.



Gambar 2. Data ketebalan

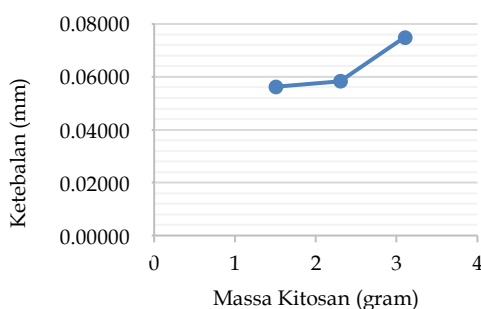
Uji ANOVA menunjukkan faktor kitosan, gliserol, dan interaksi keduanya berpengaruh terhadap ketebalan, sehingga dilakukan uji lanjutan dengan metode BNT 5%. Pengaruh interaksi kitosan dan gliserol terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh interaksi terhadap ketebalan

Perlakuan	Rata rata
K3G3	0.04375 ^a
K1G1	0.05000 ^a
K1G3	0.05000 ^a
K2G1	0.05625 ^a
K2G2	0.05625 ^a
K2G3	0.06250 ^b
K1G2	0.06875 ^b
K3G1	0.06875 ^b
K3G2	0.11250 ^c

Perlakuan K3G2 berpengaruh paling signifikan terhadap ketebalan bioplastik. Menurut Sofia *et al.* (2016), dinyatakan bahwa ketebalan *film* dipengaruhi oleh banyaknya total padatan dalam larutan bioplastik yaitu kitosan. Namun terdapat *error* dimana ketebalan terendah juga terdapat pada variasi kitosan yang sama, yaitu K3G3. Faktor yang mempengaruhi penyimpangan ini adalah kebocoran yang terjadi pada cetakan saat proses pengeringan, dan belum sepenuhnya larut selulosa oleh pelarut CaCl_2 .

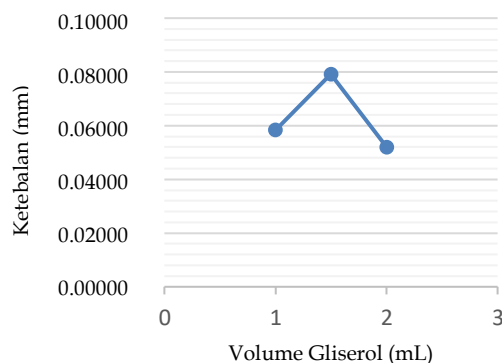
Selanjutnya, hasil uji BNT pengaruh kitosan terhadap ketebalan yang paling signifikan terdapat pada variasi K3 yaitu 0.0750 mm. Pengaruh kitosan terhadap ketebalan terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan kitosan dengan ketebalan

Hasil penelitian menunjukkan banyaknya jumlah kitosan yang ditambahkan meningkatkan ketebalan bioplastik sesuai dengan penelitian Anggraini (2017), dimana ketebalan sebanding dengan penambahan jumlah kitosan.

Hasil uji BNT pengaruh gliserol terhadap ketebalan yang paling signifikan terdapat pada variasi G2 yaitu 0.07916 mm. Grafik hubungan volume gliserol terhadap ketebalan ini terdapat pada Gambar 4.

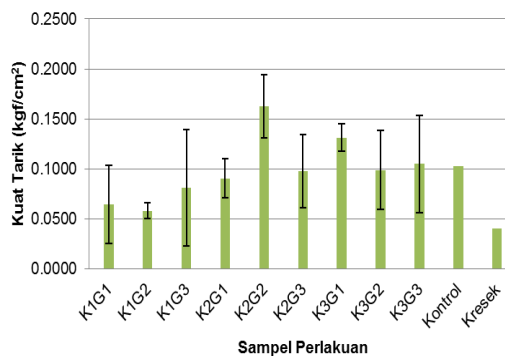


Gambar 4. Hubungan gliserol dengan ketebalan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor gliserol berpengaruh terhadap ketebalan. Menurut Sudaryati *et al.* (2016), penambahan volume gliserol meningkatkan ketebalan akibat molekul gliserol yang berinteraksi dengan polimer *film* plastik akan menempati rongga dalam matriks yang meningkatkan jarak antar polimer.

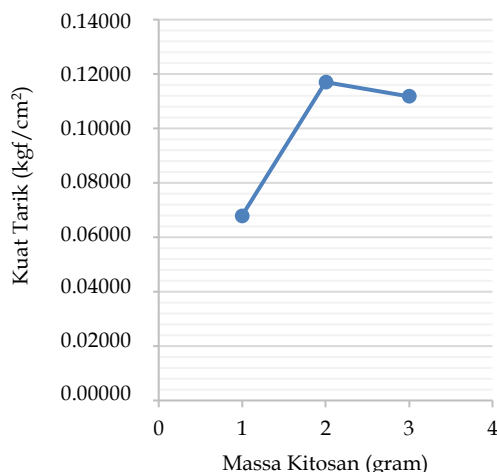
Pengaruh Perlakuan terhadap Kuat Tarik

Uji kuat tarik diperlukan untuk memastikan *film* akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis (Selpiana & Anggraeni, 2016). Data kuat tarik pada tiap perlakuan terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Data kuat tarik

Hasil uji ANOVA terhadap data kuat tarik menunjukkan bahwa faktor kitosan berpengaruh terhadap kuat tarik bioplastik. Data tersebut kemudian di uji lanjut menggunakan metode BNT. Perlakuan K2 berpengaruh paling signifikan terhadap peningkatan kuat tarik bioplastik. Grafik pengaruh kitosan terhadap kuat tarik terdapat pada Gambar 6.



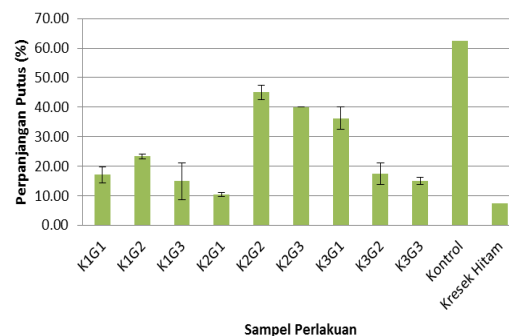
Gambar 6. Hubungan kitosan dengan kuat tarik

Perlakuan K2 berpengaruh paling signifikan terhadap peningkatan kuat tarik bioplastik. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Garcia *et al.* (2006) yaitu volume gliserol yang digunakan sebesar 0.2856 kali dari massa pati/selulosa yang digunakan dan dilengkapi oleh Zhong & Xia (2008) yang menyatakan nilai kuat tarik optimum diperoleh dari perbandingan volume gliserol dan kitosan adalah 63 : 100. Mengacu dari dua literatur tersebut variasi kitosan optimum terdapat pada K2 lebih tepatnya pada variasi K2G2 yang menghasilkan nilai kuat tarik terbesar diantara 9 sampel perlakuan lainnya. Kuat tarik bioplastik terbaik K2 (0.1625 kgf.cm⁻²) juga lebih besar 400% dibanding plastik kresek yaitu 0.0406 kgf.cm⁻².

Pengaruh Perlakuan terhadap Perpanjangan Putus

Perpanjangan putus menentukan elastisitas suatu plastik. Semakin tinggi nilai perpanjangan putus, maka plastik

semakin elastis sehingga dapat ditarik lebih mulur. Data kuat tarik pada tiap perlakuan terdapat pada Gambar 7. Perpanjangan putus tertinggi terdapat pada variasi K2G2 45% dan terendah yaitu K2G1 10.42%.



Gambar 7. Data perpanjangan putus

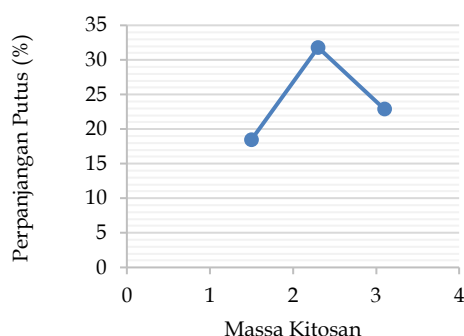
Hasil uji ANOVA terhadap data perpanjangan putus menunjukkan bahwa faktor kitosan, gliserol, dan interaksi keduanya berpengaruh terhadap perpanjangan putus bioplastik, sehingga dilakukan uji lanjutan dengan metode BNT 5%. Pengaruh interaksi kitosan dan gliserol dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh Interaksi terhadap Perpanjangan Putus

Perlakuan	Rata rata
K2G1	10.41667 ^a
K1G3	15.00000 ^a
K3G3	15.00000 ^a
K1G1	17.08333 ^b
K3G2	17.50000 ^{bc}
K1G2	23.33333 ^c
K3G1	36.25000 ^d
K2G3	40.00000 ^{de}
K2G2	45.00000 ^e

Perlakuan K2G2 berpengaruh paling signifikan terhadap perpanjangan putus bioplastik. Secara teoritis, menurut Darni dkk. (2009), semakin banyak gliserol yang ditambahkan akan meningkatkan elongasi bioplastik. Namun, dari hasil penelitian nilai perpanjangan putus terbesar pada variasi K2G2. Hal ini terjadi karena berdasarkan Zhang *et al.* (2014) dapat terjadi fenomena anti plastisasi ketika jumlah molekul pemlastis yang ditambahkan berada diatas batas kritis

jumlah pemlastis yang dibutuhkan. Proses plastisasi ini akan melemahkan interaksi dan gaya kohesi antar polimer, sehingga menurunkan nilai persen perpanjangan putus setelah melampaui batas kritis pemlastis yang ditambahkan pada bioplastik (Sanyang *et al.*, 2015). Selanjutnya, hasil uji BNT pengaruh kitosan terhadap perpanjangan putus yang paling signifikan terdapat pada variasi K2 yaitu 31.80%. Pengaruh kitosan terhadap perpanjangan putus terdapat pada Gambar 8.

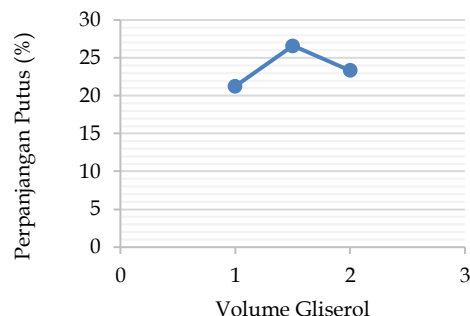


Gambar 8. Hubungan kitosan dengan perpanjangan putus

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa perpanjangan putus optimum pada variasi K2 dan turun pada variasi K3. Penurunan nilai elongasi dapat disebabkan karena konsentrasi kitosan pada variasi K2 berada pada keseimbangan yang sempurna. Setelah melewati titik keseimbangan, kitosan cenderung membentuk fasa kristalin yang menyebabkan bioplastik menjadi lebih getas sehingga mudah putus atau patah (Agustin & Padmawijaya, 2016; Souza *et al.*, 2012).

Hasil uji BNT pengaruh gliserol terhadap perpanjangan putus yang paling signifikan terdapat pada variasi G2 yaitu 28.61%. Grafik hubungan faktor ini dapat dilihat pada Gambar 9. Tren hasil penelitian menunjukkan nilai perpanjangan putus meningkat dari G1 yaitu 21.25% ke G2 kemudian turun kembali di variasi G3 yaitu 23.33%. Secara teoritis, semakin banyak gliserol yang digunakan akan meningkatkan nilai persen elongasi bioplastik. Namun terdapat konsentrasi optimum gliserol yang ditambahkan, karena selain menurunkan persen elongasi

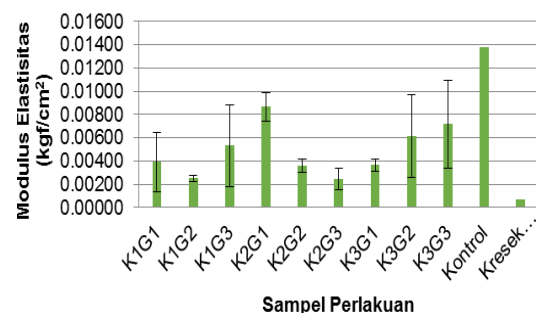
akan menciptakan tekstur lengket padabioplastik (Laohakunjit & Noomhorm, 2004).



Gambar 9. Hubungan gliserol dengan perpanjangan putus

Pengaruh Perlakuan terhadap Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada suatu benda. Bahan kaku akan memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi. Bahan kaku akan memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi. Data modulus elastisitas pada tiap perlakuan terdapat pada Gambar 10.



Gambar 10. Data modulus elastisitas

Nilai modulus elastisitas terbesar yaitu variasi K2G1 sebesar 0.00864 kgf.cm⁻² dan yang terendah yaitu variasi K2G3 sebesar 0.00245 kgf.cm⁻². Hasil menunjukkan bahwa variasi K2G1 merupakan biopastik terkaku dibanding sampel lainnya. Modulus elastisitas variasi K2G2 yaitu 0.0036 kgf.cm⁻². Berdasarkan uji ANOVA faktor interaksi kitosan dan gliserol berpengaruh terhadap modulus elastisitas

bioplastik. Pengaruh interaksi kitosan dan gliserol terhadap modulus elastisitas terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh interaksi terhadap modulus elastisitas

Perlakuan	Rata rata
K2G3	0.00245 ^a
K1G2	0.00250 ^a
K2G2	0.00360 ^a
K3G1	0.00365 ^a
K1G1	0.00391 ^a
K1G3	0.00530 ^a
K3G2	0.00616 ^a
K3G3	0.00716 ^b
K2G1	0.00865 ^b

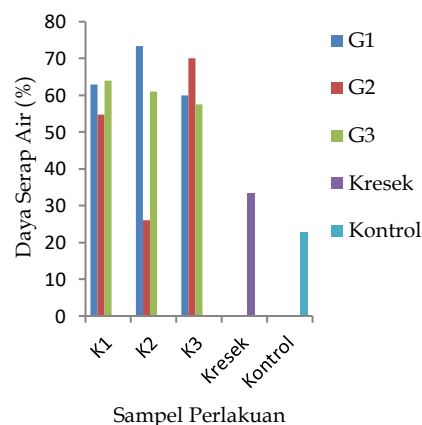
Perlakuan K2G1 memiliki nilai modulus elastisitas yang paling tinggi diantara perlakuan lainnya yang berarti perlakuan tersebut memiliki tingkat kekakuan yang paling besar. Sementara, perlakuan K2G3 memiliki nilai modulus elastisitas terendah yang berarti perlakuan tersebut merupakan perlakuan bioplastik yang paling elastis diantara perlakuan lainnya.

Pengaruh Perlakuan terhadap Daya Serap Air

Daya serap air merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menahan maupun menyerap air. Sifat ini merupakan salah satu sifat yang penting bagi material plastik guna menunjang fungsinya sebagai bahan pengemas yaitu menjaga umur simpan suatu produk (Ikhwannuddin, 2018). Data rerata daya serap air penelitian dapat dilihat pada Gambar 11.

Sampel K2G2 adalah sampel yang memiliki nilai daya serap air yang paling optimum diantara sampel lainnya yaitu sebesar 26.08% sementara itu nilai daya serap air yang kurang optimum terdapat pada sampel K2G1 dengan persentase penyerapan 73.40%. Pengambilan keputusan nilai daya serap terbaik pada sampel K2G2 didasarkan dengan kaitannya pada sifat bioplastik, dimana semakin kecil nilai daya serap air artinya semakin baik karakteristik bioplastik tersebut (Sutan *dkk.*, 2018). Faktor yang mempengaruhi besarnya

daya serap air yaitu gliserol, diameter serat selulosa dan kitosan. Menurut Bangyekan *et al.* (2006), peningkatan jumlah gliserol meningkatkan daya serap air. Kitosan berpengaruh terhadap penurunan daya serap air bioplastik akibat terdapatnya gugus amina yang bersifat hidrofobik yang menyisip diantara rongga rongga polimer bioplastik (Fathanah *et al.*, 2015). Sementara pada faktor diameter serat selulosa, semakin kecil ukuran serat yang digunakan, maka pori-pori pada bioplastik akan semakin kecil, dan kerapatan bioplastik menjadi lebih tinggi sehingga menurunkan daya serap air (Bahmid *dkk.*, 2014).



Gambar 11. Data daya serap air

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kesimpulan yang diperoleh adalah

1. Penguat kitosan dan *plasticizer* gliserol berpengaruh terhadap karakteristik bioplastik yaitu ketebalan, kuat tarik, perpanjangan putus, dan daya serap air. Ketebalan bioplastik terbesar terdapat pada sampel K3G2. Pada parameter kuat tarik, elongasi, dan daya serap air hasil optimum terdapat pada variasi K2G2. Pada parameter modulus elastisitas, modulus elastisitas terbesar terdapat pada variasi K2G1
2. Variasi terbaik yang diperoleh melalui penelitian ini adalah variasi K2G2, dengan hasil karakteristik rata rata ketebalan, kuat tarik, perpanjangan putus, modulus elastisitas, dan daya serap air secara berturut turut adalah

- sebesar 0.05625 mm, 0.1625 kgf.cm⁻², 45%, 0.0036 kgf.cm⁻², dan 26.08%.
3. Nilai kuat tarik, elastisitas, dan daya serap air dari variasi terbaik bioplastik hasil penelitian yakni K2G2 lebih besar dibandingkan dengan plastik konvensional. Kuat tarik bioplastik K2G2 (0.1625 kgf.cm⁻²) 400% lebih besar dibanding plastik konvensional (0.0406 kgf.cm⁻²). Daya serap air bioplastik K2G2 sebesar 26.08% lebih kecil dibanding plastik konvensional dengan persentase daya serap air sebesar 33.33%. Perpanjangan putus bioplastik K2G2 yaitu 45% sedikit lebih rendah dibanding plastik konvensional sebesar 62.5%. Dapat disimpulkan bahwa bioplastik terbaik K2G2 berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dan dapat diproyeksikan fungsinya sebagai pengganti penggunaan plastik konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, Y. E. & Padmawijaya, K. S. (2014). Sintesis bioplastik dari kitosan pati kulit pisang kepok dengan penambahan zat aditif. *Jurnal Teknik Kimia*, 10(2), 40-48
- Anggraini, T., Ulfimarjan, Azima, F., & Yenrina, R. (2017). The effect of chitosan concentration on the characteristic of sago (*metroxylon sp*) starch bioplastics. *RJPBCS* 8(1), 1339-1351
- Bahmid, N. A., Syamsu, K., & Maddu, A. (2014). Pengaruh ukuran serat selulosa asetat dan penambahan dietilen glikol (DEG) terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 24(3), 226-234
- Bangyekan, C., Aht-Ong, D., & Srikulkit, K. (2006). Preparation and properties evaluation of chitosan- coated cassava starch films. *Cabrohydrate Polymers* 63(1), 61-71
- Chillo, S. S, Mastromatteo, M., Cote, A., Gerschenson, L., & del Nobile, M. A. (2008). Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch based edible film properties. *Journal of Food Engineering*, 88, 159-168
- Darni, Y., Utami, H., & Asriah, S. N. (2009). Peningkatan Hidrofobisitas dan Sifat Fisik Plastik Biodegradabel Pati Tapioka dengan Penambahan Selulosa Residu Rumput Laut *Euchema Spinossum*. *Seminar hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Fakultas Teknik Unila: Bandar Lampung*.
- Esa, F., Tasirin, S. M., & Rahman, N. A. (2014). Overview of bacteria cellulose production and application. *Agriculture Science Procedia* 2, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017>
- Fathanah, U., Lubis, M. R., & Moulana, R. (2015). Biopolymer from starch and chitosan as bioplastic material for food packaging. *Proceedings of The 5th Annual International Conference Syiah Kuala University*. Syiah Kuala University. Banda Aceh
- Garcia, M. A., Pinotti, A., & Zaritzky, N. E. (2006). Physicochemical, water vapor barrier and mechanical properties of corn starch and chitosan composite films. *Starch-Stärke*, 58(9), 453-463. <https://doi.org/10.1002/star.200500484>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastic ever made. *Science Advance*, 3(7), 1-5 <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Ikhwanuddin. (2018). *Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Serbuk Daun Pisang Batu dan Carboxymethyl Cellulosa (CMC) yang Diperkuat oleh Gum Arabic* [Tesis]. Universitas Sumatera Utara
- Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, A. (2015). Bioplastics and food packaging: A Review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1117749. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1117749>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2017). Buletin Konsumsi Pangan Semester 1 2017.
- Laohakunjit, N & Noomhorm, A. (2004). Effect of plasticizers on mechanical an barrier properties of rice starch film. *Starch-Stärke*, 56(8), 348-356.

- <https://doi.org/10.1002/star.200300249>
- Noorbakhsh-Soltani, S. M., Zerafat, M. M., & Sabbaghi, S. (2018). A comparative study of gelatin and starch based nano composite films modified by nano cellulose and chitosan for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 189, 48- 55. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.012>
- Pohan, N. (2008). *Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Proses Biofilter Aerobik* [Tesis]. Universitas Sumatera Utara.
- Saleh, D. (2011). *Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Mikrobial dari Whey serta Pengaruh Iodium pada Sifat Mekanik, Listrik dan Absorpsi terhadap Limbah $MgCl_2$, $Mg(OH)_2$, dan HCl* [Disertasi]. Universitas Indonesia.
- Sanyang, L. M., Sapuan, S. M., Jawaaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2015). Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*arenga pinnata*) starch. *Polymers*, 7, 1106-1124. <https://doi.org/10.3390/polym70x000x>
- Selpiana, P., & Anggraeni, C. P. (2016). Pengaruh penambahan kitosan dan gliserol pada pembuatan bioplastik dari ampas tebu dan ampas tahu. *Jurnal Teknik Kimia*, 1(22), 57-64
- Sharma, C., Manepalli, P. H., Thatte, A., Thomas, S., Kalarikkal, N., & Alavi. S. (2017). Biodegradable starch/PVOH/laponite RD-based bionanocomposite films coated with graphene oxide: preparation and performance characterization for food packaging applications. *Colloid and Polymers Science*, 295 (9), 1695-1708
- Sofia, I., Murdiningsih, H., & Yanti, N. (2016). Pembuatan dan kajian sifat sifat fisikokimia, mekanikal, dan fungsional edible film dari kitosan udang windu. *JBAT*, 5(2), 54- 60
- Souza, A. C., Benze, R. F. E. S., Ferrão, E. S., Ditchfield, C., Coelho, A. C. V., & Tadini, C. C. (2012). Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 110-117.
- Sudaryati, H. P., Mulyani, S. T., & Hansyah, E. R., (2010). Physical and mechanical properties of edible film from porang (*Amorphopallus oncophyllus*) flour and carboxymethyl-cellulose. *Jurnal Teknologi Pertanian* 11(30), 196-201
- Sutan, S. M., Maharani, D. M., & Febriari, F. (2018). Studi karakteristik sifat mekanik bioplastik berbahan pati – selulosa kulit siwalan (*Borassus flabellifer*). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 6(2), 156-171
- UNEP, U. (2018). Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability. *Plásticos De Un Solo Uso: Una hoja de ruta para la sostenibilidad*.
- Zhang, Y., Rempel, C., & Liu Q. (2014). Thermoplastic starch processing and characteristics – A Review. *Crit. Rev. Food Sci Nutr*, 54(10), 1353-1370. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.636156>
- Zhong, Q. P, & Xia, W. S. (2008). Physicochemical properties of chitosan based films. *Food Technol. Biotechnol*, 46(3), 262-269
- Zhou, Huijuan. (2016). *Physico-chemical Properties of Bioplastic and Its Application for Fresh Cut Fruits Packaging* [Thesis]. Hokkaido University Japan